



Ciclo Energético, Eficiência e Sustentabilidade em Estufas

Mestrado em Engenharia Electrotécnica

Pedro Miguel Garcia Santos

Leiria, março de 2022



Ciclo Energético, Eficiência e Sustentabilidade em Estufas

Mestrado em Engenharia Electrotécnica

Pedro Miguel Garcia Santos

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação do Professor Doutor João Rafael da Costa Sanches Galvão e do Professor Doutor Luís Miguel Igreja Aires

Leiria, março de 2022

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Agradecimentos

Este trabalho só foi possível com a ajuda de várias pessoas que durante esta fase me ajudaram ao longo da realização da dissertação.

Aos meus orientadores, Professor Doutor João Rafael da Costa Sanches Galvão e ao Professor Doutor Luís Miguel Igreja Aires, por toda a disponibilidade, conhecimento e apoio durante a realização do trabalho.

Ao Professor Doutor Pedro Marques, pela disponibilidade, conhecimento e apoio técnico na ajuda quando existia algumas dificuldades durante o trabalho.

Ao Laboratório de Processos de Separação e Reação (LSRE), Pólo de Leiria, pela disponibilidade do caso de estudo, a estufa e por toda ajuda quando necessária.

Aos meus colegas e amigos que durante o trabalho partilhamos momentos que me ajudou ao longo deste percurso.

Por último, a minha família que me ajudou nos momentos de maior dificuldade durante o desenvolvimento do trabalho.

Este trabalho foi financiado por LA/P/0045/2020 (ALiCE), UIDB/50020/2020 e UIDP/50020/2020 (LSRE-LCM), financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Resumo

Atualmente na produção de plantas em regime intensivo, como nas estufas, podem-se produzir diferentes espécies de culturas em várias épocas do ano, garantindo-se a qualidade e quantidade das plantas e frutos. Nestes ambientes controlados de estufas tem-se implementado técnicas de cultivo de elevado desempenho agrícola, como a hidroponia e a aquaponia.

Como suporte a este estudo foi usada uma estufa, localizada no Campus 2 do IPL - Instituto Politécnico de Leiria. Esta tem como dimensões, um comprimento de quinze metros e uma largura de dez metros, totalizando uma área de 150 m². Na estufa são utilizadas técnicas de cultura de aquaponia (aquicultura complementada por hidroponia), tendo esta no seu interior três linhas aquapónicas, onde são estudadas diferentes espécies de peixes, que produzem biomassa líquida, sendo esta possuidora de nutrientes para o crescimento das plantas.

Um dos principais objetivos deste projeto foi a implementação de um modelo com várias partes, como a área de produção de energia por via solar e um sistema de recolha, monitorização, controlo e visualização de parâmetros ambientais. Por fim, uma aplicação em tempo real destes dados proporciona ao gestor desta estufa a avaliação do estado de funcionamento dos sistemas aquapónicos e a deteção das condições críticas, que necessitem de uma decisão célere. O sistema desenvolvido permite recolher dados da temperatura do ar ambiente, da humidade relativa do ar, da temperatura, da condutividade elétrica, do pH e dos sólidos dissolvidos totais (TDS) da água.

Inicialmente foi realizada uma análise dos consumos energéticos da estufa, após a qual foram propostas soluções tecnológicas para aumentar a eficiência e sustentabilidade destes processos, recorrendo fonte de energia renovável solar. Após esta etapa realizou-se o dimensionamento de um sistema de produção de energia elétrica, por tecnologia fotovoltaica, em regime de autoconsumo e de rede isolada, para determinar a melhor opção para este caso de estudo. Optou-se pelo regime de autoconsumo, como sendo a melhor solução, porque tem um investimento financeiro mais reduzido e permite reduzir a fatura elétrica deste tipo de consumidor e vender o excedente de produção elétrica à rede.

O sistema de monitorização e visualização desenvolvido, que resultou num protótipo, está instalado e a funcionar no caso de estudo, permitindo o acesso às variáveis referidas pelos seguintes modos: remotamente via *Internet* numa *dashboard*, numa aplicação móvel e ainda numa base de dados.

Palavras-chave: Estufa; Aquaponia; Energia Renovável; Eficiência, Monitorização.

Abstract

Currently, in the production of plants in an intensive regime, such as in greenhouses, different species of crops can be produced at various times of the year, guaranteeing the quality and quantity of plants and fruits. In these controlled greenhouse environments, cultivation techniques with high agricultural performance have been implemented, such as hydroponics and aquaponics.

To support this study, a greenhouse was used, located on Campus 2 of the IPL - Instituto Politécnico de Leiria. This one has as dimensions, a length of fifteen meters and a width of ten meters, totaling an area of 150 m². Aquaponics culture techniques are used in the greenhouse (aquaculture complemented by hydroponics), which has three aquaponic lines inside, where different species of fish are studied, which produce liquid biomass, which has nutrients for plant growth.

One of the main objectives of this project was the implementation of a model with several parts, such as the solar energy production area and a system for collecting, monitoring, controlling and visualizing environmental parameters. Finally, a real-time application of this data allows the manager of this greenhouse to assess the state of operation of the aquaponic systems and detect critical conditions that require a quick decision. The developed system allows collecting data on ambient air temperature, relative air humidity, temperature, electrical conductivity, pH and the solids dissolved in the liquid (TDS) of nutrients.

Initially, an analysis of the energy consumption of the greenhouse was carried out, after which technological solutions were proposed to increase the efficiency and sustainability of these processes, using a renewable source of solar energy. After this step, the design of an electric energy production system was carried out, using photovoltaic technology, in self-consumption and isolated grid regime, in order to determine the best option for this case study. The self-consumption regime was chosen as the best solution, because it has a lower financial investment and allows reducing the electric bill of this type of consumer and selling the surplus electricity production to the grid.

The monitoring and visualization system developed, which resulted in a prototype, is installed and working in the case study, allowing access to the mentioned variables in the following ways: remotely via the Internet in a dashboard, in a mobile application and even in a database.

Keywords: Greenhouse, Aquaponics, Renewable Energy, Efficiency, Monitoring

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	iii
Agradecimentos	iv
Resumo.....	v
Abstract	vii
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
Lista de Siglas e Acrónimos	xiii
1.Introdução.....	1
1.1.Enquadramento	1
1.2.Objetivos Gerais	3
1.3.Estrutura da Dissertação	3
2.Tecnologias de Produção em Estufas e Energéticas	4
2.1.Síntese das Metodologias de Cultivo.....	4
2.2.Hidroponia e Aquaponia.....	5
2.3.Arquitetura dos Sistemas	10
2.4.Tecnologias de Controlo e Monitorização.....	11
2.5.Energias Renováveis.....	21
3.Caracterização do Caso de Estudo - Estufa.....	24
3.1.Caracterização da Estufa.....	24
3.1.1.Atuadores, Sistemas de Ventilação, Aquecimento e Sombreamento	26
3.2.Análise de Consumos	28
4.Modelo Energético, Monitorização e Visualização	35
4.1.Conceção, Simulação e Projeto de Protótipo.....	35
4.2.Projeto do Sistema Fotovoltaico	36
4.3.Trabalho de Campo no Caso de Estudo.....	37
4.4.Sistema Fotovoltaico: - Cenário Autoconsumo	37
4.5.Sistema Fotovoltaico: - Cenário Rede Isolada.....	43
4.6.Sistema de Monitorização e Visualização	49
4.6.1.Parâmetros de Monitorização	49
4.6.2.Sensores e Diagrama de Blocos.....	50
4.6.3.Placa de Circuito Impresso	54
4.6.4.Desenvolvimento do Software.....	56
4.6.5.Desenvolvimento da Interface Gráfica: - Visualização	60
5.Análise de Resultados do Modelo Desenvolvido	65
5.1.Sistema Fotovoltaico: - Cenário Autoconsumo e Análise Económica.....	65
5.2.Sistema Fotovoltaico: - Cenário Rede Isolada e Análise Económica.....	68
5.3.Sistema de Monitorização Concebido	72
6.Conclusões.....	73

7.Referências Bibliográficas	75
Anexos.....	79
Anexo A - Características do Pannel Fotovoltaico Suntech 240Wpico	80
Anexo B - Características do Pannel Fotovoltaico Suntech 280Wpico	81
Anexo C - Características do Inversor Sunny Boy 3600TL	82
Anexo D - Características do Inversor Sunny Island 8.0H.....	83
Anexo E - Características das Baterias LG Chem RESU13	84
Anexo F - Simulação do Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo	85
Anexo G - Simulação do Sistema Fotovoltaico de Rede Isolada	90
Anexo H - Esquema Elétrico do Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo	98
Anexo I - Esquema Elétrico do Sistema Fotovoltaico de Rede Isolada	99
Anexo J - Código fonte do ESP32 NodeMCU	100
Anexo K - Node-RED	110
Anexo L - Componentes do Sistema de Monitorização	111

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Tipo de cultivo Wick [12].....	7
Figura 2.2 - Tipo de cultivo DWC [15].....	7
Figura 2.3 - Tipo de cultivo Ebb and Flow [12].....	8
Figura 2.4 - Tipo de cultivo Drip [12].....	8
Figura 2.5 - Tipo de cultivo NFT [12].....	9
Figura 2.6 - Tipo de cultivo Aeroponic [12].....	10
Figura 2.7 - Processo Tecnológico [16].....	11
Figura 2.8 - Sistema de controlo e monitorização através de ESP8266 NodeMCU [17].....	12
Figura 2.9 - Sistema de controlo e monitorização através Raspberry pi e tecnologia WSN [8].....	13
Figura 2.10 - Sistema de monitorização através da tecnologia ZigBee [3].....	15
Figura 2.11 - Sistema de controlo monitorização para sistema de aquaponia NFT [21].....	16
Figura 2.12 - Sistema de monitorização através de Raspberry pi [22].....	18
Figura 2.13 - Sistema de monitorização e controlo dos tanques de água [26].....	20
Figura 2.14 – Protótipo para produção de plantas através da hidroponia sustentável [27].....	22
Figura 3.1 - Linhas aquapónicas na estufa.....	25
Figura 3.2 - Nova linha de produção de plantas na estufa.....	26
Figura 3.3 - Instalação do analisador de energia.....	29
Figura 3.4 - Diagrama de carga da instalação.....	30
Figura 3.5 - Carga diária da instalação.....	31
Figura 3.6 - Consumo diário 12/05/2019.....	31
Figura 3.7 - Condições de temperatura 12/05/2019.....	32
Figura 3.8 - Diagrama de carga do mês de fevereiro.....	33
Figura 3.9 - Cargas diárias da instalação.....	34
Figura 4.1 - Modelo Desenvolvido.....	35
Figura 4.2 - Dimensionamento da Inclinação e Azimute do sistema de autoconsumo.....	38
Figura 4.3 - Altura do Sol do local do projeto.....	39
Figura 4.4 – Visualização da estufa e do espaço envolvente.....	39
Figura 4.5 – Perspetiva do sistema de autoconsumo.....	40
Figura 4.6 – Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e inversor.....	40
Figura 4.7 – Diagrama de carga da instalação no PVsyst.....	41
Figura 4.8 – Dimensionamento dos cabos CC do sistema de autoconsumo.....	42
Figura 4.9 – Perspetiva do sistema de rede isolada.....	44
Figura 4.10 – Sistema fotovoltaico rede isolada.....	45
Figura 4.11 – Número de strings por inversor.....	45
Figura 4.12 – Configuração do Sunny Island e das baterias.....	46
Figura 4.13 - Modelo Desenvolvido para o Sistema de Monitorização.....	49
Figura 4.14 – Sensor de temperatura DS18B20 [38].....	51

Figura 4.15 – Sensor de temperatura e humidade DHT11 [39].....	52
Figura 4.16 – Sensor de pH ISSO0169 [40].....	52
Figura 4.17 – Sensor de TDS e EC ISSO0244 [41].....	53
Figura 4.18 – Diagrama de blocos do sistema.....	54
Figura 4.19 – Esquema Elétrico da PCB.....	55
Figura 4.20 – Placa de Circuito Impresso.....	56
Figura 4.21 – Função de aquisição de dados da temperatura [44].....	57
Figura 4.22 – Função de aquisição de dados da humidade relativa [44].....	57
Figura 4.23 – Aquisição de dados do sensor TDS.....	58
Figura 4.24 – Conversão da tensão no valor TDS e EC.....	58
Figura 4.25 – Função MQTT [46].....	59
Figura 4.26 – Envio da temperatura ambiente, humidade, temperatura da água, TDS, EC e pH através do protocolo MQTT [46].....	59
Figura 4.27 – Fluxo da temperatura ambiente no Node-RED.....	60
Figura 4.28 - Dashboard estufa do Node-RED.....	61
Figura 4.29 – Fluxo de envio da temperatura ambiente do Node-RED para o Blynk.....	62
Figura 4.30 – Interface gráfica Blynk no smartphone.....	63
Figura 4.31 – Fluxo de envio dos valores dos parâmetros para a base de dados MariaDB.....	64
Figura 4.32 – Gestão da base de dados MariaDB através do phpMyAdmin.....	64
Figura 5.1 – Energia útil produzida pelo sistema de autoconsumo.....	65
Figura 5.2 – Diagrama das isso-sombras do sistema de autoconsumo.....	66
Figura 5.3 - Resultados da energia fotovoltaica.....	68
Figura 5.4 - Resultados da potência do sistema fotovoltaico.....	68
Figura 5.5 - Energia fotovoltaica utilizada (kWh).....	69
Figura 5.6 - Energia disponível vs Energia utilizada vs Consumo.....	70
Figura 5.7 - Placa de circuito impresso com os respetivos componentes.....	72

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Cargas da Estufa.....	29
Tabela 4.1 - Componentes utilizados no projeto	51
Tabela 4.2 - Portas I/O utilizadas	55
Tabela 5.1 - Produção de energia anual do sistema de autoconsumo	66
Tabela 5.2 - Orçamento sistema fotovoltaico autoconsumo.....	67
Tabela 5.3 - Produção de energia mensal do sistema fotovoltaico	70
Tabela 5.4 - Orçamento do sistema fotovoltaico de rede isolada	71

Lista de Siglas e Acrónimos

ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
DWC	<i>Deep Water Culture</i>
EC	Electro-condutividade
EPICS	<i>Experimental Physics and Industrial Control System</i>
ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
mS/cm	miliSiemens por centímetro
NFT	Nutrient Film Technique
PCB	<i>Printed Circuit Boards</i>
pH	Grau de acidez e alcalinidade de um líquido
ppm	<i>parts-per-million</i>
PV	Fotovoltaico
RAS	Sistemas de Recirculação da Aquicultura
TDS	<i>Total Dissolved Solids</i>
UE	União Europeia
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>

1. Introdução

Neste capítulo realiza-se o enquadramento da temática relacionada com o título deste trabalho, apresentam-se os objetivos que se pretendem desenvolver, assim como a estrutura deste relatório, com uma breve descrição de cada um dos capítulos, e por fim as conclusões e anexos.

1.1. Enquadramento

Custos energéticos e produtividade são dois fatores interligados nos sectores de atividade económica. A escalada do preço dos combustíveis fósseis e a pressão dos consumidores com vista à diminuição dos níveis de carbono na nossa atmosfera, leva produtores a procurar métodos mais eficientes para a sua produção em estufas agrícolas. Muitos desses métodos resumem-se em novas formas de poupar energia elétrica com o objetivo de manter ou aumentar os respetivos níveis de produção [1].

A energia fotovoltaica (PV) é uma opção de tecnologia chave para concretizar um setor de energia descarbonizado e um fornecimento de energia sustentável. Além disso, ela pode ser implementada de forma modular em quase todos os lugares do planeta. Os recursos solares na Europa e em todo o mundo são abundantes e não podem ser monopolizados por um país [2]. É necessário ter em consideração como são produzidos os equipamentos para a produção de energia fotovoltaica, porque apesar de se poder ter uma energia limpa e renovável, os seus componentes poderão ser produzidos através dos combustíveis fósseis. Então não se consegue obter o melhor aproveitamento desta energia e também tem de se pensar nestes componentes para além da sua vida útil, o que fazer depois com os componentes, novas formas de reutilizar ou reciclar.

Com o desenvolvimento das necessidades da agricultura, a estufa tem grandes perspetivas de desenvolvimento, trazendo enormes benefícios económicos [3].

O setor da agricultura em estufa da UE enfrenta uma tendência que responde às mudanças nas procuras dos consumidores em uma sociedade que, globalmente, é cada vez mais rica e gera preocupações e consequências negativas, ou seja: alta procura de energia fóssil, consumo de energia, impactos ambientais, emissões de dióxido de carbono (CO₂).

As estufas são utilizadas para controlar ou modificar os diversos fatores ambientais que

afetam o crescimento das plantas, principalmente temperatura e humidade relativa do ar, chuva, vento, granizo e neve [4]. Assim, através das estufas consegue-se ter uma maior produção e uma maior diversidade de culturas plantadas durante todo o ano. Não tendo de existir necessariamente uma altura específica para a cultura devido aos fatores ambientais. As estufas requerem energia para fornecer um ambiente adequado para a produção agrícola. Utilizar a energia solar em estufas solares é uma solução sustentável para enfrentar este problema [5]. Hoje em dia todos os parâmetros que influenciam a produção dentro de uma estufa requerem monitorização e controlo, o que leva a um aumento dos consumos de energia e uma forma de diminuir os custos da energia elétrica pode passar pelo uso de energia solar. Atualmente pretende-se novos métodos na produção de plantas em estufa que consigam aumentar a produtividade e também a diminuição dos consumos energéticos permitindo uma estufa sustentável e mais eficiente.

Através das fontes de energia renovável é possível diminuir o consumo de energia elétrica e manter os níveis de produção altos e também melhorar a sustentabilidade das estufas.

Aquaponia (AP), a produção multitrófica integrada de peixes e plantas em sistema de recirculação quase fechado, é um dos mais recentes sistemas sustentáveis de produção de alimentos [6].

Com os novos métodos na produção de plantas como a hidroponia e a aquaponia pode-se produzir plantas em condições diferentes, não tendo de ser uma produção tradicional e que requeira as condições subjacentes a essa produção. Atualmente não se necessita de ter um solo capaz para produção de certos tipos de culturas com os novos meios que existem.

Existem tecnologias apropriadas para cada tamanho e tipo de estufa, desde pequenos jardins a grandes estufas de produção. Os equipamentos automáticos conseguem melhorar o conforto e segurança do trabalho e permitem o acompanhamento das operações: por exemplo, a rastreabilidade pode ser alcançada por meio de informações de processos armazenados pelos sistemas de automatização. No entanto, é importante escolher o sistema certo para cada situação [7].

O uso de controladores climáticos já é amplamente utilizado na automatização de estufas de produções ornamentais. Podem controlar apenas as janelas, como na seção anterior, mas neste caso a automatização integra a informação de uma variedade de sensores, normalmente a temperatura interior, humidade relativa do ar interior, velocidade do vento e da chuva no exterior. Em alguns casos particulares, alguns dos sensores podem não ser utilizados.

As estufas que têm um equipamento de controlo computadorizado fornecem benefícios adicionais e provavelmente a principal vantagem prende-se com o facto de se poderem

armazenar todas as informações, o que ajuda a garantir a rastreabilidade no processo [7]. Com sistemas de monitorização e controlo consegue-se obter uma estufa com maior capacidade de produção e pode-se monitorizar em qualquer sítio e altura do dia.

1.2. Objetivos Gerais

O presente trabalho teve como objetivo inicial compreender e analisar os consumos energéticos de um caso de estudo: estufa de produção de plantas, com tecnologia de aquaponia, localizada no Campus 2 do Politécnico de Leiria.

Inerente a este objetivo pretendia-se estudar sistemas tecnológicos, que conduzissem à melhoria da eficiência energética deste processo de produção de plantas, pela recolha, monitorização e controlo de parâmetros ambientais, por suporte de plataforma remota. Assim, este estudo visou projetar um sistema produção de energia por tecnologia fotovoltaica, que permitisse reduzir a fatura de energia elétrica e aumentar a autonomia energética deste caso estudo. Por outro lado, o estudo visou também desenvolver um sistema de monitorização com recurso à instalação de sensores e conceção de programa, para que em tempo real seja possível obter informação de parâmetros chave, fundamentais no apoio à decisão em caso de deteção de condições anómalas ou críticas, associadas à solução nutritiva e/ou climatização da estufa.

1.3. Estrutura do Projeto

No capítulo dois apresenta-se uma breve descrição das técnicas de cultivo sustentável em estufa e as tecnologias existentes e métodos e técnicas desenvolvidas para sistemas de monitorização.

No capítulo três apresenta-se o caso de estudo do trabalho e efetua-se a análise dos consumos energéticos.

No capítulo quatro realiza-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico através de softwares especializados. Também se descreve o desenvolvimento do sistema de monitorização ambiental que se aplica no caso de estudo.

No capítulo cinco realiza-se a apresentação de resultados e discussão dos mesmos.

No capítulo seis são apresentadas as principais conclusões e propostos desenvolvimentos futuros.

Por fim estão os anexos com informação complementar inerentes a este trabalho.

2. Tecnologias de Produção em Estufas e Energéticas

Neste capítulo apresentam-se tecnologias emergentes para o cultivo de plantas em estufas: a aquaponia e a hidroponia e suas vantagens e desvantagens. Também serão destacados alguns sistemas de monitorização e controlo em estufas, assim como a importância das energias renováveis neste setor.

2.1. Síntese das Metodologias de Cultivo

A agricultura é uma área relevante e fundamental à comunidade e muitos países dependem deste setor [8]. As estufas têm evoluído com o passar do tempo através de novos meios tecnológicos para facilitar o controlo e a otimização das produções. Com estes novos processos tecnológicos é possível produzir alimentos durante todo ano, com maior nível de produtividade e com custos menores. Permite às empresas maior produtividade e os produtos podem demorar menos tempo no seu processo de produção, garantindo a qualidade dos mesmos. Outra situação em que estes processos tecnológicos podem vir a ser de extrema importância é para países menos desenvolvidos e para países com maior número populacional que tenham menor produtividade de alimentos ou com menor acessibilidade aos mesmos. As estufas são estruturas que usam a radiação solar no crescimento de plantas, com controlo climático [9]. Tradicionalmente as tecnologias que usam para produzir calor é com recurso a fontes energéticas como o gás ou gasóleo. Recentemente tem-se utilizado produção de plantas/vegetais mais flexível e com melhores desempenhos, através de sistemas tecnológicos como a hidroponia e a aquaponia. Existem vários sistemas não convencionais que usam várias técnicas diferentes com o propósito de utilizar a aquaponia e a hidroponia, sendo que os fatores ambientais desempenham um papel importante na produção de vegetais e na qualidade e quantidade dos mesmos [8]. Assim, uma estufa, atualmente, requer maior controlo de todos os meios envolventes dentro da mesma, como os parâmetros que são fundamentais controlar como temperatura, humidade, iluminação, etc. Para isso existem vários métodos inovadores que têm como objetivo o controlo dos parâmetros da estufa, através de sistemas compostos por sensores e microcontroladores. Como exemplo, um sistema de monitorização remoto de intensidade da luz em tempo real usando o *Raspberry pi*, que fornece a facilidade de monitorar o sistema de iluminação

remotamente. A principal característica do sistema é a medição da intensidade da luz e o armazenamento de dados na nuvem para referência futura [10]. Outro exemplo de sistema é um sistema embebido concebido para monitorizar parâmetros de estufa, tais como temperatura, humidade e intensidade da luz, que transfere esses parâmetros para um *raspberry pi*, atuando como um servidor em tempo real, com base na *Internet of Things*, IoT, utilizando a tecnologia *Wireless Sensor Network* (WSN) [8].

No entanto, é necessária mais energia para manter esses parâmetros de controlo dentro dos limites aceitáveis [11]. As fontes de energia renovável como sistemas fotovoltaicos poderão ser úteis na redução dos encargos de energia de uma estufa.

2.2. Hidroponia e Aquaponia

A Hidroponia é a ciência, a arte, a técnica de cultivar plantas sem solo, onde os elementos minerais essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas são fornecidos através de uma solução nutritiva que fornece na medida exata e de forma constante todos os nutrientes que os vegetais necessitam. Na hidroponia as raízes podem estar suspensas em meio líquido ou apoiadas em substrato inerte (lã de rocha, fibra de coco, entre outros) [12].

Através desta ciência são promovidas várias técnicas para o desenvolvimento de culturas quer para fins de alimentação ou para fins medicinais. Esta ciência como outra qualquer tem as suas vantagens e desvantagens [13];

Vantagens

- Maior produtividade da planta – por receber e ter disponíveis os nutrientes que necessita em tempo integral, as raízes não gastam muita energia à procura no solo e a planta pode se concentrar na folhagem e frutificação e assim toda a planta cresce saudável;
- Maior qualidade de produto – pode ser cultivado em locais fechados, os vegetais estão menos susceptíveis a pragas e doenças tornando as plantas mais saudáveis e diminuindo a utilização de fertilizantes;
- Permite colheitas durante todo o ano com recurso a estufas;
- Mais eficiência e economia no uso de água e fertilizantes;
- Controle sobre a nutrição.

Desvantagens

- Dependência de energia elétrica ou sistemas alternativos, se houver uma queda de energia e se o produtor não tiver um gerador há o risco de perder toda a produção;
- Maior investimento inicial em equipamento;
- Requer conhecimento da tecnologia e acompanhamento permanente (no caso de serem plantações comerciais).

A aquaponia combina a criação de peixes em tanques (aquicultura) com a cultura de plantas sem solo, hidroponia. Através desta forma de agricultura, a água dos tanques que contém os peixes, rica em nutrientes da criação dos mesmos produz um fertilizante natural para as plantas que por sua vez ajudam a purificar a água dos tanques para os peixes. Existem vários sistemas não convencionais que usam diferentes técnicas com o propósito de utilizar a aquaponia e a hidroponia de modo a obter melhores resultados em termos de produção das plantas, crescimento dos peixes e também tornando o processo mais sustentável e renovável.

A hidroponia, mesmo quando acoplada com a aquicultura, pode ser desenvolvida usando vários métodos, destacando o cultivo *Wick*, *DWC*, *ebb and flow*, *drip*, *NFT* e aeropónico.

Cultivo *Wick*

Visto como o sistema hidropónico mais simplista, o sistema *Wick* é descrito como um sistema passivo, pelo qual não há partes móveis. A partir do reservatório inferior, sua solução específica de nutrientes é alimentada através de uma série de pavios no meio do tanque que contém as plantas (Figura 2.1). Este sistema pode usar uma variedade de tipos de pavios, perlita, solo ou coco [12].

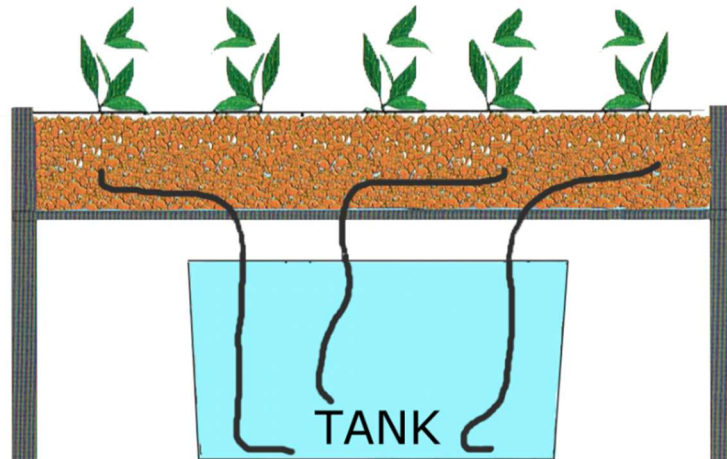


Figura 2.1 - Tipo de cultivo Wick [12]

Cultivo DWC

O método de cultivo DWC, *Deep Water Culture*, na qual as raízes das plantas ficam em uma solução nutritiva, na água, ao mesmo tempo em que a água é altamente oxigenada (Figura 2.2). Assim faz com que as raízes das plantas absorvam grandes quantidades de oxigênio permitindo e acelerando ao mesmo tempo a absorção dos nutrientes disponíveis na água. Isto conduz a um crescimento rápido, explosivo e claramente nítido, durante toda a vida da planta [14].



Figura 2.2 - Tipo de cultivo DWC [15]

Cultivo *Ebb and Flow*

Este sistema hidropônico funciona temporariamente inundando o tabuleiro de cultivo. A solução nutritiva de um reservatório envolve as raízes antes de a drenar de volta. Essa ação geralmente é automatizada com uma bomba de água com um temporizador [12]. Este tipo de cultivo pode-se observar na Figura 2.3.

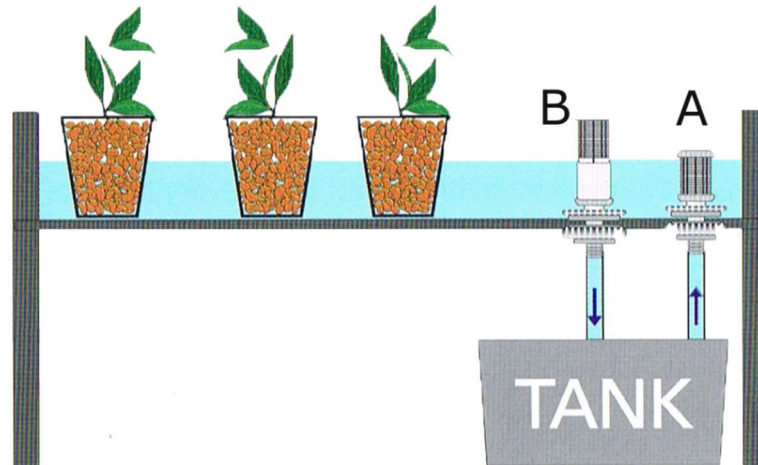


Figura 2.3 - Tipo de cultivo *Ebb and Flow* [12]

Cultivo *Drip*

Sistema de gota é um método hidropônico amplamente utilizado, com um temporizador que controlará uma bomba de água, que bombeia água e as soluções de nutrientes através de uma rede de jatos de água elevados (Figura 2.4). Um sistema de recuperação coletará o excesso de solução nutritiva de volta ao reservatório. Um sistema de gotejamento sem recuperação evitará isso, permitindo que o pH do reservatório seja mais estável [12].

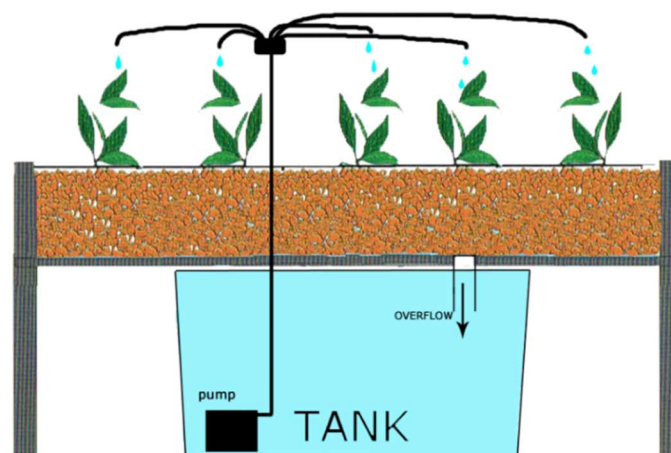


Figura 2.4 - Tipo de cultivo *Drip* [12]

Cultivo NFT

O sistema NFT - *Nutrient Film Technique*, é um dos métodos mais utilizados na hidroponia, que utiliza um fluxo constante de solução nutritiva. A solução é bombeada de um reservatório para a bandeja de cultivo, a bandeja crescente não requer nenhum meio de crescimento e as raízes absorvem os nutrientes da solução. O fluxo descendente retorna ao reservatório para ser reciclado novamente (Figura 2.5). A bomba e a manutenção elétrica são essenciais para evitar falhas no sistema, onde as raízes podem secar rapidamente quando o fluxo é interrompido [12].

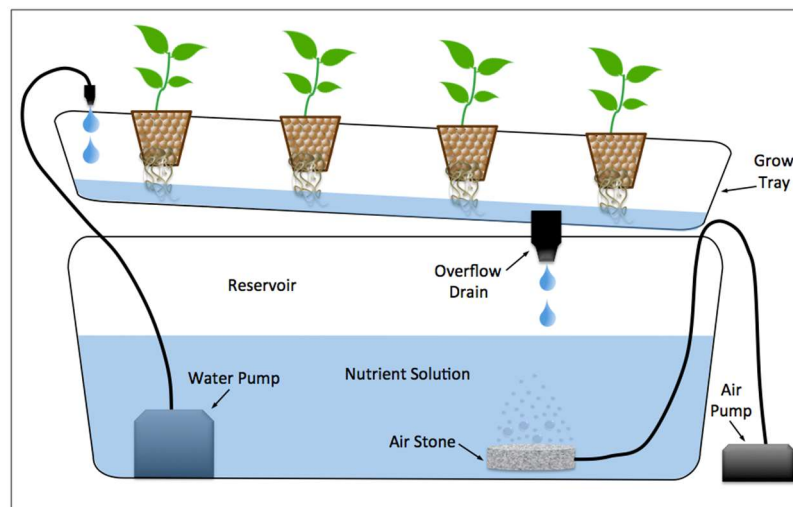


Figura 2.5 - Tipo de cultivo NFT [12]

Cultivo Aeroponic

Sistemas aeropônicos são vistos como um método de alta tecnologia de crescimento hidropônico, como o sistema NFT, mas o meio de crescimento é principalmente o ar. As raízes pairam no ar e são misturadas com solução nutritiva (Figura 2.6). A nebulização das raízes geralmente é feita a cada poucos minutos. As raízes secarão rapidamente se os ciclos de nebulização forem interrompidos. Um relógio controla a bomba de nutrientes da mesma forma que outros tipos de sistemas hidropônicos, exceto que o sistema aeropônico precisa de um temporizador de ciclo curto que aciona a bomba por alguns segundos a cada dois minutos [12].

