

Monitorização e análise de microrredes inteligentes em dois edifícios de divulgação de ciência

Henrique Quaresma Gaudeoso

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial

Trabalho orientado por:

Professor Doutor Américo Vicente Leite

Professor Doutor Wagner Endo

Junho de 2020

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente a minha família, a qual sempre me deu todo o apoio para buscar novas oportunidades de estudo, para ser um bom profissional e um humano melhor. A minha namorada, que apesar da distância que nos separa ao longo dos anos, sempre me conforta e apoia minhas decisões.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Cornélio Procópio e ao Instituto Politécnico de Bragança, os quais viabilizaram que o programa de dupla diplomação fosse possível, fazendo com que a minha experiência em Portugal tenha sido transformadora.

Gostaria de muito de agradecer ao Professor Doutor Américo Vicente Leite, o qual sempre se preocupou em possibilitar uma experiência enriquecedora para seus orientados. Fazendo com que eu estivesse sempre motivado e me desafiando para dar o meu melhor neste trabalho.

Não menos importante, gostaria de agradecer a todos os amigos que fizeram parte da minha trajetória na universidade até o momento, o caminho nunca é fácil, mas sem dúvida, as memórias criadas durante essa jornada, são inesquecíveis e transformadoras.

Resumo

Acordos internacionais como a Agenda de 2030 para o desenvolvimento sustentável, aceleraram o desenvolvimento e utilização de tecnologias de energias renováveis e de uso eficientes da energia elétrica, dentre essas as microrredes. Uma microrrede inteligente integra sistemas de geração distribuída por fontes renováveis (ou não), equipamentos consumidores e sistemas de armazenamento e gestão de energia com alta capacidade de monitorização e controlo, a qual pode estar conectada ao sistema elétrico de energia ou a operar em modo autónomo. Esta dissertação tem como objetivo realizar a monitorização e análise de duas microrredes inteligentes em dois edifícios de divulgação de ciência, designadamente a Casa da Seda e o Posto Aquícola de Castrelos, na cidade de Bragança, Portugal.

As microrredes inteligentes apresentadas neste trabalho são ligadas à rede elétrica e possuem potencial de geração fotovoltaico e hídrico, sistema de gestão e armazenamento de energia em baterias. Após a instalação das microrredes, realizou-se a monitorização e análise de seu desempenho. Na microrrede inteligente da Casa da Seda, após onze meses de operação, mostrou-se que o autoconsumo proposto foi devidamente implementado e que o sistema implementado possibilitou uma taxa de autonomia de 45% em termos anuais. Já a microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos, apesar de pouco de tempo operação (treze dias) já mostrou que o autoconsumo está a ser implementado e que tem bom potencial para que a taxa de autonomia seja elevada.

Portanto, as microrredes inteligentes analisadas mostraram-se ser uma tecnologia que promove o uso eficiente, seguro e ambientalmente consciente da energia elétrica produzida localmente.

Palavras-chave: Microrredes inteligentes; autoconsumo; monitorização; geração renovável de energia;

Abstract

International agreements, such as the 2030 Agenda for sustainable development, have accelerated the development and use of renewable energy technologies and efficient use of electricity, including microgrids. A smart microgrid integrates generation systems distributed by renewable sources (or not), consumer equipment and energy management and storage systems with high monitoring and control capabilities, which can be connected to the electrical energy system or operating in an autonomous mode. This dissertation aims to carry out the monitoring and analysis of two smart microgrids in two science dissemination buildings, namely the Silk House and the Castrelos Aquaculture Center, in the city of Bragança, Portugal.

The smart microgrids presented in this work are connected to the grid and have the potential for photovoltaic and pico hydro generation, a management system, and energy storage in batteries. After the installation of the microgrids, their performance was monitored and analyzed. In the smart microgrid of Silk House, after eleven months of operation, it was shown that the proposed self-consumption was properly implemented and that the implemented system allowed an autonomy rate of 45% in annual terms. Already the smart microgrid of the Castrelos Aquaculture Center, despite the short time of operation (thirteen days) has already shown that self-consumption is being implemented and that it has good potential for the autonomy rate to be high.

Therefore, the analyzed smart microgrids proved to be a technology that promotes the efficient, safe, and environmentally conscious use of the electricity produced locally.

Keywords: smart microgrids; self-consumption; monitoring; renewable energy generation;

Índice

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 MICRORREDES: BENEFÍCIOS E BARREIRAS.....	2
1.1.1 <i>Benefícios</i>	2
1.1.1.1 Económicos	2
1.1.1.2 Ambiental.....	3
1.1.1.3 Técnico	3
1.1.1.4 Social.....	3
1.1.2 <i>Barreiras</i>	4
1.2 MOTIVAÇÕES PESSOAIS	5
1.3 OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS	5
1.3.1 <i>Geral</i>	5
1.3.2 <i>Específicos</i>	5
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	6
CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	7
2.1 SISTEMA PICO-HÍDRICO	8
2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO	12
2.2.1 <i>Sistemas fotovoltaicos isolados (off-grid)</i>	13
2.2.2 <i>Sistema fotovoltaicos conectados à rede (on-grid)</i>	13
2.2.2.1 Sistemas para incremento do autoconsumo	14
2.3 SISTEMA HÍBRIDO.....	16
CAPÍTULO 3 - MICRORREDES	19
3.1 DEFINIÇÃO DE MICRORREDE	19
3.2 ESTRUTURA E OPERAÇÃO DE UMA MICRORREDE.....	20
3.2.1 <i>Estrutura</i>	20
3.2.1.1 Recursos energéticos distribuídos	20
3.2.1.2 Sistema de armazenamento	21
3.2.1.3 Sistema de controlo.....	22
3.2.1.3.1 <i>Decisões relativas à rede de distribuição</i>	22
3.2.1.3.2 <i>Controlo interno da microrrede</i>	22
3.2.2 <i>Operação</i>	23
3.3 MICRORREDES INTELIGENTES	24
3.4 INICIATIVAS DE PROJETOS DE MICRORREDES	26
CAPÍTULO 4 - CONTEXTUALIZAÇÃO DOS PROJETOS DE MICRORREDES DESENVOLVIDOS PELO IPB.	28
4.1 MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA	28
4.2 MICRORREDE INTELIGENTE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS.....	30
CAPÍTULO 5 - MICRORREDES INTELIGENTES: DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS E OPERAÇÕES	33

5.1 MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA	33
5.1.1 <i>Descrição elétrica e das galerias da Casa da Seda</i>	33
5.1.2 <i>Descrição da microrrede inteligente e seus sistemas</i>	34
5.1.2.1 Sistema fotovoltaico.....	35
5.1.2.2 Sistema pico-hídrico	36
5.1.2.3 Sistema de armazenamento de energia	40
5.1.2.4 Quadro elétrico	41
5.2 MICRORREDE INTELIGENTE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS.....	44
5.2.1 <i>Descrição elétrica do Posto Aquícola de Castrelos</i>	45
5.2.2 <i>Descrição da microrrede inteligente e seus sistemas</i>	45
5.2.2.1 Sistema pico-hídrico	46
5.2.2.2 Sistema fotovoltaico.....	47
5.2.2.3 Sistema de armazenamento de energia	48
5.2.2.4 Quadro elétrico	51
5.3 OPERAÇÃO DAS MICRORREDES	52
5.3.1 <i>Operação off-grid</i>	57
5.3.2 <i>Operação on-grid</i>	57
5.3.3 <i>Controlo de potência ativa em inversores fotovoltaicos SMA</i>	58
5.3.4 <i>Comunicação e transmissão de informações</i>	60
CAPÍTULO 6 - PARAMETRIZAÇÃO DAS MICRORREDES INTELIGENTES	61
6.1 REALIZAÇÃO DAS PARAMETRIZAÇÕES NO SUNNY ISLAND E SUNNY PORTAL.....	61
6.1.1 <i>Realização da parametrização do Sunny Island 4.4M-11</i>	61
6.1.2 <i>Realização da parametrização do Sunny Island 6.0H-12</i>	61
6.1.3 <i>Realização da parametrização do Sunny Portal</i>	64
6.2 PARAMETRIZAÇÃO DO SUNNY ISLAND.....	66
6.2.1 <i>Parametrização da rede elétrica externa</i>	66
6.2.2 <i>Parametrização dos inversores bidirecionais</i>	66
6.2.3 <i>Parametrização das baterias</i>	68
6.2.3.1 Fase de corrente constante (Constant current phase - 1).....	69
6.2.3.2 Fase de tensão constante (Constant voltage phase -2).....	69
6.2.3.3 Carga em float - 3.....	70
6.2.3.4 Modo silencioso (Silent mode).....	71
6.2.4 <i>Parametrização de backup do autoconsumo com incremento do autoconsumo</i>	71
6.3 PARAMETRIZAÇÃO DO SUNNY PORTAL.....	75
CAPÍTULO 7 - RESULTADOS	79
7.1 ANÁLISE DE DESEMPENHO: GERAÇÃO E OPERAÇÃO	79
7.1.1 <i>Microrrede inteligente da Casa da Seda</i>	79
7.1.2 <i>Microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos</i>	88
7.2 IDENTIFICAÇÃO DE COMPORTAMENTOS	92
7.2.1 <i>Carregamento total</i>	92
7.2.2 <i>Limitação da potência ativa na energia fotovoltaica</i>	97
7.3 RESOLUÇÃO DE FALHAS	99

7.4 INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO PICO HÍDRICA	101
7.5 PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO	102
7.5.1 <i>Controlo de cargas pelo uso de tomada controláveis</i>	102
7.5.2 <i>Sinalização de operação off-grid</i>	103
7.5.3 <i>Elaboração de manuais para os colaboradores da Casa da Seda</i>	104
CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES.....	106
8.1 TRABALHOS FUTUROS.....	107
CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS	108
APÊNDICE A: LISTA DE PARÂMETROS DOS INVERSORES BIDIRECIONAIS SI4.4M-11 E SI6.0H-12	116

Lista de Tabelas

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DE HIDRELÉTRICAS	9
TABELA 2: COMPARAÇÃO ENTRE REDE ELÉTRICA ATUAL E A REDE ELÉTRICA INTELIGENTE	25
TABELA 3: IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO QUADRO ELÉTRICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA.....	44
TABELA 4: IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO QUADRO ELÉTRICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS.....	52
TABELA 5: COMPARAÇÃO ENTRE AS MICRORREDES INTELIGENTES	53
TABELA 6: COMPORTAMENTOS E AÇÕES NA GESTÃO DE ENERGIA DAS MICRORREDES	58
TABELA 7: ETAPAS DO CONTROLO DA POTÊNCIA ATIVA PELA FREQUÊNCIA	59
TABELA 8: PROPRIEDADES DO BANCO DE BATERIAS DAS MICRORREDES	68
TABELA 9: PARÂMETROS DE INCREMENTO DO AUTOCONSUMO DAS MICRORREDES INTELIGENTES ..	75
TABELA 10: PARÂMETROS DAS MICRORREDES INTELIGENTES NO SUNNY PORTAL	77
TABELA 11: BALANÇO ENERGÉTICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA EM TRÊS DIAS DE OPERAÇÃO	82
TABELA 12: PRODUÇÃO DE ENERGIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DA CASA DA SEDA.....	86
TABELA 13: BALANÇO ENERGÉTICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA (ATÉ 28/06/2020)	88
TABELA 14: BALANÇO ENERGÉTICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DE POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS.....	91

Lista de Figuras

FIGURA 1: GERAÇÃO DE ELETRICIDADE GLOBAL POR COMBUSTÍVEL	7
FIGURA 2: VISTAS DE UMA TURBINA LOW HEAD	11
FIGURA 3: NOMENCLATURA RELATIVA AO CONJUNTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	12
FIGURA 4: SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OFF-GRID	13
FIGURA 5: SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID	14
FIGURA 6: CUSTO NIVELADO DA ELETRICIDADE VIA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	15
FIGURA 7: TENDÊNCIA DA CAPACIDADE FOTOVOLTAICA INSTALADA	15
FIGURA 8: POTÊNCIA ELÉTRICA GERADA PELO SISTEMA FOTOVOLTAICO NA UNIVERSIDADE DE VICTORIA, MELBOURNE	16
FIGURA 9: TÍPICO POTENCIAL HÍBRIDO DE ENERGIA RENOVÁVEL	17
FIGURA 10: CONCEITO DE UMA MICRORREDE	19
FIGURA 11: MICRORREDE GENÉRICA	20
FIGURA 12: MICRORREDE DO IPB, INSTALADA NA ESTIG	27
FIGURA 13: CASA DA SEDA.....	29
FIGURA 14: MICRORREDE INTELIGENTE INSTALADA NA CASA DA SEDA.....	30
FIGURA 15: EDIFÍCIO PRINCIPAL DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS	31
FIGURA 16: SISTEMAS DE CANAIS E ÁGUA PARA A CRIAÇÃO DE TRUTAS	31
FIGURA 17: ESTRUTURAS ARQUITETÔNICAS CONSERVADAS DA CASA DA SEDA	34
FIGURA 18: SISTEMAS DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA	34
FIGURA 19: SISTEMA FOTOVOLTAICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA	35
FIGURA 20: TURBINA LH400 E RODA DE ÁGUA ANTES DA INSTALAÇÃO NA CASA DA SEDA.....	37
FIGURA 21: ELETROVÁLVULAS E SHELLY 4PRO PARA O CONTROLO DO FLUXO DE ÁGUA DA RODA DE ÁGUA E DA TURBINA LH400.....	38
FIGURA 22: VISTAS DA RODA DE ÁGUA DA CASA DA SEDA	38
FIGURA 23: SISTEMA PICO-HÍDRICO DA CASA DA SEDA	39
FIGURA 24: PAINEL DE EQUIPAMENTOS PARA A INJEÇÃO DE POTÊNCIA DO SISTEMA HÍDRICO NA MICRORREDE DA CASA DA SEDA, ATUALMENTE.	40
FIGURA 25: SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DA CASA DA SEDA.....	41
FIGURA 26: QUADRO ELÉTRICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA ATUALMENTE.....	43
FIGURA 27: MICRORREDE INTELIGENTE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS.....	46

FIGURA 28: LOCAL FAVORÁVEL PARA A INSTALAÇÃO DA TURBINA PICO-HÍDRICA.....	47
FIGURA 29: INVERSOR FOTOVOLTAICO SUNNY TRIPOWER	48
FIGURA 30: LOCALIZAÇÃO DOS TERMINAIS DE CONEXÃO DO SI	50
FIGURA 31: ESQUEMÁTICO DE CONEXÃO DOS SENSORES DE CORRENTE E TENSÃO COM O SI MESTRE	50
FIGURA 32: EQUIPAMENTOS DO QUADRO ELÉTRICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS.....	51
FIGURA 33: VISTA GERAL DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA	54
FIGURA 34: VISTA GERAL DA MICRORREDE INTELIGENTE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS	55
FIGURA 35: OPERAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA MICRORREDE INTELIGENTE BASEADA NA TECNOLOGIA SMA	56
FIGURA 36: CONTROLO DA POTÊNCIA ATIVA POR FREQUÊNCIA.....	59
FIGURA 37: INFORMAÇÕES PARA A CONEXÃO COM O SI6.0H-12.....	62
FIGURA 38: ASSISTENTE DE INSTALAÇÃO - SI6.0H-12.....	63
FIGURA 39:INTERFACE DE OPERAÇÃO DO SI6.0H-12	63
FIGURA 40: INTERFACE DO SUNNY PORTAL PARA A MICRORREDE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS	64
FIGURA 41: PROCEDIMENTO DE PARAMETRIZAÇÃO DO SUNNY PORTAL.....	65
FIGURA 42: CONTROLO DE CARREGAMENTO DO SUNNY ISLAND COM OS VALORES PARA AS BATERIAS A602/625 SOLAR SONENSCHNEIN.....	69
FIGURA 43: ESTADO DE CARGA DAS BATERIAS NA UTILIZAÇÃO DO INCREMENTO DO AUTOCONSUMO SAZONAL.....	73
FIGURA 44: BALANÇO ENERGÉTICO - CASA DA SEDA, 29/08/2019	80
FIGURA 45: OPERAÇÕES DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA	81
FIGURA 46: BALANÇO ENERGÉTICO COM PRODUÇÃO HÍDRICA	84
FIGURA 47: PRODUÇÃO DE ENERGIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DA CASA DA SEDA	85
FIGURA 48: FALHA NA FILEIRA FOTOVOLTAICA LIGADA AO SB3	87
FIGURA 49: BALANÇO ENERGÉTICO ANUAL DA MICRORREDE INTELIGENTE DA CASA DA SEDA (ATÉ O DIA 28/06/2020)	88
FIGURA 50: OPERAÇÕES DA MICRORREDE INTELIGENTE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS	89
FIGURA 51: PRODUÇÃO DE ENERGIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS	90