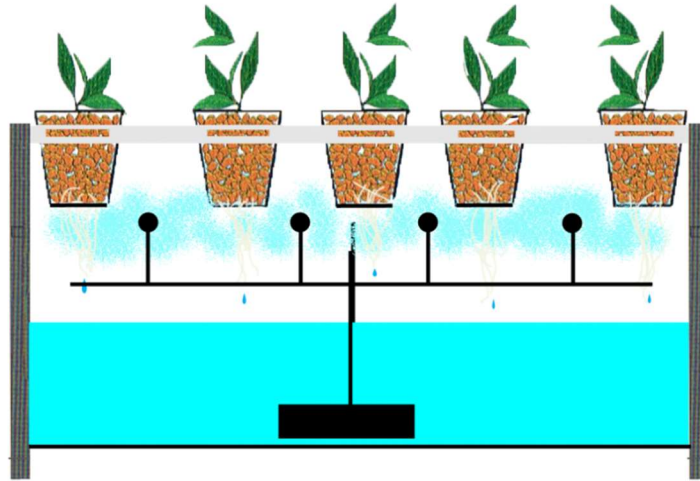


Figura 2.6 -Tipo de cultivo Aeroponic [12]

2.3.Arquitetura dos Sistemas

Para o controlo e monitorização de uma estufa aquapónica/hidropónica o objetivo consiste em obter um sistema em que parâmetros chave como a temperatura do ar e da água, humidade relativa do ar, pH e condutividade elétrica da solução nutritiva possam ser observados remotamente, seja através de uma página web ou uma aplicação móvel. Também é importante que seja possível controlar esses parâmetros para valores desejados, sendo necessários atuadores. Estas tecnologias utilizam sensores para obter os valores dos parâmetros; existem vários tipos de sensores que podem ser usados com sucesso. Os valores destes sensores serão enviados para um microcontrolador, este microcontrolador processa os dados e faz o controlo de todo o sistema. Sendo que o processo de controlo, isto é, conjunto de atuadores que garantem o controlo dos parâmetros, quando, por exemplo, a temperatura do ar está fora dos limites definidos é ligado um ventilador ou outro mecanismo de maneira a baixar a temperatura do ar na estufa. Esta unidade de controlo recebe ordens do microcontrolador e o microcontrolador é que garante se os parâmetros estão dentro dos limites. O microcontrolador tem como objetivo final enviar os valores dos parâmetros, para que possam se monitorizados através de uma página web ou uma aplicação móvel. O tipo de monitorização e controlo difere para diferentes sistemas existentes, sendo que normalmente através da monitorização é possível alterar os limites definidos para os parâmetros.

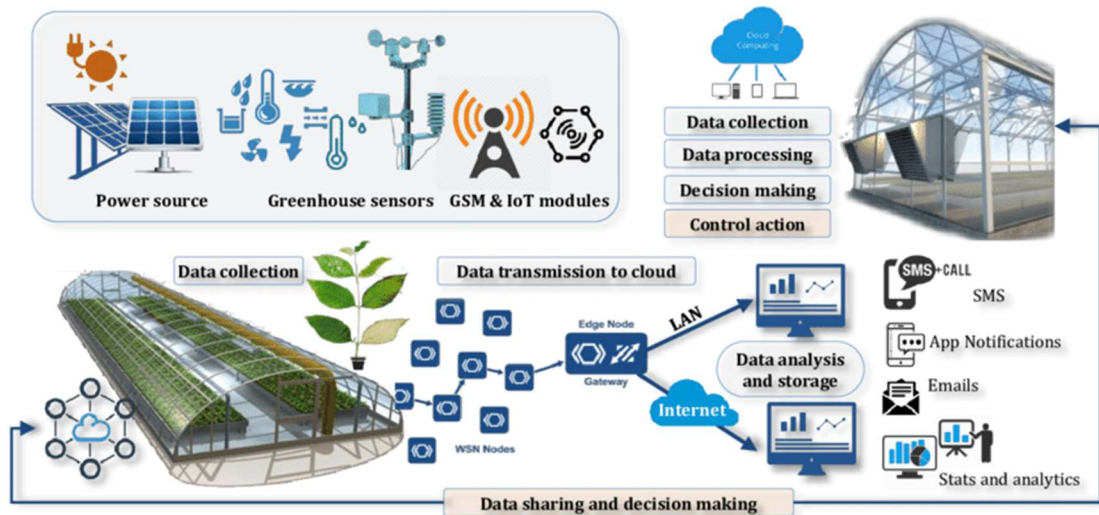


Figura 2.7 - Processo Tecnológico [16]

Estes processos tecnológicos têm várias maneiras diferentes de envio de dados e a monitorização dos mesmos remotamente, pode ser feito através de várias aplicações diferentes, mas que têm o mesmo objetivo, isto é, observar os dados remotamente em tempo real (Figura 2.7).

2.4. Tecnologias de Controlo e Monitorização

Nesta área os sistemas têm vindo a progredir, sendo mais flexíveis, económicos e robustos. Inicialmente necessita-se de saber quais os parâmetros a controlar numa estufa, que normalmente são: temperatura do meio ambiente, humidade relativa do meio ambiente, radiação solar, temperatura, pH e condutividade eléctrica da água/solução nutritiva, sendo os últimos parâmetros controlados quando se trata de uma estufa de hidroponia e/ou aquaponia. Na Figura 2.8 apresenta-se um sistema de controlo e monitorização de estufa através de um microcontrolador ESP8266 NodeMCU, que recebe os dados dos parâmetros dos sensores e os envia para a internet [17]. Neste sistema, os parâmetros a monitorizar foram: temperatura ambiente, humidade ambiente, a concentração de CO₂, a humidade do solo e ainda o controlo da iluminação.

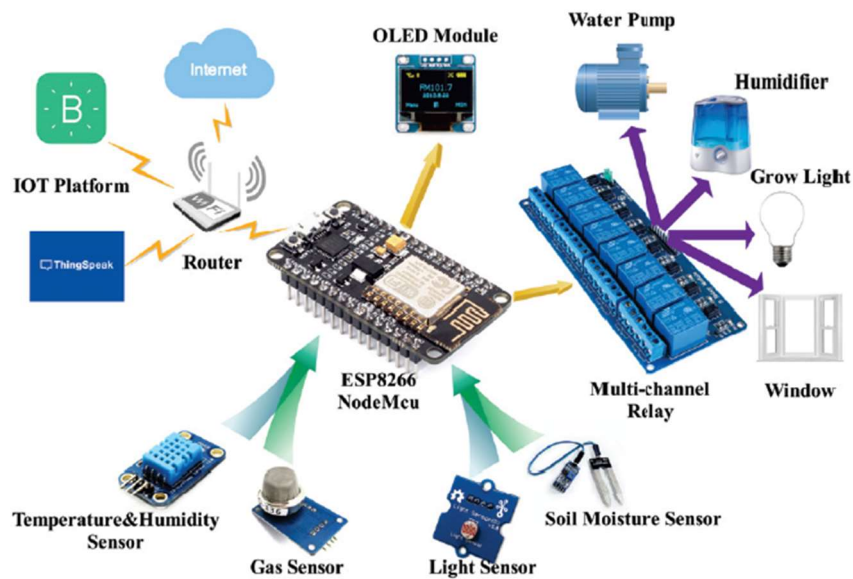


Figura 2.8 - Sistema de controlo e monitorização através de ESP8266 NodeMCU [17]

Para obter os dados dos parâmetros da estufa foram utilizados vários sensores, para a temperatura e a humidade do meio ambiente o sensor DHT11, para a iluminação uma foto resistência, para a concentração de CO₂ o sensor MQ135 e para a humidade do solo, um sensor para o respetivo parâmetro. O sistema também tinha um *display*, módulo OLED, que tem como objetivo mostrar os dados dos parâmetros monitorizados. Contém uma unidade de controlo, para manter os parâmetros dentro dos limites definidos. Esta unidade consiste no controlo de bombas de água, iluminação, humidade e janelas. Os dados processados eram enviados para a plataforma *Thingspeak*, através de *Wi-Fi* com base no protocolo *http*. Os parâmetros são visualizados em tempo real na plataforma, em que esta funciona como servidor e a placa NodeMCU como cliente, esta envia os dados dos parâmetros para o aplicativo *Blynk* no telemóvel através de autenticação para que os utilizadores tenham acesso [17].

Existem muitas pesquisas sobre sistemas de estufas nos últimos anos [17], [18], [19]. O sistema seguinte utiliza um *raspberry pi* para o controlo e monitorização de uma estufa, e os parâmetros que o sistema controla são: temperatura do meio ambiente, humidade do meio ambiente e a intensidade da luz. O sistema utilizado é um sistema embebido que transfere os dados dos parâmetros para um *raspberry pi* que atua como servidor em tempo real, com base na *Internet of Things*, IoT, utilizando a tecnologia *Wireless Sensor Network* (WSN),(Figura 2.9) [8].

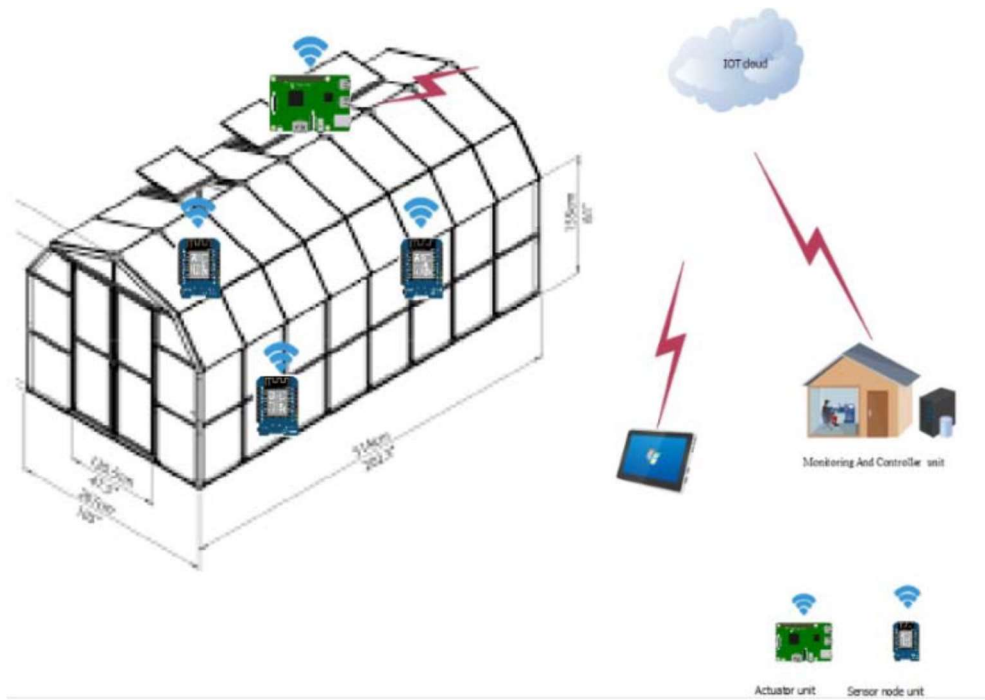


Figura 2.9 - Sistema de controlo e monitorização através Raspberry pi e tecnologia WSN [8]

O sistema é constituído por quatro partes em que cada uma delas tem um objetivo: sensores, receção de dados e controlo, monitorização dos parâmetros através da *Internet of Things* e atuadores. Os sensores fazem a recolha dos dados dos parâmetros que se quer controlar dentro da estufa. Para os dados da temperatura e a humidade do meio ambiente foi usado o sensor DHT11 ligado a um microcontrolador Arduino uno colocado dentro da estufa; para esta ação a transmissão dos dados foi feita através de um ESP8266 *Wi-Fi*. Dentro da estufa também se utilizou uma LDR para o controlo da intensidade da iluminação, ligado com um ESP8266 *Wi-Fi* para a transmissão dos dados. Estes dois parâmetros têm um sistema embebido para cada um deles [8].

O tratamento da informação recolhida através dos sensores e o envio da mesma para a *cloud* foi feito através do *raspberry pi3 model 3* que atua como *server*. Os dados dos parâmetros recebidos dos sensores serão comparados com um conjunto de valores ideais que permitem um melhor crescimento das plantas e verificados se estão dentro dos limites predefinidos para os respetivos parâmetros. Se não estiverem o *server* envia uma notificação para os atuadores efetuarem as ações de modo a realizar a correção necessária. E essa informação é enviada através do protocolo *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)* para a *cloud* [8]. A etapa dos atuadores é o controlo de dois ventiladores, uma lâmpada e uma bomba de água. Através do controlo consegue-se tirar melhor proveito das culturas da estufa melhorando a eficiência dos atuadores e também minimizar os custos envolvidos com os mesmos. Quando

os dados dos parâmetros são colocados na *cloud* é possível fazer uma monitorização dos mesmos em tempo real através de uma página *web*.

Uma outra tecnologia utilizada para controlo e monitorização de uma estufa é a tecnologia *zigbee* que é um protocolo de comunicação entre dispositivos inteligentes sem fios e que cria uma rede com todos os dispositivos interligados, independente da rede *Wi-Fi* [20]. Assim com esta tecnologia pode-se fazer a monitorização dos parâmetros da estufa que são: temperatura do meio ambiente, humidade do meio ambiente, intensidade da iluminação, humidade e temperatura do solo.

O sistema é composto por o módulo de aquisição de informação, o módulo de transmissão de dados e o módulo de aplicação. O módulo de aquisição de informação é o módulo onde estão os sensores dentro da estufa com um microcontrolador e através da variação dos parâmetros que se quer recolher na estufa, os sensores enviam essa informação para o microcontrolador. Os sensores são analógicos e digitais, os dados recebidos pelos sensores analógicos são transmitidos para a *gateway* através de um barramento. Já nos sensores digitais a informação recolhida é transmitida para a *gateway* pela rede sem fios. O módulo de transmissão de dados inclui uma rede de sensores, um barramento de transmissão, um *gateway* e a Internet. O módulo de aplicação superior é o controlo e monitorização dos parâmetros através do computador do utilizador, assim pode-se observar em tempo real o crescimento das culturas e melhorar as suas condições para um melhor crescimento e qualidade dos produtos [3].

A rede de sensores, WSN, tem como principal módulo o CC2530 que tem como objetivo receber a informação dos sensores e comparar essa informação com limites definidos para cada parâmetro, verificando se estão dentro dos mesmos e enviar para a *gateway* a informação dos dados recolhidos (Figura 2.10).

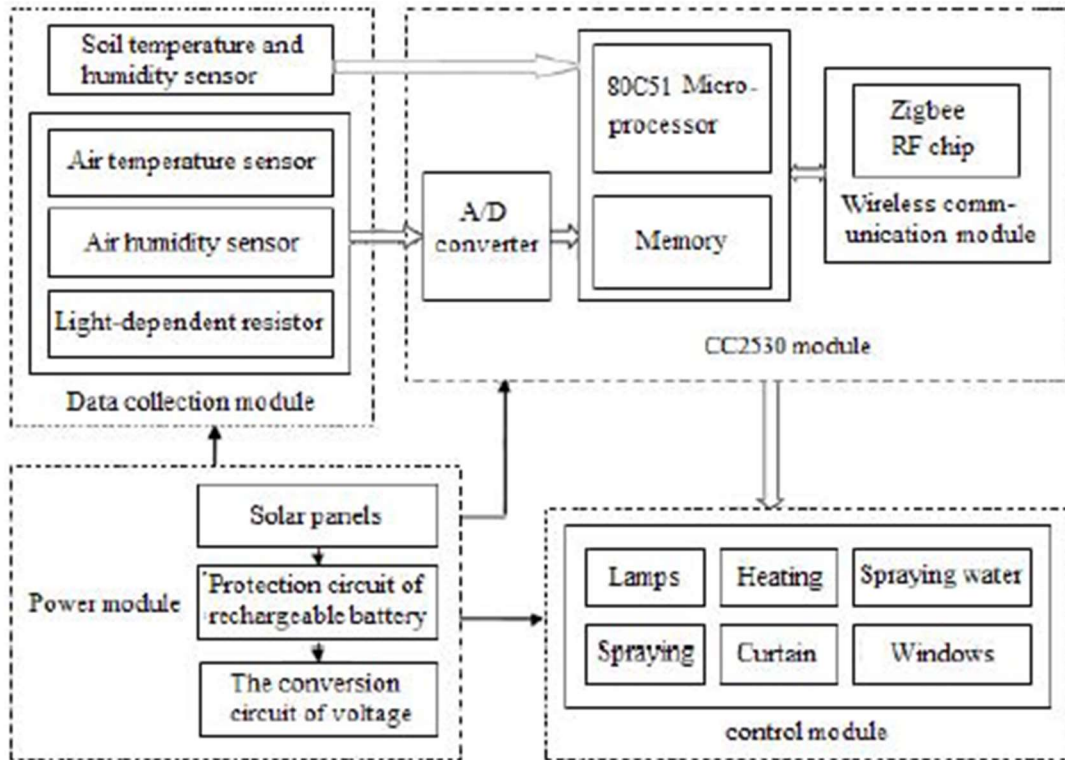


Figura 2.10 - Sistema de monitorização através da tecnologia ZigBee [3]

Dentro da estufa certos equipamentos que fazem com que a estufa tenha as melhores condições como: iluminação, cortinas, janelas, aquecimento e pulverização, são todos controlados de acordo com os dados recebidos dos sensores e se estão de acordo com limites definidos. Quando os dados de um parâmetro ultrapassam os limites, é dada uma ordem pelo módulo da *gateway* ao módulo controle para acionar o equipamento necessário para colocar os valores dos dados dentro dos limites [3].

Outro sistema, mas diferente dos já referidos anteriormente é o controlo e monitorização em que utiliza como técnicas de cultivo a aquaponia e a hidroponia com a técnica NFT. Assim os parâmetros a controlar serão também diferentes dos já referidos, como: o nível de amoníaco, temperatura da água, o pH da água e nível da água do tanque. O nível ideal de pH para plantas e peixes está entre 5,5 - 7,5, enquanto a temperatura ideal pode variar entre 25°C e 33°C [21].

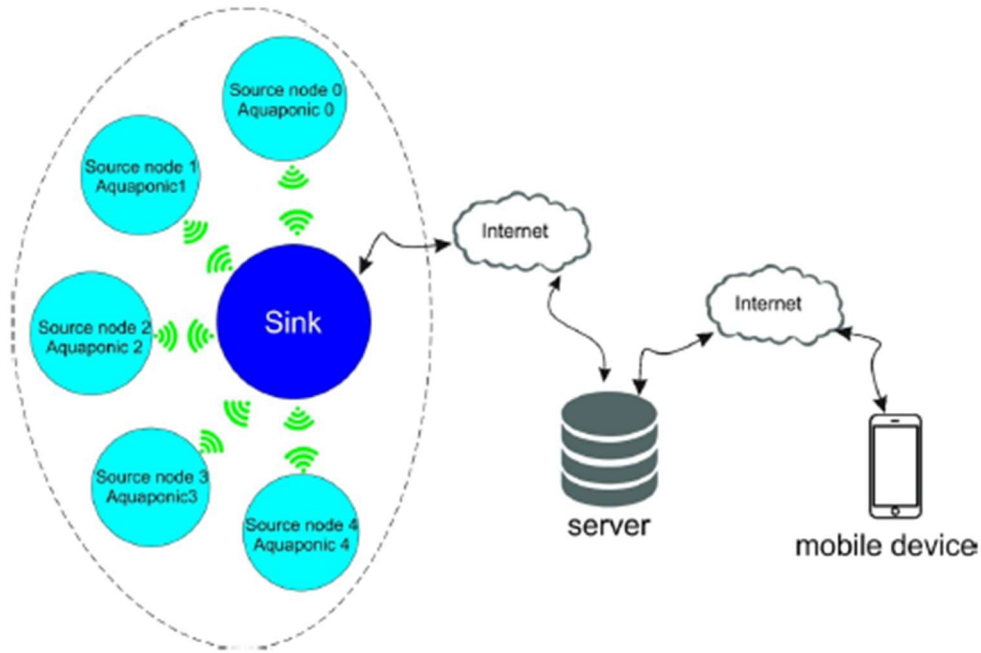


Figura 2.11 - Sistema de controlo monitorização para sistema de aquaponia NFT [21]

O sistema é composto por cinco partes, nó de origem, coletor, base de dados e a aplicação para o controlo e monitorização (Figura 2.11). O nó de origem é onde estão os sensores que recolhem os dados dos parâmetros do tanque e enviam para o coletor. O *hardware* de um nó de origem é composto por um microcontrolador, os sensores para a temperatura da água, nível de amoníaco, pH, nível da água do tanque. Também é constituído por outros equipamentos como motor para alimentar os peixes no tanque, aquecimento ou arrefecimento do mesmo. O módulo nrf24L01 envia os dados dos parâmetros num pacote que contém ID do nó de origem, nível da água, temperatura da água, pH, nível amoníaco e tempo de envio [21].

O nó de origem recebe os dados dos parâmetros em que resulta um *feedback* do coletor ou do *gateway* com os dados dos parâmetros que o utilizador quer no tanque enviados pelo aplicativo móvel. Para que aconteça essa alteração no tanque, o pacote de dados recebidos pelo nó de origem, compara o ID do nó de origem dos dados recebidos com o nó de origem dos sensores, se for igual o sistema envia comandos para realizar alterações no tanque. Se o ID dos nós de origem for diferente o pacote enviado com as informações será ignorado. Os dados dos parâmetros enviados pelo coletor serão usados para o controlo do sistema. Quando os dados de temperatura forem maiores que a referência de temperatura máxima, o sistema ativará o líquido de arrefecimento para reduzir a temperatura da água. Se os dados de

temperatura forem inferiores à temperatura de referência, o sistema ativará o aquecimento para aumentar a temperatura da água [21].

O coletor faz a comunicação com os nós de origem dos sensores para receber os dados dos sensores, o coletor envia todos os dados dos parâmetros para a base de dados do servidor. O coletor também envia para os sensores um *feedback* para que os parâmetros estejam de acordo com os limites. Este coletor é constituído por um microcontrolador atmega 328 integrado com um Arduino nano conectado com o módulo nrf24L01. O servidor da base de dados serve para armazenar os dados dos parâmetros dos sensores e os dados enviados pela aplicação móvel. A base de dados também é usada para mostrar a informação dos parâmetros na aplicação móvel através do protocolo *http*, podendo observar-se todos os parâmetros em tempo real. A base de dados é composta pelo ID, o ID do nó de origem, a temperatura da água, pH, o nível de amoníaco e o nível da água do tanque [21].

Um sistema com a técnica referida anteriormente, hidroponia NTF, a planta utilizada nesta cultura é a alface, os parâmetros a monitorizar pelo sistema são: a temperatura ambiente, a humidade, o nível de pH da solução nutritiva, a condutividade elétrica, a temperatura da água e o nível de água do tanque. Para a alface o valor de pH sugerido é de 6,0 a 6,5 enquanto para a condutividade elétrica é de 0,8 a 1,2 dS/m [22].

Este sistema é constituído por duas estufas de hidroponia, em cada tanque são colocados os sensores para os parâmetros e utiliza a rede de sensores sem fios *Wireless Sensor Network*, para a monitorização do sistema (Figura 2.12). São utilizados cinco sensores para a medição dos parâmetros, um sensor SHT-11 e DHT-22 para a medição da temperatura e humidade do meio ambiente, um sensor para a medição do pH no tanque da água, um sensor para a medição da condutividade elétrica da solução nutritiva no tanque, um sensor DS18B20 para a medição da temperatura da água do tanque e por fim um sensor HC-SR04 para medir o nível da água. Os dados dos parâmetros dos sensores são enviados para um microcontrolador *GBoard pro*, e podem ser observados através do módulo LCD. Em seguida os dados são enviados através do módulo *xbee* para outro módulo *xbee* principal, que envia os dados para o *raspberry pi*. O *raspberry pi* recebe os dados e armazena os dados como servidor de base de dados e está ligado à rede de área local sem fios, em seguida envia os dados para um *server*, para que assim seja possível monitorizar os dados dos parâmetros remotamente [22].

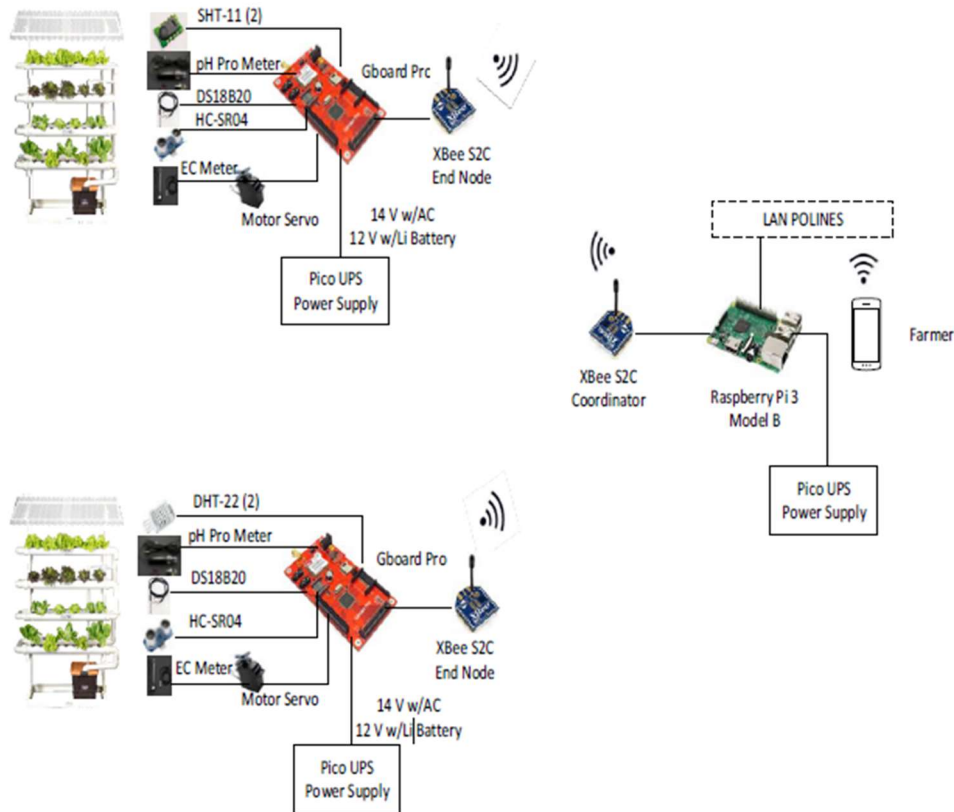


Figura 2.12 - Sistema de monitorização através de Raspberry pi [22]

Com este sistema pode-se monitorizar os dados dos parâmetros remotamente através de um computador ou telemóvel, não sendo possível controlar os parâmetros ou fazê-los variar através de equipamentos ou mecanismos. Outro dado importante neste sistema é o pequeno erro de medição dos sensores de pH e condutividade elétrica, o sensor pH tem um erro de 0,4 e o sensor de condutividade elétrica de 5,1 ms/cm em comparação com os instrumentos de medição [22].

A tecnologia que se reporta a seguir utiliza um Arduino mega e um *raspberry pi 3* para controlo e monitorização de uma estufa, em que esta estufa foi criada para efeitos de teste para o controlo do crescimento de plantas. A estufa utiliza hidroponia com o sistema *deep water culture* (DWC) para o cultivo de alfaces. Os parâmetros a serem controlados nesta estufa são: temperatura ambiente, humidade relativa, solução nutritiva e iluminação [9].

A estufa é constituída por um ventilador para o arrefecimento da mesma, contém uma janela, foi instalada luz artificial para ajudar no crescimento das plantas e também foi colocado um atuador para a criação de névoa para aumentar a humidade relativa na estufa. Os sensores instalados na estufa foram: sensor de temperatura, sensor de humidade e um sensor para a iluminação. O *hardware* do sistema é composto por um Arduino nano onde estão ligados os

sensores e atuadores da estufa, o Arduíno nano é conectado ao *raspberrypi*. O *raspberrypi* tem ligado a si uma câmara que está situada dentro da estufa para a observação do crescimento das plantas, o microcontrolador serve para armazenar os dados dos parâmetros, controlar o ambiente da estufa de modo a garantir as melhores condições de crescimento das plantas. Para o controlo e monitorização do sistema é utilizado o software *experimental physics and industrial control system*, EPICS. Também permite que através de uma interface gráfica seja possível monitorizar os parâmetros da estufa, esta interface foi criada através do *software control system studio*. Através da câmara instalada na estufa é feito o processamento de imagem para a medição do peso da planta [9].

De seguida discute-se um modelo desenvolvido para o controlo da temperatura e da humidade de uma estufa devido às variáveis do meio ambiente. O modelo de controlo da temperatura é efetuado através de um modelo linear de tempo contínuo onde incorpora todas as variáveis como a radiação solar refletida na estufa, janela com abertura e os atuadores. O modelo para o controlo da humidade é mais complicado devido à dependência da humidade em relação à temperatura do ar, assim foi utilizado o método heurístico para o modelo. Também para o arrefecimento da estufa foi criada uma arquitetura para controlar a abertura da janela com o comando de arrefecimento da estufa, com a janela a ser acionada e em seguida o equipamento de arrefecimento. O estudo neste sistema [9] também teve como objetivo a otimização do crescimento das alfaces, e essa otimização foi realizada através de expressões matemáticas para criação de modelos que melhoram o desenvolvimento das plantas e a função para o modelo é a função logística. Assim foi criado um modelo logístico para as plantas, que através do modelo descreve o crescimento das plantas. Com o modelo do crescimento das plantas efetuado pode-se adotar estratégias para um controlo do crescimento das plantas ideal e de maneira otimizada [9].

As tecnologias existentes para o controlo e monitorização dos parâmetros de uma estufa são vastas [23], [24], [25]. Por fim, um sistema de controlo e gestão de uma estufa com técnica de hidroponia, em que é utilizada a *Internet of Things* para o controlo dos parâmetros [26]. Os parâmetros que são monitorizados são: temperatura ambiente, humidade relativa, condutividade elétrica, pH e o nível de água dos tanques. O sistema é composto por sensores, sensores com a fusão dos dados e o resultado dos dados dos parâmetros. Assim o tanque 1 contém um sensor para o controlo do nível da água do tanque e um atuador, uma válvula para encher o tanque, o sistema tem um segundo tanque com os mesmos componentes. Outros sensores do sistema são: um sensor de temperatura e humidade, um sensor para o pH, um sensor para a condutividade elétrica, e também um sensor de transmissão e receção sem

fios (Figura 2.13). Para o controlo da humidade é utilizado uma válvula para limitar os valores na estufa.

No tanque 1 o sensor1 envia o nível da água e o sensor2 o estado da válvula solenoide para um sensor de fusão dos dados. Assim neste módulo se o nível da água do tanque é inferior ao limite, é dado um comando para a abertura da válvula para repor o nível da água. E o sensor de fusão pode desligar a válvula solenoide quando o nível da água estiver dentro dos limites. O nível da água do tanque 2 é realizado da mesma maneira do que o tanque 1. A temperatura e humidade é controlada através do sensor SHT31 e contém uma válvula que controla os níveis de humidade e temperatura consoante os limites pressupostos. O sensor de transmissão e receção sem fios serve para saber o seu estado, que garante se a bomba da solução nutritiva tem energia ou não, garantindo quando o estado está desligado, o sensor de fusão de dados envia um lembrete ao utilizador através da aplicação móvel. O sensor de pH e o sensor de condutividade elétrica podem medir os valores dos tanques para controlar a solução nutritiva adequada às plantas. Depois os sensores de fusão de dados, enviam os parâmetros para um base de dados, que armazena os dados dos parâmetros de cada tanque [26].

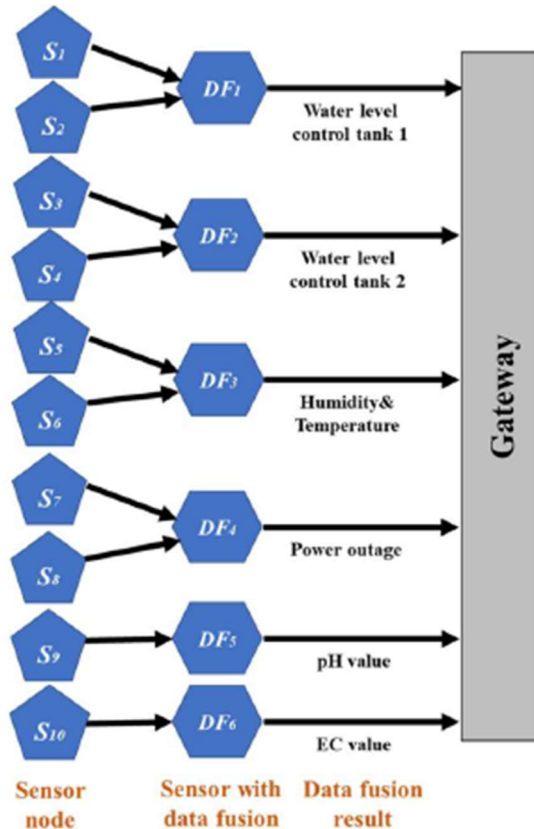


Figura 2.13 - Sistema de monitorização e controlo dos tanques de água [26]

A monitorização e controlo dos dados é feita através de uma página *web*, na qual se pode observar o histórico dos dados e fazer o seu *download*. Também é possível através da aplicação móvel observar os dados dos parâmetros, como: temperatura e humidade em que pode ser feito um controlo automático ou manual, em que se for automático quando a temperatura do ar atinge valores acima de 35°C ou a humidade relativa do ar estiver abaixo de 25% a válvula liga automaticamente. Para definir o nível de água dos tanques, os utilizadores devem inserir a altura, largura e comprimento para que seja calculado o volume através do sistema. Os sensores de pH e condutividade elétrica são equipamentos que necessitam de baterias com maior capacidade, sendo assim necessárias baterias de maior dimensão [26].

2.5. Energias Renováveis

O sistema que consta na Figura 2.14. é um sistema sustentável desenvolvido para a produção de plantas através de técnicas de hidroponia e aquaponia, em que as energias renováveis têm um papel importante no desenvolvimento do sistema. Este sistema junta a produção de energia através dos painéis fotovoltaicos que alimenta as bombas e outros equipamentos, e o aquecimento da água através de coletores solares térmicos que aquece a água dos tanques que circula pelo sistema hidropónico.

Este sistema é um protótipo desenvolvido para áreas empobrecidas na África do Sul, em que foi plantado para teste alface verde e vermelha, espinafre perpétuo, tomate cereja, acelga e rúcula. A África do Sul tem um alto nível de radiação solar, assim tem um grande potencial para sistemas solar térmicos, sendo que para sistemas fotovoltaicos o excesso de calor pode diminuir a eficiência dos painéis fotovoltaicos [27].

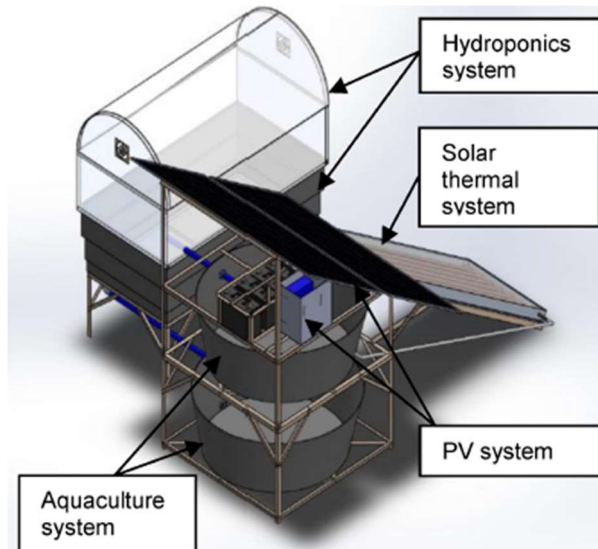


Figura 2.14 – Protótipo para produção de plantas através da hidroponia sustentável [27]

A água dos tanques circula pela tubagem para o sistema de hidroponia através de bombas que são alimentadas pelo sistema fotovoltaico. A energia fotovoltaica produzida pelo sistema é armazenada em baterias de chumbo-ácido, que permite utilizar a energia armazenada à noite ou em situações que o sistema fotovoltaico não consegue garantir produção suficiente. A carga e descarga das baterias é controlada por um controlador de carga que garante uma melhor utilização da carga das baterias e protege a vida útil das baterias. No sistema também foi necessário incorporar um inversor para conseguir alimentar as bombas em corrente alternada [27].

Os testes experimentais efetuados mostram que em quatro semanas as plantas obtiveram crescimentos significativos desde alface verde e vermelha a todas as outras plantas cultivadas, tendo resultados superiores aos que as plantas teriam se fossem cultivadas no solo. O tempo que as plantas dentro da estufa demoram para ser colhidas é menor que no exterior, sendo que estas plantas foram colhidas passados 35 dias algo que não acontecia em outros ambientes normais de cultivo. Outros dados verificados foram os resultados do sistema fotovoltaico para produzir energia elétrica, tendo situações em que o sistema fotovoltaico não consegue produzir energia suficiente para os consumos existentes, de modo contínuo, para fazer circular a água entre os tanques e o sistema de hidroponia [27].

A biomimética no contexto atual no plano das energias renováveis, consiste numa ciência que procura soluções sustentáveis para os desafios humanos ao imitar padrões e estratégias compatíveis com a natureza.

O conceito é recorrer à natureza para a resolução dos problemas atuais. Desde o início da

origem da vida no planeta Terra, a natureza tem vindo a adaptar-se de maneira eficiente às mudanças climáticas, de uma forma limpa e sustentável, produzindo o que necessita. Animais, plantas e micróbios são os “engenheiros” que ao longo de bilhões de anos de desenvolvimento adaptaram-se ao meio ambiente que os rodeia [28].

A propensão da “energia bio inspirada” visa melhorar a eficiência energética em três áreas principais:

- produção de energia;
- armazenamento de energia;
- fornecimento de energia.

A exigência de uma maior produção e armazenamento de energia existe desde a revolução industrial. O meio ambiente foi-se adaptando e desenvolvendo técnicas para a recolha e armazenamento otimizados de energia em ambientes específicos por bilhões de anos. Há uma infinidade de processos que existem no mundo natural que podem ajudar a desenvolver técnicas mais eficientes e sustentáveis para produzir, transformar, fornecer e usar energia [28].

3. Caracterização do Caso de Estudo - Estufa

Neste capítulo realiza-se a caracterização da estufa para a produção de plantas, assim como uma análise de consumos energéticos tendo-se concebido o diagrama de cargas. Analisa-se a área da climatização da estufa (aquecimento e arrefecimento), que é uma faceta inerente ao cultivo das plantas em ambiente controlado, para uma maior sustentabilidade energética e eficiência global deste processo.

3.1. Caracterização da Estufa

A estufa em que foi realizado o presente estudo está localizada no Campus 2 do IPL, Instituto Politécnico de Leiria, tem um comprimento de 15 metros e largura de 10 metros, totalizando uma área total de 150 m². Na estufa são utilizadas técnicas de cultura de aquaponia e pontualmente de hidroponia de pequena escala em estudos científicos específicos (ver Figura 3.1). No seu interior existem 3 linhas aquapónicas, cada uma com um tanque para peixes (peixes gato e barbo), um filtro com sedimentador troncocónico, um biofiltro, uma cama hidropónica DWC e um reservatório de contenção SUMP. A água flui por gravidade do tanque dos peixes para o filtro, onde são filtrados os sólidos de grandes dimensões, cuja limpeza é realizada automaticamente e periodicamente com auxílio de um motor e uma bomba de água; a água da limpeza é enviada para o sedimentador troncocónico. A água filtrada flui subsequentemente para um biofiltro, que contém biobolas que permitem o crescimento de microrganismos nitrificantes entre outros, que ajudam a mineralizar nos nutrientes tornando-os biodisponíveis para as plantas. Do biofiltro a água flui para a cama de hidroponia com tubos de arejamento e no final a água é recolhida no reservatório SUMP. A água depois volta ao tanque dos peixes através de uma bomba de água. O sistema funciona em ciclo, mas com pequenas perdas de água. De referir, que no tanque da linha 3 estão instalados 5 aquecedores com termostato de 300W para aquecimento da água dos peixes gato.



Figura 3.1 - Linhas aquapônicas na estufa

Neste momento, as culturas que estão plantadas são: tomateiros (tomate-cereja e tomate-chucha), hortelã, morangueiros, malaguetas e salsa na linha 1, na linha 3 contém duas variedades de canónigos, que é uma espécie de planta herbácea da família Valerianaceae que se utiliza para alimentação, crua, geralmente como salada ou acompanhamento [29]. Também contém duas variedades de salsa e duas variedades de rúcula nas camas de hidroponia; a rúcula é um vegetal da mesma família da mostarda, dos brócolos e do agrião. É uma planta originária da região do Mediterrâneo, adapta-se a clima fresco. É rica em fibras o que auxilia e facilita a digestão e o funcionamento do intestino [30].



Figura 3.2 - Nova linha de produção de plantas na estufa

Em termos de controlo climático da estufa, o sistema atual é precário, sendo constituído por duas longas janelas laterais de abertura vertical não automatizada, que permitem a circulação passiva de ar. O facto de as janelas terem de ser abertas e fechadas manualmente gera grandes constrangimentos na manutenção de condições climáticas ideais. O sistema atual recorre também ao uso de tela verde de ensombramento, colocada e fixada internamente para reduzir o excesso de radiação e dentro do possível a temperatura do ar interior nas fases mais quentes do ano (ver Figura 3.2).

3.1.1. Atuadores, Sistemas de Ventilação, Aquecimento e Sombreamento

Numa estufa é necessário fazer circulação de ar, para que as culturas estejam sujeitas a uma temperatura ambiente adequada ao seu crescimento, sendo que existem culturas com diferentes tipos de temperatura ambiente para o seu crescimento.

Assim através deste subcapítulo pretende-se apresentar sistemas e mecanismos que se podem usar no caso de estudo, por forma a controlar a temperatura ambiente.

Existem dois grandes tipos de sistemas de ventilação: ventilação natural e ventilação forçada. Os sistemas de ventilação natural consistem em janelas laterais e/ou superiores que podem ser abertas em diferentes ângulos. O ar move-se devido a diferenças de pressão que podem ser causadas pelo vento no exterior da estufa, ou devido ao movimento ascendente do ar

quente no interior (convecção térmica). A abertura/fecho das janelas é efetuada através da utilização de um motor e o ângulo de abertura é determinado por um controlador em função das variáveis climatéricas na estufa [31]. Através da ventilação natural não existe um grande aumento dos consumos de energia, já que os motores para abertura das janelas não serão de uma potência muito elevada.

Os sistemas mecânicos usam ventiladores elétricos para forçar o movimento do ar. Os ventiladores são, geralmente, de grande diâmetro e baixa velocidade. Existem várias estratégias para a colocação e utilização dos ventiladores. A estratégia mais simples consiste em colocar um ventilador na zona superior de uma parede da estufa ou até mesmo na cobertura para expelir o ar para o exterior, obrigando ar exterior a entrar através de aberturas nas laterais [31]. No caso dos ventiladores, os sistemas mecânicos devem ser dimensionados com a potência adequada ao tamanho da estufa, de modo a conseguir obter uma boa circulação do ar. E o consumo de energia relativa a estes ventiladores pode ter um grande impacto no aumento das cargas de uma estufa.

Existe uma grande diversidade de fontes de energia geradoras de calor para as estufas agrícolas: combustão de combustíveis fósseis, biomassa, madeira ou palha, energia geotérmica, energia solar, calor proveniente da indústria ou eletricidade. No entanto existem, atualmente, apenas duas formas de distribuir esse calor dentro da estufa: distribuição por ar ou por água. Apesar da grande diversidade de sistemas geradores de calor, aqueles que mais se utilizam atualmente ainda são os sistemas por combustão. Isto porque a combustão de combustíveis fósseis ou biomassa resulta numa grande energia térmica para o sistema, ao contrário dos outros sistemas [31]. A combustão de biomassa tem a vantagem de ser uma fonte de energia renovável e limpa, tendo em conta o panorama do aquecimento global e os esforços de aumentar a produção de energia renovável.

Nos sistemas com aquecimento por ar este é aquecido num gerador de combustão direta ou indireta (com permutador de calor). A diferença entre os dois é que no primeiro caso o ar é aquecido por combustão e injetado diretamente na estufa enquanto no segundo caso a combustão ocorre numa câmara isolada com escape, aquecendo o ar que será injetado na estufa quando este passa por um permutador de calor. Um ventilador empurra o ar quente para o sistema de distribuição que consiste em mangas de plástico perfurado colocadas junto às culturas. Quando a distribuição é efetuada por água, esta é aquecida numa caldeira e conduzida pela estufa através de um sistema de tubagens. A estufa aquece por transferências térmicas entre as tubagens com água quente e o ar. A água pode circular nas tubagens devido

ao desnível entre a caldeira e a distribuição, ou pode ser bombeada por motores elétricos [31].

Os sistemas de sombreamento baseiam-se em telas que podem ser estendidas ou recolhidas por um motor. Na maioria dos casos pretende-se que as telas estejam completamente estendidas ou recolhidas para evitar que zonas da plantação cresçam mais que outras. Por este motivo costuma ser suficiente a inclusão de sensores de final de curso, dispensando um controlo em malha fechada visto que não é necessário saber a posição da malha durante o seu movimento (mas apenas quando é atingida uma das extremidades) [31]. Com os sistemas de sombreamento consegue-se controlar a radiação solar sobre as plantas e também a temperatura ambiente.

3.2. Análise de Consumos

Para se encontrar as melhores soluções em termos de redução de consumos e eficiência energética, tornando a estufa mais eficiente e sustentável, é fundamental em primeiro lugar conhecer e caracterizar os seus consumos energéticos. Que através dessas soluções a estufa possa ter uma melhor produção e um equilíbrio dos consumos.

Inicialmente instalou-se um analisador de energia da marca Chauvin Arnoux e modelo C.A 8334B no quadro elétrico da estufa, (ver Figura 3.3), durante um período de 21 dias, 7 maio 2019 a 27 maio 2019 com período de amostragem de 15 minutos, para fazer uma análise dos consumos da instalação. Através da recolha dos dados foi criado um diagrama de carga, representação gráfica da carga em função do tempo, que mostra os consumos de energia, podendo assim analisar-se a variação e os picos de consumo de energia na instalação.

Sendo o quadro elétrico da estufa trifásico, um aspeto que se verificou foi a distribuição das cargas pelas fases. Notou-se que a maioria das cargas estão ligadas a uma fase tendo as outras pequenas cargas. Assim, devia-se ter uma distribuição das cargas uniforme pelas fases.

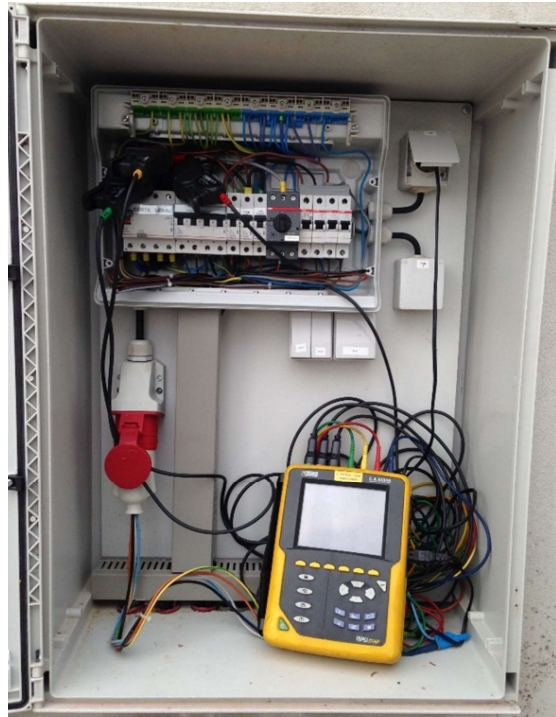


Figura 3.3 - Instalação do analisador de energia

Na estufa foi realizado um levantamento dos equipamentos consumidores de energia elétrica e suas potências de modo a obter uma ideia das cargas instaladas na estufa (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Cargas da Estufa

Equipamentos Consumidores	Quantidade	Potência Nominal (W)	Total (W)
Bomba de Injeção de Água	3	550	1650
Bomba de Ar Comprimido	8	50	400
Bomba do Filtro	3	40	120
Bomba de Circulação da Água	3	100	300
Aquecedores com Termóstato	5	300	1500
Iluminação	9	18	162

Na Figura 3.4 pode-se observar que existem picos de consumo de energia, com valores de 2,1kW. Outro facto importante é que as cargas da estufa são praticamente todas monofásicas e a maior parte das cargas está em funcionamento continuamente.

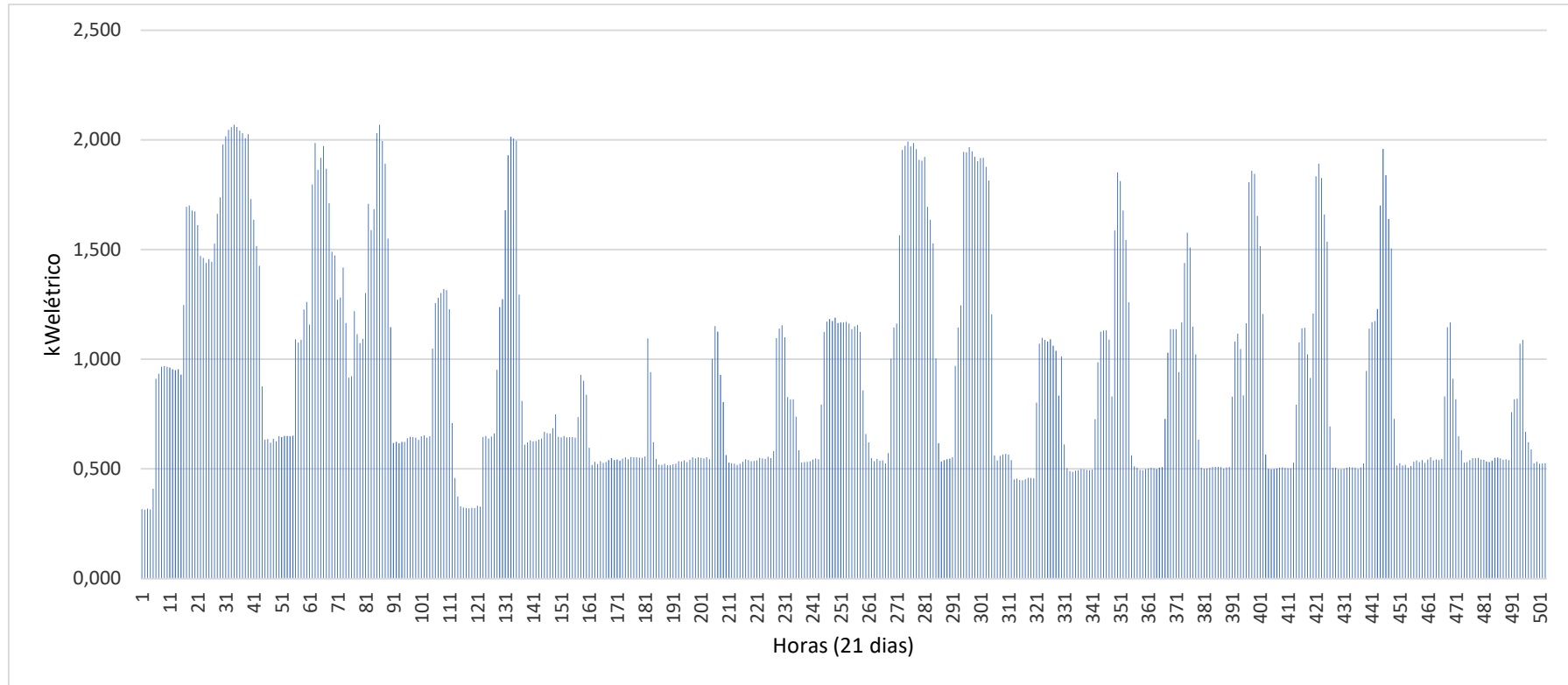


Figura 3.4 - Diagrama de carga da instalação

Na Figura 3.5 pode-se observar as cargas diárias, constatando-se variações significativas das cargas ao longo dos dias, desde valores mínimos de 0,58kW a máximos de cerca de 1,37kW.

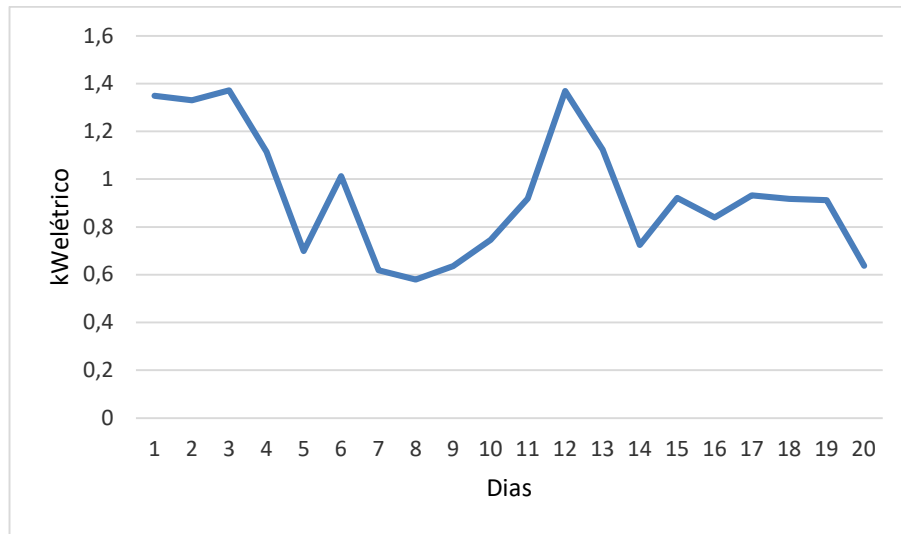


Figura 3.5 - Carga diária da instalação

Foram efetuados gráficos dos consumos elétricos para cada dia, Figura 3.6, e como se pode constatar, os maiores consumos normalmente ocorriam durante a noite. Assim, foi necessário identificar quais eram as cargas que podiam aumentar significativamente o consumo nesses horários, tendo-se detetado que as cargas eram relativas ao funcionamento do sistema de limpeza do filtro e aos aquecedores com termostato usados no aquecimento da água do tanque dos peixes da linha aquapónica 3.

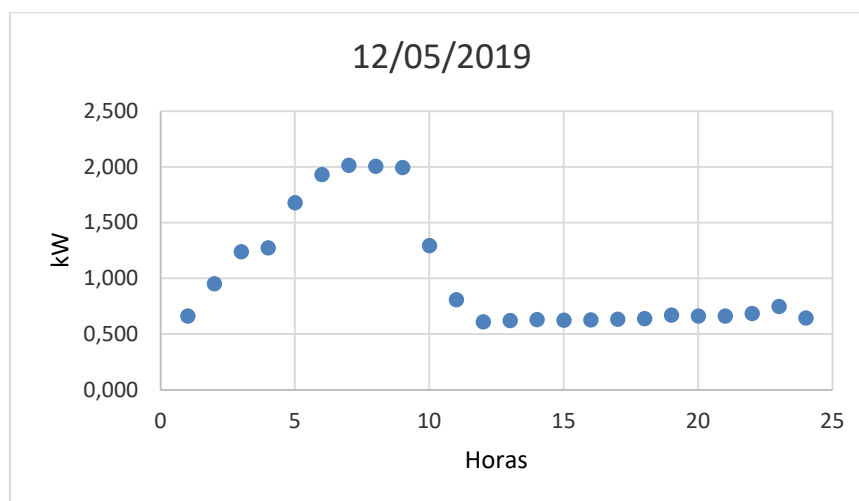


Figura 3.6 - Consumo diário 12/05/2019

◀ Dia anterior		12 de maio de 2019				dia seguinte ▶				
Estação meteorológica: MONTE REAL a 11,9km de Leiria Localização da estação: Lat 39.833 Lon -8.883 Altitude 54m										
Hora	Temperatura	Temperatura Relativa	Vento	Rajada de Vento	Hum. relativa	Ponto de Orvalho	Pressão	Ícone	Descrição	⌵ Detalhes
00:00	15°C	15°C	Variável em 2 Km/h	N/A	88%	13°C	1020,0mb		Limpo	
01:00	14°C	14°C	Variável em 2 Km/h	N/A	94%	13°C	1020,0mb		Limpo	
02:00	13°C	13°C	6 Km/h	N/A	94%	12°C	1020,0mb		Limpo	
03:00	13°C	13°C	8 Km/h	N/A	94%	12°C	1020,0mb		Limpo	
04:00	12°C	12°C	4 Km/h	N/A	100%	12°C	1020,0mb		Limpo	
05:00	12°C	12°C	4 Km/h	N/A	94%	11°C	1019,0mb		Limpo	
06:00	11°C	11°C	7 Km/h	N/A	100%	11°C	1019,0mb		Limpo	
07:00	12°C	12°C	7 Km/h	N/A	94%	11°C	1019,0mb		Limpo	
08:00	17°C	17°C	11 Km/h	N/A	64%	10°C	1020,0mb		Limpo	
09:00	21°C	21°C	13 Km/h	N/A	46%	9°C	1020,0mb		Limpo	
10:00	25°C	24°C	19 Km/h	N/A	30%	6°C	1020,0mb		Limpo	
11:00	27°C	26°C	20 Km/h	N/A	23%	4°C	1020,0mb		Limpo	
12:00	28°C	27°C	24 Km/h	N/A	21%	4°C	1020,0mb		Limpo	
13:00	30°C	28°C	22 Km/h	N/A	22%	6°C	1020,0mb		Limpo	
14:00	30°C	28°C	24 Km/h	N/A	22%	8°C	1019,0mb		Limpo	
15:00	31°C	29°C	19 Km/h	N/A	19%	5°C	1019,0mb		Limpo	
16:00	32°C	30°C	15 Km/h	N/A	21%	7°C	1018,0mb		Limpo	
17:00	32°C	30°C	9 Km/h	N/A	18%	6°C	1018,0mb		Limpo	
18:00	32°C	30°C	9 Km/h	N/A	18%	5°C	1018,0mb		Limpo	
19:00	32°C	30°C	7 Km/h	N/A	18%	5°C	1017,0mb		Limpo	
20:00	30°C	29°C	Variável em 4 Km/h	N/A	31%	11°C	1018,0mb		Limpo	
22:00	26°C	28°C	9 Km/h	N/A	34%	9°C	1018,0mb		Limpo	
23:00	23°C	23°C	Calmo	N/A	50%	12°C	1019,0mb		Limpo	

Figura 3.7 - Condições de temperatura 12/05/2019

Os aquecedores com termostato usados no aquecimento do referido tanque têm uma potência de 300W, entravam em funcionamento quando a temperatura descia abaixo dos 21°C. Após analisadas as temperaturas dos dias da medição e comparadas com os consumos elétricos, foi possível verificar que quando os consumos aumentavam para os seus picos, as temperaturas ambientes eram baixas ou o tempo estava nublado. Portanto, os picos de consumo elétrico estão coerentes com as temperaturas ambientes e por conseguinte com o expectável período de funcionamento dos aquecedores para aquecimento da água.

Optou-se por voltar a instalar o analisador de energia no quadro elétrico da estufa para retirar mais dados dos consumos, durante um período de 13 dias, de 12 fevereiro 2020 a 25 fevereiro 2020 com período de amostragem de 1 minuto, para fazer uma análise dos consumos da instalação noutra estação do ano. Através da recolha dos dados foi criado um diagrama de carga (Figura 3.8), para observar as diferenças entre os consumos dos dados recolhidos anteriormente.

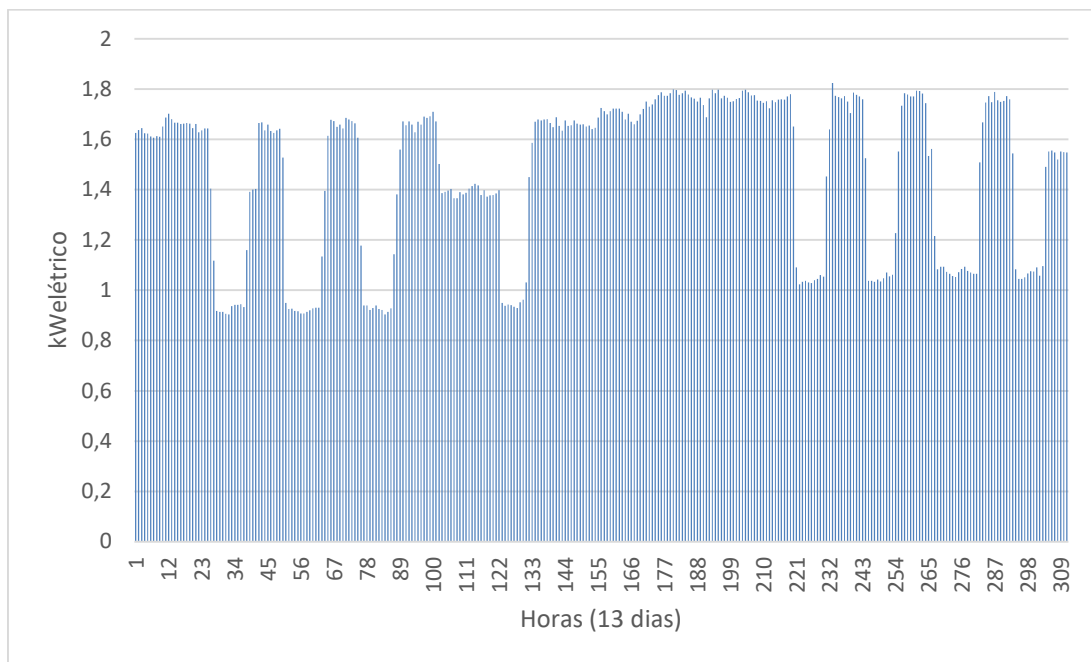


Figura 3.8 - Diagrama de carga do mês de fevereiro

Através da análise entre os consumos recolhidos inicialmente e os consumos finais pode-se verificar que a potência de pico é ligeiramente menor, 1,82kW, mas os consumos são maiores. Isto deve-se a maior quantidade de cargas em funcionamento, nomeadamente porque as linhas aquapónicas 1 e 2 foram colocadas em funcionamento pleno. O diagrama da Figura 3.9 mostra os consumos diários onde se pode observar uma regularidade dos consumos, que variam entre 1,24kW e 1,78kW.

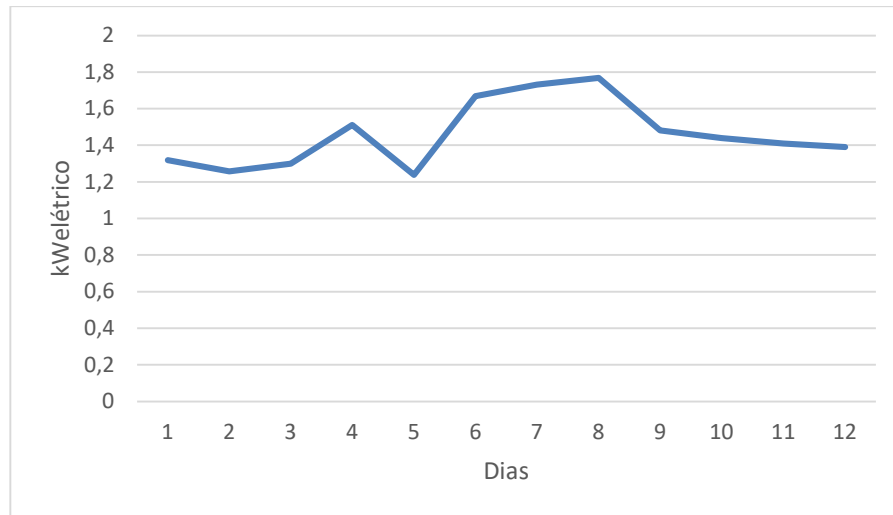


Figura 3.9 - Cargas diárias da instalação

Depois da análise dos consumos de energia da estufa pode-se concluir que os equipamentos da estufa são utilizados continuamente, em que não pode haver interrupção de funcionamento se não afetam as culturas plantadas. E tem um aumento dos consumos de energia quando utilizados os aquecedores com termostato, usados no aquecimento da água do tanque dos peixes.

4. Modelo Energético, Monitorização e Visualização

Neste capítulo descrevem-se as etapas do dimensionamento de um sistema de produção de energia elétrica, tecnologia fotovoltaica, para este caso de estudo e de acordo com dois cenários de funcionamento: autoconsumo e em rede isolada. Será apresentado um protótipo do sistema de monitorização ambiental da estufa, com o objetivo de realizar a monitorização de parâmetros relativos ao processo de crescimento das plantas e disponibilização da sua visualização remota através da Internet ou aplicativo móvel, na perspetiva de melhoria dos métodos de gestão deste caso de estudo.

4.1. Conceção, Simulação e Projeto de Protótipo

A partes principais do modelo desenvolvido estão representadas de seguida (Figura 4.1), sendo que para já se apresenta a metodologia de conceção do sistema fotovoltaico para se ter um processo autónomo e mais sustentável na energia elétrica.

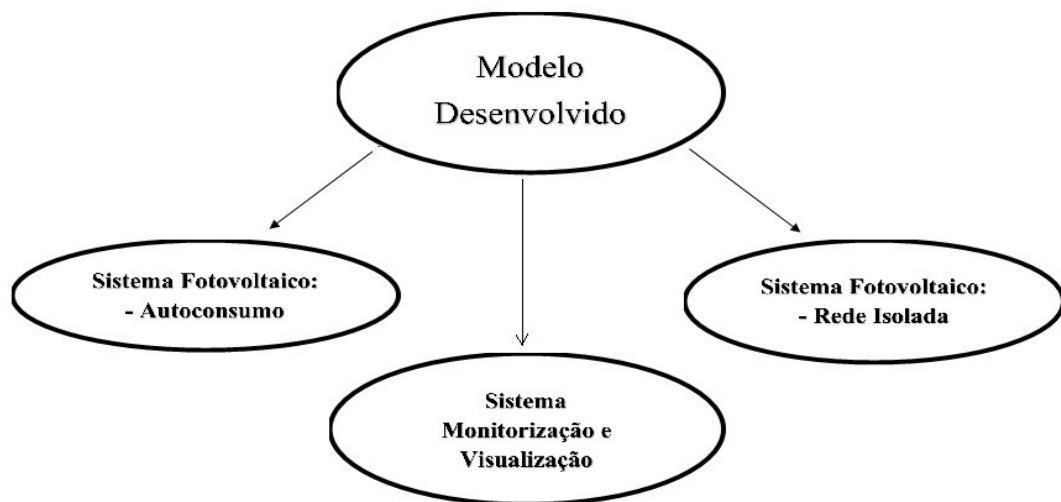


Figura 4.1 - Modelo Desenvolvido

Posteriormente será apresentado o desenvolvimento de um sistema de monitorização e visualização dos parâmetros dentro da estufa como a temperatura ambiente, humidade relativa e outros de relevância para o sistema aquapónico.

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico num cenário de autoconsumo e rede isolada foi feita uma simulação através dos *softwares PVsyst e Sunny Design*. O *software PVsyst* é específico para simular o desempenho de sistemas fotovoltaicos, é um dos softwares mais antigos existentes no mercado mundial para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. O

Sunny Design é um software também para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos onde se pode observar o desempenho do mesmo consoante a informação disponibilizada. É um software moderno com os componentes mais recentes do mercado e também permite fazer o dimensionamento dos cabos.

Para o sistema de monitorização será realizado um protótipo para instalar no caso de estudo, a estufa. Este protótipo será elaborado através de várias etapas que serão abordadas mais à frente.

4.2. Projeto do Sistema Fotovoltaico

O planeamento de uma instalação fotovoltaica segue uma metodologia bem sistematizada que se divide em 4 etapas fundamentais [32]:

1. A primeira etapa visa o estudo da envolvente, económica, legal e geográfica. As características do local, e o regime em vigor para o tipo de exploração pretendida, são fatores decisivos para a correta avaliação do projeto.
2. A segunda etapa está relacionada com o dimensionamento dos componentes do sistema. Esta centra-se na escolha dos equipamentos adequados, conceção do sistema e dimensionamento dos inversores e respetivos cabos de ligação.
3. Na terceira etapa considera-se o tipo de ligação à rede. Nesta fase, tem de se ter em conta, de acordo com a potência instalada, o tipo de interligação entre o sistema de produção elétrica e a rede. A decisão baseia-se, na escolha do nível de tensão, como a eletricidade é injetada na rede (Baixa Tensão – BT ou Média Tensão – MT) e quais os meios necessários para que os requisitos tarifários e de segurança sejam respeitados.
4. A quarta e última etapa resultam no cálculo da viabilidade económica. O estudo do desempenho do sistema na conversão energética, associado ao sistema tarifário aplicado na altura, traduz a rentabilidade financeira do projeto. Com base neste estudo é possível, a partir da quantidade de energia injetada na rede durante o tempo de vida útil do sistema fotovoltaico, planificar o tipo de investimento, avaliar a sua viabilidade, e estimar o tempo de retorno desse investimento.