FIGURA 52: BALANÇO ENERGÉTICO DA MICRORREDE INTELIGENTE DO POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS (ATÉ O DIA 28/06/2020).....	90
FIGURA 53: BALANÇO ENERGÉTICO - CASA DA SEDA, 04/03/2020	92
FIGURA 54:ESTADO DE CARGA DAS BATERIAS, CASA DA SEDA - 04/03/2020	93
FIGURA 55: BALANÇO ENERGÉTICO – CASA DA SEDA, 21/04/2020	94
FIGURA 56: ESTADO DE CARGA DAS BATERIAS, CASA DA SEDA - 21/04/2020	95
FIGURA 57: INDICAÇÃO DE MUDANÇA PARA O ESTADO DE CARGA TOTAL DAS BATERIAS.....	96
FIGURA 58: BALANÇO ENERGÉTICO - POSTO AQUÍCOLA DE CASTRELOS, 19/06/2020	96
FIGURA 59: BALANÇO ENERGÉTICO - CASA DA SEDA, 05/05/2020	98
FIGURA 60: BALANÇOS ENERGÉTICOS, MICRORREDE A FALHAR	99

Acrônimo e Siglas

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

ESTIG – Escola Superior de Tecnologia e Gestão

FV – Fotovoltaico(a)

GD – Geração distribuída

ICNF – Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas

IPB – Instituto Politécnico de Bragança

ITA – Interruptor de transferência automática

ODS – Objetivo de desenvolvimento sustentável

SB – Sunny Boy

SCE – Sistema de conversão e de armazenamento de energia

SHER – Sistema Híbrido de Energia Renovável

SHM – Sunny Home Manager

SI – Sunny Island

SP – Sunny Portal

STP – Sunny Tripower

VRLA – Valve Regulated Lead Acid

Capítulo 1 - Introdução

No ano de 2015, planos de ação sobre desenvolvimento mundial e políticas ambientais, como a Agenda de 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e o Acordo de Paris, reformularam políticas internacionais, sendo essas adotadas por grande parte dos países do globo. Os Estados membros das Nações Unidas assumiram o compromisso de estabelecer ações para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, sendo um destes, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número sete (ODS7) – Energia Limpa e acessível [1].

O sétimo objetivo da Agenda de 2030 tem três metas principais: garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderno a todos; aumentar substancialmente a utilização global de energias renováveis como fonte primária de energia e aumentar a taxa global de melhorias em eficiência energética [2].

Essas metas direcionam, aceleram e promovem investimentos no desenvolvimento de tecnologias em energia. A exemplo disso, nota-se que a geração de energia renovável está a crescer ao longo dos anos, e em 2018 cresceu 7% (450TWh) [3]. No entanto, a demanda global de eletricidade continua a crescer, e de acordo com o cenário de políticas atuais, a demanda de energia elétrica aumentará em 2,1% ao ano, até 2040 [4].

Dessa forma, para atingir todas as metas da ODS7, medidas adicionais necessitam ser tomadas, e a rede elétrica existente necessita ser modificada para uma “rede inteligente”. A próxima geração de redes elétricas utilizará uma forma de produção e distribuição de energia descentralizada, através da geração distribuída (GD) [5], [6].

A GD é definida como uma tecnologia de geração de energia de pequena escala, próxima dos consumidores. Assim como as GDs são essenciais para realização das mudanças necessárias nas redes de distribuição, tecnologias como as microrredes podem ser uma importante parte desse processo [7], [8].

Microrredes são redes interconectadas de sistemas de energia distribuída (fontes de renováveis ou não), e consumidores, onde essa detém uma capacidade de

armazenamento e controlo do fluxo de energia, podendo funcionar conectadas à rede ou em modo autónomo. A partir disso, com o aumento da capacidade de controlo, monitoramento, e gestão de energia de uma microrrede, esta pode torna-se uma microrrede inteligente [9], [10].

A incorporação de microrredes (inteligentes ou não), que integram a geração distribuída e utilizam fontes renováveis de energia, oferecem muitos benefícios, desde ambientais, económicos, técnicos e sociais, para os consumidores e partes interessadas do sistema de distribuição de energia [11].

1.1 Microrredes: benefícios e barreiras

Nos próximos tópicos, alguns aspectos sobre microrredes são descritos para uma melhor compreensão dos benefícios que podem oferecer e quem se beneficiará, assim como as barreiras no desenvolvimento e implementação dessa tecnologia.

1.1.1 Benefícios

A implementação de microrredes, em especial, baseadas em fontes renováveis de energia podem promover benefícios como económicos, ambientais, técnicos e sociais. Os resultados do uso de microrredes podem ser diferentes para cada local, uma vez que dependem de fatores específicos como: localização geográfica, clima, perfil de consumo de energia, entre outros [11].

1.1.1.1 Económicos

A microgeração que utiliza sistemas renováveis de geração de energia (fotovoltaico, eólico, hídrica de pequenas dimensões e biomassa), quando encorajada por órgãos governamentais com legislações e incentivos financeiros, abrem a possibilidade de que consumidores consumam sua própria energia limpa, e reduzam suas faturas e tempo de amortização do investimento. Além disso, os microprodutores podem vender sua produção para as companhias de distribuição de eletricidade, de acordo com a tarifação mais interessante aos seus interesses, mediante ao nível de automação da microrrede instalada [9], [11].

Nessa perspectiva, as microrredes com geração e consumo local de eletricidade, reduzem os custos de distribuição e transmissão de energia, sobretudo pelas perdas nas linhas, as quais variam de 5% a 20% nos sistemas elétricos convencionais. Ademais, em áreas de baixa demanda, ou até mesmo que não possuem rede de distribuição de energia elétrica, o emprego de microrredes pode ser uma alternativa inovadora e barata, no ponto de vista dos custos da estrutura de transmissão [9], [12].

1.1.1.2 Ambiental

Desde que uma microrrede utilize fontes renováveis de energia, a qualidade do ar pode ser melhorada, uma vez que a poluição gerada por usinas de geração a combustíveis fósseis é reduzida [9].

1.1.1.3 Técnico

Assim como já mencionado nos benefícios económicos, a integração de microrredes com produções locais de energia elétrica, reduzem o trânsito de potência nas redes, uma vez que as cargas são compartilhadas por essa geração distribuída. Desta maneira, ao reduzir as perdas de energia, contribui-se para uma maior eficiência energética do sistema elétrico.

Adicionalmente, destacam-se como outros benefícios técnicos: a melhora na fiabilidade e estabilidade da energia da rede, graças a alta qualidade da capacidade de automação e controlo das microrredes locais; e a regulação dos preços do mercado de energia de acordo com a disponibilidade de geração local, a qual promove a redução dos picos de demanda e consumo [9], [12]

Portanto, do ponto de vista técnico, as microrredes impactam, diretamente, no planeamento e gerenciamento das redes de distribuição e transmissão das instituições responsáveis (empresas e autoridades governamentais).

1.1.1.4 Social

Mesmo com todos os benefícios económicos, ambientais e técnicos já discutidos nos últimos tópicos, os maiores beneficiários ainda são os indivíduos, os quais tornam-se protagonistas do ponto de vista da energia elétrica que consomem [9], [13].

Como exemplo disso, tem-se as áreas de baixo desenvolvimento humano, as quais dificilmente possuem um bom acesso a eletricidade. Desta forma, microrredes integradas a geração distribuída por fontes renováveis de energia, podem utilizar os recursos endógenos dessas áreas, e promover a independência e aumentar o impacto sociocultural na população [11], [13].

1.1.2 Barreiras

Enquanto as microrredes são uma tecnologia interessante no processo de transição para as redes inteligentes, muitos aspectos e barreiras precisam ser transpostos [6].

No ponto de vista regulatório, mudanças em políticas e legislações são vitais para encorajar o processo de implementação de microrredes, assim como o estabelecimento de um cenário *“ganha – ganha”*, onde todos os interessados em mudanças no setor elétrico possam contribuir numa transição da rede elétrica suave. A partir desse cenário, o incentivo do conceito de microrredes e tecnologias associadas, propiciam investimentos e desenvolvimento de tecnologias eficientes e acessíveis [9], [14].

No aspecto tecnológico, as microrredes necessitam de maiores investigações e desenvolvimentos de equipamentos, técnicas de controlo, infraestruturas de comunicação, e recursos humanos capazes de trabalhar com redes modernas, para conduzir e construir o caminho de transição para as modernização das rede elétricas [6], [9].

1.2 Motivações Pessoais

Estou a estudar áreas relacionadas a engenharia elétrica desde os quinze anos de idade, e perceber como o caminho da energia elétrica funciona, desde a geração até ao consumo, sempre me fascinou. A oportunidade de estudar e trabalhar com microrredes inteligentes, num contexto prático, é fascinante e motivador. Este trabalho de mestrado possibilitou-me ter contato com tecnologias de energias renováveis e gerenciamento de energia, num projeto real, e descobrir como resolver problemas são de fato um desafio, e uma excelente oportunidade de crescer e tornar-me um profissional melhor.

1.3 Objetivos: geral e específicos

1.3.1 Geral

Colaborar, ativamente, na colocação em serviço e monitorização de duas microrredes inteligentes em dois edifícios de divulgação de ciência, designadamente a Casa da Seda e o Posto Aquícola de Castrelos.

1.3.2 Específicos

- Colocação em serviço de duas microrredes, de acordo com procedimentos e parametrizações de equipamentos SMA, atendendo às condições locais e de comportamento de consumo das instalações.
- Realizar, ativamente, a monitorização e análise de desempenho das microrredes, assim como na resolução de falhas de funcionamento dos sistemas.
- Integrar a geração pico-hídrica no sistema das microrredes.
- Identificar propostas de otimizações

1.4 Organização do Trabalho

- Capítulo 1: Apresenta-se uma introdução, contexto e motivação sobre o trabalho;
- Capítulo 2: Apresentam-se os principais conceitos, princípios de funcionamento e aspectos de sistemas de energias renováveis, designadamente pico-hídrico, fotovoltaico e híbridos;
- Capítulo 3: Abordam-se os principais aspectos relativos às microrredes, definição, estrutura e operação, destacando os sistemas de recursos energéticos distribuídos, armazenamento de energia e controlo. Finalmente, exhibe-se uma breve contextualização e definição sobre as microrredes inteligentes, bem como iniciativas de projetos na área;
- Capítulo 4: Neste capítulo, descreve-se o contexto geral dos projetos de microrredes inteligentes desenvolvidos pelo IPB até o momento (Casa da Seda e Posto Aquícola de Castrelos), e em que ponto de situação estão. Dessa forma, nota-se em que contexto este trabalho ocorre em cada um dos projetos;
- Capítulo 5: Neste capítulo, os sistemas de geração de energia (fotovoltaico e pico-hídrico), armazenamento e os equipamentos utilizados nas microrredes são descritos. Por fim, apresentam-se os modos de operação das microrredes e suas implicações do ponto de vista da energia consumida, produzida e armazenada;
- Capítulo 6: Apresenta-se como realizar a parametrização dos inversores bidirecionais (Sunny Island) e do Sunny Portal, assim como a explicação dos principais parâmetros desses;
- Capítulo 7: Expõem e apresenta uma discussão sobre: a análise de desempenho quanto a geração e operação, identificações de comportamentos durante o funcionamento, resolução de falhas, integração da geração pico-hídrica ao sistema de monitorização e finalmente proposta de otimização nas microrredes inteligentes;
- Capítulo 8: Apresenta as principais conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros;

Capítulo 2 - Sistemas de energias renováveis

A necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade, assim como todos os problemas ambientais associados, viabilizam que a produção de energia elétrica via tecnologias e recursos renováveis, cresça cada vez mais no cenário global. Esta tendência pode ser observada pela Figura 1 abaixo, na linha laranja, a qual exibe o grande crescimento da utilização das fontes renováveis para a geração de energia elétrica no mundo [15].

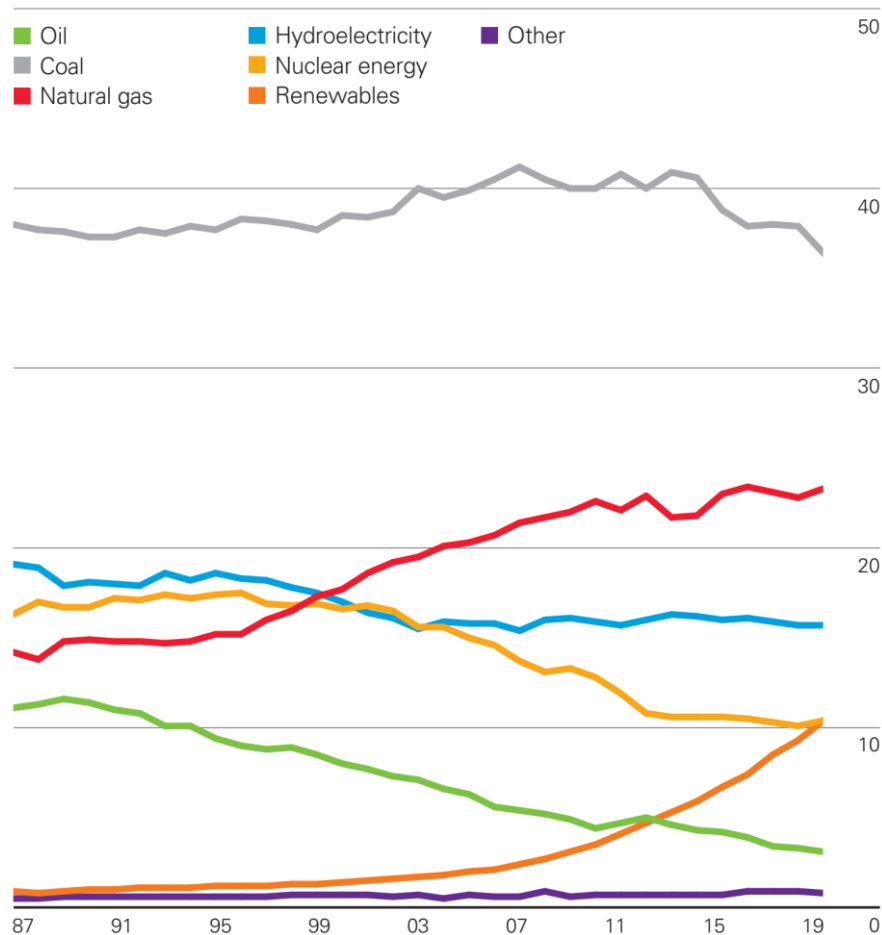


Figura 1: Geração de eletricidade global por combustível
Fonte:[15]

O aumento da utilização das tecnologias de energias renováveis também é impulsionado pelo estabelecimento de políticas internacionais e nacionais, os quais

criam condições que direcionam seu desenvolvimento e implementação, seja por: incentivos fiscais e financeiros, menores impostos e fácil acesso da transmissão de energia, assim como tarifação vantajosa para injeção no sistema elétrico e pesquisas no setor [5], [16].

A exemplo disso, tem-se o novo objetivo dos dirigentes da União Europeia para 2030, o qual estabelece que 32% do consumo de energia total da União Europeia será advindo das energias renováveis [17].

Nessa perspectiva, a Geração Distribuída (GD) baseada nas tecnologias renováveis, pode incorporar sistemas de grande geração (menor que 300 MW) a microgerações (menor que 5 kW), como sistemas fotovoltaicos e pico-hídricos. Dessa forma, possibilitando a redução de flutuações no preço da eletricidade, congestionamento das linhas de transmissão, assim como também aumentam a fiabilidade e estabilidade do fornecimento de energia, e reduzem emissões de gases poluentes [18], [19].

Esse capítulo visa introduzir os principais aspectos das tecnologias fotovoltaicas e pico-hídrica, as quais são integradas ao sistema das microrredes deste trabalho.

2.1 Sistema pico-hídrico

A energia hídrica é o resultado do aproveitamento da energia do fluxo de água em direção ao mar, por meio do caudal (energia cinética), ou pela diferença de altura na queda da massa de água (energia potencial gravitacional) [20]. A geração de eletricidade a partir da utilização da energia hídrica, designadamente como hidrelétrica, produziu 4.305 TWh de energia em todo o globo, no ano de 2019. A partir da Figura 1 (linha azul) anteriormente exposta, pode-se visualizar que a energia hidrelétrica tem grande parcela na geração global há muitos anos [21].

A maior parte das hidrelétricas são de grande porte (centrais com barragens), entretanto, existem sistemas de geração de menor potência, e que são classificados a partir desse parâmetro. Assim, a Tabela 1 abaixo apresenta as gamas de potência e

nomenclatura associada, de acordo com capacidade de produção hidrelétrica [22], [23].

Tabela 1: Classificação de hidrelétricas
Fonte: [22], [23]

Potência	Nomenclatura
> 10 MW	Centrais
< 10 MW	Pequena
< 1 MW	Mini
< 100 kW	Micro
< 5 kW	Pico

A utilização dos potenciais hídricos de baixa potência, como é o caso das pico-hídricas tornou-se uma solução atrativa para suprir a demanda por eletricidade em locais sem estrutura de ligação ao sistema elétrico de energia, sobretudo em áreas rurais e comunidades remotas de países menos desenvolvidos [21], [22], [24]. Entretanto, atualmente as pico-hídricas estão a ser utilizadas em áreas urbanas, e sua integração começa a tornar-se viável pelo uso de novas tecnologias mais disponíveis no mercado [25].

Relatórios e estudos, sobre implementações de sistemas pico-hídricos para geração de eletricidade podem ser encontrados na literatura. Em [26], o projeto de um sistema pico-hídrico implementado, pelo Centro Micro Hídrico da Universidade Nottingham Trent, em uma comunidade de Kerugoya, Kenya, forneceu a eletricidade gerada a 110 residências da comunidade local. O sistema geração utilizou uma “bomba-como-turbina”, a qual foi acoplada ao eixo de um motor de indução, e dessa forma, possibilitou a geração de até 2,2kW de potência para todas as residências.

Em [23], é realizada uma análise dos conceitos básicos e características vitais para o bom aproveitamento de sistemas pico-hídricos, os quais são, a cota e o caudal do curso da água. Nesta perspectiva, identificou-se que esse tipo de tecnologia ainda estava em estágios iniciais na Malásia, e que o governo do país elaborou um objetivo para o ano de 2020, onde os pequenos sistemas hidrelétricos (mini, micro e pico)

contribuirão com uma capacidade de 500MW ao sistema de elétrico de energia nacional.

Já em [24], um estudo sobre os aspectos de desenvolvimento, e fatores influenciadores das pico-hídricas em áreas rurais é realizado. E dessa forma, chegou-se ao entendimento que o futuro mercado pico-hídrico pode ser próspero, uma vez que as condições necessárias para implementação estão substancialmente disponíveis em países em desenvolvimento.

Em um contexto mais atual, [27] elabora uma nova revisão de conceitos, e aspectos na tecnologia pico-hídrica, assim como barreiras, oportunidades e perspectivas futuras na Malásia. Desta maneira, identificou-se que ainda há muito potencial pico-hídrico explorável no país, e que mais esforços precisam ser dedicados para a implementação e desenvolvimento desses sistemas. Os trabalhos de [23] e [27], citam o objetivo de que as pequenas hidrelétricas colaborarão com 500MW no sistema elétrico malaio. Atualmente, [21] mostra que o país, em 2019, já dispõe de uma capacidade instalada de 6.174 MW.

A geração de eletricidade, produzida por meio das pico-hídricas, é baseada em dois principais fatores, o caudal e cota da canalização de água. O caudal representa a quantidade de água que flui pela canalização de acordo com um intervalo de tempo (m^3/s ou l/s); já a cota, é a distância vertical entre a admissão e a descarga de água (em metros ou pressão). As turbinas de baixas quedas, são classificadas a partir de cotas entre 1 a 30m [23], [24].

O potencial de energia da água, através do caudal e do peso da massa de água no tubo de descarga, faz com que as hélices da turbina girem, e a partir disso, o gerador acoplado no eixo da turbina produzirá eletricidade [22], [25]. A Figura 2, apresenta vistas da aplicação de uma turbina *low head* genérica para produção de energia elétrica.

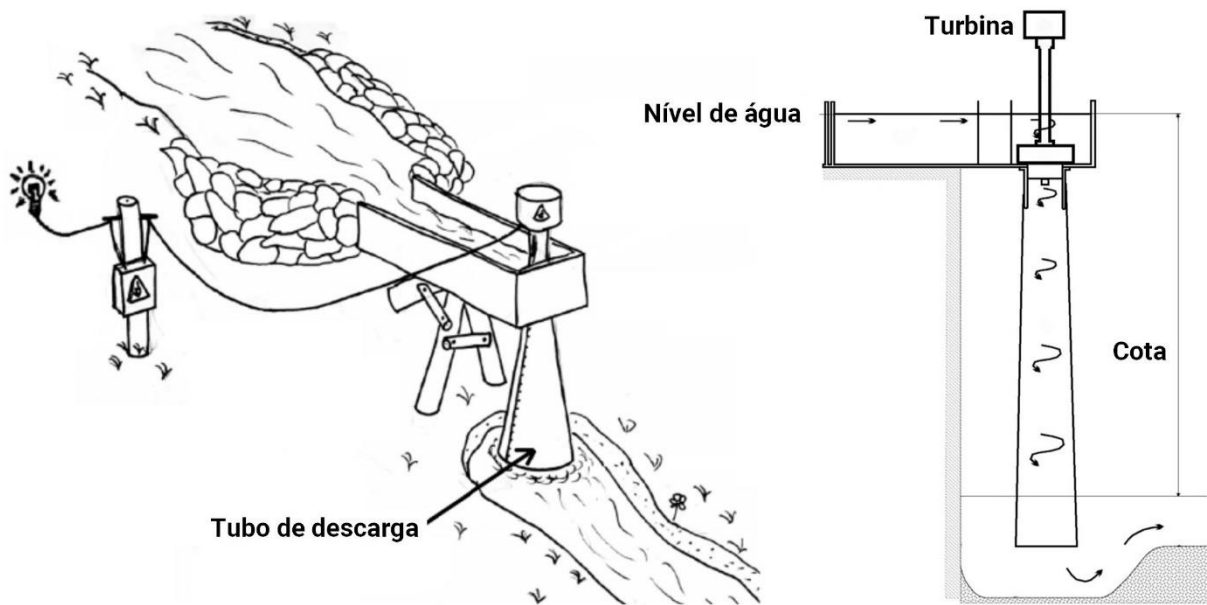


Figura 2: Vistas de uma turbina low head
Fonte: Adaptado de [24], [28]

A eletricidade advinda das pico-hídricas pode ser consumida, com ou sem a integração à rede de distribuição (quando existente no local). Novos métodos de conexão de sistemas pico-hídricos à rede elétrica estão a ser desenvolvidos. A exemplo disso, tem-se [26] e [27], os quais apresentam a possibilidade da conexão de sistemas pico-hídricos à rede elétrica, a partir da utilização de inversores fotovoltaicos convencionais, exibindo uma solução inovadora, de custo acessível e eficiente.

Portanto, pico-hídricas, viabilizam benefícios ambientais, económicos e sociais, já que produzem e fornecem eletricidade de forma limpa, e economicamente acessível (sistema e instalação). Entretanto, os projetos de geração pico-hídricos implementados são condicionados pelas condições e características locais [23], [25].

2.2 Sistema fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos (FV) são capazes de produzir energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico, o qual gera tensão elétrica, e por consequência, potência elétrica em um conjunto de materiais semicondutores (células fotovoltaicas) expostos a radiação solar. Ou seja, de forma geral, sistemas fotovoltaicos convertem a energia da radiação solar em elétrica (em corrente contínua, CC) [18], [28].

A energia gerada nas células fotovoltaicas é de baixa intensidade, devido a seu pequeno tamanho, já que a energia produzida é proporcional à área de incidência da radiação. Nesse sentido, ao aumentar o número de células fotovoltaicas, mais energia pode ser aproveitada. Nesta perspectiva, a Figura 3, exibe a nomenclatura dada por esses conjuntos, onde o conjunto de células configura um módulo (montados em estruturas fixas como telhados), vários módulos conectados em série tornam-se painéis, e finalmente, esses podem ser conectados em fileiras de painéis [10], [28].

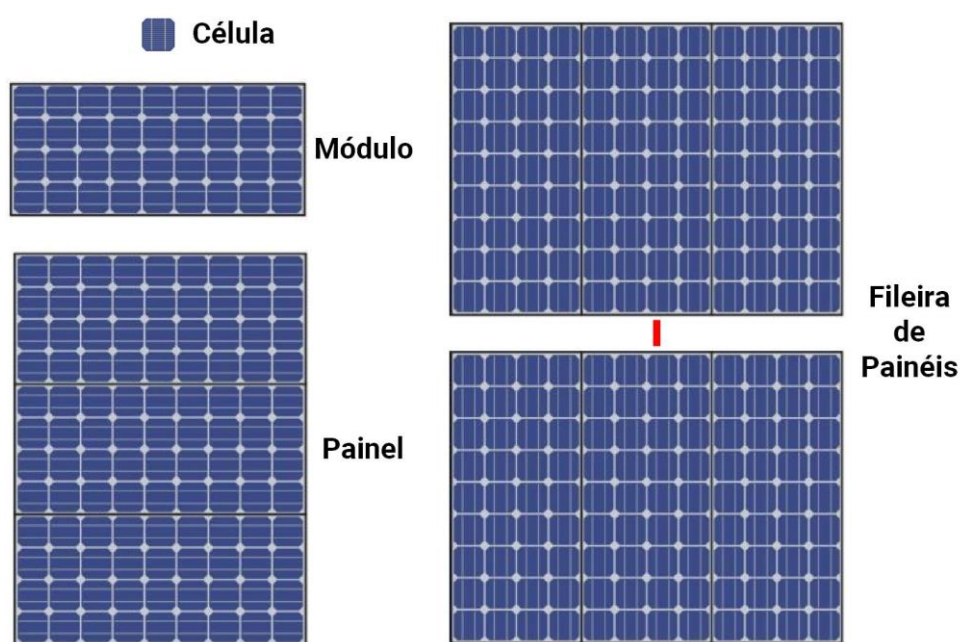


Figura 3: Nomenclatura relativa ao conjunto de células fotovoltaicas
Fonte: Adaptado de [30]

Os sistemas FV podem ser divididos quanto à disponibilidade de conexão à rede de distribuição, e perfil de cargas a serem alimentadas (corrente alternada, CA e CC). A depender desses fatores, os sistemas FV podem ser divididos de forma mais simples em: isolados (*off-grid*) e conectados (*on-grid*) à rede [11], [30].

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos isolados (*off-grid*)

Sistemas *off-grid*, necessitam dispor de baterias e controladores de carga, com capacidade de armazenamento e gerenciamento de energia das baterias, factíveis ao consumo e geração da instalação. Paralelamente, pode-se associar ao sistema, inversores fotovoltaicos para utilização de cargas CA, como exemplo disso, tem-se a Figura 4 (a e b), que exibem sistemas *off-grid* nas seguintes configurações: com carga CC (bombagem de água) e sem bateria (a), e com cargas CA e CC e baterias (b) [10], [28].

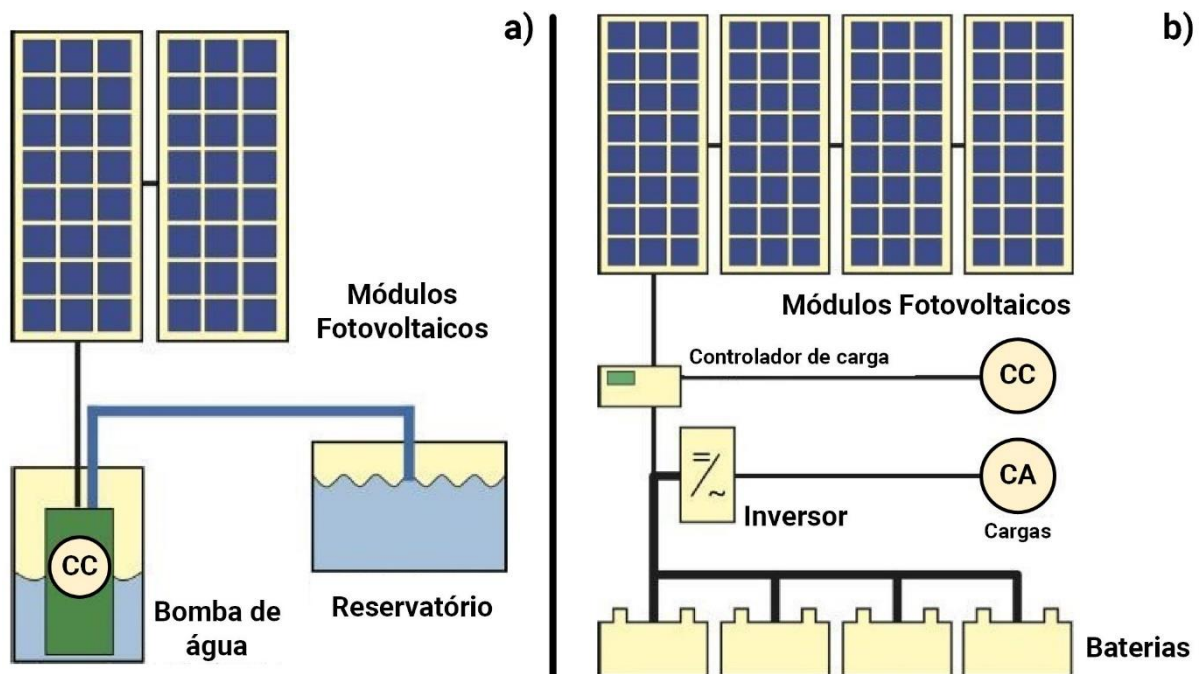


Figura 4: Sistemas fotovoltaicos *off-grid*
Fonte: Adaptado de [30]

2.2.2 Sistema fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid*)

Os sistemas *on-grid* estão cada vez mais populares, já que podem produzir energia em grande e pequena escala, em residências e centrais fotovoltaicas, respectivamente. O equipamento essencial para integração do sistema FV à rede e cargas (CA) é o inversor fotovoltaico, responsável por converter a energia CC gerada em CA. Após esse processo, a eletricidade pode ser distribuída para a rede elétrica ou consumida em equipamentos locais [10], [28]. A partir da Figura 5, visualiza-se o esquemático de um sistema *on-grid*, e o processo de conversão de energia mencionado, anteriormente.