4.3.Trabalho de Campo no Caso de Estudo

Para se poder começar a planear um sistema fotovoltaico, tendo em vista o seu posterior dimensionamento e avaliação económica, é fundamental conhecer bem o local da instalação. A visita ao local da instalação permite efetuar uma avaliação prévia sobre as condições básicas existentes, que poderão levar desde logo a uma indicação mais ou menos favorável sobre a instalação de um sistema fotovoltaico. Um dos passos iniciais consiste em reconhecer se as coberturas ou o espaço em volta da instalação, são ou não apropriadas à colocação de um sistema fotovoltaico, como também a verificação da área útil disponível [32].

É necessário ainda caracterizar os trabalhos necessários para a instalação dos painéis fotovoltaicos, como a identificação do espaço adequado para a localização do inversor, e o traçado da rede da cablagem do sistema [32].

Neste contexto, essas condições passam pela verificação e registo dos seguintes dados:

- Verificação da orientação azimutal, e inclinação das estruturas disponíveis à colocação do sistema fotovoltaico;
- Formato da cobertura, características da estrutura e subestrutura;
- Verificação dos valores de irradiação e temperatura do local;
- Acesso e condições de trabalho, no decorrer da instalação;
- Localização do ponto de interligação com à rede elétrica;
- Verificação e recolha de dados que facilitem o estudo da existência de sombreamentos;
- Comprimento dos cabos, rede de cablagem e método de implantação da canalização elétrica.

4.4.Sistema Fotovoltaico: - Cenário Autoconsumo

Neste subcapítulo realiza-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico de autoconsumo para o caso de estudo, através do software *PVsys* e do *Sunny Design*. O sistema fotovoltaico de autoconsumo consiste na produção de energia elétrica para abastecer as necessidades do consumidor e a energia elétrica excedente pode ser injetada na rede elétrica.

4.4.1. Escolha dos Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico que se utilizou para o projeto, é da marca *Suntech* do tipo policristalino com uma potência de 240Wp, e tem uma eficiência de 14,8%; todas as características específicas podem ser consultadas no anexo A.

4.4.2. Orientação

O sistema fotovoltaico que se dimensionou (Figura 4.2) foi um sistema fixo com uma inclinação de 33° e com azimute de 2° em que estes valores foram obtidos na página do *PVGIS*. Com estes valores verificou-se o sombreamento nos painéis fotovoltaicos, tendo-se visualizado uma grande área sombreada. Assim, calculou-se a melhor orientação para o sistema fotovoltaico naquela localização, inclinação 33° e azimute -51°.

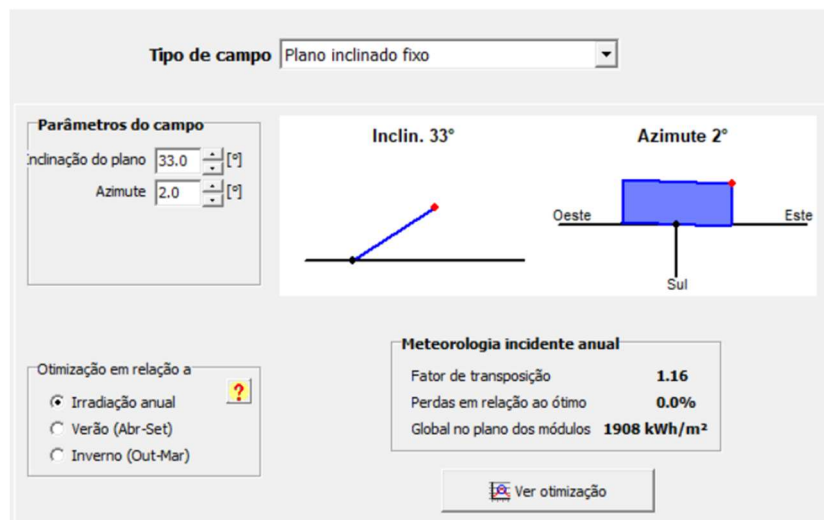


Figura 4.2 - Dimensionamento da Inclinação e Azimute do sistema de autoconsumo

4.4.3. Irradiação Solar

Os dados da irradiação solar do local do projeto, Campus 2 do IPL, Instituto Politécnico de Leiria, foram obtidos através da página *PVGIS*, na internet. Assim introduziu-se os dados da irradiação solar de todos os meses no software *PVsys* (Figura 4.3).

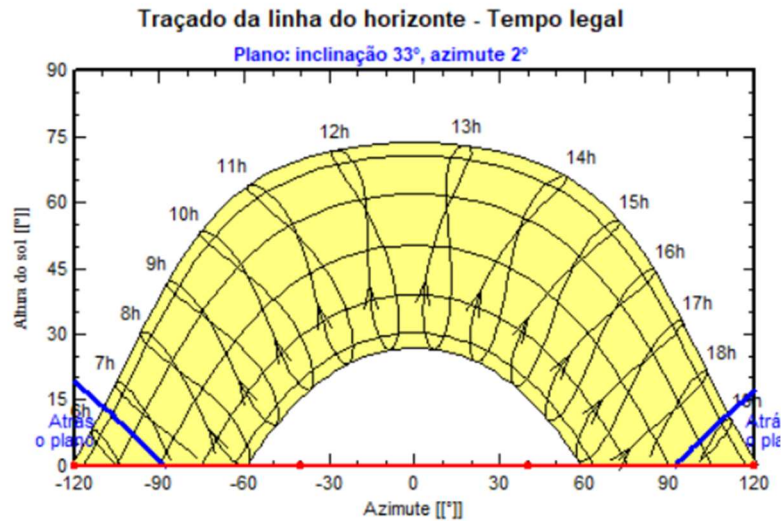


Figura 4.3 - Altura do Sol do local do projeto

4.4.4. Coberturas Disponíveis para a Instalação do Sistema

Os espaços disponíveis para a instalação do sistema fotovoltaico que contêm as melhores condições são localizados atrás da estufa ou ao lado da mesma, sendo que o espaço é limitado (ver Figura 4.4).



Figura 4.4 – Visualização da estufa e do espaço envolvente

Assim, a solução que se optou para o sistema fotovoltaico está apresentada na Figura 4.5, em que o sistema fotovoltaico foi colocado atrás da estufa.

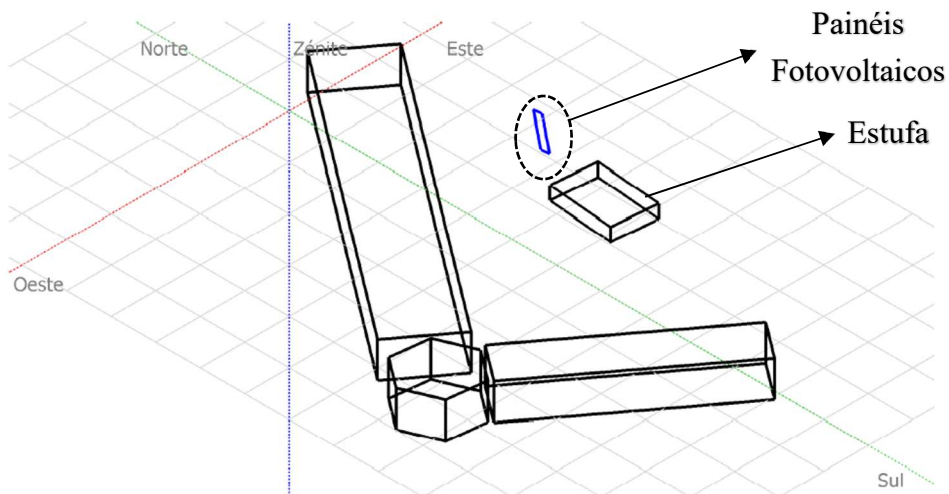


Figura 4.5 – Perspetiva do sistema de autoconsumo

4.4.5. Dimensionamento dos Inversores

Para o dimensionamento dos inversores do sistema escolheu-se o inversor da SMA *Sunny Boy 3600TL* com uma tensão de funcionamento de 175 – 500V e uma potência de saída de 3,68 kW, todas as características do inversor pode-se observar no anexo C. Assim com software *PVsys* calculou-se o sistema para esses dados (Figura 4.6).

Configuração global do sistema		Sumário do sistema global	
1	Número de tipo de sub-grupos	Número de módulos	16
Esquema simplificado		Superfície módulos	26 m ²
		N.º de inversores	1
		Potência FV nominal	3.8 kWp
		Potência máxima FV	3.5 kWdc
		Potência AC nominal	3.7 kWac

Grupo FV		Ajuda para o dimensionamento	
Nome e orientação do sub-grupo		<input type="radio"/> Sem pré dim. Introduza Pnom desejado 2.1 kWp	
Nome	Grupo FV	<input type="radio"/> Resize superfície disponível(módulos) 15 m ²	
Orient.	Plano inclinado fixo		
Inclinação	33°		
Azimute	-51°		

Seleção do módulo FV		Número aproximado de módulos necessários	
Disponíveis	Filter All PV modules	9	
Suntech	240 Wp 25V Si-poly STP 240-20/Wd Since 2013 Suntech Europe 20	Abrir	
Dimens. das tensões ;p (60°C) 25.4 V			
Voc (-10°C) 41.8 V			
<input type="checkbox"/> Use Optimizer			

Seleção do inversor		Output voltage 230 V Mono 50Hz	
Disponíveis	SMA	3.7 kW	175 - 500 V TL 50/60 Hz Sunny Boy 3600 TL-21 Since 2012
N.º de entradas MPPT 2		Tensão de funcionamento:	175-500 V
<input checked="" type="checkbox"/> Utilize multi-MPPT		Tensão máxima entrada:	750 V
		Inverter power used	3.7 kWac
		inversor com 2 MPPT	

Dimensionamento do grupo		Condições de funcionamento		O valor de Isc, do grupo é maior que a corrente máxima para este inversor (i.e. 7.5 A/entrada). (Informação, irrelevante)	
Número de módulos e strings		Vmpp (60°C)	204 V		
Mod. em série	8 entre 7 et 16	Vmpp (20°C)	248 V		
Nr. strings	2 única possibilidade 2	Voc (-10°C)	335 V		
Perdas sobre-pot.	0.0 %	Irradiância no plano:	1000 W/m ²		
Rácio Pnom	1.04	Imp (STC)	16.0 A		
Nr. módulos 16 Superfície 26 m ²		Isc (STC)	16.9 A		
		Isc (em STC)	16.9 A		
		Potênc. Máx. em funcionamento em 1000 W/m ² e 50°C		3.4 kW	
		Potência nominal do grupo (S3.8 kWp)		3.8 kWp	

Figura 4.6 – Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e inversor

4.4.6. Cenário Autoconsumo

Na Figura 4.7 pode-se observar o diagrama de carga da instalação que contém as necessidades de energia que o sistema precisa de suportar através da produção de energia ou da compra à rede.

The screenshot shows the 'General features' tab in the PVsyst software. At the top, there is a 'Comment' field with the text 'Novo Exigências do consumidor'. Below this, the 'Kind of load profile' section has several radio button options: 'No Auto-consumption', 'Fixed constant consumption', 'Monthly values', 'Daily profiles', 'Probability profiles', 'Household Consumers', and 'Load values from a CSV hourly/daily file' (which is selected). To the right, the 'User's needs Yearly energy defined' section displays 'Average power' as 1466 W and 'Yearly energy' as 12844 kWh/year. Below that, the 'Info system: Defined PV array' section shows 'Nominal PV Power' as 3.84 kWp, 'Estimated system yield' as 5.43 MWh/year, and 'PnomPV / PLoad average' as 6.20 Power ratio. A blue information box states: 'Hourly values defined from file. You can see them by pressing "Choose file"'. Below this, it says: 'An auto-consumption with an average of 35.2 kWh/dia has been defined'. At the bottom, there is a 'Model' section with 'Load' and 'Save' buttons.

Figura 4.7 – Diagrama de carga da instalação no PVsyst

Para uma melhor gestão da energia do sistema de autoconsumo através do software *Sunny Design* dimensionou-se a colocação de um *Sunny Home Manager 2.0* que tem como objetivo a monitorização e a gestão inteligente da energia. Através deste equipamento consegue-se uma análise de consumo individual de cada equipamento, previsão do clima integrada, indicação de gestão para controlo do consumo e controlo do consumo de forma automática e inteligente [33].

4.4.7. Dimensionamento dos Cabos

Optou-se por colocar o inversor perto do quadro elétrico, em que depois o cabo AC (corrente alternada) tem pouca distância até ao quadro parcial.

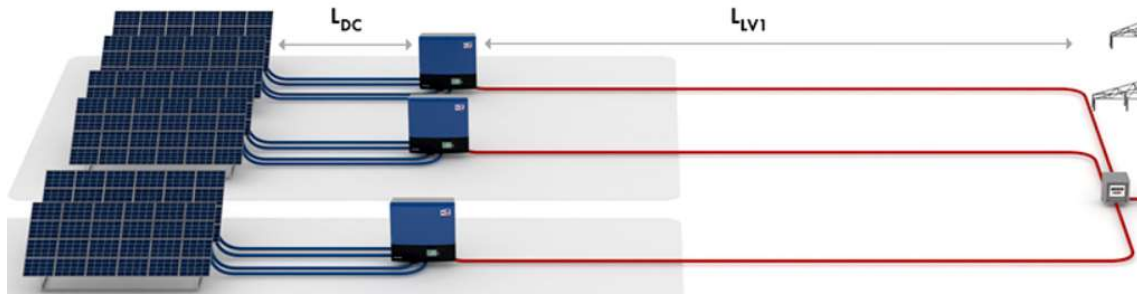


Figura 4.8 – Dimensionamento dos cabos CC do sistema de autoconsumo

Como a instalação é constituída por 1 inversor, os painéis fotovoltaicos são ligados em série constituídos por duas *strings*. O dimensionamento dos cabos CC (corrente contínua) foi efetuado através do *software* em que a secção determinada foi de $3,5\text{mm}^2$ com uma corrente de entrada do inversor de $8,88\text{A}$. Na escolha do tipo de cabo optou-se por PV ZZ-F 4mm^2 pode-se observar o esquema elétrico de todo o sistema em anexo H.

Em seguida foi dimensionado os cabos desde o inversor ao Quadro AC, para isso foi necessário o cálculo da corrente I_b :

$$I_b = \frac{\text{Potência Aparente (S)}}{\text{Tensão Nominal Simples}(U)} = \frac{3,680 \times 10^3 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 16\text{A} \quad (1)$$

As correntes admissíveis nas canalizações dependem da secção e da natureza dos condutores e também do modo do seu estabelecimento. Para facilidade de avaliação do valor das correntes admissíveis em cada modo de estabelecimento, as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão, R.T.I.E.B.T, distinguem e enquadram os diversos modos em sete métodos de cálculo a que chamam métodos de referência, que são designados pelas primeiras sete letras maiúsculas do abecedário A, B, C, D, E, F e G. Assim, para a presente canalização, o valor da corrente máxima admissível será obtido pelo método de referência D (quadro 52-C30 das R.T.I.E.B.T.), cabos multicondutores com três condutores carregados, $I_z=53\text{A}$ com secção de 4mm^2 . No valor de I_z tem de se aplicar o fator de correção da temperatura do solo (quadro 52-D2), em que é 1 no caso da temperatura no solo a 20°C e multiplicados por 0,80 para cabos enterrados e colocados dentro de tubos. Assim com a aplicação dos fatores de correção o valor final do I_z é de $42,4\text{A}$.

Tendo em conta o valor de corrente de funcionamento obtida, optou-se por utilizar um cabo do tipo XV-U 3G4.

A proteção contra sobrecargas das canalizações é assegurada se as características dos dispositivos de proteção obedecerem simultaneamente às seguintes condições, secção 433.2 do R.T.I.E.B.T:

$$\begin{cases} I_B \leq I_n \leq I_Z \\ I_2 \leq 1,45 I_Z \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 16 \leq 32 \leq 42,4 \\ 43,2 \leq 61,48 \end{cases}$$

Sendo:

I_B – corrente de serviço do circuito, em A;

I_Z – corrente admissível na canalização, em A;

I_n – corrente estipulada do dispositivo de proteção, em A;

I_2 – corrente convencional de funcionamento do dispositivo de proteção, em A.

Conclui-se que a canalização poderá ser protegida por um disjuntor, com corrente estipulada de 32A.

4.5.Sistema Fotovoltaico: - Cenário Rede Isolada

Neste subcapítulo realiza-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico de rede isolada para o caso de estudo através do software do *PVsyst* e do *Sunny Design Web*. Nesta solução não existe compra de energia à rede, em situações em que o sistema não consegue produzir energia suficiente para dar resposta ao consumo de energia, é alimentado através das baterias.

4.5.1. Escolha dos Módulos Fotovoltaicos

Na escolha dos módulos fotovoltaicos para o sistema de rede isolada utilizou-se o módulo da marca *Suntech* do tipo policristalino com uma potência de $280W_p$ e uma eficiência de 14,4%, pode-se observar as características do módulo fotovoltaico no anexo B.

4.5.2. Orientação

O valor da orientação do sistema fotovoltaico para a realização do dimensionamento contém uma inclinação de 33° e um azimute de 2° , em que estes valores foram obtidos na página do *PVGIS*. Com estes valores verificou-se o sombreamento nos painéis fotovoltaicos, tendo-se visualizado uma grande área sombreada. Assim, calculou-se a melhor orientação para o sistema fotovoltaico com plano inclinado fixo, resultando numa inclinação 33° e azimute -51° .

4.5.3. Irradiação Solar

Os dados da irradiação solar do local do projeto, Campus 2 do IPL, Instituto Politécnico de Leiria, foram obtidas através da página *PVGIS*, na internet. Assim introduziu-se os dados da irradiação solar de todos os meses no *software Sunny Design Web*.

4.5.4. Coberturas Disponíveis para a Instalação

O sistema fotovoltaico instalou-se atrás da estufa (Figura 4.9), devido ao espaço que era necessário para a instalação. Também se verificou o sombreamento dos painéis fotovoltaicos. As perdas de rendimento provocadas por sombreamento dos painéis fotovoltaicos instalados atrás da estufa são inferiores ao outro espaço disponível que era do lado esquerdo da estufa. Assim através desses dois locais disponíveis para a instalação do sistema o fator que se teve em conta foi o sombreamento dos mesmos.

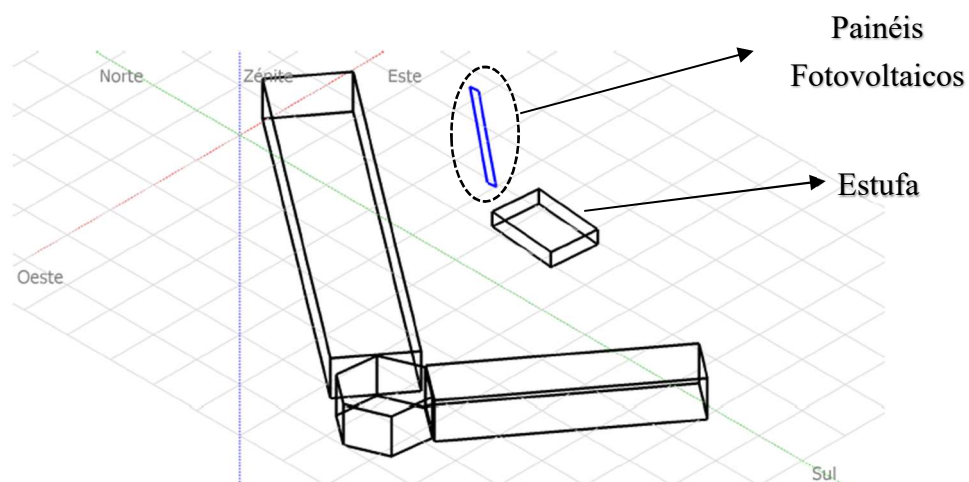


Figura 4.9 – Perspetiva do sistema de rede isolada

4.5.5. Dimensionamento do Sistema

Para o dimensionamento do sistema utilizou-se o software *Sunny Design*, tendo um consumo de energia de 12844 kWh, já analisado no capítulo 3.2.

Na configuração do grupo fotovoltaico colocou-se o módulo fotovoltaico escolhido anteriormente, a sua orientação e tipo de montagem. Colocou-se 63 módulos fotovoltaicos tendo em a conta o consumo de energia.

O inversor escolhido para o sistema foi o *Sunny Boy* de 5kW (Figura 4.10), para suportar o grupo fotovoltaico foi dimensionado 3 inversores, que permite um bom funcionamento do mesmo.


Potência de pico:	17,64 kWp	 SMA SB5.0-1AV-41
Quantidade total de módulos FV:	63	
Número de inversores fotovoltaicos:	3	
Potência máx. CC (cos $\varphi = 1$):	5,25 kW	
Potência activa máx. CA (cos $\varphi = 1$):	5,00 kW	
Tensão de rede:	230V (230V / 400V)	
Razão de potência nominal:	89 %	
Factor de dimensionamento:	117,6 %	
Factor de desfasamento cos φ :	1	
Horas em carga plena:	1898,8 h	

Figura 4.10 – Sistema fotovoltaico rede isolada

A divisão do número de módulos fotovoltaicos por *string*, com a distribuição pelas entradas dos inversores realizou-se de modo igual, na Figura 4.11 pode-se verificar as entradas de um inversor.

	Entrada A:	Entrada B:
Número de strings:	1	1
Módulos FV:	11	10
Potência de pico (entrada):	3,08 kWp	2,80 kWp
Tensão CC mín. INV (tensão de rede 230 V):	100 V	100 V
Tensão fotovoltaica típica:	✓ 363 V	✓ 330 V
Tensão FV mín.:	334 V	303 V
Tensão CC máx. (Inversor):	600 V	600 V
Tensão fotovoltaica máx.	✓ 527 V	✓ 480 V
Corrente máx. de entrada por rastreamento MPP:	15 A	15 A
Corrente máx. do gerador FV:	✓ 8,0 A	✓ 8,0 A
Corrente máx. de curto-circuito por rastreamento MPP:	20 A	20 A
Corrente máx. de curto-circuito fotovoltaico	✓ 8,3 A	✓ 8,3 A

Figura 4.11 – Número de strings por inversor

Para o dimensionamento das baterias, necessitou-se de 2 inversores *Sunny Island*, este inversor permite garantir uma frequência igual à da rede elétrica e é compatível com a mesma. Com estes inversores pode-se utilizar inversores como o *Sunny Boy* para um sistema fotovoltaico isolado, que é o caso do sistema dimensionado na estufa.

Na Figura 4.12 pode-se observar o *Sunny Island 8.0H* que se utilizou no dimensionamento do sistema em estudo, que garante quando é necessário a utilização das baterias. Todas as características do *Sunny Island 8.0H* podem ser observadas no anexo D.


Aparelho	Configurações por cluster/aparelho
 2 x SMA Sunny Island 8.0H	Baterias: Lítio Capacidade: 165,00 kWh (corresponde a 3438 Ah com C10) Daí utilizável: 70 % (corresponde a 2406 Ah com C10)

Figura 4.12 – Configuração do Sunny Island e das baterias

As baterias utilizadas no sistema LG Chem RESU 13 (características específicas no Anexo E) têm uma capacidade de 252Ah, uma tensão de 48V e capacidade de energia de 13kW. Para garantir o tempo de autonomia da estufa durante três dias necessita-se uma capacidade de 3438Ah, mas só 70% da capacidade é utilizável (2406Ah).

$$\text{Número de baterias} = \frac{\text{Capacidade Total}}{\text{Capacidade 1 bateria}} \quad (2)$$

$$\text{Número de baterias} = \frac{3438\text{Ah}}{252\text{Ah}} = 14 \quad (3)$$

A divisão das baterias a ligar ao inversor Sunny Island foram efetuadas de forma igual, 7 baterias ligadas em cada inversor (ver Esquema Elétrico Anexo I).

4.5.6. Dimensionamento dos Cabos

No dimensionamento dos cabos de CC já efetuado em que o cabo determinado foi de secção de 2,5mm² com uma corrente em cada entrada do inversor de 8,54A, e o tipo de cabo escolhido foi o PV ZZ-F 4mm², pode-se observar no esquema elétrico no anexo I. Em

seguida dimensionou-se os cabos desde o inversor *Sunny Boy* ao quadro elétrico fotovoltaico, para isso foi necessário o cálculo da corrente I_b :

$$I_b = \frac{\text{Potência Aparente (S)}}{\text{Tensão Nominal Simples (U)}} = \frac{5,00 \times 10^3 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 21,74\text{A} \quad (4)$$

Para o cálculo das correntes admissíveis nas canalizações dependem da secção e natureza dos condutores e também do modo do seu estabelecimento, para facilidade de avaliação, as R.T.I.E.B.T, enquadram os métodos de cálculo como referido anteriormente. Assim, para a presente canalização, o valor da corrente máxima admissível será obtido pelo método de referência B (quadro 52-C4 das R.T.I.E.B.T.), cabos multicondutores com três condutores carregados, $I_z=37\text{A}$ com secção de 4mm^2 .

Tendo em conta o valor de corrente de funcionamento obtida, optou-se por utilizar um cabo do tipo XV-U 3G4.

A protecção contra sobrecargas das canalizações é assegurada se as características dos dispositivos de protecção obedecerem simultaneamente às seguintes condições, secção 433.2 do R.T.I.E.B.T:

$$\begin{cases} I_B \leq I_n \leq I_z \\ I_2 \leq 1,45I_z \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 21,74 \leq 32 \leq 37 \\ 43,2 \leq 53,65 \end{cases}$$

Sendo:

I_B – corrente de serviço do circuito, em A;

I_z – corrente admissível na canalização, em A;

I_n – corrente estipulada do dispositivo de protecção, em A;

I_2 – corrente convencional de funcionamento do dispositivo de protecção, em A.

Conclui-se que a canalização poderá ser protegida por um disjuntor, com corrente estipulada de 32A.

Em seguida dimensionou-se os cabos desde o inversor *Sunny Island* ao quadro elétrico fotovoltaico, para isso foi necessário o cálculo da corrente I_b :

$$I_b = \frac{\text{Potência Aparente (S)}}{\text{Tensão Nominal Simples (U)}} = \frac{6,00 \times 10^3 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 26,1\text{A} \quad (5)$$

Para o cálculo das correntes admissíveis nas canalizações dependem da secção e natureza dos condutores e também do modo do seu estabelecimento, para facilidade de avaliação, as R.T.I.E.B.T, enquadram os métodos de cálculo como referido anteriormente. Assim, para a presente canalização, o valor da corrente máxima admissível será obtido pelo método de referência B (quadro 52-C4 das R.T.I.E.B.T.), cabos multicondutores com três condutores carregados, $I_z=48\text{A}$ com secção de 6mm^2 .

Tendo em conta o valor de corrente de funcionamento obtida, optou-se por utilizar um cabo do tipo XV-U 3G6.

A proteção contra sobrecargas das canalizações é assegurada se as características dos dispositivos de proteção obedecerem simultaneamente às seguintes condições, secção 433.2 do R.T.I.E.B.T:

$$\begin{cases} I_B \leq I_n \leq I_Z \\ I_2 \leq 1,45 I_Z \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 26,1 \leq 32 \leq 48 \\ 43,2 \leq 69,6 \end{cases}$$

Sendo:

I_B – corrente de serviço do circuito, em A;

I_Z – corrente admissível na canalização, em A;

I_n – corrente estipulada do dispositivo de proteção, em A;

I_2 – corrente convencional de funcionamento do dispositivo de proteção, em A.

Conclui-se que a canalização poderá ser protegida por um disjuntor, com corrente estipulada de 32A.

4.6. Sistema de Monitorização e Visualização

A parte do modelo desenvolvido que realiza a monitorização de parâmetros ambientais na estufa em estudo são fundamentais para avaliar o funcionamento dos sistemas aquapónicos e para a deteção de condições críticas que necessitem de atuação urgente (Figura 4.13). Para isso, são necessários sensores que recolhem estas variáveis e microcontroladores, que irão permitir que estes dados sejam disponibilizados e visualizados remotamente pela Internet. Este subcapítulo descreve todo o processo usado no desenvolvimento do sistema de monitorização e visualização dos dados recolhidos.



Figura 4.14 - Modelo Desenvolvido para o Sistema de Monitorização

4.6.1. Parâmetros de Monitorização

Medição do pH da Solução Nutritiva

O pH é o nível de acidez da solução nutritiva. O valor de pH é medido numa escala de 1 a 14, sendo que soluções com valores abaixo de 7 são consideradas ácidas, de 7 são consideradas neutras e acima deste valor são consideradas alcalinas. Em hidroponia os valores ótimos estão entre o 5,2 e os 6,5, na vertente de bioponia estão entre os 6,5 e 7,5 e em aquaponia estão entre os 6,8 e 7 [34].

As plantas cultivadas em hidroponia têm um nível de pH ótimo diferente do que as cultivadas no solo [35].

Medição da Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais

A condutividade elétrica (EC) é a capacidade que um líquido tem para conduzir a eletricidade. A água, meio pelo qual as plantas se nutrem contém minerais dissolvidos, bem chamadas dissoluções aquosas. Estas dissoluções aquosas podem ter mais ou menos elementos minerais (sais) que influirão diretamente nos níveis da EC [36].

Os valores de EC podem ser medidos de uma forma mais económica através da medição de TDS (Sólidos dissolvidos totais), cuja unidade é expressa em ppm (partes por milhão). Os medidores de condutividade elétrica fornecem dados em mS/cm e esta unidade pode ser convertida para ppm usando relações médias conhecidas (a conversão de 1mS/cm (EC 1.0 ou CF 10) = 640 ppm), embora a relação deva ser ajustada a cada tipo de água a monitorizar.

Temperatura e Humidade do Meio Ambiente

As plantas gostam de ar fresco, os seus processos de fotossíntese estão dependentes da temperatura, humidade e circulação de ar adequados. A temperatura deve variar entre os 15 e os 30°C e a humidade relativa deve ser superior a 40% [37].

A temperatura e a humidade dentro da estufa também dependem das culturas plantadas, isto é, consoante o tipo de cultura são necessários níveis de temperatura e de humidade diferentes de modo a obter as melhores condições para as plantas.

Temperatura da Solução Nutritiva

A solução nutritiva consiste em água com nutrientes que serve de alimento para as plantas. A temperatura da solução nutritiva, para manter um crescimento normal deve de se manter entre os 18°C e os 24°C. Em temperaturas de 18-20°C as plantas em geral conseguem ter 100% dos nutrientes disponíveis, desde que o pH esteja dentro das gamas ideais. Até os 24°C considera-se que a nutrição é ótima com 90% de assimilação de nutrientes, mas acima desta piora gradualmente [36].

4.6.2. Sensores e Diagrama de Blocos

Os componentes escolhidos para o sistema de monitorização elaborado tiveram o pressuposto principal de serem de baixo custo mas de razoável fiabilidade e durabilidade, e estão indicados na Tabela 4.1, consistindo em sensores e microcontroladores; estes componentes podem ser observados no Anexo L.

Tabela 4.1 - Componentes utilizados no projeto

Tipo	Descrição/Modelo/Fabricante
Sensor	Temperatura da água/DHT11/Flux Workshop
Sensor	Temperatura ambiente e Humidade relativa/DS18B20/ElectroFun
Sensor	pH/ SEN0169-V2/ DFRobot
Sensor	TDS e EC/ SEN0244/DFRobot
Microcontrolador	ESP32 NodeMCU/ ESP32 DEVKITC-S1/ <i>Espressif Systems</i>
Microcomputador	<i>Raspberry pi 4/ MODEL B/Raspberry Pi Foundation</i>

Sensor de Temperatura

A medição da temperatura da solução nutritiva é feita através do sensor DS18B20, que é um componente eletrónico digital desenvolvido para ser aplicado em diversos ambientes. O sensor de temperatura é impermeável e permite fazer medições em ambientes húmidos.

O sensor de temperatura DS18B20 é bastante preciso ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ exatidão) e proporciona leituras de temperatura de até 12 bits através de uma conexão de dados de apenas 1 fio com o microcontrolador.



Figura 4.15 – Sensor de temperatura DS18B20 [38]

Sensor de Temperatura e Humidade relativa do ar

O sensor de temperatura e humidade utilizado é o módulo DHT11, que permite fazer leituras de temperaturas entre 0 e 50° Celsius e humidade relativa entre 20% e 90%.

O elemento sensor de temperatura é um termistor do tipo NTC e o sensor de humidade é do tipo HR202, o circuito interno faz a leitura dos sensores e comunica a um microcontrolador.

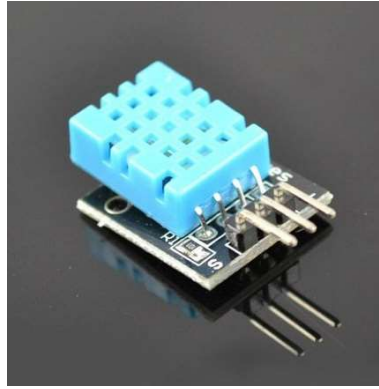


Figura 4.16 – Sensor de temperatura e humidade DHT11 [39]

Sensor de PH (medição da acidez ou alcalinidade de um líquido)

O sensor de medição de pH utilizado é o SEN0169-V2 que tem um interface analógico e tem uma amplitude de medição de temperatura de 0 a 60°C e uma escala de medição de 0 a 14 pH. A precisão de medição do sensor é de $\pm 0,1$ pH (25°C) e este sensor tem de ser calibrado periodicamente sendo a sua vida útil curta (aproximadamente 1 ano).