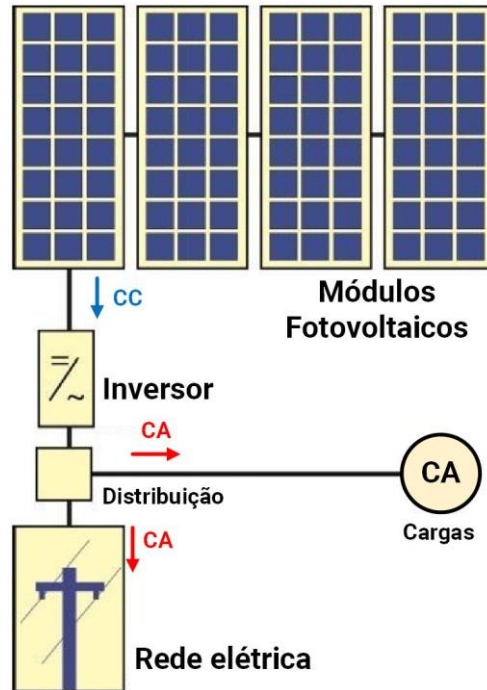


Figura 5: Sistema fotovoltaico on-grid
Fonte: Adaptado de [30]

2.2.2.1 Sistemas para incremento do autoconsumo

Os sistemas FV *on-grid*, também podem integrar equipamentos de armazenamento de energia (baterias e controladores de carga). A partir disso, tem-se maior capacidade de utilizar a eletricidade gerada pelos módulos fotovoltaicos, permitindo o incremento do autoconsumo da instalação [30].

Atualmente, as tecnologias para a geração de eletricidade via energia fotovoltaica estão a ser utilizadas e instaladas cada vez mais. Esse comportamento pode ser percebido por meio do custo nivelado da eletricidade via sistemas fotovoltaicos em [32], e da tendência da capacidade instalada em [33]. As Figura 6 e Figura 7 abaixo, exibem graficamente esse contexto.

Global weighted average total investment costs, capacity factors and LCOE 2010-2018

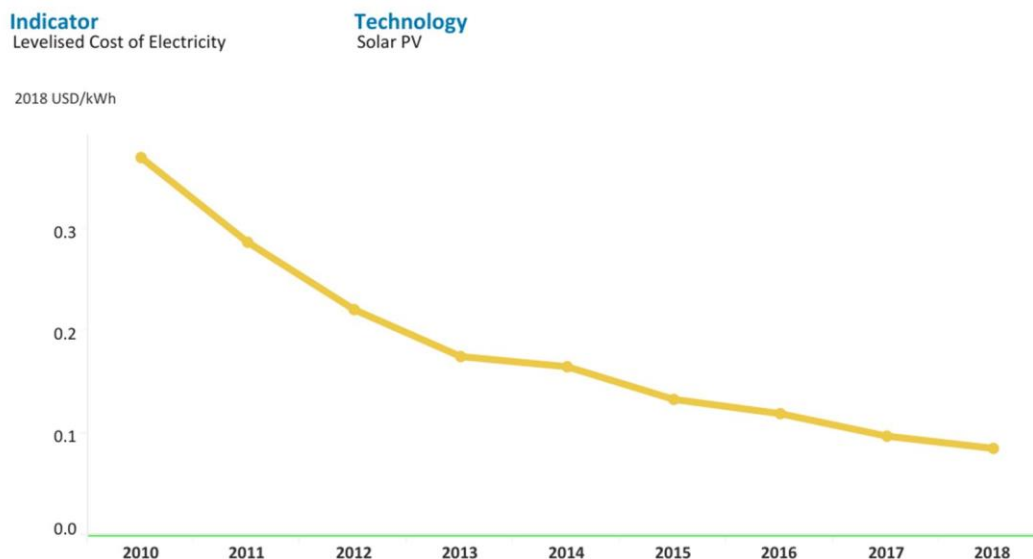


Figura 6: Custo nivelado da eletricidade via sistemas fotovoltaicos
Fonte:[32]

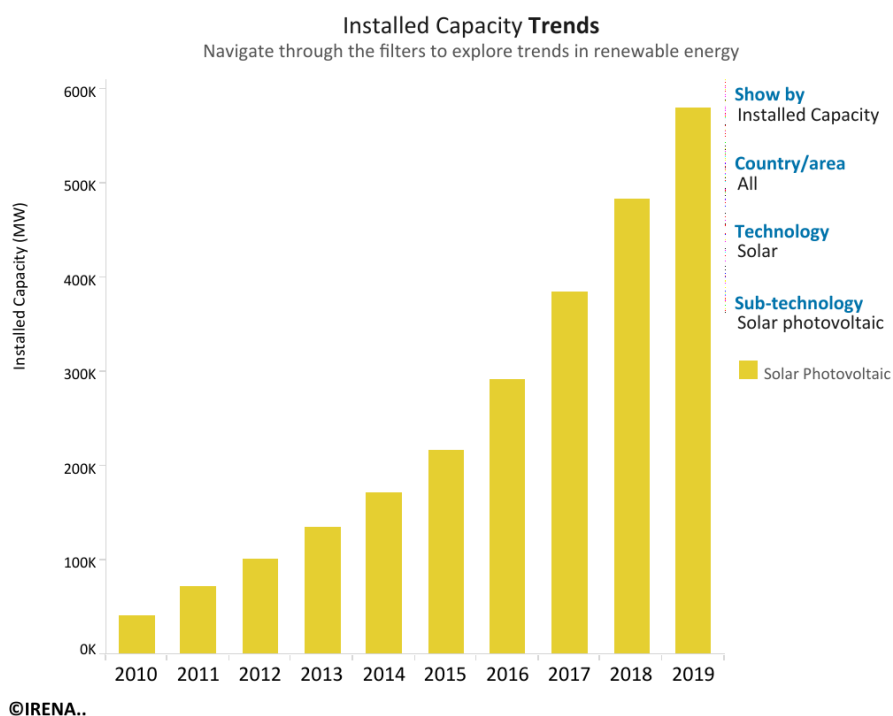


Figura 7: Tendência da capacidade fotovoltaica instalada
Fonte:[33]

No quesito ambiental os sistemas FV, não poluem o ambiente no processo de geração de eletricidade, pois dependem, sobretudo, da incidência de radiação solar. Nessa perspectiva, nota-se que os sistemas fotovoltaicos são uma alternativa ambiental e economicamente positiva, e viáveis para muitas localidades, com

capacidade de fornecer eletricidade a baixo custo e acessível aos seus beneficiários. Por conseguinte, a implementação da geração fotovoltaica, corrobora também aspectos sociais positivos, tornando seus usufruidores (sejam de centros urbanos a comunidade em desenvolvimento), mais independentes em relação ao autoconsumo e acesso à eletricidade [28], [29].

2.3 Sistema híbrido

O aproveitamento das energias hídricas e solar, já descritas anteriormente, demonstram que suas utilizações são vantajosas, seja pelo ponto de vista ambiental, económico e social. Entretanto, ambas são condicionadas por fatores sazonais da sua localização, ou seja, a produção de eletricidade por variar de acordo com a oferta das fontes renováveis de energia (água e incidência solar). A exemplo disso, o estudo realizado na Universidade de Victoria, Melbourne, [8], exhibe a potência elétrica gerada por um sistema fotovoltaico ao longo de um ano, pela Figura 8 abaixo.

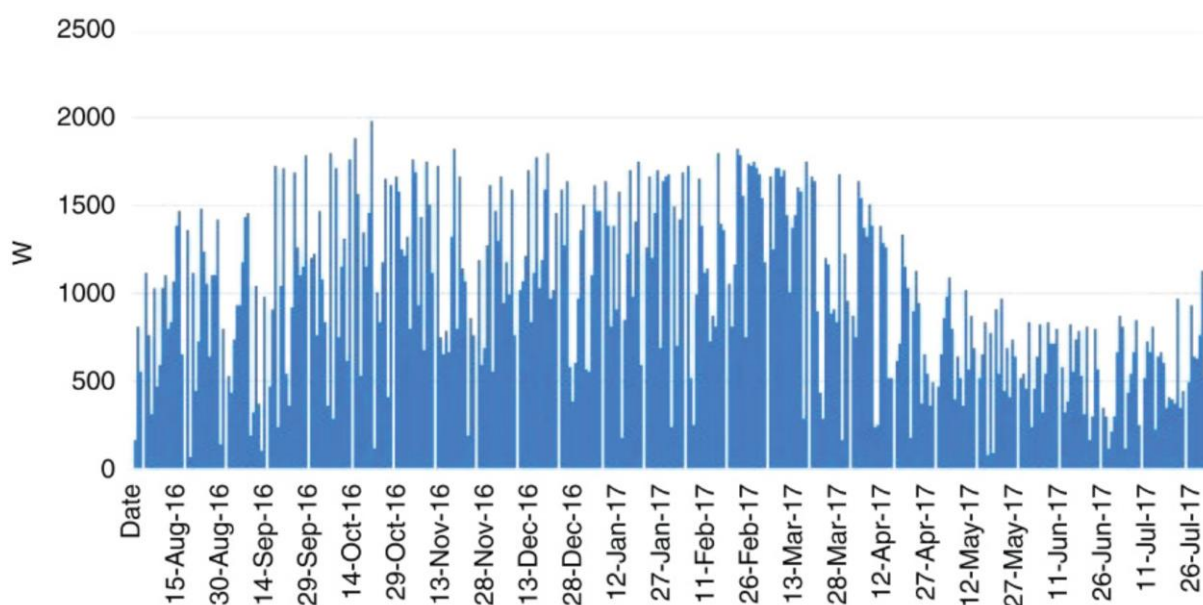


Figura 8: Potência elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico na Universidade de Victoria, Melbourne
Fonte:[8]

A partir da Figura 8, nota-se que nos meses de inverno (Junho a Agosto, no hemisfério sul), há menos incidência de radiação solar nessa época do ano (comportamento sazonal), e consequentemente menos produção de energia elétrica.

A variação na produção de energia, em sistema FV como o da Figura 8, pode ser compensada a partir da utilização da GD em conjunto com outros recursos renováveis locais, concebendo assim, um sistema híbrido de energia renovável [8].

Um sistema híbrido de energia, é dado pela associação de duas ou mais potências energéticas localmente disponíveis, renováveis ou não, para a produção e consumo local de energia. Contudo, os sistemas híbridos formados, apenas por fontes renováveis de energia, são denominados como, sistemas híbridos de energia renovável (SHER) [8], [34].

A estrutura dos SHER pode envolver tecnologias de energia elétrica em CA e CC, assim como um sistema de armazenamento de energia. A partir da Figura 9, visualiza-se uma configuração típica de um sistema híbrido de energia renovável, com sistema de conversão (SCE) e de armazenamento de energia [8], [34].

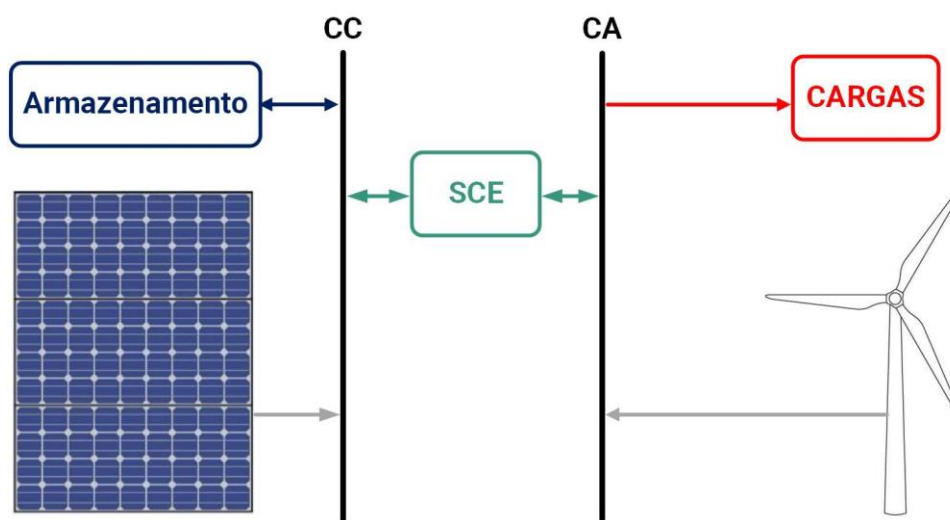


Figura 9: Típico potencial híbrido de energia renovável
Fonte: Adaptado de [8]

Os sistemas pico-hídricos e fotovoltaicos, quando associados, podem viabilizar a concepção de um SHER capaz de fornecer energia elétrica sem muitas variações ao longo de um ano. Essa capacidade de geração ocorre devido à complementariedade das duas fontes (sobretudo no hemisfério norte), onde a energia fotovoltaica é amplamente disponível durante o verão, enquanto que a hídrica é mais disponível no inverno, e com potencial de produção de 24 horas por dia.

Portanto, os SHER, fazem com que os potenciais locais de energia sejam ainda mais aproveitados, maximizando ainda mais os benefícios associados aos sistemas

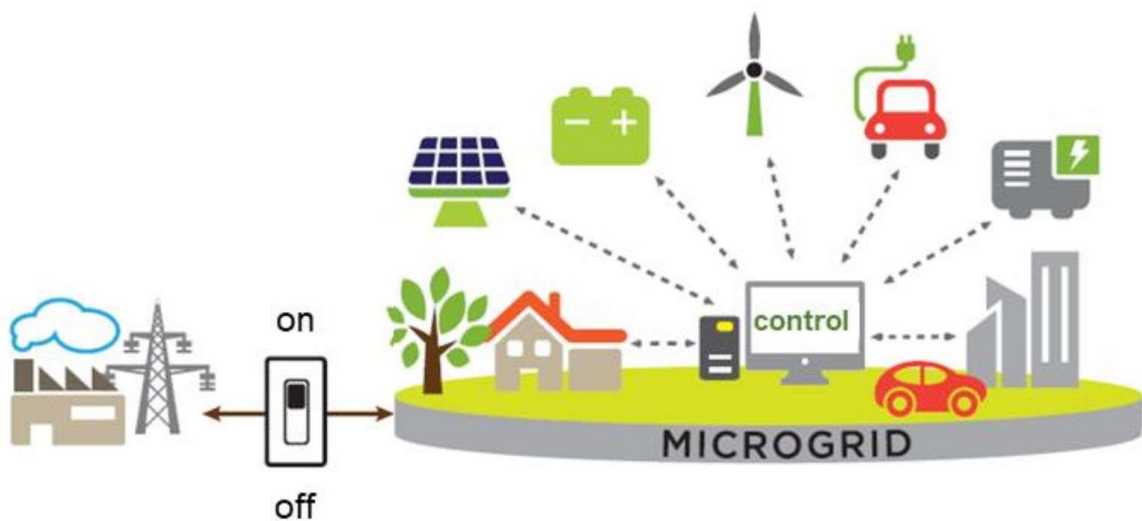
renováveis integrados a ele. Além disso, os SHER têm grande viabilidade na implementação de sistemas de geração das microrredes.

Capítulo 3 - Microrredes

Nesse capítulo são abordados os seguintes aspectos relativos as microrredes: definição, estrutura e operação, discussão e conceito de microrredes inteligentes, e finalmente, iniciativas de projetos.

3.1 Definição de Microrrede

Uma microrrede é a integração de recursos energéticos distribuídos, cargas (próximas à produção de energia), sistema de armazenamento de energia, e controlo, podendo operar em modo autónomo ou conectado à rede elétrica, com limites elétricos bem definidos [9], [36]. As microrredes podem ser aplicadas em contextos residenciais, comerciais e até mesmo industriais [37]. A partir disso, a Figura 10, exhibe o conceito de uma microrrede.



*Figura 10: Conceito de uma microrrede
Fonte: Adaptado de [36]*

3.2 Estrutura e operação de uma microrrede

3.2.1 Estrutura

De acordo com a definição de uma microrrede anteriormente exposta, nota-se que os principais componentes de uma microrrede são: recursos energéticos distribuídos, cargas, sistema de armazenamento e controlo, e por fim a conexão (ou não) à rede elétrica. Dessa forma, cada um dos componentes vitais às microrredes são descritos nos próximos itens desta seção. A Figura 11 abaixo, exibe uma microrrede genérica, com sistema elétrico monofásico e estrutura de comunicação.

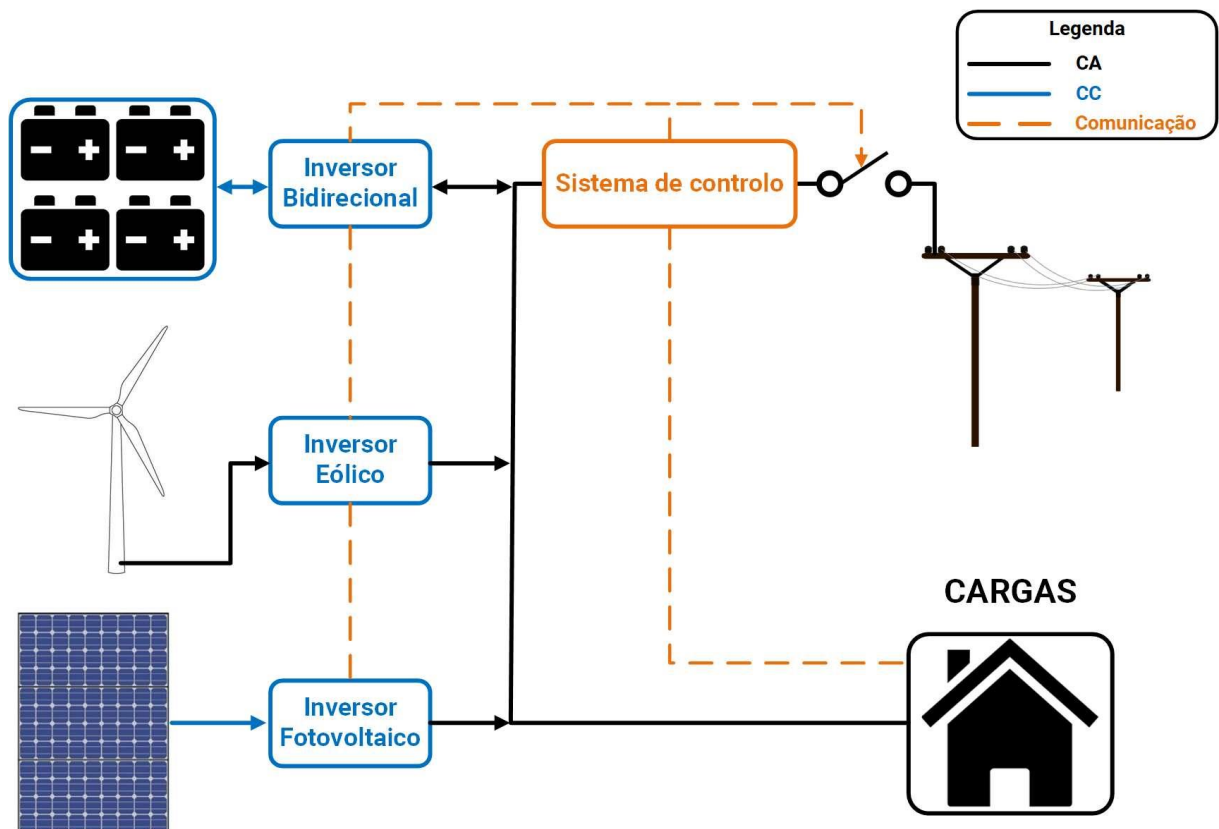


Figura 11: Microrrede genérica
Fonte: Autoria própria

3.2.1.1 Recursos energéticos distribuídos

Os recursos energéticos distribuídos nas microrredes, utilizam fontes de energia (renováveis ou não), para a produção de eletricidade, comumente, são instalados próximos as cargas. A exemplo disso, tem-se as unidades de produção de energia (fotovoltaica, hídrica, eólicas, gásóleo, entre outros), tecnologias armazenadoras de energia, como banco de baterias, e até estações de carregamento de veículos elétricos [11], [37].

3.2.1.2 Sistema de armazenamento

As tecnologias de armazenamento de energia, permitem que excessos de produção sejam armazenados e, posteriormente, gastos quando o consumo de energia for maior que a geração [8]. Em 2018, cerca de 8 GWh de energia foram armazenados em todo o mundo [39].

Um dos sistemas de armazenamento de energia utilizados em microrredes, é constituído por um banco de baterias e inversores bidirecionais, como é o caso da Figura 11 [40]. As baterias são equipamentos que através de reações químicas, armazenam energia elétrica em CC. Entretanto, comumente a eletricidade é consumida em CA, dessa forma, para fazer com que a energia nas baterias, seja tanto armazenada quanto consumida, utilizam-se os inversores bidirecionais, os quais realizam o processo de conversão da energia de CC para CA, e vice-versa.

As baterias estão muito presentes na atualidade, contudo, não são tecnologias novas, as primeiras baterias datam do ano de 1800, criadas por Alessandro Volta [41]. Entretanto, atualmente essas conquistam cada vez mais espaço, já que estão a ser tornar mais eficientes, e com custo a diminuir consideravelmente para algumas aplicações [42].

Em [42], mostra-se que os custos totais para a instalação de sistemas de armazenamento de pequena escala, utilizando baterias de íões-lítio, caiu em 60% entre 2014 e 2017. A exemplo disso, devido a suportes financeiros em sistema de armazenamento de baterias, aproximadamente 40% dos pequenos sistemas fotovoltaicos na Alemanha já foram instalados com baterias nos últimos anos [42].

Ainda nessa perspectiva, a tendência dos custos totais, para a instalação de baterias íões-lítio em aplicações estacionárias, deve cair de 54-61% até 2030 [42]. Portanto, nota-se que a aplicação de sistemas de armazenamento de energia, sobretudo os com baterias, podem fornecer grandes vantagens às microrredes, pois viabilizam que essa possa ser mais eficiente, auto sustentável, e fiável de ponto de vista energético, e do investimento associado a essa tecnologia [8], [42].

3.2.1.3 Sistema de controle

O principal aspecto que diferencia uma microrrede de uma rede de distribuição associada a recursos energéticos distribuídos, é o sistema de controle [10]. A partir de técnicas de controle, as microrredes podem gerir o seu fluxo de energia de forma eficiente, satisfazendo as necessidades e escolhas de seus operadores em ações sobre o consumo, produção e armazenamento de energia desses sistemas [36], [42].

Atualmente, tecnologias de informação e comunicação, estão a ser intensamente testadas nos sistemas de distribuição de energia. A utilização de microprocessadores, software, estruturas e protocolos de comunicação, assim como a conectividade de aparelhos com internet ou entre si, viabilizam que as microrredes possam, ter e tornar seu sistema de controle mais eficiente, num cenário onde residências estão a se tornar cada vez mais automatizadas [36], [42].

Dessa forma, as funções de um sistema de controle de uma microrrede podem ser divididas em: decisões relativas à rede de distribuição e controle interno da microrrede [10].

3.2.1.3.1 Decisões relativas à rede de distribuição

O controle da microrrede pode estabelecer a conexão, desconexão e sincronismo com a rede de distribuição, assim como a decisão de importar ou exportar energia para mercado de energia [8], [42].

3.2.1.3.2 Controle interno da microrrede

Nesta função, o controle da microrrede desempenha ações que podem exigir a participação de um ou mais equipamentos, como sistema de geração de energia distribuída, sistema de armazenamento e controle de cargas [10].

Dessa forma, o sistema de controle pode realizar ações no gerenciamento da energia (produção e consumo) de uma microrrede por meio de parâmetros como: tensão e frequência, potências ativas e reativas, e consumo. Dessa maneira, cargas podem ser desconectadas ou postas em serviço, o sistema de armazenamento pode receber ou enviar energia às cargas, e até mesmo a produção de energia pode ser reduzida (sistemas fotovoltaicos) [8], [36], [42].

As estruturas de um sistema de controlo são variadas, e devem ser adequadas aos requisitos de cada microrrede. A exemplo disso, tem-se as estruturas de controlo de microrredes de pequena dimensão, as quais podem ser centralizadas e hierárquicas, isto é, as informações e comandos são emitidos por um equipamento ou software (como é o caso da Figura 11), e obedecem a critérios de priorização de ações [8], [42].

Portanto, as técnicas e estruturas de um sistema de controlo, podem coordenar a operação de equipamentos, visando o gerenciamento de energia e seguindo critérios estabelecidos pelos operadores de uma microrrede.

3.2.2 Operação

A partir da explicação do conceito de uma microrrede no item “3.1 Definição de Microrrede”, nota-se que as microrredes podem operar de forma conectada (*on-grid*) ou desconectada (*off-grid*) da rede elétrica.

As microrredes em operação *on-grid*, podem tanto importar quanto exportar energia à rede elétrica, mediante a relação produção e consumo do seu sistema. Dessa forma, quando a geração está superior ao consumo das cargas, a microrrede injetará energia para a rede, na situação contrária (consumo superior à produção), a rede fornecerá a energia elétrica faltante para o fornecimento das cargas [10], [11].

Nessa perspectiva, em casos de avarias ou falhas na rede elétrica, as microrredes podem desconectar-se dessa, e operar em modo *off-grid*. Desta maneira, fornecem energia a sua demanda atual, mediante a prioridade das cargas e capacidade de geração e armazenamento disponíveis. Com a rede disponível novamente, a microrrede pode reconectar-se, e operar em modo *on-grid*. As microrredes com esse funcionamento são chamadas de “microrredes urbanas” [10], [11].

Entretanto, há microrredes que estão sempre a funcionar em modo *off-grid*, diferentemente das microrredes urbanas, essas dependem exclusivamente, dos recursos energéticos distribuídos e de sistemas de armazenamento locais, para fornecer energia às suas cargas. Dessa maneira, esse modelo de microrredes, torna-

se uma alternativa viável para levar o acesso de eletricidade a regiões remotas, e com indisponibilidade de redes elétricas de distribuição próximas. Esse modelo de microrredes pode ser implementado em comunidades remotas e instalações militares [8], [10], [11].

3.3 Microrredes inteligentes

A diferenciação entre as microrredes inteligentes ou não, decorre do conceito de rede inteligente (ou *“smart grid”*), presente em [6]. Segundo a Plataforma Tecnológica Europeia de Redes Inteligentes (*European Technology Platform of Smart Grids*), *“uma rede inteligente é uma rede elétrica que pode inteligentemente integrar ações de todos os usuários conectados a essa – geradores, consumidores e aqueles que assumem ambos papéis – para fornecer com eficiência, eletricidade sustentável, econômica e com fornecimento seguro”* [42], [43].

Nessa perspectiva, as redes inteligentes necessitam utilizar tecnologias e equipamentos que promovam um aumento da capacidade de monitorização, gerenciamento e controlo daqueles conectados a essa. Desta maneira, a Tabela 2 abaixo, exhibe comparação entre as redes elétricas convencionais e inteligentes.

Tabela 2: Comparação entre rede elétrica atual e a rede elétrica inteligente
Fonte:[6]

Rede elétrica existente	Rede elétrica inteligente
Eletromecânica	Digital
Comunicação unidirecional	Comunicação bidirecional
Geração centralizada	Geração distribuída
Hierarquizada	Interligada
Alguns sensores	Muitos sensores
Sem monitorização	Automonitorização
Reabilitação manual	Auto recuperável
Falhas e apagões	Adaptável e operação em modo autônomo
Verificação/testes manuais	Verificações/teses remotamente
Controlo limitado	Controlo completo
Clientes com poucas escolhas	Clientes com muitas escolhas

Nessa perspectiva, o desenvolvimento das tecnologias capazes de tornar as redes elétricas convencionais em inteligentes, cria um ambiente favorável para a utilização de estruturas mais básicas e de menor dimensão, como as microrredes. A partir disso, as microrredes inteligentes podem ser consideradas como aquelas que, incorporam tecnologias que viabilizam uma maior capacidade de controlo e comando de seus sistemas, assim como de monitoramento e gestão de energia (produzida, armazenada e consumida). Portanto, diferentemente das microrredes, as microrredes inteligentes são capazes de integrar dados de produção, consumo, e parâmetros do mercado de energia e rede de distribuição, através de um sistema de gerenciamento inteligente, capaz de comandar todos equipamentos de forma coordenada, confiável, segura e eficiente.

3.4 Iniciativas de projetos de microrredes

Iniciativas de investigação e desenvolvimento de tecnologias em projetos de microrredes, estão a ser desenvolvidas ao longo dos anos, sobretudo por universidades, centros de investigação, governos e empresas.

Em 2007 [44], exibe o ponto de situação de projetos de investigação e desenvolvimento na área das microrredes na Europa, Estados Unidos, Japão e Canadá. Ainda em [44], no contexto europeu, foram conduzidos dois projetos de relativos às microrredes: *“Microgrids: Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids”*, e *“More Microgrids: Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids”*. Esses projetos contaram com o envolvimento de instituições de investigação, universidades de muitos países do continente, e empresas do setor elétrico (Siemens, ABB, EmForce, SMA, entre outras). A partir desses projetos, novas soluções tecnológicas foram desenvolvidas, assim como novos protótipos de hardware, algoritmos e processos.

O Instituto Politécnico de Bragança (IPB), pela sua Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTIG), vem desenvolvendo projetos e implementações de microrredes. Desde 2012, a ESTIG possui uma microrrede com potência nominal de 5kW, que integra sistema de geração de energia elétrica via fontes renováveis, e sistema de armazenamento e de controlo de energia. A microrrede possui uma turbina eólica, um seguidor solar, módulos fotovoltaicos, um gerador a biodiesel, assim como um banco de baterias e um inversor bidirecional que gere e controla o fluxo de energia [45].

A microrrede da ESTIG pode ser visualizada por meio da Figura 12 abaixo.