Figura 4.17 – Sensor de pH ISS00169 [40]

Sensor de EC (eletrocondutividade)

Os sensores de medição da condutividade elétrica em contínuo que foram analisados para o projeto tinham preços elevados. Por essa razão, utilizou-se um TDS sensor, SEN0244, que mede o valor TDS da água, que reflete a limpeza da água. O TDS (*Total Dissolved Solids*) indica quantos miligramas de sólidos solúveis existem por litro de água. Com os dados do sensor TDS pode-se fazer uma correlação para a condutividade elétrica como anteriormente discutido. Neste estudo a correlação foi feita com base em dados da relação TDS/EC medida

nos sistemas aquapônicos da estufa por sondas multiparamétricas de uso científico (Hanna-HI9829).

O sensor, ISSO0244, tem um sinal analógico, contém uma amplitude de medição de 0 – 1000ppm, a precisão da medição de sólidos é $\pm 10\%$ F.S. (25°C) e pode ser alimentado entre 3,3V e 5V. Este sensor tem de ser calibrado periodicamente e se colocado continuamente na água a sua vida útil é menor.

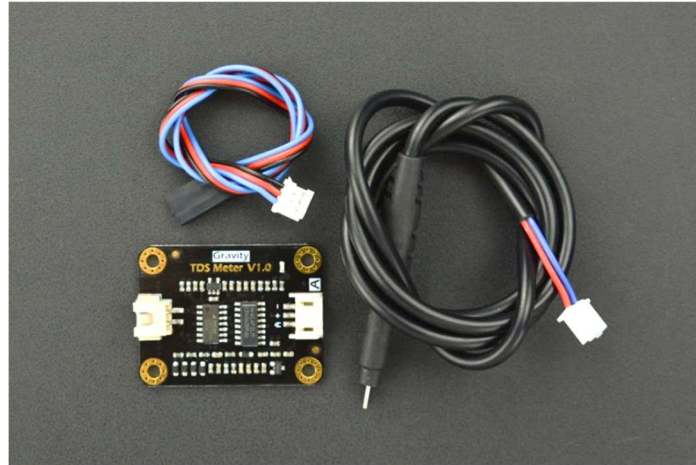


Figura 4.18 – Sensor de TDS e EC ISSO0244 [41]

ESP32 NodeMCU e *Raspberry Pi 4*

O *board* ESP32 DEVKITC-S1 é composto por um módulo ESP32-SOLO-1 e tem uma tensão de alimentação 3,3/5V DC. Através deste microcontrolador realiza-se a aquisição dos dados dos sensores instalados e trata-se essa informação de modo a ter o menor erro possível.

O microcomputador *Raspberry Pi 4* tem uma tensão de alimentação de 5V DC e tem como objetivo no projeto o desenvolvimento da interface gráfica.

Diagrama de Blocos

O diagrama de blocos (Figura 4.19) consiste nos processos desenvolvidos no projeto e pode-se observar as conexões entre os vários microcontroladores e sensores. O ESP32 NodeMCU recebe os dados dos parâmetros dos sensores, em que os dados são tratados e enviados através de *wi-fi* para o microcomputador *Raspberry Pi*, em que os dados são guardados de modo a ter um historial dos parâmetros. Os dados também podem ser observados remotamente através de uma *dashboard* no computador ou aplicação móvel no *smartphone*.

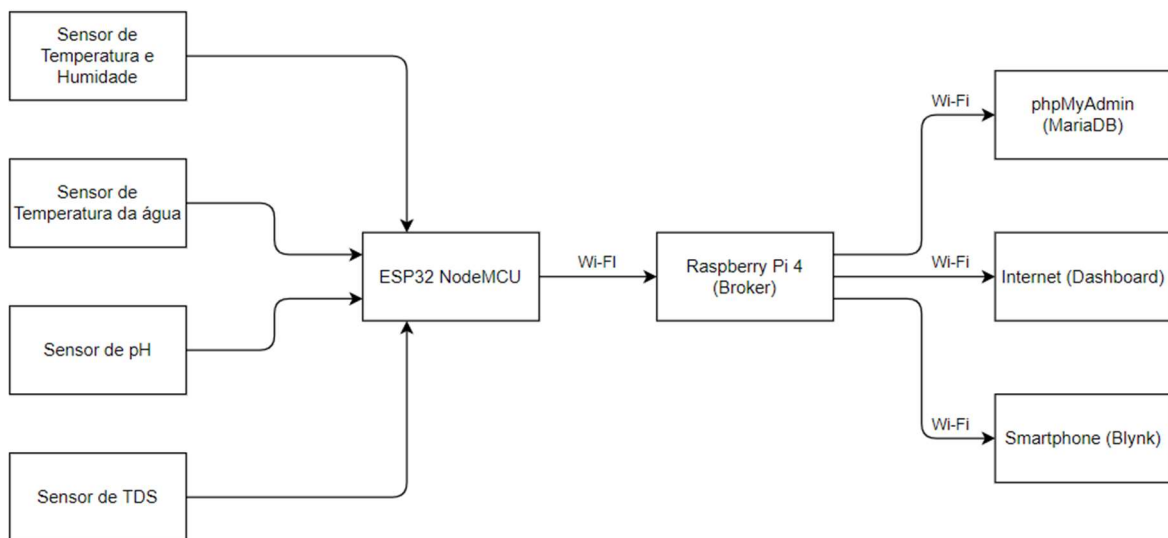


Figura 4.19 – Diagrama de blocos do sistema

4.6.3. Placa de Circuito Impresso

Para o desenvolvimento da placa de circuito impresso criou-se o desenho do esquema elétrico (Figura 4.20) com todos os componentes necessários para a implementação do sistema de monitorização projetado, referente à aquisição de dados. Neste esquema pode-se observar um led vermelho que representa alimentação do sistema, entradas e alimentações dos sensores.

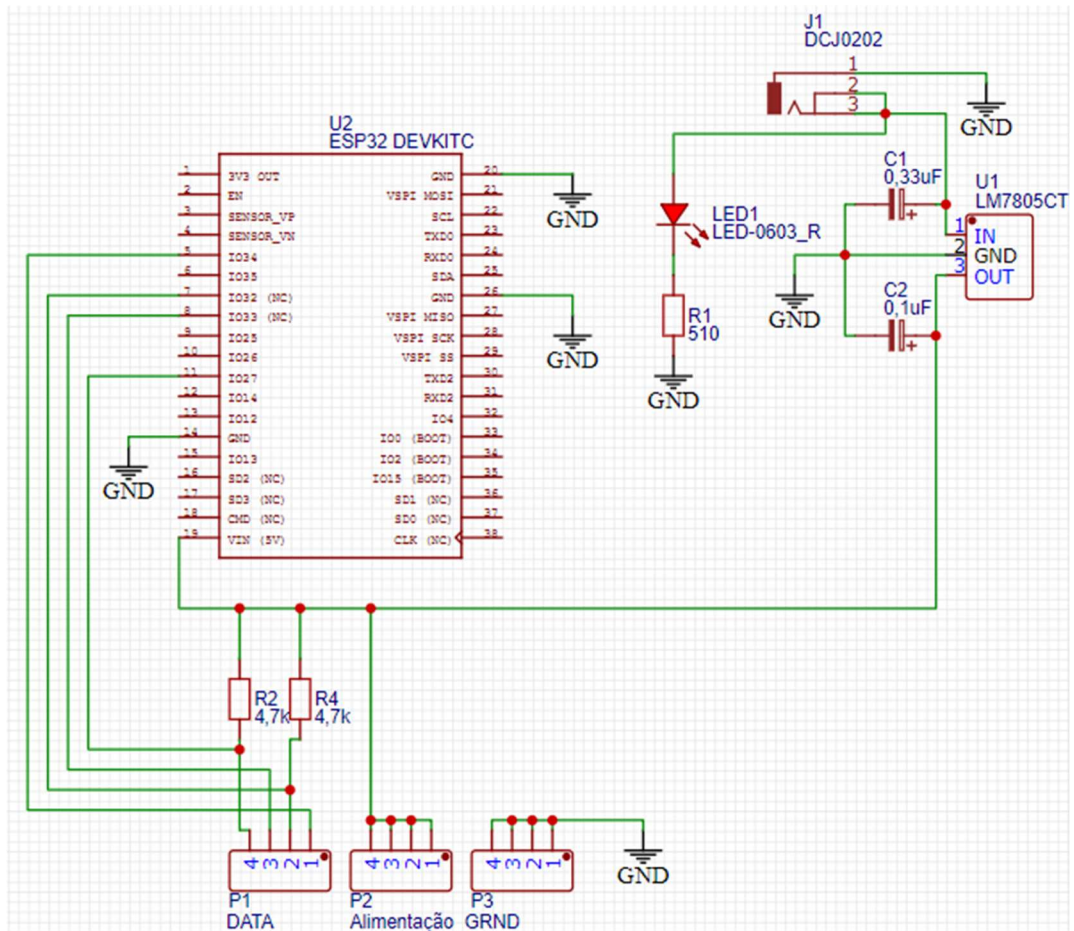


Figura 4.20 – Esquema Elétrico da PCB

As portas I/O do ESP32 NodeMCU utilizadas para os respectivos sensores podem ser observadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Portas I/O utilizadas

Porta I/O	Descrição
27	Sensor Temperatura de Água
32	Sensor Temperatura e Humidade
33	Sensor pH
34	Sensor Tds

Na Figura 4.21 pode-se observar a placa de circuito impresso desenvolvida através do *software* EasyEDA [42].

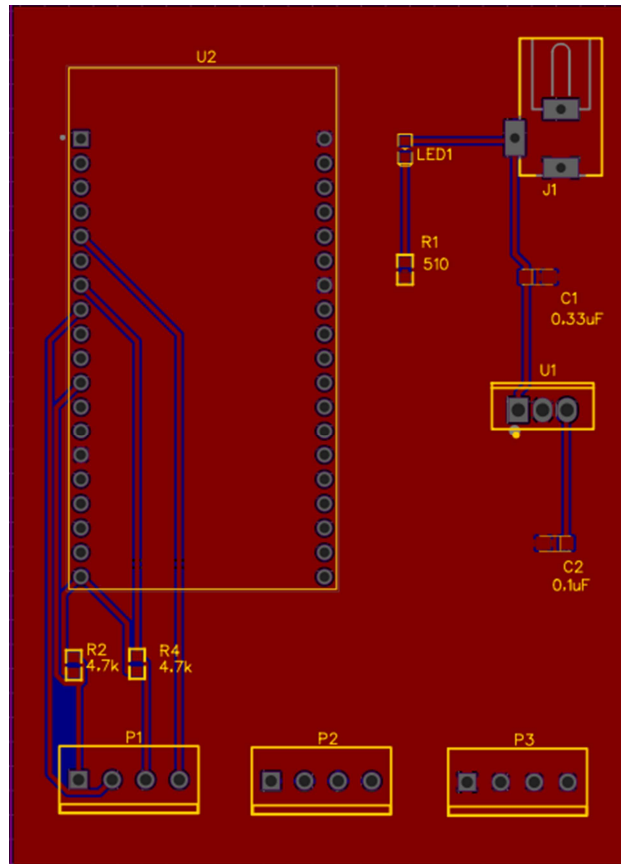


Figura 4.21 – Placa de Circuito Impresso

4.6.4. Desenvolvimento do Software

Para a programação do ESP32 NodeMCU utilizou-se o *software* do Arduino, o Arduino IDE [43]. A aquisição dos dados dos sensores é feita através do *software* e o mesmo para o envio dos dados para o *Raspberry Pi*. Para a realização destes processos foram utilizadas bibliotecas como WiFi, DHT, OneWire e DFRobot_PH.

O sensor DHT11 tem o objetivo de fazer a aquisição dos dados da temperatura ambiente e humidade relativa. Para que a leitura dos valores da temperatura ambiente fosse a mais correta foi feito uma média aritmética, com as cinco leituras recebidas do sensor (Figura 4.22).

```

void DHTTemperatura() {
  temperatura = 0;
  for(int i = 1; i <= nmedicoes; i++ ){
    float temp = dht.readTemperature();
    // Check if any reads failed and exit early (to try again).
    if (isnan(temp)) {
      Serial.println("Falha na leitura do sensor DHT!");
    }
    else {
      Serial.print("Temperatura ambiente: ");
      Serial.print(temp);
      Serial.println("°C");
    }
    temperatura += temp;
    delay(3000);
  }
  temperatura = temperatura/(nmedicoes);
  Serial.print("Temperatura final: ");
  Serial.println(temperatura);
}

```

Figura 4.22 – Função de aquisição de dados da temperatura [44]

Na Figura 4.23, o código da leitura dos dados do sensor DHT11 em relação à humidade relativa foi feito da mesma maneira da temperatura ambiente, isto é, em cada cinco leituras do sensor é feita a média aritmética para obter um valor mais exato.

```

void DHTHumidade() {
  humidade = 0;
  for(int i = 1; i <= nmedicoes; i++ ){
    float humid = dht.readHumidity();
    if (isnan(humid)) {
      Serial.println("Falha na leitura do sensor DHT!");
    }
    else {
      Serial.print("Humidade: ");
      Serial.print(humid);
      Serial.println("%");
    }
    humidade += humid;
    delay(3000);
  }
  humidade = humidade/(nmedicoes);
  Serial.print("Humidade final: ");
  Serial.println(humidade);
}

```

Figura 4.23 – Função de aquisição de dados da humidade relativa [44]

A leitura dos valores do sensor TDS é feita durante um número de cinco leituras. As leituras dos valores do sensor são realizadas através de uma porta que permite a conversão analógica-digital (ADC), sendo possível observar na Figura 4.24.

```
void nivelTdsEC() {
    valorsensor = 0;
    for(int i = 1; i <= nmedicoes; i++){
        float tds = analogRead(TdsSensorPin);
        //Serial.println(tds,0);
        valorsensor +=tds;
        delay(2000);
    }
}
```

Figura 4.24 – Aquisição de dados do sensor TDS

Com as leituras realizou-se uma média aritmética para conseguir obter um valor mais preciso e em seguida converteu-se o valor em tensão. Para a conversão em TDS foi necessário um coeficiente de temperatura, em que este valor foi obtido através dos valores de temperatura da água do sensor DS18B20.

O sensor TDS mede a pureza da água e através deste valor calculou-se a condutividade elétrica. Para se saber o valor de correlação entre os dois parâmetros utilizou-se dados destes parâmetros que foram obtidos por investigadores no sistema aquapónico em estudo como anteriormente referido. Assim foi possível obter uma relação de 0,57 entre TDS e EC (Figura 4.25).

```
valorsensor = valorsensor/(nmedicoes);
mediavolt = valorsensor*5/4095.0;
sensors.requestTemperatures();
float tempagua = sensors.getTempCByIndex(0);
float coeficientecompensacao=1.0+0.02*(tempagua-25.0);
float voltcompensacao=mediavolt/coeficientecompensacao;
valortds=(133.42*voltcompensacao*voltcompensacao*voltcompensacao
- 255.86*voltcompensacao*voltcompensacao + 857.39*voltcompensacao)*0.5;
ec=valortds/0.57;
//Serial.print("Tensao:");
//Serial.print(mediavolt,2);
//Serial.print("V ");
Serial.print("TDS:");
Serial.print(valortds);
Serial.println("ppm");
Serial.print("EC:");
Serial.print(ec);
Serial.println("us/cm");
```

Figura 4.25 – Conversão da tensão no valor TDS e EC

A leitura dos valores do sensor de pH é feita da mesma maneira que a do sensor TDS. Com cinco leituras efetuadas do sensor realizou-se uma média aritmética para se conseguir obter um valor mais preciso. As leituras dos valores do sensor são realizadas através de uma porta que permite a conversão analógica-digital (ADC), em seguida realizou-se a conversão do valor de tensão para pH, todo o código pode-se observar no anexo J.

Os valores dos sensores são enviados para o *Raspberry Pi* através do protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*). O MQTT é um protocolo de comunicação com baixos requisitos ao nível de largura de banda e também ao nível do hardware. É instalado no *Raspberry Pi* o *broker*, que consiste na utilização do paradigma *publish/subscribe* para a troca de mensagens. O *broker* é responsável por receber, e enviar as mensagens recebidas dos publishers para os *subscribers* [45].

Para isso foi criado uma função MQTT que conecta o ESP32 ao *Raspberry Pi*, esta função pode-se observar na Figura 4.26. Quando a conexão MQTT é perdida existe uma função que volta a fazer a ligação, o mesmo acontece com o *Wi-Fi*.

```
void conectarMqtt() {
    Serial.println("Conectar MQTT...");
    mqttClient.connect();
}
}
```

Figura 4.26 – Função MQTT [46]

Os valores dos sensores são enviados no final de cada função, pode-se observar o tipo de formato na Figura 4.27.

```
uint16_t IdPub1 = mqttClient.publish(sensor_temperatura, 1, true, String(temperatura).c_str());
Serial.println("temperatura enviada");
uint16_t IdPub2 = mqttClient.publish(sensor_humidade, 1, true, String(humidade).c_str());
Serial.println("Humidade enviada");
uint16_t IdPub3 = mqttClient.publish(sensor_temperatura_agua, 1, true, String(temperatura_agua).c_str());
Serial.println("Temperatura da água enviada");
uint16_t IdPub4 = mqttClient.publish(sensor_tds, 1, true, String(valortds).c_str());
Serial.println("Nível de Tds enviado");
uint16_t IdPub5 = mqttClient.publish(sensor_ec, 1, true, String(ec).c_str());
Serial.println("Nível de EC enviado");
uint16_t IdPub6 = mqttClient.publish(sensor_ph, 1, true, String(valorph).c_str());
Serial.println("Nível pH enviado");
```

Figura 4.27 – Envio da temperatura ambiente, humidade, temperatura da água, TDS, EC e pH através do protocolo MQTT [46]

4.6.5. Desenvolvimento da Interface Gráfica: - Visualização

A interface gráfica foi desenvolvida através do *Node-RED* [47] e permite conectar com outros dispositivos. Esta interface é composta por uma *dashboard*, uma aplicação móvel *Blynk* [48] e uma base de dados MariaDB [49].

Node-RED

O *Node-RED* é uma ferramenta de desenvolvimento baseada em fluxos para conectar entre dispositivos como parte de *Internet of Things*.

Para a visualização dos valores das leituras dos sensores criou-se uma *dashboard* com a monitorização de cada sensor, para isso foi necessário o desenvolvimento de um fluxo para cada sensor. Na Figura 4.28, o fluxo da temperatura ambiente, que consiste na receção da temperatura ambiente através do protocolo MQTT e disponibiliza o valor para amostragem através de um gráfico e de um campo de texto.

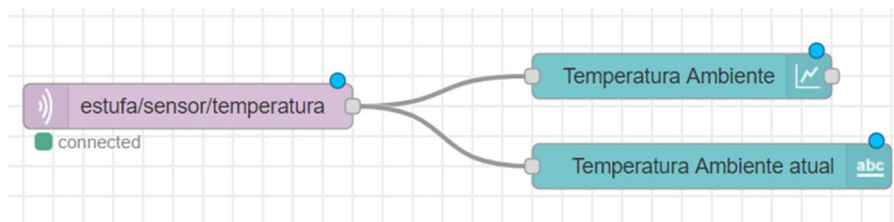


Figura 4.28 – Fluxo da temperatura ambiente no Node-RED

Na Figura 4.29 pode-se observar a *dashboard* com os valores das leituras dos sensores, que permite a monitorização da estufa.

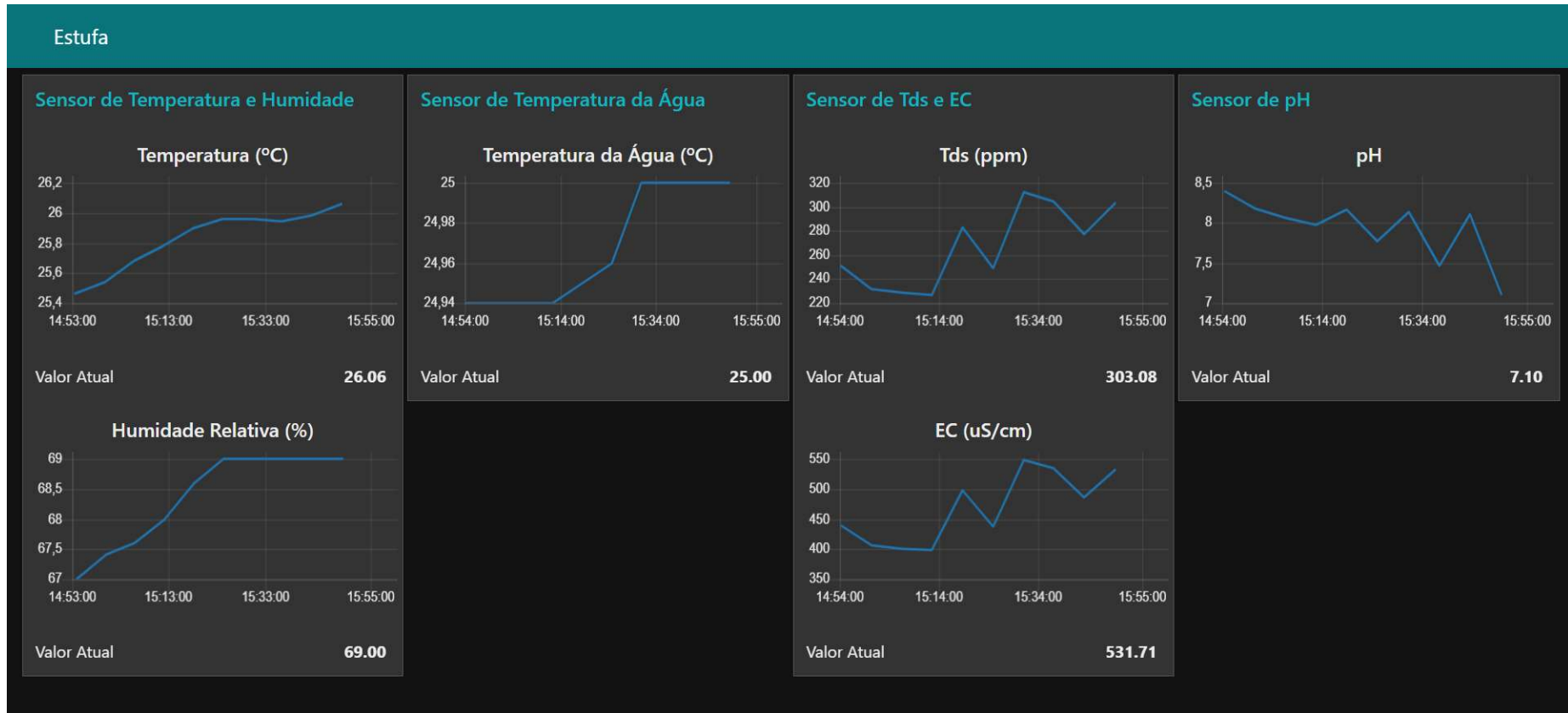


Figura 4.29 - Dashboard estufa do Node-RED

Aplicação Móvel – *Blynk*

Blynk é uma aplicação móvel que nos permite criar um interface gráfico e personalizá-lo de acordo com o que se pretende controlar remotamente, podendo ter vários dispositivos conectados.

Para conectar a aplicação móvel aos dados já recebidos no *Node-RED* utilizou-se uma biblioteca que permite a conexão entre o *node-RED* e o *Blynk*. Através desta biblioteca é possível enviar os valores dos sensores para a aplicação móvel. Na Figura 4.30 apresenta-se o fluxo no *Node-RED* que permite a transmissão dos dados da temperatura ambiente, todo o código realizado no *Node-RED* pode-se observar no anexo K.

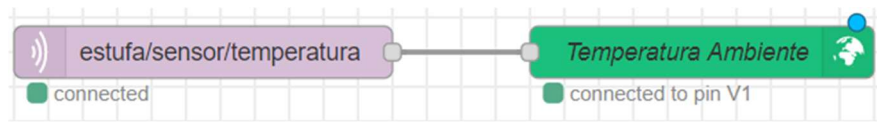


Figura 4.30 – Fluxo de envio da temperatura ambiente do *Node-RED* para o *Blynk*

O interface gráfico no *smartphone* pode-se personalizar da maneira que se pretende visualizar os valores dos dispositivos. Podem ser visualizados através de um gráfico, uma caixa de texto ou um manómetro. Sendo a interface gráfica muito simples de configuração e versátil.

Na Figura 4.31 pode-se observar a interface gráfica que foi personalizada para a monitorização dos parâmetros da estufa.

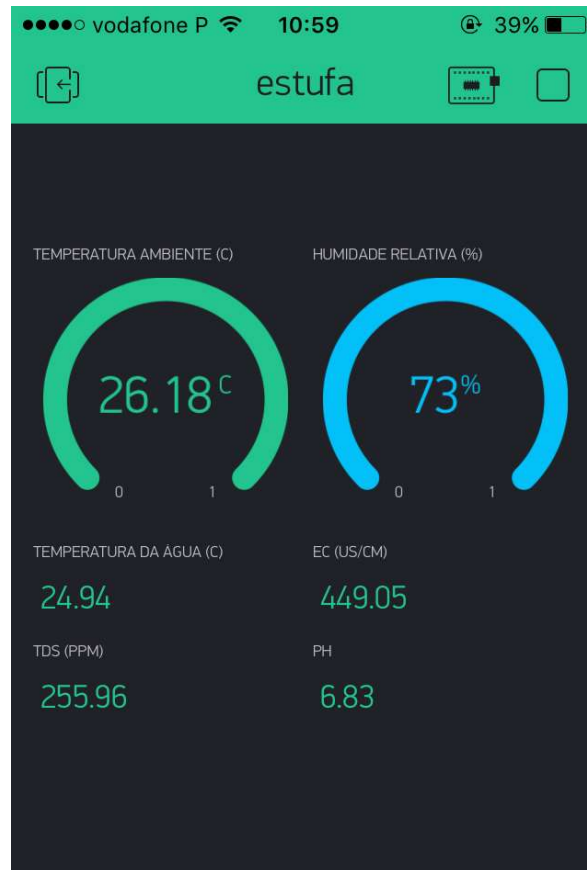


Figura 4.31 – Interface gráfica Blynk no smartphone

Base de Dados MariaDB

Para o armazenamento dos valores das leituras dos sensores criou-se um base de dados através do *software* MariaDB. É uma base de dados que foi desenvolvida pelos criadores do *Mysql* e foi criada a partir do *Mysql*.

Para conectar o Node-RED à base de dados utilizou-se uma biblioteca, *Mysql*, no *Node-RED* que permite enviar os dados para a base de dados MariaDB (Figura 4.32). Assim a base de dados está sempre em funcionamento desde que o *Raspberry Pi* esteja ligado.

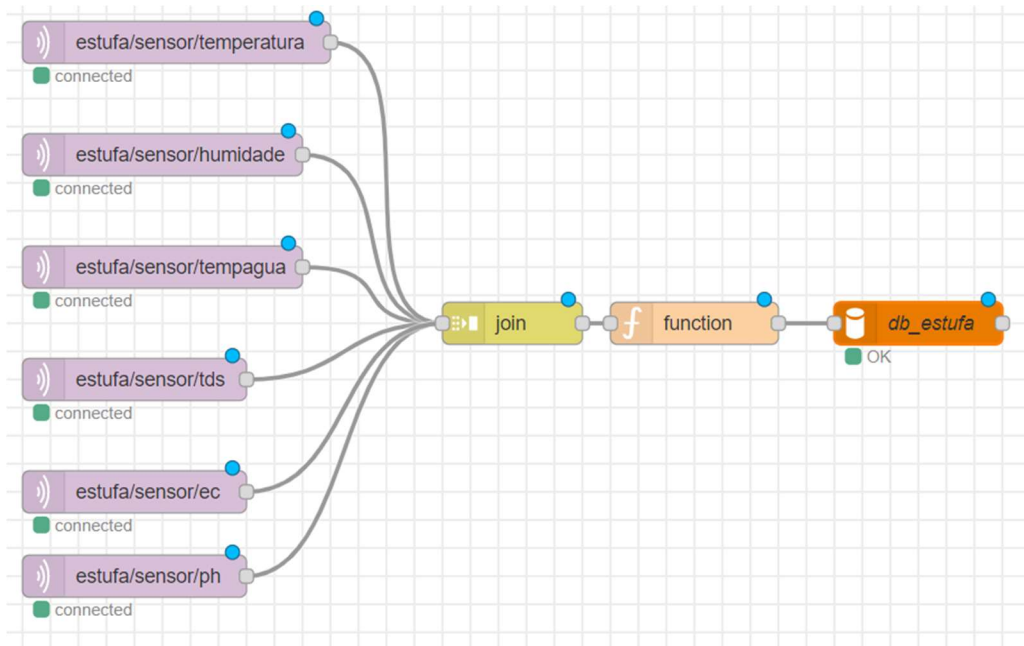


Figura 4.32 – Fluxo de envio dos valores dos parâmetros para a base de dados MariaDB

Com os dados dos sensores a serem armazenados na base de dados pretendeu-se que eles possam ser visualizados através da internet e para isso utilizou-se o *software phpMyAdmin* [50]. Através deste *software* pode-se observar a base de dados na internet sendo possível fazer a gestão da mesma, se necessário criar ou remover base de dados ou tabelas.

Na Figura 4.33 pode-se observar a base de dados da estufa, *estufadb*, e a respetiva tabela constituída por Temperatura_Ambiente, Temperatura_água, Humidade, Tds, EC, pH e Data.

A captura de tela do phpMyAdmin mostra a base de dados 'estufadb' e a tabela 'Sensores'. A tabela contém registros com colunas: Temperatura_Ambiente, Temperatura_Agua, Humidade_Relativa, Tds, EC, pH e Data.

Temperatura_Ambiente	Temperatura_Agua	Humidade_Relativa	Tds	EC	pH	Data
22.02	20.44	75.80	326.85	573.42	7.05	2021-05-16 11:33:50
22.02	20.44	75.80	326.85	573.42	7.05	2021-05-16 11:34:10
22.02	20.44	75.80	326.85	573.42	7.05	2021-05-16 11:34:15
22.02	20.44	75.80	326.85	573.42	7.05	2021-05-16 11:35:13
22.02	20.44	75.80	326.85	573.42	7.05	2021-05-16 11:56:36
22.02	20.44	75.80	326.85	573.42	7.05	2021-05-16 11:56:42
22.02	20.44	75.80	326.85	573.42	7.05	2021-05-16 11:57:13
22.02	20.44	75.80	326.85	573.42	7.05	2021-05-16 18:56:00

Figura 4.33 – Gestão da base de dados MariaDB através do phpMyAdmin

5. Análise de Resultados do Modelo Desenvolvido

Neste capítulo realiza-se a análise aos resultados da simulação dos sistemas fotovoltaicos e de monitorização. Serão apresentadas análises económicas e seleccionada a melhor solução, para produção de energia neste tipo de estufa.

5.1. Sistema Fotovoltaico: - Cenário Autoconsumo e Análise Económica

O resultado da simulação do software mostra que o sistema fotovoltaico tem uma produção de energia de 5530 kWh/ano, com um índice de performance de 83,16%. A fração solar do sistema é de 30,21%, isto é, perto de 30% da energia que alimenta a estufa provém do sistema fotovoltaico com o restante da compra à rede. Todo o resultado da simulação pode-se observar no Anexo F.

Através do gráfico da Figura 5.1 pode-se observar a energia útil produzida pelo sistema ao longo dos meses, as perdas do sistema provenientes do inversor e as perdas do grupo fotovoltaico.

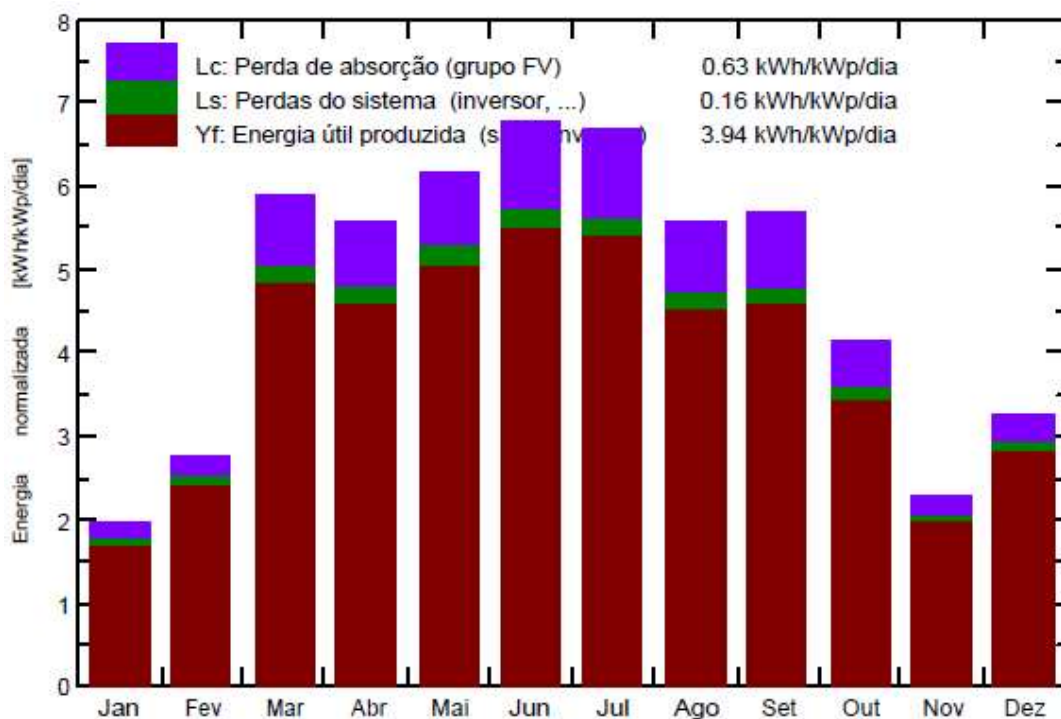


Figura 5.1 – Energia útil produzida pelo sistema de autoconsumo

Através da Tabela 5.1 pode-se observar que a produção de energia do sistema fotovoltaico, (E_{Solar}) tem uma porção relativamente baixa ao longo dos meses enquanto a energia que se compra à rede é bastante elevada, (E_{frGrid}).