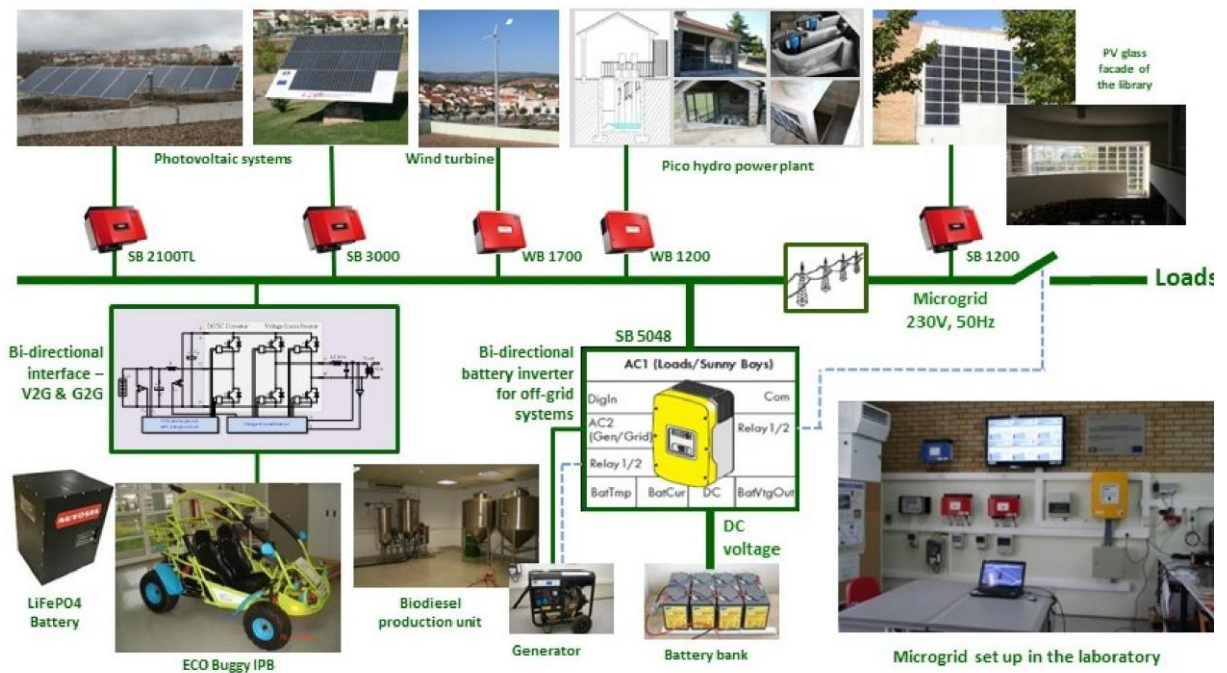


Figura 12: Microrrede do IPB, instalada na ESTIG
Fonte:[45]

Em um contexto mais atual, realizaram-se estudos como em [46] e [47] (2017), [48] (2018), [49] e [50] (2019) para conceção e implementação de microrredes inteligentes em edifícios de divulgação de ciência na cidade de Bragança, designadamente, a Casa da Seda, e o Posto Aquícola de Castrelos. Entretanto, esses trabalhos são abordados de forma mais detalhada nas próximas seções, uma vez que fazem parte do contexto deste trabalho.

Capítulo 4 - Contextualização dos projetos de microrredes desenvolvidos pelo IPB.

Nesta seção, realiza-se uma contextualização sobre os projetos de microrredes inteligentes conduzidos pelo IPB, em dois edifícios de divulgação de ciência, designadamente, a Casa da Seda, e o Posto Aquícola de Castrelos.

Os projetos possuem como objetivo tornar a Casa da Seda e o Posto Aquícola de Castrelos em edifícios autossustentáveis, através dos recursos endógenos disponíveis a partir de sistemas renováveis de energia, e servir como divulgadores de novas tecnologias de produção de energia renovável e de microrredes para cidades inteligentes (*smart cities*).

A partir da contextualização dos projetos realizados no design e instalação desses projetos, pode-se perceber o contexto em que o presente trabalho ocorre, uma vez que é dependente dos trabalhos anteriores nesses edifícios.

4.1 Microrrede inteligente da Casa da Seda

Localizada na margem esquerda do rio Fervença na cidade de Bragança, em Portugal, a Casa da Seda era um local onde pessoas costumavam tingir seda durante o século XVIII, já entre os séculos XIX e XX, funcionou como um moinho. Atualmente, o edifício integra o Centro de Ciência Viva de Bragança e está a funcionar como um museu de divulgação e disseminação de ciência, e que ainda preserva boa parte de sua arquitetura original [46]. A partir da Figura 13 abaixo, visualiza-se a Casa da Seda.



Figura 13: Casa da Seda
Fonte: Autoria própria

No ano de 2017, em [46] e [47], desenvolveu-se o design e caracterização de uma microrrede inteligente, autossustentável e baseada em sistemas de geração de energias renováveis para Casa da Seda.

Nesses trabalhos, levaram-se em consideração características do potencial energético do edifício e elétricas da instalação, bem como do comportamento do consumo de energia elétrica. A partir disso, elaboraram-se medidas de eficiência energética para a instalação e um projeto de conceção de uma microrrede inteligente baseada na tecnologia da empresa SMA, o qual integra sistemas de energias hídrica, fotovoltaica e banco de baterias [46], [47].

Desse modo, após a conclusão do design da microrrede inteligente da Casa da Seda, os trabalhos conduzidos de 2018 a 2019 por [49] e [50] pretendiam, de fato, a implementação da microrrede. Nessa perspectiva, a microrrede inteligente foi instalada e posta em serviço, a partir do dia 31 de julho de 2019, e está a operar desde então. A Figura 14 exhibe a microrrede inteligente instalada por [49] e [50], a qual será melhor detalhada em próximas seções desse trabalho.



Figura 14: Microrrede inteligente instalada na Casa da Seda
Fonte: Autoria própria

Nessa perspectiva, o presente trabalho objetiva apresentar os resultados e análises da operação da microrrede da Casa da Seda e de seus sistemas até a atualidade, assim como estabelecer medidas de otimização, e integrar a geração hídrica ao sistema de monitoramento.

4.2 Microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos

Localizado junto ao rio Baceiro, próximo a Bragança – Portugal, tem-se o Posto Aquícola de Castrelos, o qual no passado tinha como principal atividade a produção de truta para comercialização e repovoamento de cursos de água da região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Atualmente, pertencente ao Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), o Posto Aquícola de Castrelos tem também como objetivo promover a consciência e educação ambiental do público, sobretudo crianças e jovens, por meio de projetos investigação realizados pelo ICNF e o IPB [48]. As Figuras 15 e 16 abaixo, apresentam as edificações principais do local, edifício e sistema de canais e água para a criação de trutas.



Figura 15: Edifício principal do Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Autoria própria



Figura 16: Sistemas de canais e água para a criação de trutas
Fonte: Autoria própria

Nesse contexto, em [48] (2018), desenvolve-se o projeto de uma microrrede inteligente baseada na tecnologia SMA, a qual aproveita os potenciais hídricos e fotovoltaicos da instalação e que, adicionalmente, dispõem de um sistema de armazenamento de energia em baterias. Dessa maneira, confeccionou-se um estudo de caracterização elétrica do edifício, levando em consideração as cargas, e o comportamento do consumo de energia, por meio das faturas e de diagramas de cargas através de um analisador de energia (PEL 103 – fabricante Chauvin Arnoux), assim como os fatores estruturais de sua instalação elétrica.

Ainda em [48], analisaram-se medidas de eficiência energética, as quais consistem na substituição das bombas atuais (10kW de potência total) por outras duas mais eficientes (5,5kW de potência cada) e controladas por um variador de frequência, e utilização esporádica dos aquecedores elétricos e de água sanitária. Desse modo, todas essas medidas devem ser integradas ao sistema de gestão de

energia da microrrede a ser instalada, potencializando assim a eficiência energética desses aparelhos consumidores e promovendo uma redução na fatura de energia.

A utilização de duas bombas mais eficientes é justificada com a finalidade de sempre haver uma bomba de backup, em caso de falhas e manutenções. Entretanto, a quantidade de bombas e seus regimes de operação estão condicionados a fatores exclusivamente operacionais do Posto Aquícola de Castrelos, os quais podem ser alterados futuramente.

Finalmente em [48], realizou-se o estudo de potencial hídrico e fotovoltaico do Posto Aquícola de Castrelos para a geração de eletricidade, chegando-se à conclusão de que é viável aproveitar o potencial hídrico das quedas dos tanques de água, por intermédio de uma turbina pico-hídrica (low head) e de rodas de água (a estimativa de produção da turbina pico-hídrica é de 7,54 MWh no inverno). Em relação ao potencial fotovoltaico, pode-se instalar um sistema FV no telhado do edifício principal, com capacidade de produção de 15,66 MWh/ano.

Dessa maneira, um dos objetivos principais desse trabalho de mestrado tem como finalidade implementar a microrrede inteligente da tecnologia SMA, integrando os sistemas geração fotovoltaico, hídrico e de armazenamento de energia em baterias, proposta por [48]. Por conseguinte, maiores detalhes sobre a caracterização elétrica do edifício, assim como todos os sistemas da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos serão abordados em próximas seções.

Capítulo 5 - Microrredes inteligentes: descrição dos sistemas e operações

Nesse capítulo, as microrredes inteligentes da Casa da Seda e do Posto Aquícola de Castrelos são descritas, abordando seus equipamentos, sistemas e como as suas operações ocorrem. Ambas as microrredes inteligentes são baseadas na tecnologia da empresa SMA, com as funções de um sistema flexível de armazenamento com backup por baterias, e incremento do autoconsumo. Essas funções das microrredes inteligentes são abordadas e elucidadas melhor no item 5.3 *Operação das microrredes*.

5.1 Microrrede inteligente da Casa da Seda

5.1.1 Descrição elétrica e das galerias da Casa da Seda

A Casa da Seda está a receber o público e desenvolver suas atividades de terça-feira à domingo, das 10h-18h (eventos excepcionais podem ocorrer após as 18h), e permanece fechada às segundas-feiras. Em sua maioria, os equipamentos consumidores de energia são: computadores, monitores, projetores de multimídia, ares-condicionados, iluminação, sistemas de som e de aquecimento.

O sistema elétrico da instalação é trifásico, de baixa tensão e possui uma potência contratada de 13,6 kVA. A partir dos estudos de caracterização elétrica feito por [47], nota-se que a potência consumida durante as atividades da Casa da Seda está em torno dos 4kW, e que pode haver picos de potência consumida inferiores a 9kW (curta duração), durante eventos excepcionais, e que possivelmente são ocasionados pelos aquecedores a óleo.

Como já mencionado no *Capítulo 4*, a Casa da Seda dispunha de estruturas arquitetônicas conservadas, onde outrora haviam um antigo moinho e sala captação de água desviada do rio Fervença. A Figura 17, apresentam essas estruturas



Figura 17: Estruturas arquitetônicas conservadas da Casa da Seda
a) Local do antigo moinho - b) Sala de captação de água
Fonte: [47]

5.1.2 Descrição da microrrede inteligente e seus sistemas

A microrrede inteligente instalada tem como partes principais os sistemas de: geração de energia fotovoltaica e hídrica (1), armazenamento de energia em baterias (2), e um quadro elétrico (3) que reúne todos os dispositivos de proteção, conexões e o dispositivo de gerenciamento de energia (Sunny Home Manager), esses sistemas são apresentados na Figura 18. Para um melhor entendimento, a descrição e função de cada sistema será feita individualmente nos próximos tópicos [50].



Figura 18: Sistemas da microrrede inteligente da Casa da Seda
Fonte: Autoria própria

5.1.2.1 Sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é composto por três fileiras com seis módulos instalados no telhado da Casa da Seda, uma das fileiras está posicionada em direção ao Sul, enquanto as restantes estão orientadas para o Sudoeste. Cada uma das fileiras é conectada a inversor fotovoltaico SMA, Sunny Boy (SB) monofásico, dessa forma, cada um desses alimenta uma das fases da instalação elétrica do edifício (L1, L2 e L3), sendo identificados por SB 1, 2 e 3. A Figura 19, apresenta a localização e orientação das fileiras, assim como a ligação e localização dessas com os respectivos inversores fotovoltaicos na microrrede inteligente.



Figura 19: Sistema fotovoltaico da microrrede inteligente da Casa da Seda
Fonte: Autoria própria

Os módulos fotovoltaicos são do modelo VBHN325SJ47, série HIT da fabricante Panasonic, cada um com uma eficiência de 19,4%, e potência máxima de

325Wp, portanto o sistema fotovoltaico tem uma potência de geração máxima de 5,85kWp [50], [51]. Já os inversores fotovoltaicos, são do modelo SB1.5-1VL40, fabricante SMA, os quais possuem uma potência máxima de saída de 1500W (AC), tensão e frequência nominal de 230V, 50Hz, e eficiência de 97,2% [50], [52].

5.1.2.2 Sistema pico-hídrico

Devido à proximidade do rio Ferverença, estruturas do antigo moinho e a sala de captação de água, chegou-se à conclusão de que seria possível instalar um sistema pico-hídrico para a geração de energia, estimando-se que há um caudal de 55 l/s e 5m de altura de queda de água (da captação à restituição) disponíveis, num período mínimo de 70% do ano, durante 24 horas por dia [47]. A partir dessa disponibilidade hídrica, utilizando uma turbina do tipo LH400 da PowerSpout, e levando em consideração as perdas de cargas, estima-se que a potência e energia elétricas produzidas serão de, aproximadamente, 1,2kW e 26,3kWh/dia [47][53].

Adicionalmente, o sistema hídrico de geração também terá disponível uma roda de água, a qual poderá produzir cerca de 300W de potência [54], [50]. Nessa perspectiva, será possível injetar a energia do sistema hídrico na microrrede inteligente da Casa da Seda a partir da utilização de um micro inversor e um inversor fotovoltaico, GWL Power e Ominik-2k-TL2, respectivamente, para a medição da produção de energia pico-hídrica, pretende-se utilizar medidores de energia da SMA (*Energy Meter*) [50]. A Figura 20, exibe a turbina LH400 e a roda de água antes da instalação na Casa da Seda.



Figura 20: Turbina LH400 e roda de água antes da instalação na Casa da Seda
Fonte:[50]

No momento em que este documento foi escrito, o sistema hídrico de geração estava em estágios finais de implementação, devido a isso, esse não está a operar de forma definitiva. A partir disso, a aplicação dos inversores fotovoltaicos enunciados anteriormente, não está estabelecida, uma vez que o inversor Ominik-2k-TL2 está em reparos, a roda de água ainda passa por testes, e os sistemas de controlo de fluxo de água para o sistema pico hídrico estão a ser desenvolvidos.

Para a roda de água, o sistema de controlo será dado por quatro válvulas de esfera de duas vias motorizadas, modelo série 638 da fabricante Caleffi (Figura 21 a), e um relé interruptor comandado por Wi-Fi, Shelly 4pro (Figura 21 b). A partir disso, as válvulas motorizadas permitem a passagem (ou não) do fluxo de água dos jatos da roda de água, já que só possuem função liga ou desliga. Dessa maneira, o Shelly 4 pro, será responsável por permitir que colaboradores da Casa da Seda abram ou fechem as eletroválvulas à distância durante visitas ao público [55], [56].

Já para a turbina pico hídrica, será utilizada uma eletroválvula J3C, modelo H300-DPS da fabricante J+J (Figura 21 c), através dessa, pode-se controlar a abertura e fechamento do tubo de entrada de água da turbina LH400 [57]. Entretanto, mesmo com instalação total da eletroválvula, ainda será necessário confeccionar um circuito de controlo para essa. A Figura 21, mostra as eletroválvulas e o Shelly 4pro para o controlo do fluxo de água para a roda de água e da turbina LH400.

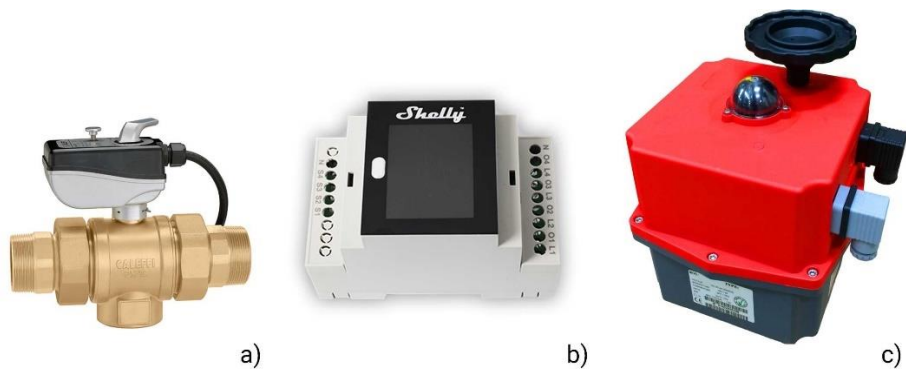


Figura 21: Eletroválvulas e Shelly 4pro para o controlo do fluxo de água da roda de água e da turbina LH400

Fonte: Autoria própria

Nessa perspectiva, as Figura 22 e Figura 23 apresentam as vistas da roda de água e o sistema pico-hídrico por completo instalado na Casa da Seda, respectivamente.



Figura 22: Vistas da roda de água da Casa da Seda

Fonte: Autoria própria



Figura 23: Sistema pico-hídrico da Casa da Seda
Fonte: Autoria própria

Recentemente, instalou-se um painel de madeira que abrigará os inversores fotovoltaicos para a turbina de baixa queda e a roda de água, assim como suas proteções. Entretanto, para a realização de alguns testes, instalou-se um inversor SOLAX modelo X1-1.5-S-D, e um circuito de proteção contra sobretensões, PowerClamp do fabricante PowerSpout para a turbina LH400. A Figura 24, exibe o painel que abrigará a estrutura de injeção de potência do sistema hídrico na microrrede da Casa da Seda no contexto atual.



Figura 24: Painel de equipamentos para a injeção de potência do sistema hídrico na microrrede da Casa da Seda, atualmente.

Fonte: Autoria própria

5.1.2.3 Sistema de armazenamento de energia

O sistema de armazenamento de energia é composto, fundamentalmente, por três equipamentos: inversor bidirecional Sunny Island 4.4M-11(SI), banco de baterias e um conjunto de fusíveis para proteção das baterias, equipamentos e pessoas.

O SI tem como função gerir a carga e descarga das baterias, e todos os parâmetros necessários para promover o incremento do autoconsumo em um sistema de armazenamento flexível [50], [58]. A microrrede é constituída por um cluster trifásico de SIs, ou seja, um SI conectado em cada fase (L1, L2 e L3), onde esses estão conectados na configuração “mestre-escravo”, dessa forma, todos os parâmetros e ordens executadas no SI mestre são, igualmente, replicados nos outros dois SIs [50].

O estabelecimento da conectividade dos SIs com a plataforma de monitoramento, e com o usuário/operador, é feito por meio de cabo de rede (Internet) e um controle (Sunny Remote Control), respectivamente. A partir disso, o cluster de SIs possui uma potência total de 9,9kW para o controlo do fluxo de energia das baterias, o qual flui dos SIs para os fusíveis de proteção das baterias e finalmente, chega até ao banco de baterias, por meio de cabos CC (positivos e negativos) [50][59].

A microrrede inteligente em questão, utiliza um banco de baterias composto por vinte e quatro baterias de ácido chumbo regulada por válvula VRLA (*Valve-regulated lead acid*), tensão nominal de 2V, modelo A602/625 da fabricante Sonnenschein, e ligadas em série. Para a proteção das baterias utiliza-se um conjunto de seis fusíveis (dois para cada SI, e por polo do banco de baterias) [50].

Nessa perspectiva, pode-se visualizar de forma resumida, o sistema de armazenamento de energia da microrrede inteligente da Casa da Seda pela Figura 25 abaixo.

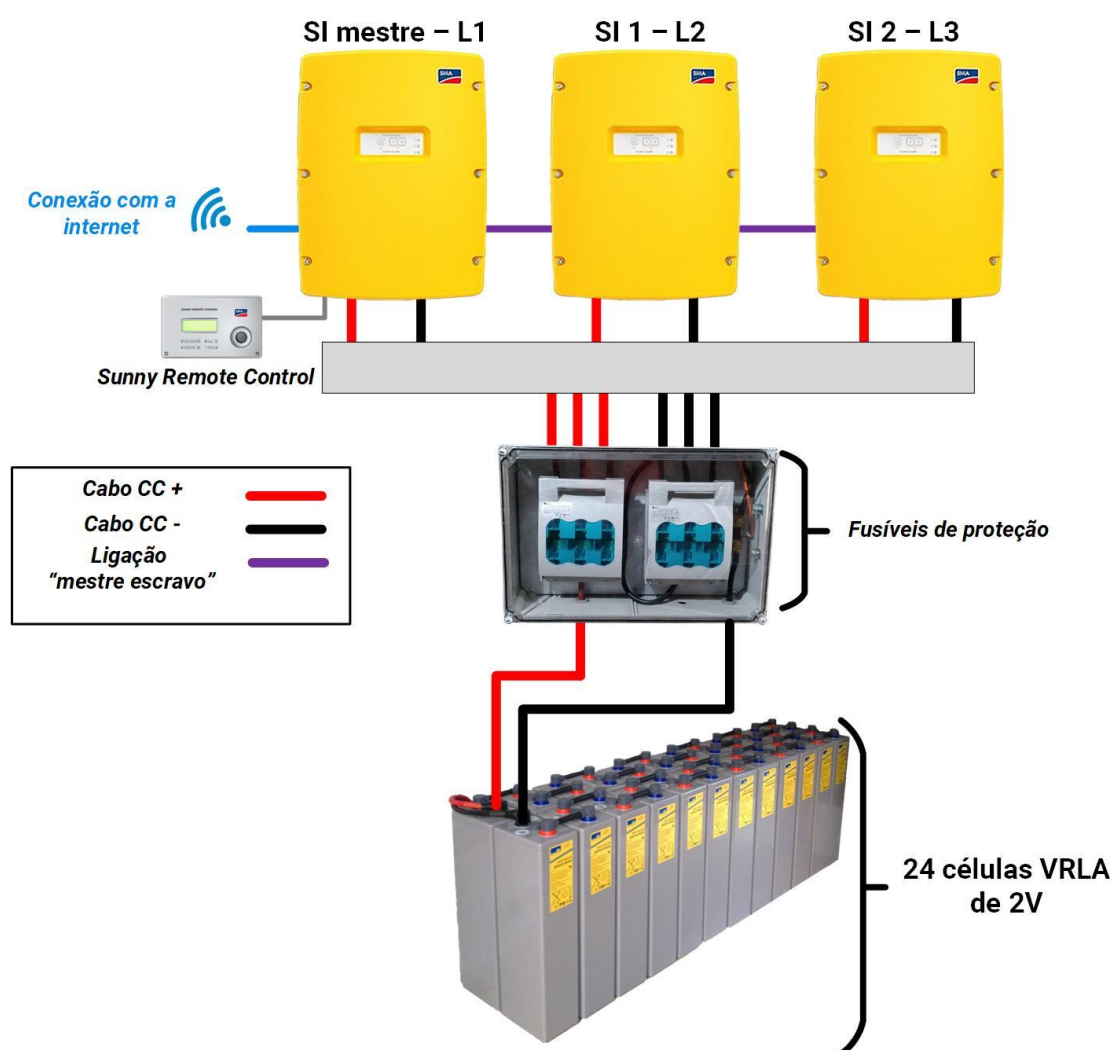


Figura 25: Sistema de armazenamento de energia da Casa da Seda
Fonte: Autoria própria

5.1.2.4 Quadro elétrico

O quadro elétrico é responsável por concentrar os equipamentos de proteção, medição, contator interruptor de transferência automática (automatic transfer switch, que está instalado no SI), e Sunny Home Manager 2.0 (SHM), e auxiliares.

Relativamente aos equipamentos de proteção, estão englobados o detetor de fases e os disjuntores da microrrede, sejam esses para a proteção de circuitos de equipamentos ou disjuntores para o fornecimento de energia (cargas ou entrada da concessionária). Já equipamentos de medição, são utilizados para quantificação da energia produzida pelo sistema pico-hídrico de geração.

Os dispositivos mais importantes do quadro elétrico são o SHM e o contator do interruptor de transferência automática (ITA). O SHM é responsável por todo o gerenciamento de energia da microrrede, a partir da coleta das principais informações dos equipamentos SMA integrados a ele (fisicamente e por protocolo de comunicação). Dessa forma, o SHM pode comandar os outros equipamentos para viabilizar o incremento do autoconsumo e a monitorização do trânsito de energia na microrrede pelo Sunny Portal [50], [60].

O ITA estabelece a conexão com a rede elétrica externa apenas quando há tensão da rede elétrica externa, por meio do controlo do SI mestre. Caso não haja tensão da rede elétrica, o SI mestre detectará esse fenómeno, e fará com que o ITA desconecte a microrrede da rede externa, quando a rede elétrica está novamente disponível, o SI identificará que esse evento, e sincronizará a microrrede com a rede elétrica externa. Dessa forma, o ITA é uma parte fundamental para que o sistema da microrrede opere em autoconsumo e reserva de energia por baterias (*battery-backup*) [50], [61].

Atualmente, em conjunto com o ITA, adicionou-se um sistema de sinalização luminosa, a partir disso, torna-se possível identificar quando a microrrede está a funcionar em modo *on-grid* ou *off-grid*, esse mecanismo será melhor abordado no tópico relativo à operação das microrredes deste capítulo. A partir da Figura 26 e da Tabela 3, pode-se visualizar e identificar os componentes do quadro elétrico da Casa da Seda atualmente.



Figura 26: Quadro elétrico da microrrede inteligente da Casa da Seda atualmente
Fonte: Autoria própria

Tabela 3: Identificação dos equipamentos do quadro elétrico da microrrede inteligente da Casa da Seda

Fonte: Autoria própria

Função	Identificação	Equipamento
Proteção	1a	Disjuntor de entrada da concessionária de energia
Proteção	1b	Disjuntor das cargas da instalação
Proteção	1c	Disjuntores dos SIs
Proteção	1d	Disjuntores dos SBs
Proteção	1e	Disjuntores dos Energy Meter
Proteção	1f	Disjuntores do switch para conexão da internet, iluminação da galeria e tomada auxiliar
Medição	2	Energy Meters
Interruptor de transferência automática	3	Contator do ITA e sistema de sinalização de falha na rede elétrica externa
Gerenciamento de Energia	4	Sunny Home Manager 2.0
Auxiliar	5	Barramento
Auxiliar	6	Detetor de fases
Auxiliar	7	Shelly 4pro

5.2 Microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos

A microrrede inteligente em questão também tem seu sistema baseado na tecnologia SMA, dessa forma, é expectável que ocorram semelhanças em equipamentos e sistemas entre as microrredes da Casa da Seda e do Posto Aquícola de Castrelos.

5.2.1 Descrição elétrica do Posto Aquícola de Castrelos

O Posto Aquícola de Castrelos possui uma tarifa de energia em baixa tensão (trifásica) e potência contratada de 41,4kVA a partir da rede elétrica de serviço público. Em relação às cargas da instalação, na sua maioria são constituídas por: iluminação dos tanques alevinagem e do edifício, aquecedores elétricos, cilindro elétrico para aquecimento de água sanitária, e bombas para o fornecimento de água do edifício e oxigenação dos tanques de criação de peixes [48].

Atualmente, as cargas críticas da instalação são duas bombas que realizam a oxigenação dos tanques de água, durante vinte e quatro horas por dia nos meses de verão, devido ao baixo caudal do rio [48]. A potência total das duas bombas juntas é de 10kW, uma vez que a troca das bombas por outras duas mais eficientes ainda não foi feita. As novas bombas serão utilizadas de forma intercalada, e com funcionamento a depender da hora do dia, custo da energia e disponibilidade de sol.

Segundo o estudo de caracterização elétrica realizado por [48], os picos de consumo de potência de 12kW na instalação são causados pela utilização das bombas no período de agosto a novembro. Após esse período, com as bombas desligadas, o consumo máximo de potência da instalação foi de 5,1kW.

5.2.2 Descrição da microrrede inteligente e seus sistemas

A microrrede em questão também possui sistemas de: geração de energia renovável (1), armazenamento (2), e um quadro elétrico (3) que reúne, principalmente, equipamentos de proteção e gerenciamento de energia como o Sunny Home Manager 2.0. A Figura 27, mostra a microrrede inteligente instalada no Posto Aquícola de Castrelos atualmente.

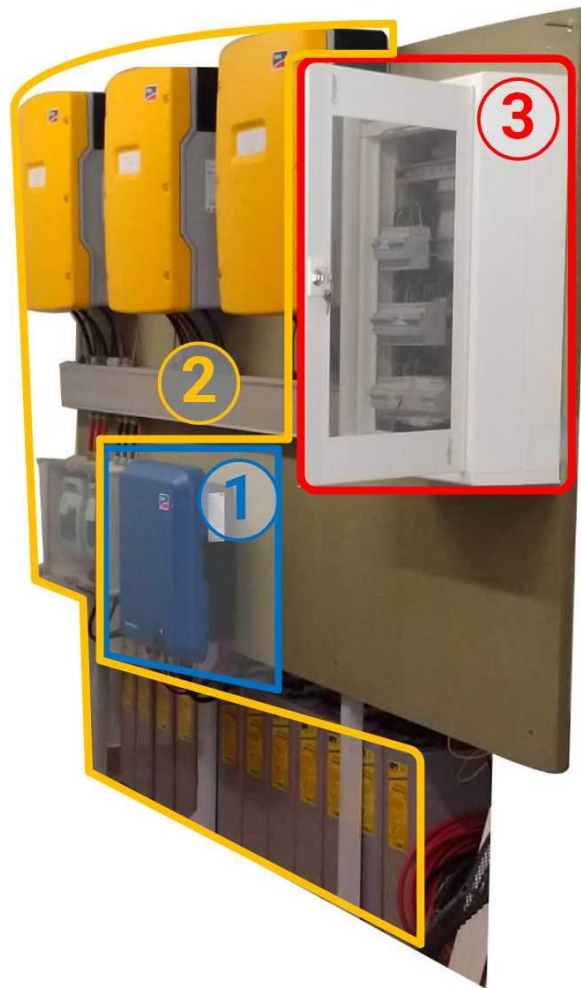


Figura 27: Microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Autoria própria

Ao observar a Figura 27, nota-se que não há identificação de um sistema pico-hídrico de geração, pois esse ainda não está instalado e em operação, por motivos de execução do projeto em um contexto real. Nesse sentido, no próximo tópico (5.2.2.1 *Sistema pico-hídrico*), são abordados os principais aspectos do sistema pico-hídrico a ser instalado no Posto Aquícola de Castrelos.

5.2.2.1 Sistema pico-hídrico

De acordo com [48], um bom aproveitamento hídrico no local será dado pela utilização de uma turbina tipo hélice, LH400 da PowerSpout para baixas quedas, a qual operaria em uma queda de 4,5m de altura e um caudal de 52,5 l/s, podendo gerar até 1,24kW. A Figura 28, exhibe o local mais favorável para a instalação dessa turbina, entretanto, atualmente, mudanças nas estruturas dos tanques foram realizadas.

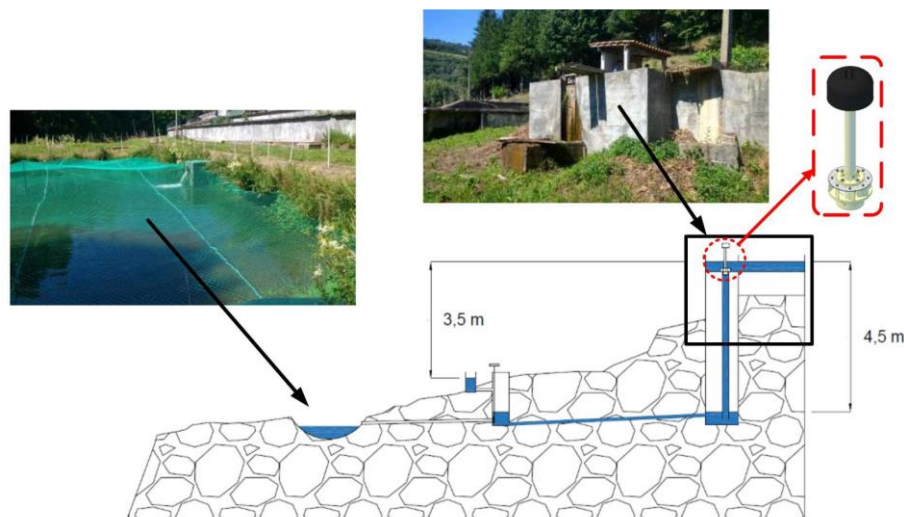


Figura 28: Local favorável para a instalação da turbina pico-hídrica
Fonte: Adaptado de [48]

Nessa perspectiva, estima-se que o caudal necessário para a geração de energia esteja presente durante 70% do ano e 24 horas por dia. Portanto, calcula-se uma produção de 29,5kWh/dia e 7,5MWh anuais [48].

A energia produzida por essa turbina pico-hídrica será injetada na microrrede do Posto Aquícola de Castrelos, a partir da utilização de inversores fotovoltaicos convencionais, essa solução foi testada em [28] e [29]. Dessa maneira, para uma boa integração desses sistemas, torna-se necessário a instalação de equipamentos de proteção para o sistema pico-hídrico a ser instalado, por meio de disjuntores e circuito de proteção contra sobretensões [48].

Adicionalmente, uma roda de água de eixo horizontal, pode ser instalada na saída de um dos tanques de água, e integrada na microrrede a partir de micro inversor fotovoltaico (mesmo princípio utilizado para integração da turbina pico-hídrica) [48]. A rodas de água que será instalada pode ter potência de geração próxima à da roda de água instalada na Casa da Seda.

5.2.2.2 Sistema fotovoltaico

A partir de duas superfícies do telhado do edifício principal com áreas de 97 m² e 144m², pode-se instalar um sistema fotovoltaico. As áreas do telhado possuem orientação -38° em relação ao sul, e inclinação de 31° [48].

Ao simular essas condições, e levando em consideração fatores como: custo, atualização tecnológica e rendimento. Em [48] conclui-se que o sistema fotovoltaico

ideal seria composto de duas fileiras fotovoltaicas, cada uma com dezesseis módulos da REC Solar, modelo REC 330 TPS 72, tecnologia Twin peak, e conectadas a entradas MPPT distintas.

Os módulos da REC Solar possuem uma eficiência de 16,4%, e potência máxima de 330Wp, logo, todo o sistema possui uma potência máxima de 10,56 kWp [62]. As fileiras estão conectadas a um inversor fotovoltaico da SMA, Sunny Tripower (STP), modelo STP 10.0-3AV-40, com uma potência fotovoltaica máxima de saída de 10kW (AC), tensão e frequência nominais de 400V e 50Hz, eficiência superior a 98%, e com duas entradas MPPT [63]. A Figura 29, mostra o modelo do inversor fotovoltaico utilizado no Posto Aquícola de Castrelos.



Figura 29: Inversor fotovoltaico Sunny Tripower
Fonte: Autoria própria

5.2.2.3 Sistema de armazenamento de energia

O sistema de armazenamento de energia é composto por três equipamentos: inversor bidirecional Sunny Island 6.0H-12 (SI), banco de baterias e um conjunto de fusíveis para proteção das baterias.

Ao analisar os modelos disponíveis no mercado, e os resultados do dimensionamento do banco de baterias do sistema de armazenamento da microrrede em questão, [48] chega à conclusão que um banco de 24 baterias VRLA A602/625 de 2V (totalizando 48V), da fabricante Sonnenschein Solar seria o mais adequado.

A microrrede dispõem de um cluster trifásico de SIs na configuração “mestre-escravo” e com conectividade à internet por cabo de rede. Ao mesmo tempo, esses estão conectados pelos terminais AC2 a cada uma das fases da instalação, designadas L1, L2 e L3 (Figura 34). Por se tratar de uma tecnologia mais recente, os

SI 6.0H-12 já possuem a função WLAN (“*Wireless Local Area Network – Rede local sem fios*”). A partir dessa, o usuário/operador pode conectar-se ao SI por um telemóvel ou computador, sem a necessidade de um Sunny Remote Control [64][65].

A configuração “*mestre-escravo*” dos SIs, assim como a conectividade com a internet se dá pela conexão de cabos de rede nos terminais *ComSyncOut* e *ConSyncIn* e *ComETH* (apenas o SI mestre recebe diretamente o sinal de internet). Por se tratar de um cluster com três SIs, o terminal *ConSyncOut* do SI na fase L3 será bloqueado por um conector, como pode ser visualizado no esquemático de ligação da microrrede na Figura 34 [65], [66].

As baterias são conectadas ao cluster de SIs no terminais DC+ e DC - , por meio do conjunto de fusíveis de proteção (assim como o sistema de armazenamento de energia da Casa da Seda). Adicionalmente, sensores de corrente e temperatura são instalados para uma maior proteção das condições das baterias de chumbo ácido. Para o sensor de corrente, dois cabos são conectados do sensor de corrente de 50mV até os terminais *BatCur* (+ e -) do SI mestre. Já para o sensor de temperatura, um cabo é conectado diretamente do sensor temperatura (inserido no meio do banco de baterias) até o terminal *BatTmp* do SI mestre. As Figura 30 e Figura 31, exibem a localização dos terminais de conexão do SI e o esquemático de conexão dos sensores de corrente e tensão com o SI mestre, respectivamente [64], [65], [67].

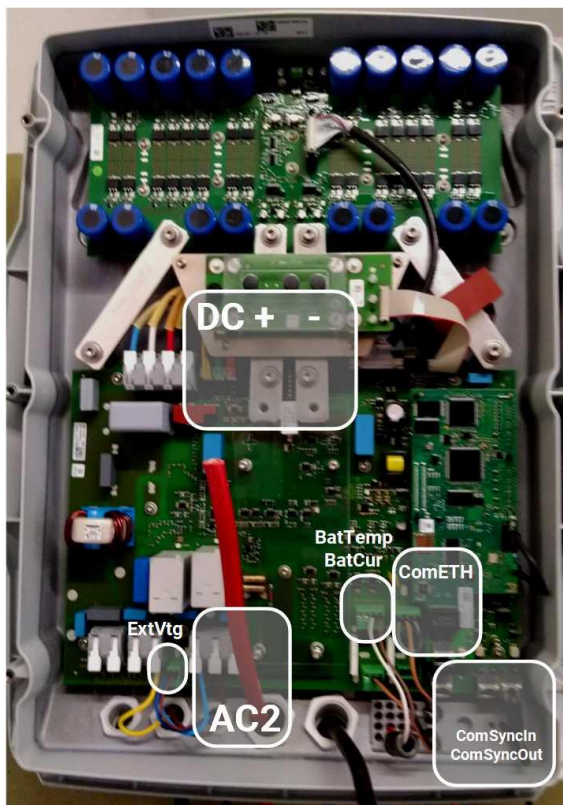


Figura 30: Localização dos terminais de conexão do SI
 Fonte: Adaptado de [65]

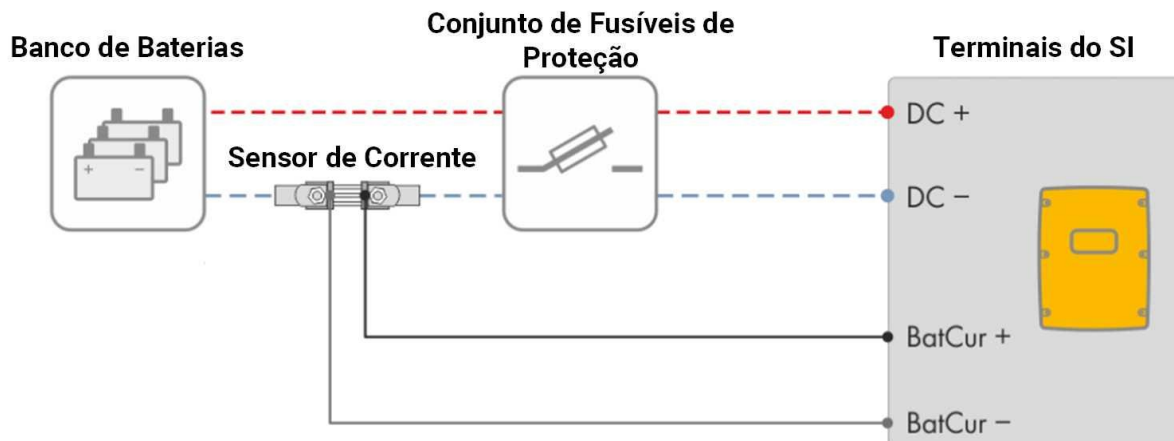


Figura 31: Esquemático de conexão dos sensores de corrente no SI mestre
 Fonte: [64]

Assim como os SIs da microrrede da Casa da Seda, os SIs 6.0H-12 também possuem a função de gerir parâmetros e ações de carga e descarga no banco de baterias, promovendo o incremento do autoconsumo em um sistema de armazenamento flexível de energia. Nesse sentido, os SIs da microrrede em questão possuem, em conjunto, uma potência total de 13,8kW para o gerenciamento de energia nas baterias [64], [65].

5.2.2.4 Quadro elétrico

Os equipamentos do quadro elétrico da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos são muito semelhantes aos da microrrede da Casa da Seda. Dessa maneira, os equipamentos presentes no quadro elétrico em questão podem também ser divididos em: proteção, gerenciamento de energia, ITA e auxiliares. A partir da Figura 32 e da Tabela 4, pode-se visualizar e identificar os equipamentos do quadro elétrico da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos.

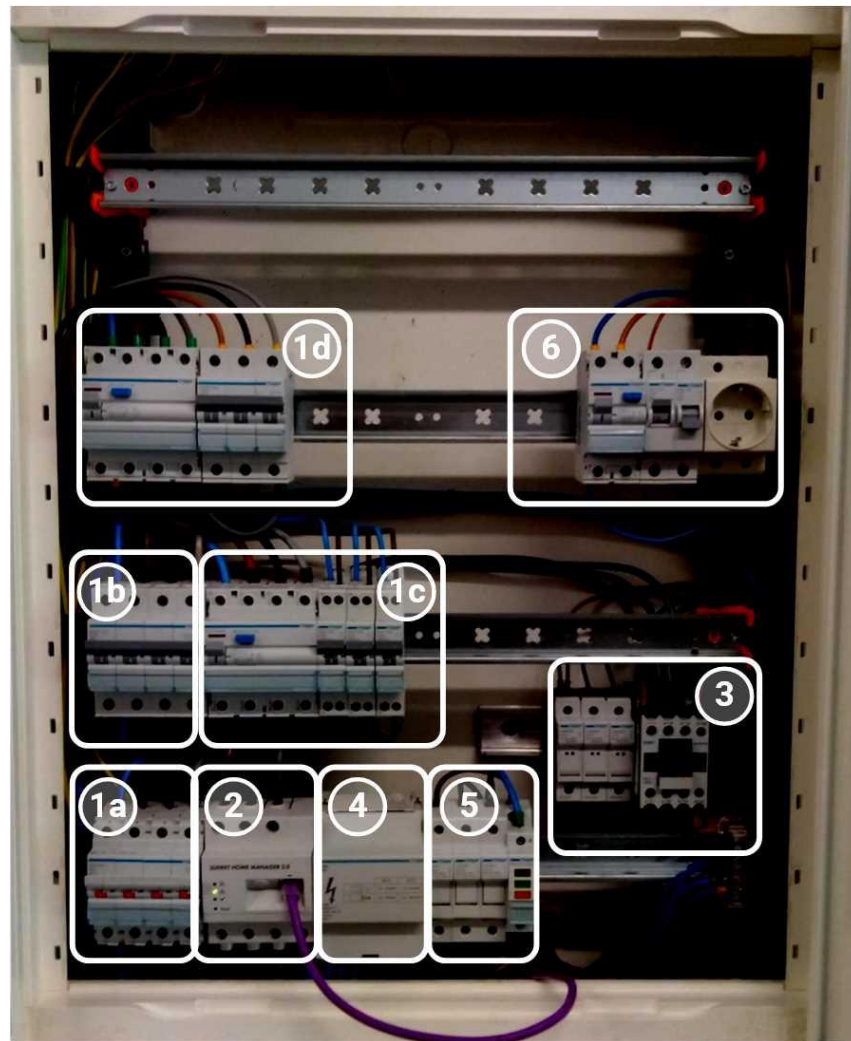


Figura 32: Equipamentos do quadro elétrico da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Autoria própria

Tabela 4: Identificação dos equipamentos do quadro elétrico da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Autoria própria

Função	Identificação	Equipamento
Proteção	1a	Disjuntor de entrada da concessionária de energia
Proteção	1b	Disjuntor das cargas da instalação
Proteção	1c	Disjuntores dos SIs
Proteção	1d	Disjuntor do Sunny Tripower
Gerenciamento de Energia	2	Sunny Home Manager 2.0
Interruptor de transferência automática	3	Contator do ITA
Auxiliar	4	Barramento
Auxiliar	5	Detetor de fases
Auxiliar	6	Disjuntor do switch e roteador de internet, e tomada auxiliar

5.3 Operação das microrredes

Com base nas descrições das microrredes inteligentes apresentadas até ao momento, podem-se notar similaridades estruturais e do funcionamento dos sistemas que integram essas (geração de energia renovável, armazenamento dentre outros). Dessa forma, com a finalidade de tornar mais perceptível a semelhança entre as microrredes inteligentes, tem-se a Tabela 5, e as Figuras Figura 33 e Figura 34. **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A Tabela 5, exibe a comparação das duas microrredes já apresentadas quanto aos equipamentos de cada sistema, destacando as principais características. Já as Figuras Figura 33 e Figura 34, apresentam uma visão geral das microrredes implementadas em estado atual.

Tabela 5: Comparação entre as microrredes inteligentes
Fonte: Autoria própria

Sistemas	Casa da Seda	Posto Aquícola de Castrelos
Fotovoltaico	3 SB monofásico de 1,5kW	1 STP trifásico de 10kW
Pico-hídrico (Turbinas)	1 LH400 1,2kW (instalada)	Não instalado Potencial (LH1500 1,24kW)
Pico-hídrico (Roda de água)	1 roda de água 300W	Rodas de água nas saídas dos tanques 300W (ainda em projeto)
Armazenamento	3 SI4.4M-11 9,9kW	3 SI6.0H-12 13,8kW
Banco de baterias	24 baterias VRLA 2V A602/625	24 baterias VRLA 2V A602/625
Gestão de energia	1 SHM 2.0	1 SHM 2.0