Tabela 5.1 - Produção de energia anual do sistema de autoconsumo

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EfrGrid MWh
Janeiro	48.9	29.44	11.38	61.2	58.6	0.216	1.081	0.168	0.038	0.913
Fevereiro	65.1	39.00	10.37	77.8	74.9	0.275	0.989	0.217	0.047	0.772
Março	158.8	47.16	14.14	181.6	176.5	0.605	1.100	0.402	0.180	0.698
Abril	158.0	63.47	14.59	166.3	161.4	0.556	1.045	0.389	0.145	0.655
Mai	197.3	76.84	18.05	191.4	185.8	0.631	1.102	0.450	0.155	0.652
Junho	219.3	68.38	18.71	203.6	197.4	0.662	1.053	0.450	0.187	0.603
Julho	226.5	66.13	19.47	207.3	200.6	0.671	1.081	0.425	0.220	0.657
Agosto	175.3	67.56	19.43	172.6	167.4	0.564	1.105	0.359	0.182	0.746
Setembro	164.6	49.76	19.82	170.5	165.3	0.553	1.055	0.321	0.211	0.734
Outubro	106.1	45.18	18.53	128.9	124.6	0.429	1.074	0.258	0.153	0.816
Novembro	54.9	32.38	13.72	68.9	66.3	0.240	1.075	0.189	0.041	0.887
Dezembro	66.7	23.16	9.87	100.5	96.5	0.352	1.083	0.252	0.086	0.831
Ano	1641.7	608.46	15.71	1730.6	1675.4	5.757	12.844	3.881	1.646	8.963

No diagrama das iso-sombras da Figura 5.2 pode-se constatar que entre as 16 horas e as 17 horas existe sombreamento com perdas de 1% de irradiação solar que pode ir até 10% consoante a altura do ano.

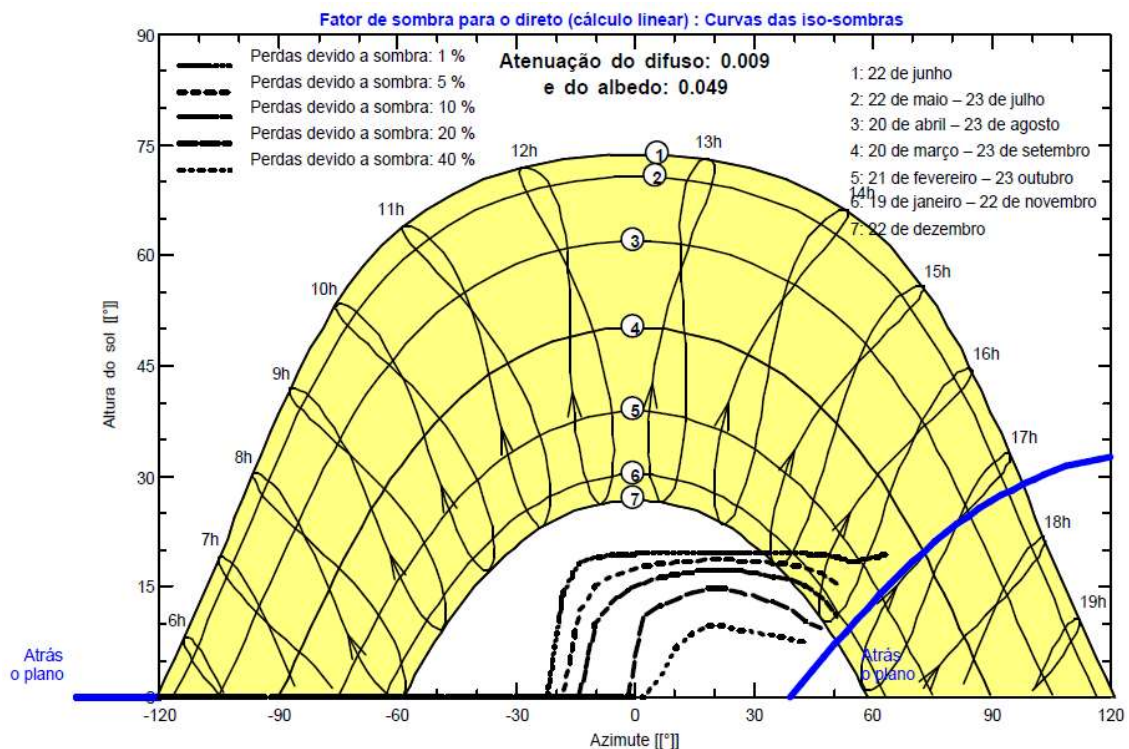


Figura 5.2 – Diagrama das iso-sombras do sistema de autoconsumo

Para o sistema fotovoltaico de autoconsumo realizou-se um orçamento que dá uma estimativa do custo do sistema fotovoltaico. O componente que no final tem o preço mais elevado é o módulo fotovoltaico devido à quantidade necessária (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Orçamento sistema fotovoltaico autoconsumo

Componentes	Preço Unitário	Quantidade/metros	Custo €/Wp	Total
1.Módulos fotovoltaico Suntech 240Wp tipo policristalino	159,00 €	16,00	0,66 €	2 544,00 €
2.Inversores SMA Sunny Boy 3600-TL	978,00 €	1,00		978,00 €
3.Autoconsumo Gestão Energética SMA Sunny Home Manager 2.0	529,00 €	1,00		529,00 €
4.Estrutura Estrutura de aluminio no solo para 4 módulos fotovoltaicos	217,80 €	4,00		871,20 €
5.Cabos Cabo CC PV ZZ-F 4mm ²	0,78 €	30,00		23,40 €
Cabo CA XV-U 3G4mm ²	2,07 €	15,00		31,05 €
6.Serviço de instalação subtotal				4 976,65 €
Serviço de Instalação sistema fotovoltaico				746,50 €
Valor Total (sem IVA)				5 723,15 €
IVA 23%				1 316,32 €
Valor Total (com IVA)				7 039,47 €

Depois de todos os resultados e análises feitas referentes a este sistema para a estufa pode-se verificar que este sistema consegue aplicar uma redução da compra da energia da rede. Através do orçamento também se pode observar que o investimento para o sistema fotovoltaico é de aproximadamente 7040€. Sendo que através deste sistema de autoconsumo não se consegue ter uma fração solar muito elevada (30%).

5.2.Sistema Fotovoltaico: - Cenário Rede Isolada e Análise Económica

Os resultados obtidos da simulação mostram uma energia fotovoltaica máxima de 28482kWh/ano, dessa energia produzida é utilizada 14106 kWh/ano sendo uma parte consumida diretamente e a restante armazenada como se pode observar na Figura 5.3.

Consumo anual de energia:	12.844 kWh
Energia fotovoltaica disponível máxima:	28.482 kWh
Energia fotovoltaica utilizada:	14.106 kWh
Energia fotovoltaica directamente consumida:	5.642 kWh
Energia fotovoltaica temporariamente armazenada:	8.464 kWh
Produção anual de energia do grupo gerador:	0 kWh
Ciclos de carga-descarga da bateria por ano:	51
Consumo anual de combustível:	0 l

Figura 5.3 - Resultados da energia fotovoltaica

Através da Figura 5.4 pode-se observar a potência dos inversores, *Sunny Boy* 5kW, sendo utilizados três inversores, também a potência de dois *Sunny Island* de 6kW; toda a informação da simulação consta no Anexo G. Outro aspeto importante é a autonomia do sistema fotovoltaico que é de três dias, isto é, a estufa consegue funcionar durante três dias recorrendo só à energia das baterias.

Potência nominal CA conjunta do sistema:	27 kW
Potência nominal CA inversores fotovoltaicos:	15 kW
Potência nominal CA sistema de armazenamento:	12 kW
Potência nominal CA grupo gerador:	---
Excedente de potência:	0 kW
Défice de energia:	0 kWh
Potência nominal CA inversores fotovoltaicos / sistema de armazenamento:	1,25
Potência nominal CA grupo gerador / sistema de armazenamento:	---
Capacidade útil de armazenamento:	115,5 kWh
Tempo de autonomia:	3 d
Grau de cobertura solar média anual:	100 %

Figura 5.4 - Resultados da potência do sistema fotovoltaico

Através do gráfico da Figura 5.5 pode-se constatar que a energia fotovoltaica utilizada é constante, permitindo ainda inferir que na estufa as cargas que estão instaladas têm de estar permanentemente ligadas.

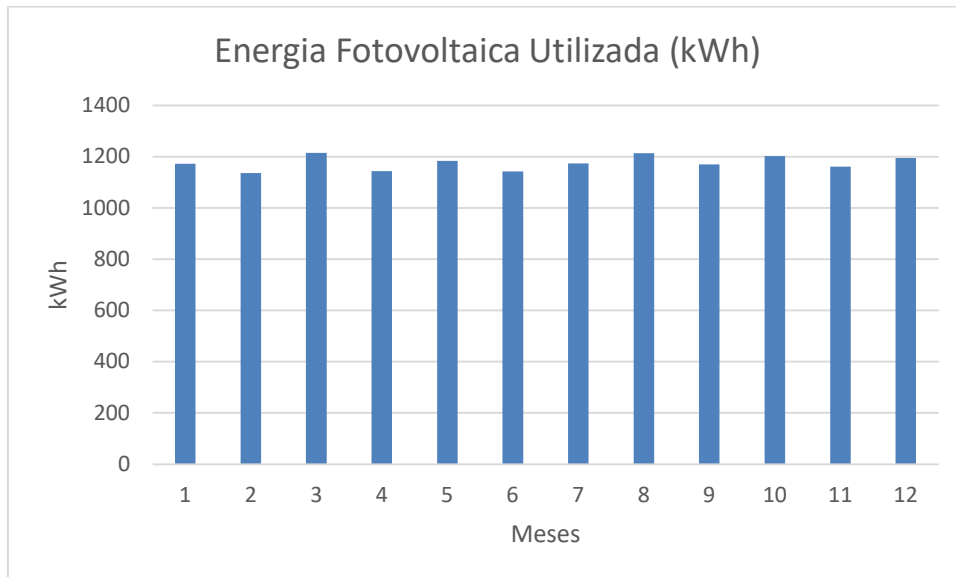


Figura 5.5 - Energia fotovoltaica utilizada (kWh)

Uma análise interessante é a comparação entre a energia disponível do sistema fotovoltaico, a energia utilizada e o consumo mensal. Da Figura 5.6 pode-se verificar que a energia fotovoltaica disponível é muito superior à energia utilizada e ao consumo. A produção do sistema fotovoltaico é maior do que a procura, mas também tem de se ter em conta o carregamento das baterias para que as mesmas estejam carregadas caso sejam necessárias. Para conseguir ter um tempo de autonomia de três dias na estufa e as baterias carregadas é necessária uma maior produção do grupo fotovoltaico.

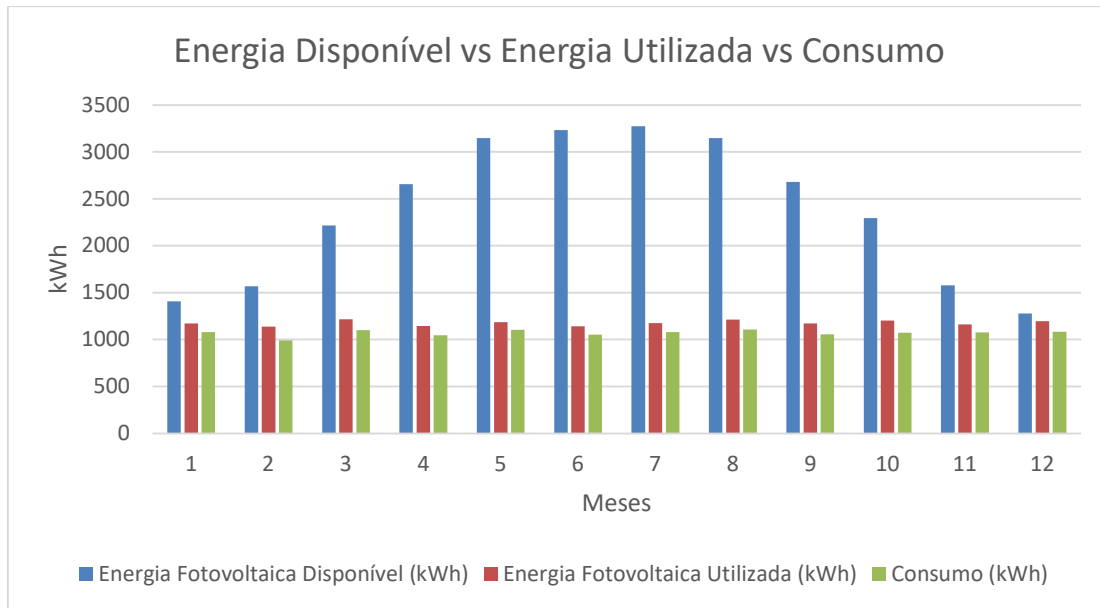


Figura 5.6 - Energia disponível vs Energia utilizada vs Consumo

Na Tabela 5.3 apresentam-se valores mensais da energia fotovoltaica disponível, energia fotovoltaica utilizada, consumo e o grau de cobertura solar.

Tabela 5.3 - Produção de energia mensal do sistema fotovoltaico

Mês	Energia fotovoltaica disponível máxima [kWh]	Energia fotovoltaica utilizada [kWh]	Consumo [kWh]	Grau de cobertura solar [%]
1	1408	1172	1081	100
2	1569	1136	989	100
3	2215	1215	1100	100
4	2657	1144	1045	100
5	3147	1184	1102	100
6	3235	1142	1053	100
7	3275	1174	1081	100
8	3148	1214	1105	100
9	2682	1170	1055	100
10	2294	1202	1074	100
11	1577	1161	1075	100
12	1276	1195	1083	100

Para o sistema fotovoltaico de rede isolada realizou-se um orçamento que dá uma estimativa do custo do sistema fotovoltaico. O componente que no final tem o preço mais elevado é o conjunto de baterias (Tabela 5.4). Também em comparação com o sistema fotovoltaico de autoconsumo o preço deste sistema é muito superior.

Tabela 5.4 - Orçamento do sistema fotovoltaico de rede isolada

Componentes	Preço Unitário	Quantidade/metros	Custo €/Wp	Total
1.Módulos fotovoltaico Suntech 280Wp tipo policristalino	190,00 €	63,00	0,68 €	11 970,00 €
2.Inversores SMA SB5.0-1AV-41	1 017,40 €	3,00		3 052,20 €
SMA Sunny Island 8.0H	2 559,00 €	2,00		5 118,00 €
3.Estrutura Estrutura de alumino no solo para 7 módulos fotovoltaicos	302,00 €	9,00		2 718,00 €
4.Cabos Cabo CC PV ZZ-F 4mm ²	0,78 €	100,00		78,00 €
Cabo CA XV-U 3G4mm ²	2,07 €	20,00		41,40 €
Cabo CA XV-U 3G6mm ²	3,69 €	20,00		73,80 €
5.Bateria LG Chem RESU13 252Ah	5 590,00 €	14,00		78 260,00 €
7.Serviço de Instalação subtotal				101 311,40 €
Serviço de instalação do sistema fotovoltaico				15 196,71 €
Valor Total (sem IVA)				116 508,11 €
IVA 23%				26 796,87 €
Valor Total (com IVA)				143 304,98 €

Com as simulações e os resultados obtidos do sistema fotovoltaico de rede isolada verifica-se que este sistema para o caso em estudo não é o mais indicado. A autonomia do sistema é de três dias, podendo ser curto não havendo uma segunda opção como um gerador, já que as cargas da estufa estão em funcionamento contínuo e muitas delas servem para circulação da água, filtragem da água e não podem estar desligadas. O investimento para este tipo de sistema é muito elevado para as necessidades da estufa, atendendo também ao facto de a estufa estar instalada na ESTG, com ligação à sua rede, ou seja, não está num sítio onde não há essa possibilidade.

5.3. Sistema de Monitorização Concebido

A placa de circuito impresso com os componentes pode ser observada na Figura 5.7.

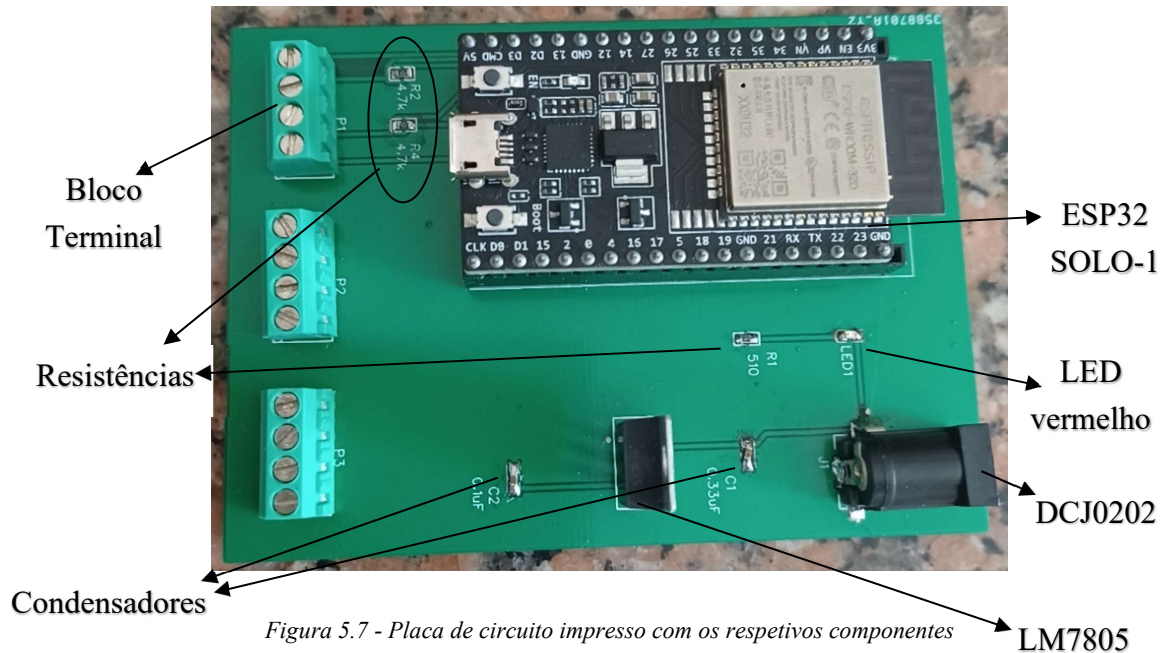


Figura 5.7 - Placa de circuito impresso com os respetivos componentes

Os resultados obtidos através do sistema de monitorização mostram que o sistema consegue realizar os objetivos pretendidos, visualização dos parâmetros da temperatura ambiente, humidade relativa do ar, temperatura, pH, Tds e EC da água através da internet numa *dashboard*, visualização numa aplicação móvel e também na base de dados.

6. Conclusões

O trabalho aqui descrito consistiu no dimensionamento de um modelo constituído por várias partes e onde a produção de energia elétrica por tecnologia fotovoltaica é uma componente relevante para uma estufa aquapónica de cultivo de plantas, localizada no campus 2, ESTG – Politécnico de Leiria. A utilização de energia renovável neste contexto apresenta um importante acréscimo na sua sustentabilidade, contribuindo para a descarbonização da atividade.

Adicionalmente, o estudo focou-se também na conceção de um sistema de monitorização, de visualização e produção de protótipo, onde certos dados relativos a variáveis importantes para a produção aquapónica são recolhidos em tempo real. Isto permite avaliar o estado de funcionamento do sistema de aquaponia deste caso de estudo, de um modo célere, e é uma metodologia disponibilizada ao gestor, para este atuar em caso de deteção de anomalias, logo eleva-se o nível de eficácia na gestão deste processo.

Inicialmente instalou-se um analisador de energia para se realizar o diagrama de cargas relacionadas com o consumo de energia elétrica, dado ser esta a fonte energética aqui usada. Após esta recolha conseguiu-se perceber que praticamente todos os equipamentos estão em funcionamento contínuo, durante todos os dias no período de recolha da amostra, à exceção dos aquecedores com termostato, que apenas funcionam em noites e dias frios ao longo do ano. Utilizaram-se estes valores e o seu diagrama de cargas para o dimensionamento do sistema de produção renovável de energia elétrica. Foi feito o dimensionamento do sistema de produção fotovoltaica para esta estufa e dois cenários foram concebidos. No caso do cenário em regime de autoconsumo o investimento é menor e consegue-se reduzir a fatura elétrica. No caso de cenário em regime de rede isolada, este apresenta custos elevados e aplicado a este caso de estudo não demonstrou grandes benefícios, comparativamente ao modo de abastecimento da energia elétrica existente neste Campus 2.

O sistema de monitorização modelado e concebido neste estudo monitoriza a temperatura e humidade relativa do ar, a temperatura, sólidos dissolvidos totais (TDS), condutividade elétrica e o pH da água, considerados como parâmetros principais para detetar condições críticas associadas à solução nutritiva e/ou climatização que requerem uma rápida atuação. Estes dados podem ser visualizados remotamente através da *Internet*, numa *dashboard* ou na aplicação móvel *Blynk*. Também foi desenvolvida uma base de dados, onde é possível ver, armazenar e tratar esses dados.

Os sensores que se utilizaram neste projeto são sensores de baixo custo, contudo aparentam ter uma razoável vida útil e bom desempenho, condicionados, no entanto, pela normal necessidade de calibração e limpeza periódica. Assim, de futuro seria importante equacionar a utilização de sensores com maior durabilidade, fiabilidade e robustez que possam garantir uma melhor continuidade e fiabilidade de funcionamento, nas condições mais adversas encontradas nas estufas, para se poder transitar com confiança desta fase de protótipo para a uma fabricação em larga escala do modelo proposto neste estudo.

Como trabalho futuro poderão investigar-se desenvolvimentos na melhoria da eficiência energética, hídrica, e ambiental deste processo de produção intensiva por implementação de diversas ações, a destacar:

- Arrefecimento através de ventilação forçada;
- Automação da abertura/fecho das janelas controlada pela monitorização dos parâmetros das condições ambientes no interior da estufa.
- Adicionar ao sistema de monitorização o consumo da energia elétrica da estufa num modo contínuo.
- Adicionar ao sistema de monitorização outros parâmetros, que permitam recolher informação importante para o processo produtivo, como por exemplo as concentrações de nutrientes chave na solução nutritiva;
- Sistemas de cortinas para o controlo de pragas e insetos não polinizadores.

Por fim refira-se que este trabalho foi objeto de submissão de artigo científico em conferência internacional.

7. Referências Bibliográficas

- [1] F. Marques, *Desenvolvimento de uma Estufa "Inteligente" Energeticamente Sustentável*, Lisboa, 2017.
- [2] A. Jager-Waldau, "PV Status Report," European Commission, 2019.
- [3] B. Qiuchan e J. Chunxia, "The Remote Monitoring System of Vegetable Greenhouse," em *10th International Symposium on computational Intelligence and Design*, 2017.
- [4] C. Bibbiani, F. Fantozzi, C. Gargari, C. Campiotti, E. Schettini e G. Vox, "Wood Biomass as Sustainable Energy for Greenhouses Heating in Italy," *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 8, vol. 8, pp. 637-645, 2016.
- [5] E. Homa e R. Ramin, "Optimal design for solar greenhouses based on climate conditions," *Renewable Energy*, vol. 145, pp. 1255-1265, 2020.
- [6] C. Maucieri, C. Nicoletto, R. Junge, Z. Schmautz e P. Sambo, "Hydroponic systems and water management in aquaponics," *Italian Journal of Agronomy*, vol. 13, nº 1, 2018.
- [7] A. Perdigones, S. Benedicto, J. Luis Garcia e I. Anacleto, "Automatização de estufas: a evolução das tecnologias," em *Agrotec*, Publindustria, 2013, pp. 78-81.
- [8] F. M. A. Taha, A. A. Osman, S. D. Awdalkareem, M. S. Omen e R. S. Saadalddeen, "A Design of a Remote Greenhouse Monitoring and Controlling System Based on Internet of things," em *International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering*, 2018.
- [9] M. B. Fernandes, B. A. Costa e J. M. Lemos, "Hydroponic Greenhouse Crop Optimization," em *13th APCA Internatinal Conference on Automatic Control and Soft Computing*, Açores, 2018.
- [10] M. S. B. Khot e D. M. S. Gaikwad, "Development of Cloud-Based Light Intensity Monitoring System For Green House Using Raspberry Pi," em *International Conference on Computing Communication Control and Automation*, 2016.
- [11] A. Hussain, I.-S. Choi, Y. H. Im e H.-M. Kim, "Optimal Operation of Greenhouses in Microgrids Perspective," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, pp. 3474-3485, 2019.
- [12] "GroHo," 2019. [Online]. Available: <https://www.groho.pt/post/o-que-e-a-hidroponia>. [Acedido em 20 01 2020].
- [13] Ecocenter.pt, "A Cientista Agricola," 4 Setembro 2018. [Online]. Available: <https://acientistaagricola.pt/hidroponia/>. [Acedido em 20 01 2020].
- [14] "Grow Plant," 25 08 2013. [Online]. Available: <http://grow-plant.blogspot.com/2013/08/sistema-hidroponico-dwc.html>. [Acedido em 20 01 2020].

- [15] “Grow Plant,” [Online]. Available: <https://www.growplant.com.br/sistema-hidroponico-dwc.html>. [Acedido em 28 05 2021].
- [16] R. R. Shamshiri, F. Kalantari, K. C. Ting, K. R. Thorp, I. A. Hameed, C. Weltzien, D. Ahmad e Z. M. Shad, “Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture,” *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 11, nº 1, 2018.
- [17] Z. Wan, Y. Song e Z. Cao, “Environment Dynamic Monitoring and Remote Control of Greenhouse with ESP8266 NodeMCU,” em *3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, Chengdu, China, 2019.
- [18] Z. Xu, J. Chen, Y. Wang e Z. Fan, “A Remote Monitoring System for Greenhouse Based on the Internet of Things,” em *International Conference on Mechanics and Mechatronics Research*, 2016.
- [19] C. R. Algarín, J. C. Cabarcas e A. P. Llanos, “Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring,” *Electronics*, vol. 6, 2017.
- [20] F. Sousa, “TechTudo,” 17 12 2019. [Online]. Available: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2019/12/o-que-e-zigbee-saiba-tudo-sobre-o-protocolo-para-iot-e-casa-conectada.ghtml>. [Acedido em 18 07 2020].
- [21] A. Zaini, A. kurniawan e A. D. Herdhiyanto, “Internet of Things for Monitoring and Controlling Nutrient Film Technique (NFT) Aquaponic,” em *International Conference on Computer Engineering, Network and Intelligent Multimedia (CENIM)*, Surabaya, Indonesia, 2018.
- [22] Helmy., M. Mahaidayu, A. Nursyahid, T. A. Setyawan e A. Hasan, “Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponic Monitoring System Based on Wireless Sensor Network,” em *International Conference on Communication, Networks and Satellitw*, 2017.
- [23] R. L. Sumalan, N. Stroia, D. Moga, V. Muresan, A. Lodin, T. Vintila e C. A. Popescu, “A Cost-Effetive Embedded Platform for Greenhouse Environment Control and Remote Monitoring,” *Agronomy*, vol. 10, nº 7, 2020.
- [24] N. Hassan, S. I. Adbullah, A. S. Noor e M. Alam, “An Automatic Monitoring And Control System Inside Greenhouse,” em *International Conference on Green Energy and Technology (ICGET)*, Dhaka, Bangladesh, 2015.
- [25] J. Liu, “Design and Implementation of an Intelligent Environmental-Control System: Perception, Network, and Application with Fused Data Collected from Multiple Sensors in a Greenhouse at Juangsu, China,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 12, nº 7, 2016.
- [26] J. Chaiwongsai, “Automatic Control and Management System for Tropical Hydroponic Cultivation,” em *International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2019.
- [27] F. Ismail e E. P. J. Gryzagoridis, “Sustainable development using renewble energy to boost aquaponics food production in neddy communities,” em *International*

Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), Cape Town, South Africa, 2016.

- [28] F. Silva e P. Agostinho, “Biomimética nas energias renováveis,” 2019.
- [29] “Wikipedia,” 2014. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Valerianella_locusta. [Acedido em 20 Janeiro 2020].
- [30] P. L. Dantas, “Mundo Educação,” 2019. [Online]. Available: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/saude-bem-estar/rucula.htm>. [Acedido em 20 Janeiro 2020].
- [31] A. Abreu, “Sistema de Monitorização de Estufas Agrícolas,” 2012.
- [32] E. d. S. João, “Metodologia de dimensionamento para instalações,” 2016.
- [33] “Trilhos Energéticos,” [Online]. Available: http://autoconsumoportugal.pt/index.php?id_product=321&controller=product. [Acedido em 02 Julho 2021].
- [34] “Eco Center,” [Online]. Available: <https://www.ecocenter.pt/ph-e-ec.html>. [Acedido em 9 Maio 2021].
- [35] “GroHo,” [Online]. Available: <https://www.hidroponiabrasil.com/post/aperfeicoando-o-ph-da-sua-solucao-nutritiva>. [Acedido em 7 Maio 2021].
- [36] “IN-OUTDOOR hydroponics,” 10 Julho 2019. [Online]. Available: <https://in-outdoor.com.br/blog/a-eletocondutividade-ou-ec-nos-cultivos/>. [Acedido em 7 Maio 2021].
- [37] Ecocenter, “A Cientista Agrícola,” 4 Janeiro 2020. [Online]. Available: <https://acientistaagricola.pt/hidroponia/>. [Acedido em 10 Maio 2021].
- [38] “Electrofun,” [Online]. Available: <https://www.electrofun.pt/sensores-arduino/sensor-temperatura-ds18b20>. [Acedido em 12 Janeiro 2021].
- [39] “Electrofun,” [Online]. Available: <https://www.electrofun.pt/sensores-arduino/sensor-temperatura-humidade-dht11>. [Acedido em 10 Janeiro 2021].
- [40] “DFROBOT,” [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-2069.html>. [Acedido em 10 Janeiro 2021].
- [41] “DFROBOT,” [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1662.html>. [Acedido em 10 Janeiro 2021].
- [42] “EasyEDA,” EasyEDA, 2013. [Online]. Available: <https://easyeda.com/pt>. [Acedido em 17 05 2021].
- [43] “Arduino,” 2005. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>. [Acedido em 10 Dezembro 2020].
- [44] “RANDOM NERD TUTORIALS,” [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-dht11-dht22-temperature-humidity-web-server-arduino-ide/>. [Acedido em 10 Dezembro 2020].
- [45] P. Pinto, “pplware,” 24 03 2019. [Online]. Available: <https://pplware.sapo.pt/tutoriais/networking/mqtt-protocolo-de-comunicacao/>. [Acedido em 12 12 2020].

- [46] “RANDOM NERD TUTORIALS,” [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-mqtt-publish-dht11-dht22-arduino/>. [Acedido em 29 Março 2021].
- [47] N. O’Leary, Conway-Jones e Dave, “Node-RED,” ibm Emerging Technology, 2013. [Online]. Available: <https://nodered.org/>. [Acedido em 12 Abril 2021].
- [48] Baiborodin e Pavel, “Blynk,” [Online]. Available: <https://blynk.io/>. [Acedido em 21 Abril 2021].
- [49] Widenius e Michael, “MariaDB,” 2009. [Online]. Available: <https://mariadb.org/>. [Acedido em 28 Abril 2021].
- [50] “phpMyAdmin,” 1998. [Online]. Available: <https://www.phpmyadmin.net/>. [Acedido em 14 Abril 2021].

Anexos

Anexo A – Características do Pannel Fotovoltaico Suntech 240W

Anexo B – Características do Pannel Fotovoltaico Suntech 280W

Anexo C – Características do Inversor Sunny Boy 3600TL

Anexo D – Características do Inversor Sunny Island 8.0H

Anexo E – Características das Baterias LG Chem RESU13

Anexo F – Simulação do Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo

Anexo G – Simulação do Sistema Fotovoltaico de Rede Isolada

Anexo H – Esquema Elétrico do Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo

Anexo I – Esquema Elétrico do Sistema Fotovoltaico de Rede Isolada

Anexo J – Código fonte do ESP32 NodeMCU

Anexo K – Node-RED

Anexo L – Componentes do Sistema de Monitorização

Anexo A - Características do Painel Fotovoltaico Suntech 240Wpico

Electrical Characteristics

STC	PLUTO240-Wdm	PLUTO235-Wdm
Optimum Operating Voltage (Vmp)	29.6 V	29.4 V
Optimum Operating Current (Imp)	8.11 A	8.00 A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.9 V	36.4 V
Short Circuit Current (Isc)	8.46 A	8.42 A
Maximum Power at STC (Pmax)	240 W	235 W
Module Efficiency	14.8%	14.8%
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C	
Maximum System Voltage	1000 V DC (IEC)	
Maximum Series Fuse Rating	20 A	
Power Tolerance	0/+5 %	

STC: Irradiance 1000 W/m², module temperature 25 °C, AM=1.5;
Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

NOCT	PLUTO240-Wdm	PLUTO235-Wdm
Maximum Power at NOCT (Pmax)	176 W	172 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	26.9 V	26.7 V
Optimum Operating Current (Imp)	6.54 A	6.44 A
Open Circuit Voltage (Voc)	33.9 V	33.7 V
Short Circuit Current (Isc)	6.84 A	6.80 A

NOCT: Irradiance 800 W/m², ambient temperature 20 °C, AM=1.5, wind speed 1 m/s;
Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

Anexo B - Características do Pannel Fotovoltaico Suntech 280Wpico

Electrical Characteristics

STC	STP280-24/Vd
Optimum Operating Voltage (Vmp)	35.2 V
Optimum Operating Current (Imp)	7.95 A
Open - Circuit Voltage (Voc)	44.8 V
Short - Circuit Current (Isc)	8.33 A
Maximum Power at STC (Pmax)	280 W
Module Efficiency	14.4%
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C
Maximum System Voltage	600 V DC (UL)/ 1000 V DC (IEC)
Maximum Series Fuse Rating	20 A
Power Tolerance	0/+5 %

STC: Irradiance 1000 W/m², module temperature 25 °C, AM=1.5;
Power measurement tolerance: ± 3%

NOCT	STP280-24/Vd
Maximum Power (W)	204 W
Maximum Power Voltage (V)	32.0 V
Maximum Power Current (A)	6.39 A
Open Circuit Voltage (Voc)	40.8 V
Short Circuit Current (Isc)	6.74 A

NOCT: Irradiance 800 W/m², ambient temperature 20 °C, wind speed 1 m/s;
Power measurement tolerance: ± 3%

Anexo C - Características do Inversor Sunny Boy 3600TL

Technical data	Sunny Boy 3000TL	Sunny Boy 3600TL
Input (DC)		
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$)	3200 W	3880 W
Max. input voltage	750 V	750 V
MPP voltage range / rated input voltage	175 V ... 500 V/400 V	175 V ... 500 V/400 V
Min. input voltage / initial input voltage	125 V / 150 V	125 V / 150 V
Max. input current input A / input B	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Max. input current per string input A / input B	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
Output (AC)		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	3000 W	3680 W
Max. apparent AC power	3000 VA	3680 VA
Nominal AC voltage / range	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 280 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	16 A	16 A
Power factor at rated power	1	1
Displacement power factor, adjustable	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	1 / 1	1 / 1
Efficiency		
Max. efficiency / European weighted efficiency	97 % / 96 %	97 % / 96.3 %
Protective devices		
DC disconnect device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	● / ● / -
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W/H/D)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 inches)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 inches)
Weight	26 kg / 57.3 lb	26 kg / 57.3 lb
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Noise emission (typical)	25 dB(A)	25 dB(A)

Anexo D - Características do Inversor Sunny Island 8.0H

Technical data	Sunny Island 4.4M	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Operation on the utility grid or generator			
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 172.5 V to 264.5 V		
Rated grid frequency / permitted frequency range	50 Hz / 40 Hz to 70 Hz		
Maximum AC current for increased self-consumption (grid operation)	14.5 A	20 A	26 A ^{el}
Maximum apparent AC power for increased self-consumption (grid operation)	3.3 kVA	4.6 kVA	6 kVA ^{el}
Maximum AC input current	50 A	50 A	50 A
Maximum AC input power	11500 W	11500 W	11500 W
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited to 0.8 underexcited		
Stand-alone or emergency power operation			
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 202 V to 253 V		
Rated frequency / frequency range (adjustable)	50 Hz / 45 Hz to 65 Hz		
Rated power (at Unom, from / 25 °C / cos φ = 1)	3300 W	4600 W	6000 W
AC power at 25 °C for 30 min / 5 min / 3 sec	4400 W / 4600 W / 5500 W	6000 W / 6800 W / 11000 W	8000 W / 9100 W / 11000 W
AC power at 45 °C continuously	3000 W	3700 W	5430 W
Rated current / maximum output current (peak)	14.5 A / 60 A	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Total harmonic distortion output voltage / power factor at rated power	< 5% / -1 to +1	< 1.5% / -1 to +1	< 1.5% / -1 to +1
Battery DC input			
Rated input voltage / DC voltage range	48 V / 41 V to 63 V	48 V / 41 V to 63 V	48 V / 41 V to 63 V
Maximum battery charging current / rated DC charging current / DC discharging current	75 A / 63 A / 75 A	110 A / 90 A / 103 A	140 A / 115 A / 130 A
Battery type / battery capacity (range)	Li-Ion ¹⁾ , FLA, VRLA / 100 Ah to 10000 Ah (lead-acid) 50 Ah to 10000 Ah (Li-Ion)		
Charge control	IUoU charge procedure with automatic full charge and equalization charge		
Efficiency / self-consumption of the device			
Maximum efficiency	95.5 %	95.8 %	95.8 %
No-load consumption / standby	18 W / 6.8 W	25.8 W / 6.5 W	25.8 W / 6.5 W
Protective devices (equipment)			
AC short-circuit / AC overload	● / ●		
DC reverse polarity protection / DC fuse	- / -		
Overtemperature / battery deep discharge	● / ●		
Overvoltage category as per IEC 60664-1	III		
General Data			
Dimensions (W / H / D)	467 mm / 612 mm / 242 mm (18.4 inches / 21.1 inches / 9.5 inches)		
Weight	44 kg (97 lbs)	63 kg (138.9 lbs)	63 kg (138.9 lbs)
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +14 °F)		
Protection class as per IEC 62103	I		
Climatic category as per IEC 60721	3K6		
Degree of protection according to IEC 60529	IP54		

Anexo E - Características das Baterias LG Chem RESU13

RESU13

Electrical Characteristics	
Total Energy Capacity	13.0 kWh
Usable Energy Capacity ¹⁾	12.4 kWh
Battery Capacity	252 Ah
Voltage Range	42.0 to 58.8 V _{DC}
Nominal Voltage	51.8 V _{DC}
Max. Charge/Discharge Current	119A
Peak Current ²⁾	166.7A for 3 sec.
Max. Charge/Discharge Power	5.0kW
Peak Power ²⁾	7.0kW for 3 sec.
Peak Power for backup mode	11.0kW for 3 sec.
Battery Pack Round -Trip Efficiency	>95% (under specific condition)
Communication Interface	CAN 2.0B
DC Disconnect	Circuit Breaker, Contactor, Fuse
Operating Conditions	
Installation Location	Indoor / Outdoor (Stand / Wall -Mounted)
Operating Temperature	-10 to 50 °C
Operating Temperature (Recommended)	15 to 30 °C
Storage Temperature	-30 to 60 °C: ~7 days -20 to 45 °C: ~6 months
Humidity	5% to 95 %
Altitude	Max. 2,000m
Cooling Strategy	Natural Convection

Anexo F - Simulação do Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo

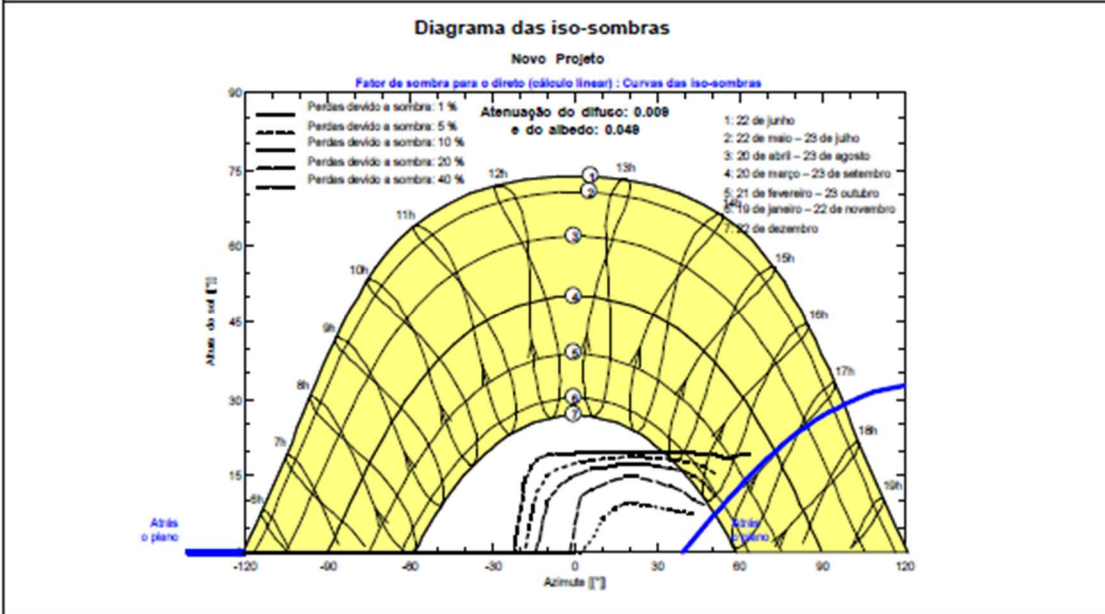
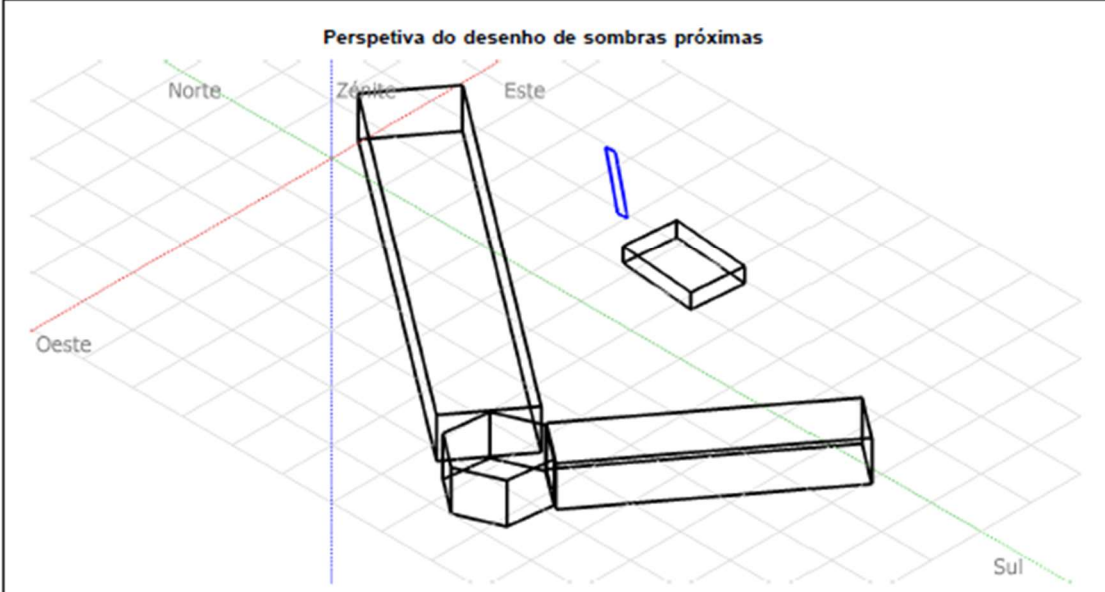
PVSYST V6.81		04/10/21	Página 1/5											
Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação														
Projeto : Novo Projeto														
Localização geográfica	ESTG	País	Portugal											
Localização	Latitude 39.74° N	Longitude	-8.82° W											
Tempo definido como	Tempo legal Fuso horário TU	Altitude	71 m											
Dados meteorológicos:	ESTG	PVGIS api TMY - TMY												
Variante da simulação : Nova variante da simulação1														
	Data da simulação	04/10/21 10h20												
Parâmetros da simulação	Tipo de sistema	Building system												
Orientação do plano dos módulos	Inclinação 33°	Azimute	-51°											
Modelos utilizados	Transposição Perez	Difuso	Importado											
Horizonte	Sem horizonte													
Sombras próximas	Sombras lineares													
Exigências do consumidor :	Definição ext. por ficheiro load_profile_5.csv													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano	
	1081	989	1100	1045	1102	1053	1081	1105	1055	1074	1075	1083	12844	kWh
Características do grupo FV														
Módulo FV	Si-poly	Modelo	STP 240-20/Wd											
Original PVsyst database		Fabricante	Suntech											
Número de módulos FV		Em série	8 módulos	Em paralelo 2 strings										
Número total de módulos FV		Nr. módulos	16	Potência unitária 240 Wp										
Potência global do grupo		Nominal (STC)	3840 Wp	Em condições de func. 3427 Wp (50°C)										
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	214 V	I mpp 16 A										
Superfície total		Superfície módulos	26.0 m²	Superfície célula 23.4 m ²										
Inversor		Modelo	Sunny Boy 3600 TL-21											
Original PVsyst database		Fabricante	SMA											
Características		Tensão de funcionamento	175-500 V	Potência unitária 3,68 kWac										
Bateria de inversores		N.º de inversores	2 * MPPT 50 %	Potência total 3,7 kWac Rácio Pnom 1.04										
Fatores de perda do grupo FV														
Fator de perdas térm.		Uc (const.)	20.0 W/m ² K	Uv (vento) 0.0 W/m ² K / m/s										
Perdas ôhmicas nos cabos		Res. global do grupo	229 mOhm	Fração perdas 1.5 % em STC										
Perdas de qualidade dos módulos				Fração perdas -1.3 %										
Perdas de módulos com mismatch				Fração perdas 1.0 % no MPP										
Perdas de strings com mismatch				Fração perdas 0.10 %										
Efeito de incidência, parametrização ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo 0.05										

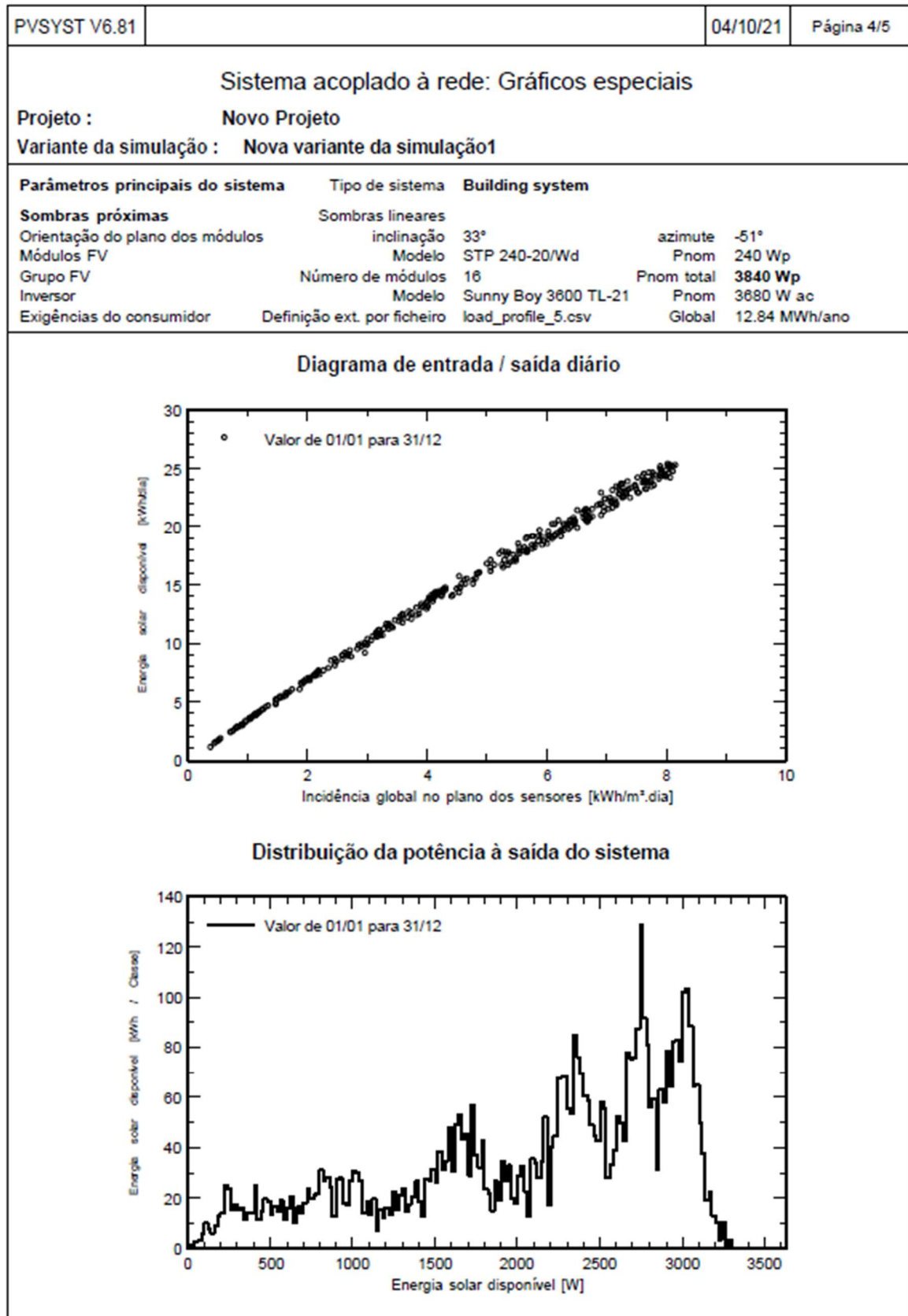
Tradução sem garantias, A referência é o texto Inglês.

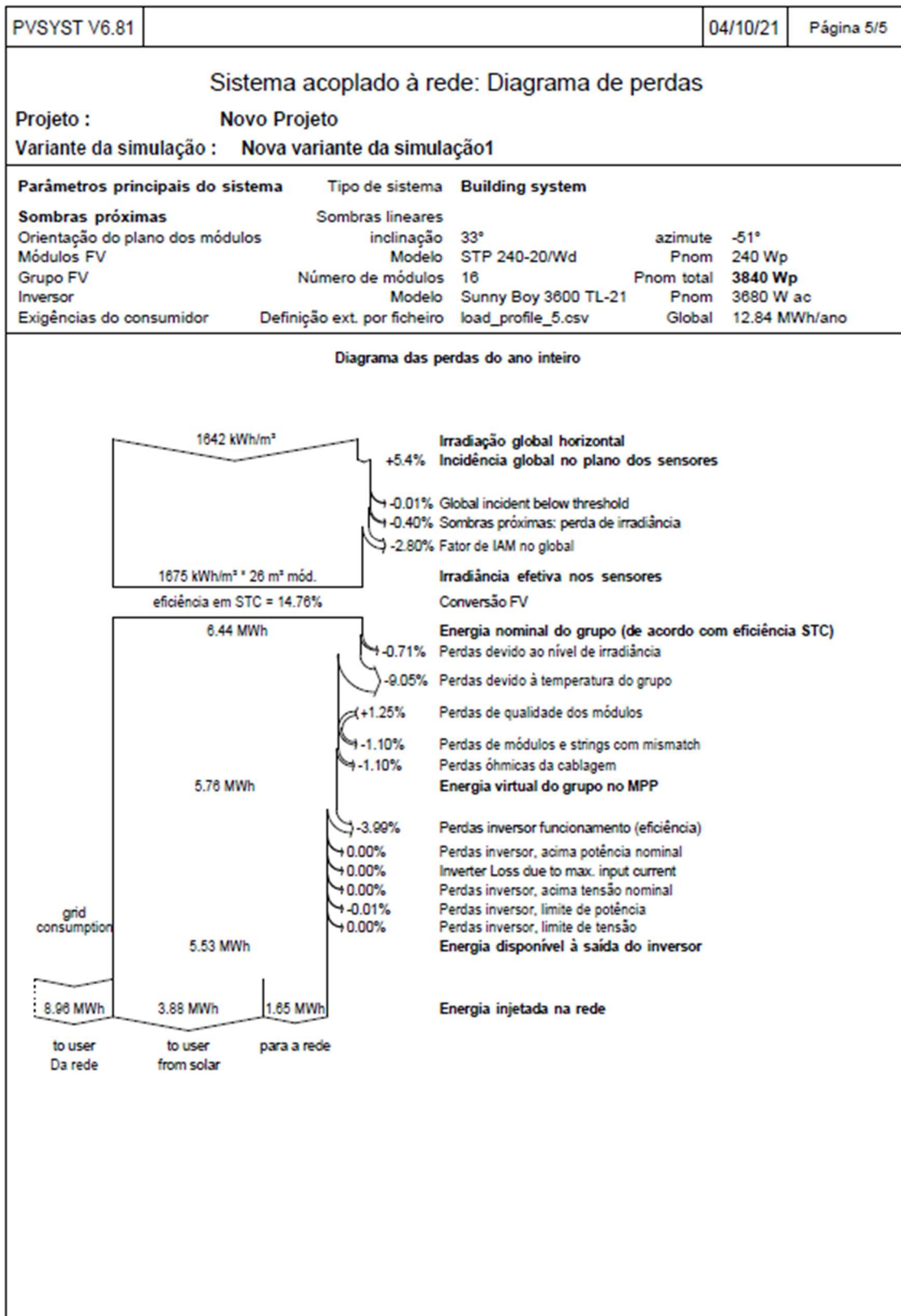
Sistema acoplado à rede: Definição das sombras próximas

Projeto : **Novo Projeto**
 Variante da simulação : **Nova variante da simulação1**

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	Building system	
Sombras próximas	Sombras lineares		
Orientação do plano dos módulos	inclinação	33°	azimute -51°
Módulos FV	Modelo	STP 240-20/Wd	Pnom 240 Wp
Grupo FV	Número de módulos	16	Pnom total 3840 Wp
Inversor	Modelo	Sunny Boy 3600 TL-21	Pnom 3680 W ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	load_profile_5.csv	Global 12.84 MWh/ano







Anexo G - Simulação do Sistema Fotovoltaico de Rede Isolada

Electricista Silva • Rua Silva 21 • 54321 Lisboa

Electricista Silva
Rua Silva 21
54321 Lisboa

Tel.: +49 123 456-0
Fax: +49 123 456-100
E-mail: info@el-silva.de
Internet: www.el-silva.de

Projecto: estufa_isolada
Número do projecto: ---

Local de instalação: Portugal / Leiria

Tensão de rede: 230V (230V / 400V)


Vista geral do sistema

63 x Suntech Power STP280-24/Vd (02/2012) (Gerador fotovoltaico 1)

Azimute: -51 °, Inclinação: 33 °, Tipo de montagem: Montagem livre, Potência de pico: 17,64 kWp

 3 x SMA SB5.0-1AV-41

Bateria

 2 x SMA Sunny Island 8.0H

Baterias: Lítio

Capacidade nominal total: 165,00 kWh (corresponde a 3438 Ah com C10)

Daí utilizável: 115,50 kWh (corresponde a 2406 Ah com C10)

Dados de dimensionamento fotovoltaico

Quantidade total de módulos FV:	63	Rendimento energético espec.*:	1615 kWh/kWp
Potência de pico:	17,64 kWp	Perdas em linha (em % de energia FV):	---
Número de inversores fotovoltaicos:	3	Carga desequilibrada:	15,00 kVA
Potência nominal CA dos inversores fotovoltaicos:	15,00 kW	Energia fotovoltaica utilizada:	14.106,39 kWh
Potência activa CA:	15,00 kW	Percentagem fotovoltaica utilizada:	49,5 %
Relação de potência activa:	85 %	Percentagem fotovoltaica no fornecimento de energia (durante o dia):	227,9 %
Energia fotovoltaica disponível máxima*:	28.482 kWh	Grau de cobertura solar média anual:	100 %
Factor de utilização da energia:	99,4 %		

Dimensionamentos dos inversores

Projecto: estufa_isolada
Número do projecto:

Local de instalação: Portugal / Leiria
Temperatura ambiente:
Temperatura mínima: 4 °C
Temperatura de dimensionamento: 24 °C
Temperatura máxima: 38 °C

Projecto parcial Projecto parcial 1

3 x SMA SB5.0-1AV-41 (Sistema parcial 1)

Potência de pico:	17,64 kWp
Quantidade total de módulos FV:	63
Número de inversores fotovoltaicos:	3
Potência máx. CC (cos $\varphi = 1$):	5,25 kW
Potência activa máx. CA (cos $\varphi = 1$):	5,00 kW
Tensão de rede:	230V (230V / 400V)
Razão de potência nominal:	89 %
Factor de dimensionamento:	117,6 %
Factor de desfasamento cos φ :	1
Horas em carga plena:	1898,8 h



SMA SB5.0-1AV-41

Dados de dimensionamento fotovoltaico

Entrada A: Gerador fotovoltaico 1

11 x Suntech Power STP280-24/Vd (02/2012), Azimute: -51 °, Inclinação: 33 °, Tipo de montagem: Montagem livre

Entrada B: Gerador fotovoltaico 1

10 x Suntech Power STP280-24/Vd (02/2012), Azimute: -51 °, Inclinação: 33 °, Tipo de montagem: Montagem livre

	Entrada A:	Entrada B:	
Número de strings:	1	1	
Módulos FV:	11	10	
Potência de pico (entrada):	3,08 kWp	2,80 kWp	
Tensão CC mín. INV (tensão de rede 230 V):	100 V	100 V	
Tensão fotovoltaica típica:	✓ 363 V	✓ 330 V	
Tensão FV mín.:	334 V	303 V	
Tensão CC máx. (Inversor):	600 V	600 V	
Tensão fotovoltaica máx.	✓ 527 V	✓ 480 V	
Corrente máx. de entrada por rastreamento MPP:	15 A	15 A	
Corrente máx. do gerador FV:	✓ 8,0 A	✓ 8,0 A	
Corrente máx. de curto-circuito por rastreamento MPP:	20 A	20 A	
Corrente máx. de curto-circuito fotovoltaico	✓ 8,3 A	✓ 8,3 A	

Sistema fotovoltaico / Inversor compatíveis

Este inversor é-lhe fornecido com SMA ShadeFix. SMA ShadeFix é um software patenteado para inversores, que otimiza automaticamente o rendimento de sistemas fotovoltaicos em qualquer situação. Mesmo em caso de ensombramento.

Dimensionamento dos cabos

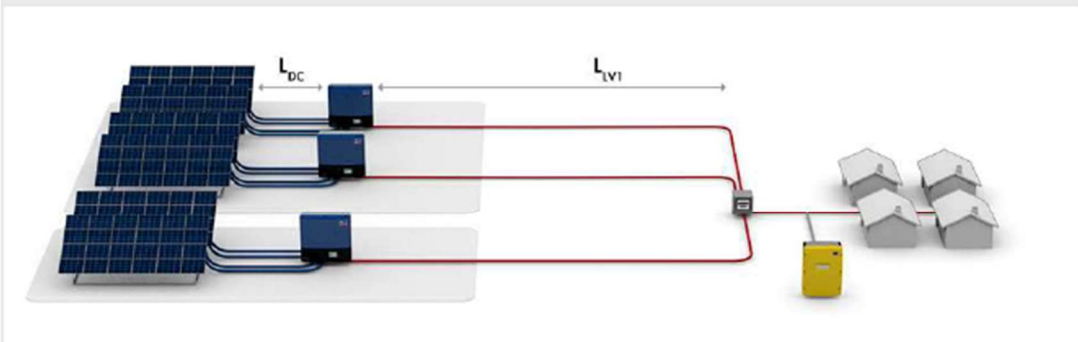
Projecto: estufa_isolada
Número do projecto:

Local de instalação: Portugal / Leiria

Vista geral

	✓ CC	✓ LV	✓ Total
Potência dissipada no modo nominal	60,20 W	60,96 W	121,16 W
Potência dissipada rel. no modo nominal	0,33 %	0,41 %	0,73 %
Comprimento total do cabo	120,00 m	15,00 m	135,00 m
Secções dos cabos	2,5 mm ²	4 mm ²	2,5 mm ² 4 mm ²

Gráfico



Cabos de CC

	Material do cabo	Comprimento simples	Secção	Queda de tensão	Potência dissipada rel.	
Projecto parcial 1						
3 x SMA SB5.0-1AV-41 Sistema parcial 1	A	Cobre	10,00 m	2,5 mm ²	1,2 V	0,31 %
	B	Cobre	10,00 m	2,5 mm ²	1,2 V	0,34 %

Cabos LV1

	Material do cabo	Comprimento simples	Secção	Resistência de linha	Potência dissipada rel.
Projecto parcial 1					
3 x SMA SB5.0-1AV-41 Sistema parcial 1	Cobre	5,00 m	4 mm ²	R: 43,000 mΩ XL: 0,750 mΩ	0,41 %

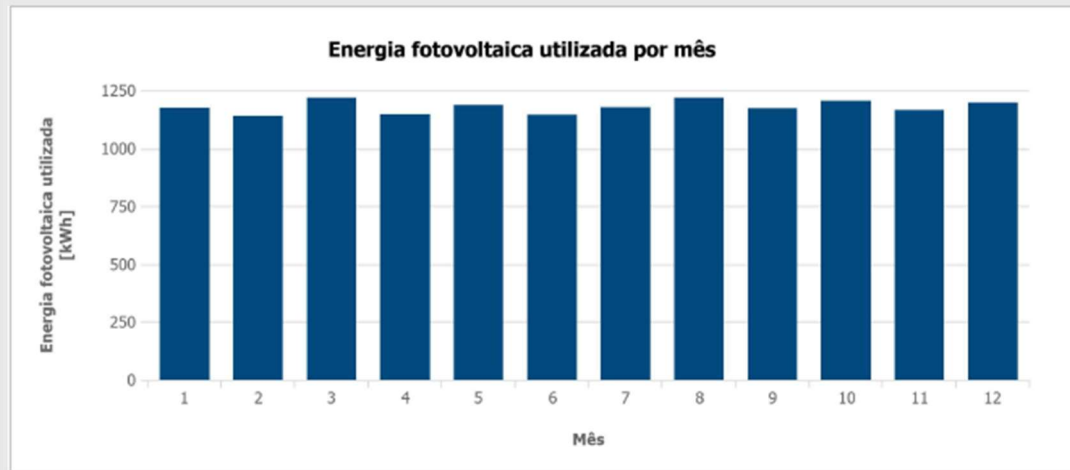
Os resultados apresentados são valores aproximados para informação geral do utilizador sobre possíveis resultados operacionais. Os resultados são calculados matematicamente. Os resultados operacionais reais dependem decisivamente das condições climáticas reais, da eficiência efectiva e das condições de operação dos componentes do sistema, bem como do comportamento individual de consumo, podendo divergir dos resultados calculados. A SMA Solar Technology AG não assume qualquer responsabilidade em caso de divergências entre os resultados operacionais calculados e reais.

Valores mensais

Projecto: estufa_isolada
Número do projecto:

Local de instalação: Portugal / Leiria

Diagrama



Tabela


Mês	Energia fotovoltaica disponível máxima [kWh]	Energia fotovoltaica utilizada [kWh]	Consumo [kWh]	Grau de cobertura solar
1	1408	1172	1081	100 %
2	1569	1136	989	100 %
3	2215	1215	1100	100 %
4	2657	1144	1045	100 %
5	3147	1184	1102	100 %
6	3235	1142	1053	100 %
7	3275	1174	1081	100 %
8	3148	1214	1105	100 %
9	2682	1170	1055	100 %
10	2294	1202	1074	100 %
11	1577	1161	1075	100 %
12	1276	1195	1083	100 %

Análise do sistema energia e potência

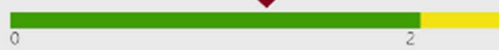
Projecto: estufa_isolada
Número do projecto:

Local de instalação: Portugal / Leiria

Potência

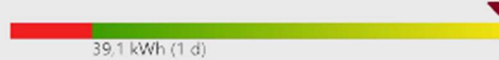
 Sistema compatível

Potência nominal CA inversores fotovoltaicos / sistema de armazenamento: 1,25



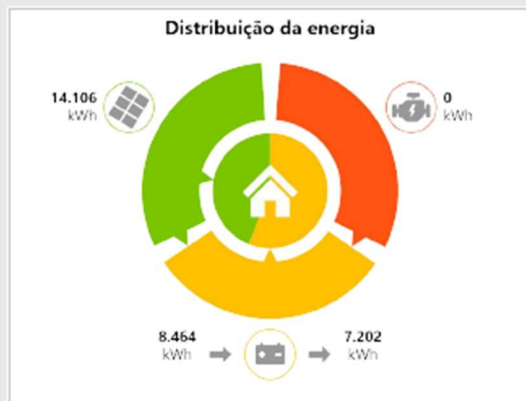
Potência nominal CA grupo gerador / sistema de armazenamento: ---

Capacidade útil de armazenamento: 115,5 kWh (3 d)



Potência nominal CA conjunta do sistema:	27 kW
Potência nominal CA inversores fotovoltaicos:	15 kW
Potência nominal CA sistema de armazenamento:	12 kW
Potência nominal CA grupo gerador:	---
Excedente de potência:	0 kW
Défice de energia:	0 kWh
Potência nominal CA inversores fotovoltaicos / sistema de armazenamento:	1,25
Potência nominal CA grupo gerador / sistema de armazenamento:	---
Capacidade útil de armazenamento:	115,5 kWh
Tempo de autonomia:	3 d
Grau de cobertura solar média anual:	100 %

Energia



Consumo anual de energia:	12.844 kWh
Energia fotovoltaica disponível máxima:	28.482 kWh
Energia fotovoltaica utilizada:	14.106 kWh
Energia fotovoltaica directamente consumida:	5.642 kWh
Energia fotovoltaica temporariamente armazenada:	8.464 kWh
Produção anual de energia do grupo gerador:	0 kWh
Ciclos de carga-descarga da bateria por ano:	51
Consumo anual de combustível:	0 l

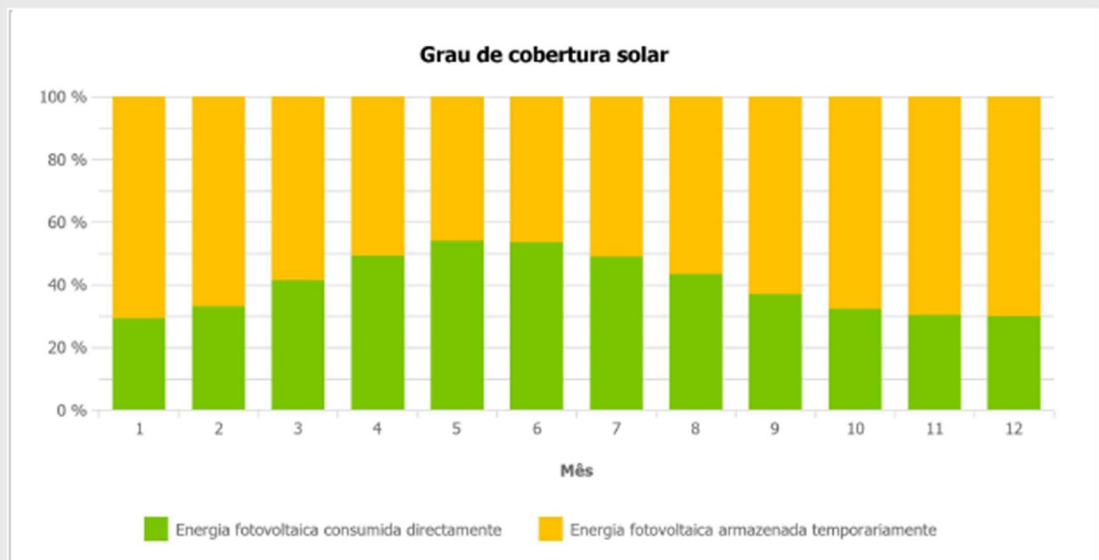
Os resultados apresentados são valores aproximados para informação geral do utilizador sobre possíveis resultados operacionais. Os resultados são calculados matematicamente com base em pressupostos padronizados. Os resultados operacionais reais dependem decisivamente das condições reais de insolação, da eficiência efectiva e das condições de operação do grupo gerador, bem como do comportamento individual de consumo, podendo divergir dos resultados calculados. POR CONSEQUENTE, A SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NÃO ASSUME QUALQUER RESPONSABILIDADE POR MENORES RENDIMENTOS EM CASO DE DIVERGÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS OPERACIONAIS CALCULADOS E REAIS.

Análise do sistema energia e potência

Projecto: estufa_isolada
Número do projecto:

Local de instalação: Portugal / Leiria

Grau de cobertura solar



Mês	Grau de cobertura solar [%]	Percentagem fotovoltaica utilizada [%]	Consumo total de energia de combustível [l]
1	100	83	0
2	100	72	0
3	100	55	0
4	100	43	0
5	100	38	0
6	100	35	0
7	100	36	0
8	100	39	0
9	100	44	0
10	100	52	0
11	100	74	0
12	100	94	0

Os resultados apresentados são valores aproximados para informação geral do utilizador sobre possíveis resultados operacionais. Os resultados são calculados matematicamente com base em pressupostos padronizados. Os resultados operacionais reais dependem decisivamente das condições reais de insolação, da eficiência efectiva e das condições de operação do grupo gerador, bem como do comportamento individual de consumo, podendo divergir dos resultados calculados. POR CONSEQUINTE, A SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NÃO ASSUME QUALQUER RESPONSABILIDADE POR MENORES RENDIMENTOS EM CASO DE DIVERGÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS OPERACIONAIS CALCULADOS E REAIS.

Sistema de armazenamento

Projecto: estufa_isolada

Local de instalação: Portugal / Leiria

Número do projecto:


Potência

Potência CA a 25 °C:	12 kW
Potência CA a 40 °C:	10,9 kW
Potência CA a 25 °C durante 30 min:	16 kW

Acumulador

Baterias:	Lítio
Capacidade nominal total:	165,00 kWh (corresponde a 3438 Ah com C10)
Daí utilizável:	115,50 kWh (corresponde a 2406 Ah com C10)

Componentes do sistema

Aparelho		Configurações por cluster/aparelho	
Cluster 1	 2 x SMA Sunny Island 8.0H	Baterias:	Lítio
		Capacidade:	165,00 kWh (corresponde a 3438 Ah com C10)
		Daí utilizável:	70 % (corresponde a 2406 Ah com C10)

Vista geral do perfil de carga

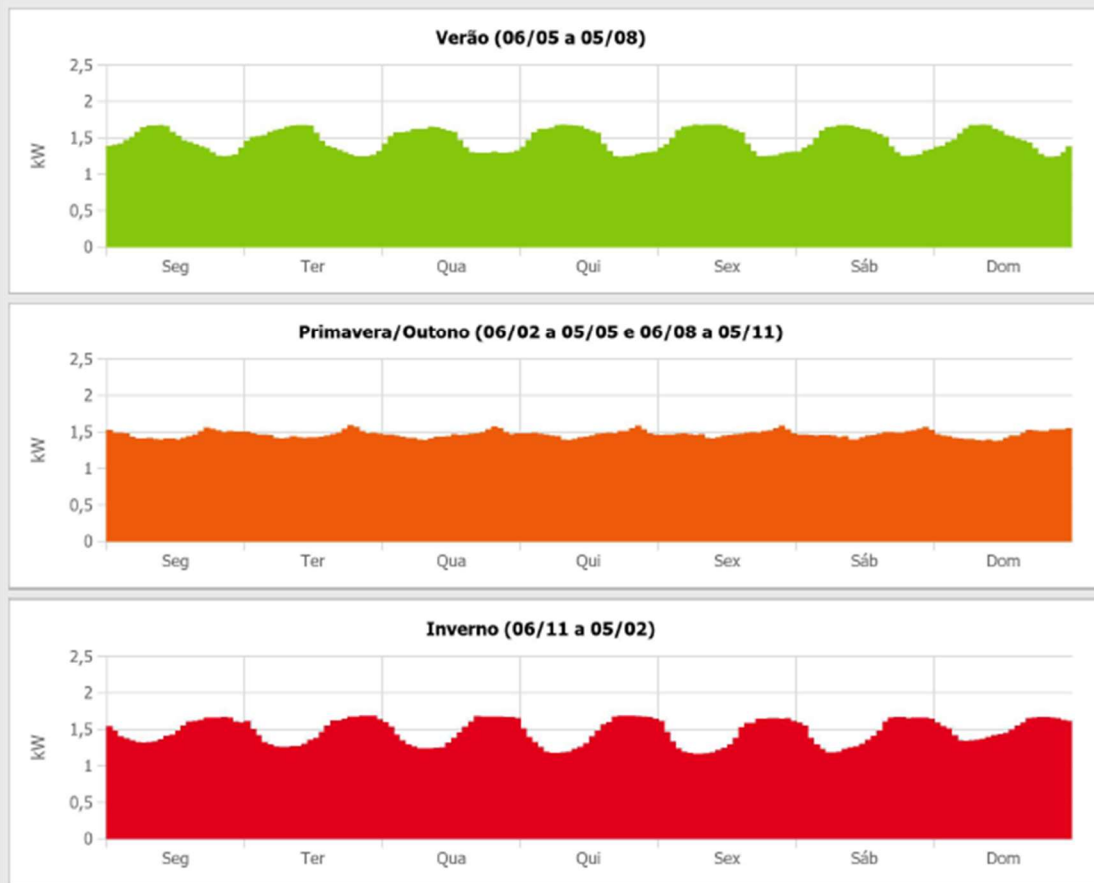
Projecto: estufa_isolada
Número do projecto:

Local de instalação: Portugal / Leiria

Vista geral

Perfil de carga	Consumo anual de energia	Potência de 30 minutos
estg_load_2	12844 kWh	1,8 kW
Total	12.844 kWh	1,8 kW

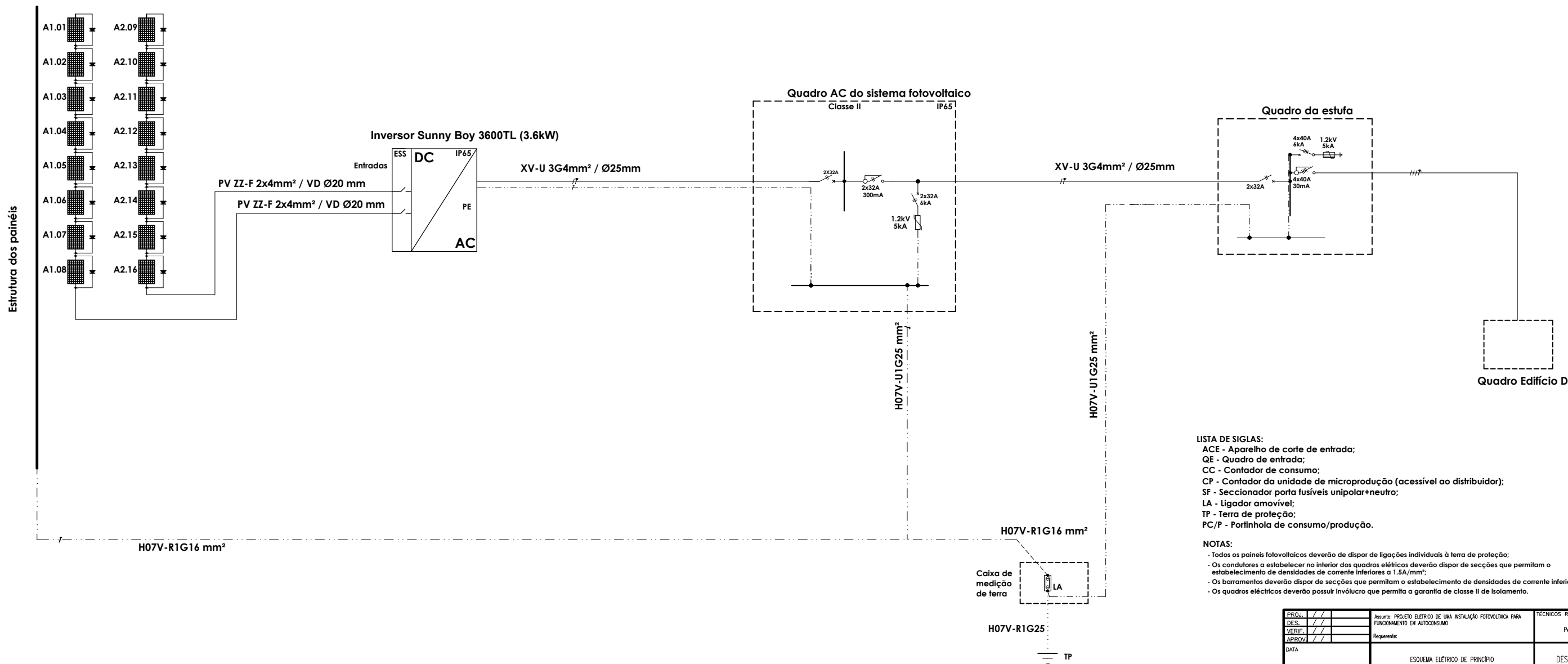
Perfis médios semanais por estação



Os resultados apresentados são valores aproximados para informação geral do utilizador sobre possíveis resultados operacionais. Os resultados são calculados matematicamente com base em pressupostos padronizados. Os resultados operacionais reais dependem decisivamente das condições reais de insolação, da eficiência efectiva e das condições de operação do grupo gerador, bem como do comportamento individual de consumo, podendo divergir dos resultados calculados. POR CONSEQUENTE, A SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NÃO ASSUME QUALQUER RESPONSABILIDADE POR MENORES RENDIMENTOS EM CASO DE DIVERGÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS OPERACIONAIS CALCULADOS E REAIS.

Anexo H - Esquema Elétrico do Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo

11 Suntech STP- 240-25/Wd = 240Wp



- LISTA DE SIGLAS:**
 ACE - Aparelho de corte de entrada;
 QE - Quadro de entrada;
 CC - Contador de consumo;
 CP - Contador da unidade de microprodução (acessível ao distribuidor);
 SF - Seccionador porta fusíveis unipolar+neutro;
 LA - Ligador amovível;
 TP - Terra de proteção;
 PC/P - Portinhola de consumo/produção.

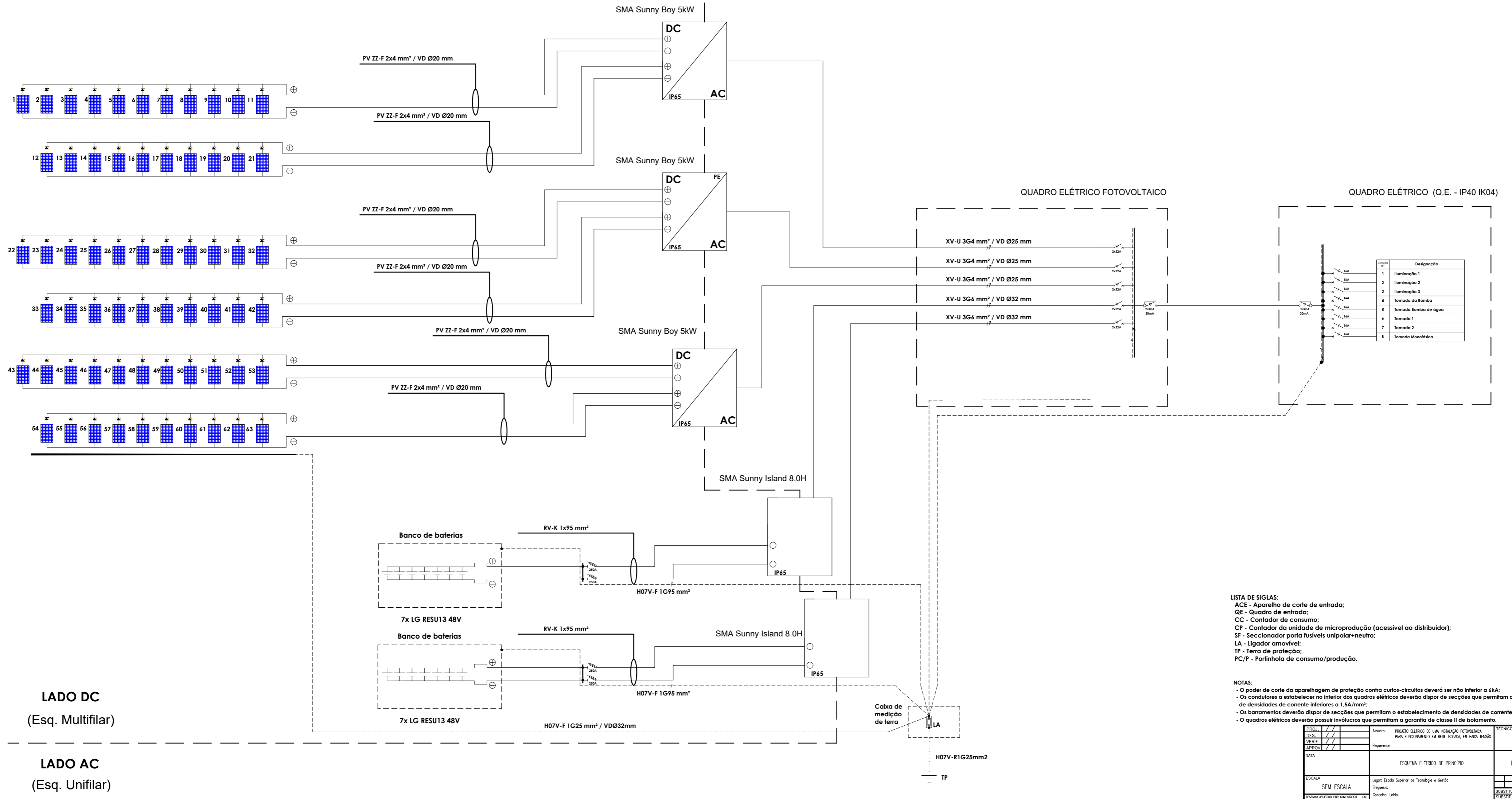
- NOTAS:**
 - Todos os painéis fotovoltaicos deverão de dispor de ligações individuais à terra de proteção;
 - Os condutores a estabelecer no interior dos quadros elétricos deverão dispor de secções que permitam o estabelecimento de densidades de corrente inferiores a 1.5A/mm²;
 - Os barramentos deverão dispor de secções que permitam o estabelecimento de densidades de corrente inferiores a 2A/mm²;
 - Os quadros elétricos deverão possuir invólucro que permita a garantia de classe II de isolamento.

PROJ: / / /	Assunto: PROJETO ELÉTRICO DE UMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA FUNCIONAMENTO EM AUTOCONSUMO	TÉCNICOS RESPONSÁVEIS
DES: / / /	Requerente:	Pedro Santos
VERIF: / / /		
APROV: / / /		
DATA	ESQUEMA ELÉTRICO DE PRINCÍPIO	DESENHO N.º 01
ESCALA	Lugar: Escola Superior Tecnologia e Gestão	
SEM ESCALA	Frequência:	
DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR - CAD	Conceção: Leiria	SUBSTITUIÇÃO SUBSTITUÍDO POR:

Anexo I - Esquema Elétrico do Sistema Fotovoltaico de Rede Isolada

LADO DC
(Esq. Multifilar)

LADO AC
(Esq. Unifilar)



QUADRO ELÉTRICO FOTOVOLTAICO

QUADRO ELÉTRICO (Q.E. - IP40 IK04)

Legenda	Designação
1	Iluminação 1
2	Iluminação 2
3	Iluminação 3
4	Tomada Bomba
5	Tomada Bomba de água
6	Tomada 1
7	Tomada 2
8	Tomada Monofásica

- LISTA DE SIGLAS:**
 ACE - Aparelho de corte de entrada;
 QE - Quadro de entrada;
 CC - Contador de consumo;
 CP - Contador da unidade de microprodução (acessível ao distribuidor);
 SF - Seccionador porta fusíveis unipolar+neutro;
 LA - Ligador amovível;
 TP - Terra de proteção;
 PC/P - Partilha de consumo/produção.
- NOTAS:**
 - O poder de corte da aparelhagem de proteção contra curtos-circuitos deverá ser não inferior a 6kA;
 - Os condutores a estabelecer no interior dos quadros elétricos deverão dispor de secções que permitam o estabelecimento de densidades de corrente inferiores a 1,5A/mm²;
 - Os barramentos deverão dispor de secções que permitam o estabelecimento de densidades de corrente inferiores a 2A/mm²;
 - Os quadros elétricos deverão possuir invólucros que permitam a garantia de classe II de isolamento.

PROJ. /	Assunto: PROJETO ELÉTRICO DE UMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA FUNCIONAMENTO EM REDE ISOLADA, EM BAIXA TENSÃO	TÉCNICOS RESPONSÁVEIS
DES. /		Pedro Santos
VERIF. /	Requerente:	
APROV. /		
DATA	ESQUEMA ELÉTRICO DE PRINCÍPIO	DESENHO N.º 01
ESCALA SEM ESCALA	Lugar: Escola Superior de Tecnologia e Gestão	
	Frequência:	
	Conceção: Leão	
		SUBSTITUÍDO POR:
		SUBSTITUÍDO POR:

LADO DC
(Esq. Multifilar)

LADO AC
(Esq. Unifilar)

Anexo J - Código fonte do ESP32 NodeMCU

```
// Bibliotecas
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include "DFRobot_ESP_PH.h"
#include <EEPROM.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <AsyncMqttClient.h>
#include <GravityTDS.h>

#define DHTPIN 27 // Pino digital conectado ao sensor DHT11
#define DS18B20Pin 32 //Pino digital conectado ao sensor de
temperatura de água(DS18B20)
#define TdsSensorPin 33 // Pino analógico conectado ao sensor Tds
#define PH_PIN 34 // Pino analógico conectado ao sensor de pH

#define DHTTYPE DHT11 // tipo de sensor, DHT11
#define VREF 5.0 // valor de tensão de referência do ADC
#define nmedicoes 5 // número de leituras dos sensores efetuadas

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //Configuração para comunicação com DHT11
OneWire oneWire(DS18B20Pin); // Configuração de uma instância
oneWire para se comunicar com qualquer dispositivo OneWire
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Passa oneWire referência
para sensor de temperatura Dallas
DFRobot_ESP_PH ph;
```

```
//variáveis
float volt,valorph;
float mediavolt = 0,valorTds = 0,ec = 0;
float valorsensor =0;
float temperatura = 0;
float temperatura_agua = 0;
float humidade = 0;
float offset = 0.50;
float voltph;

unsigned long previousMillis = 0; // Armazena a ultima vez que
a temperatura foi publicada
const long interval =300000; // Intervalo para publicar as
leituras dos sensores em cada 120s 120000 - 300000

// Dados Wi-Fi
#define wifi_ssid ""
#define wifi_password ""

//Dados MQTT
#define mqtt_server "192.168.1.78"
#define mqtt_port 1883

//Definição das variáveis dos sensores de envio para o Raspberry Pi
#define sensor_temperatura "estufa/sensor/temperatura"
#define sensor_humidade "estufa/sensor/humidade"
#define sensor_temperatura_agua "estufa/sensor/tempagua"
#define sensor_tds "estufa/sensor/tds"
#define sensor_ec "estufa/sensor/ec"
#define sensor_ph "estufa/sensor/ph"

AsyncMqttClient mqttClient;//criação do objeto mqttClient
TimerHandle_t mqttReconnectTimer;//temporizador para reconectar
ao MQTT
TimerHandle_t wifiReconnectTimer;//temporizador para reconectar
ao Wi-Fi
```

```
// Conectar ao Wi-Fi
void conectarWifi(){
    Serial.println("Conectar WiFi..");
    WiFi.begin(wifi_ssid, wifi_password);
}

//Conectar ao MQTT
void conectarMqtt(){
    Serial.println("Conectar MQTT...");
    mqttClient.connect();
}

// função com a informação da conexão ao Wi-Fi e ao MQTT broker
void WiFiEvento(WiFiEvent_t evento) {
    Serial.printf("[WiFi-evento] evento: %d\n", evento);
    switch(evento) {
        case SYSTEM_EVENT_STA_GOT_IP:
            Serial.println("Conectado WiFi");
            Serial.println("IP address: ");
            Serial.println(WiFi.localIP());
            conectarMqtt();
            break;
        case SYSTEM_EVENT_STA_DISCONNECTED:
            Serial.println("Perdeu conexão WiFi");
            xTimerStop(mqttReconnectTimer, 0); // Certifica de não
reconectar ao MQTT ao reconectar ao Wi-Fi
            xTimerStart(wifiReconnectTimer, 0); //reconectar ao Wi-Fi
            break;
    }
}

// Função de informação da conexão MQTT
void DesconectarMqtt(AsyncMqttClientDisconnectReason reason) {
    Serial.println("Desconectar MQTT.");
    if (WiFi.isConnected()) {
        xTimerStart(mqttReconnectTimer, 0); //reconectar ao MQTT
    }
}
```

```
// Função de informação da publicação enviada
void MqttPublish(uint16_t Id) {
    Serial.print("Envio reconhecido.");
    Serial.print("  Id: ");
    Serial.println(Id);
}

//Função da leitura do sensor da temperatura ambiente e o envio
do mesmo para o broker
void DHTTemperatura() {
    temperatura = 0;
    for(int i = 1; i <= nmedicoes; i++){
        float temp = dht.readTemperature(); //leitura dos valores do
sensor DHT11
        // Verifica se alguma leitura falhou e tenta novamente
        if (isnan(temp)) {
            Serial.println("Falha na leitura do sensor DHT!");
            i -=1;
        }
        else {
            Serial.print("Temperatura ambiente: ");
            Serial.print(temp);
            Serial.println("°C");
            temperatura += temp;
        }
        delay(2000);
    }
    temperatura = temperatura/(nmedicoes); // média de cinco valores
do sensor
    Serial.print("Temperatura final: ");
    Serial.print(temperatura); // valor da temperatura ambiente final
    Serial.println("°C");
    delay(2000);
    uint16_t IdPub1 = mqttClient.publish(sensor_temperatura, 1,
true, String(temperatura).c_str()); //Envio do valor da
temperatura ambiente para o broker
    //Serial.println("temperatura enviada");
}
```

```
//Função da leitura do sensor da Humidade ambiente e o envio do
mesmo para o broker
void DHTHumidade() {
  humidade = 0;
  for(int i = 1; i <= nmedicoes; i++ ){
    float humid = dht.readHumidity();
    // Verifica se alguma leitura falhou e tenta novamente
    if (isnan(humid)) {
      Serial.println("Falha na leitura do sensor DHT!");
      i -=1;
    }
    else {
      Serial.print("Humidade: ");
      Serial.print(humid);
      Serial.println("%");
      humidade += humid;


---


    }
    delay(2000);
  }
  humidade = humidade/(nmedicoes); // média de cinco valores do
sensor
  Serial.print("Humidade final: ");
  Serial.print(humidade); //valor final da humidade ambiente
  Serial.println("%");
  delay(2000);
  uint16_t IdPub2 = mqttClient.publish(sensor_humidade, 1, true,
String(humidade).c_str()); //Envio do valor da humidade ambiente
para o broker
  //Serial.println("Humidade enviada");
}
```

```
//Função da leitura do sensor da temperatura da água e o envio do
mesmo para o broker
void DS18B20temperatura()
{
  temperatura_agua = 0;
  for(int i = 1; i <= nmedicoes; i++ ){
    sensors.requestTemperatures();
    float tempagua = sensors.getTempCByIndex(0);
    // Verifica se alguma leitura falhou e tenta novamente
    if(isnan(tempagua)){
      Serial.println("Falha na leitura do sensor DS18B20!");
      i -=1;
    }
    else{
      Serial.print("Temperatura da água: ");
      Serial.print(tempagua);
      Serial.println("°C");
      temperatura_agua += tempagua;
    }
    delay(2000);
  }
  temperatura_agua = temperatura_agua/(nmedicoes); // média de
cinco valores do sensor
  Serial.print("Temperatura água final: ");
  Serial.print(temperatura_agua); //valor final da temperatura da
água
  Serial.println("°C");
  delay(2000);
  uint16_t IdPub3 = mqttClient.publish(sensor_temperatura_agua,
1, true, String(temperatura_agua).c_str()); //Envio do valor da
temperatura da água para o broker
  //Serial.println("Temperatura da água enviada");
}
```

```
//Função da leitura do sensor de pH e o envio do mesmo para o
broker
void nivelpH()
{
    voltph = 0;
    sensors.requestTemperatures();
    float temperaturaC = sensors.getTempCByIndex(0); //leitura da
temperatura da água do sensor DS18B20
    for(int i = 1; i <= nmedicoes; i++){
        float sensorph = analogRead(PH_PIN); //leitura dos valores
do sensor pH através de uma porta ADC
        //Serial.println(sensorph, 0);
        voltph +=sensorph;
        delay(2000);
    }
    voltph = voltph/(nmedicoes); // média das leituras do sensor
    volt =(voltph /4095.0*3300); // Conversão da leitura analógica
para tensão
    valorph = (ph.readPH(volt,temperaturaC))-offset; // conversão
da tensão para pH com compensação de temperatura
    //Serial.print("temperature:");
    //Serial.print(temperaturaC,1);
    Serial.print("pH:");
    Serial.println(valorph);
    //Serial.println(voltph, 0);
    delay(2000);
    uint16_t IdPub6 = mqttClient.publish(sensor_ph, 1, true,
String(valorph).c_str()); //Envio do valor de pH para o broker
    //Serial.println("Nível pH enviado");
}
```

```
//Função da leitura do sensor de Tds e pH e o envio do mesmo para
o broker
void nivelTdsEC() {
  valorsensor = 0;
  for(int i = 1; i <= nmedicoes; i++ ){
    float tds = analogRead(TdsSensorPin); //leitura dos valores
do sensor Tds através de uma porta ADC
    //Serial.println(tds,0);
    valorsensor +=tds;
    delay(2000);
  }
  valorsensor = valorsensor/(nmedicoes); // média das leituras do
sensor
  mediavolt = valorsensor*5/4095.0; // Conversão da leitura
analógica para tensão
  sensors.requestTemperatures();
  float tempagua = sensors.getTempCByIndex(0); //leitura da
temperatura da água do sensor DS18B20
  float coeficientecompensacao=1.0+0.02*(tempagua-25.0);
//Temperatura de compensação formula: fFinalResult(25^C) =
fFinalResult(current)/(1.0+0.02*(fTP-25.0));
  float voltcompensacao=mediavolt/coeficientecompensacao;
//compensação de temperatura
  valortds=(133.
42*voltcompensacao*voltcompensacao*voltcompensacao - 255.
86*voltcompensacao*voltcompensacao + 857.39*voltcompensacao)*0.5;
//conversão de tensão para valor Tds
  ec=valortds/0.57;
  //Serial.print("Tensao:");
  //Serial.print(mediavolt,2);
  //Serial.print("V  ");
  Serial.print("TDS:");
  Serial.print(valortds);

  Serial.println("ppm");
  Serial.print("EC:");
  Serial.print(ec);
  Serial.println("us/cm");
  //Serial.print("tempagua:");
  //Serial.print(tempagua,0);
  delay(2000);
```

```
uint16_t IdPub4 = mqttClient.publish(sensor_tds, 1, true,
String(valortds).c_str()); //Envio do valor Tds para o broker
  //Serial.println("Nível de Tds enviado");
uint16_t IdPub5 = mqttClient.publish(sensor_ec, 1, true,
String(ec).c_str()); //Envio do valor de EC para o broker
  //Serial.println("Nível de EC enviado");
}

//Função setup define a taxa de transmissão, a inicialização dos
sensores
void setup() {

  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
  sensors.begin();
  ph.begin();
  pinMode(TdsSensorPin, INPUT);

  mqttReconnectTimer = xTimerCreate("mqttTimer",
pdMS_TO_TICKS(2000), pdFALSE, (void*)0,
reinterpret_cast<TimerCallbackFunction_t>(conectarMqtt));
//reconectar MQTT se perder conexão
  wifiReconnectTimer = xTimerCreate("wifiTimer",
pdMS_TO_TICKS(2000), pdFALSE, (void*)0,
reinterpret_cast<TimerCallbackFunction_t>(conectarWifi));
//reconectar Wi-Fi se perder conexão

  WiFi.onEvent(WiFiEvento);

  mqttClient.onDisconnect(DesconectarMqtt);

  mqttClient.onPublish(MqttPublish);

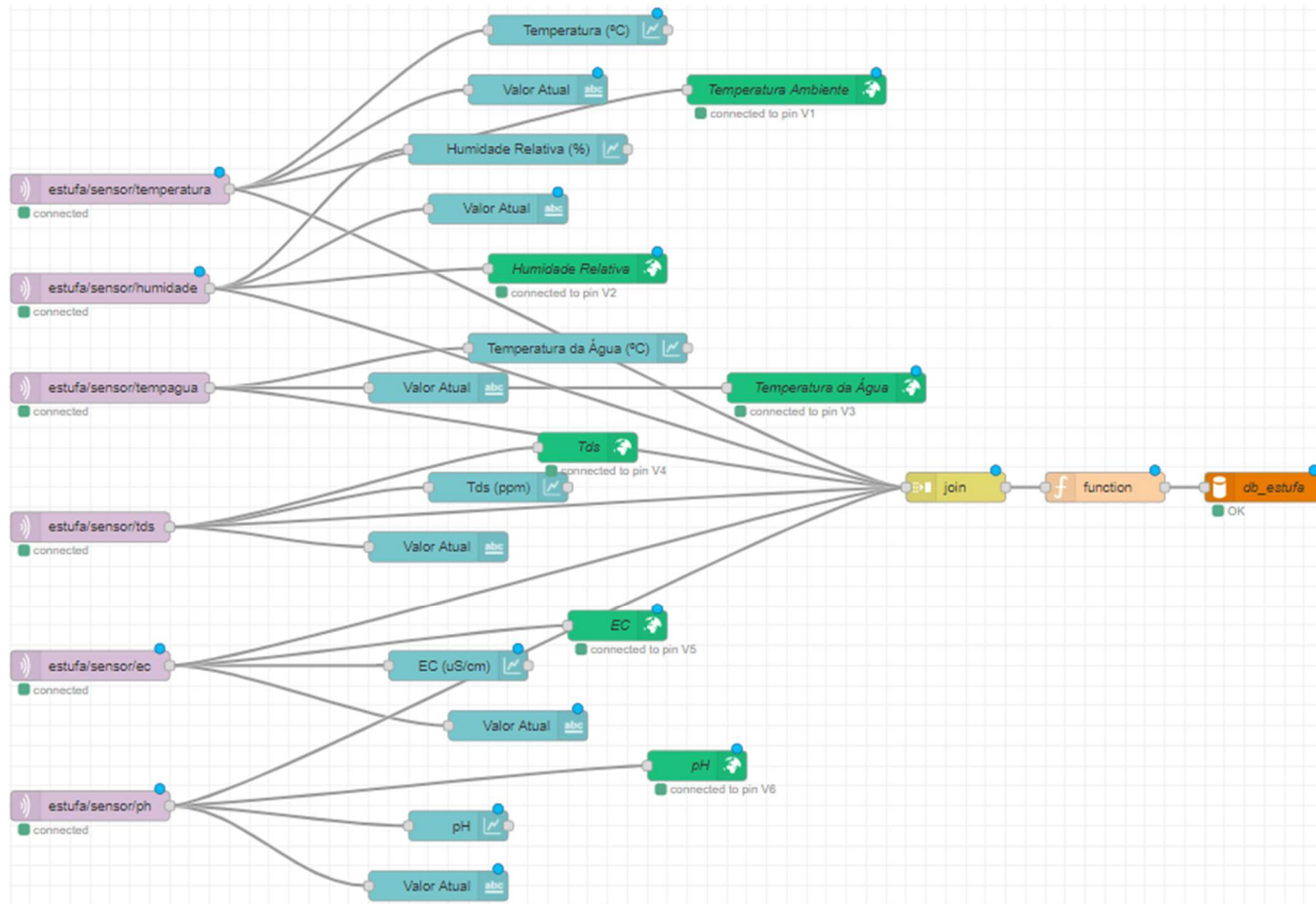
  mqttClient.setServer(mqtt_server, mqtt_port); //Inicialização do
server

  mqttClient.setCredentials("estufa", "estufa"); //Credenciais
para a comunicação MQTT

  conectarWifi(); // conectar Wi-Fi
}
```

```
//leitura das funções consoante um intervalo de tempo
void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if(currentMillis - previousMillis >= interval){
    DHTTemperatura();
    DHTHumidade();
    DS18B20temperatura();
    nivelTdsEC();
    nivelpH();
    previousMillis = millis();
  }
  delay(5000);
}
```

Anexo K - Node-RED



Anexo L - Componentes do Sistema de Monitorização

Sensor de Temperatura de Água:



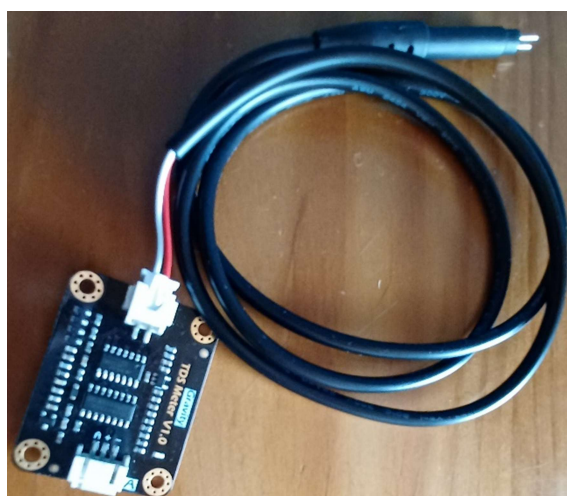
Sensor de Temperatura e Humidade Ambiente:



Sensor de pH:



Sensor de TDS e é possível calcular a electro-condutividade:



Microcomputador *Raspberry Pi 4*:

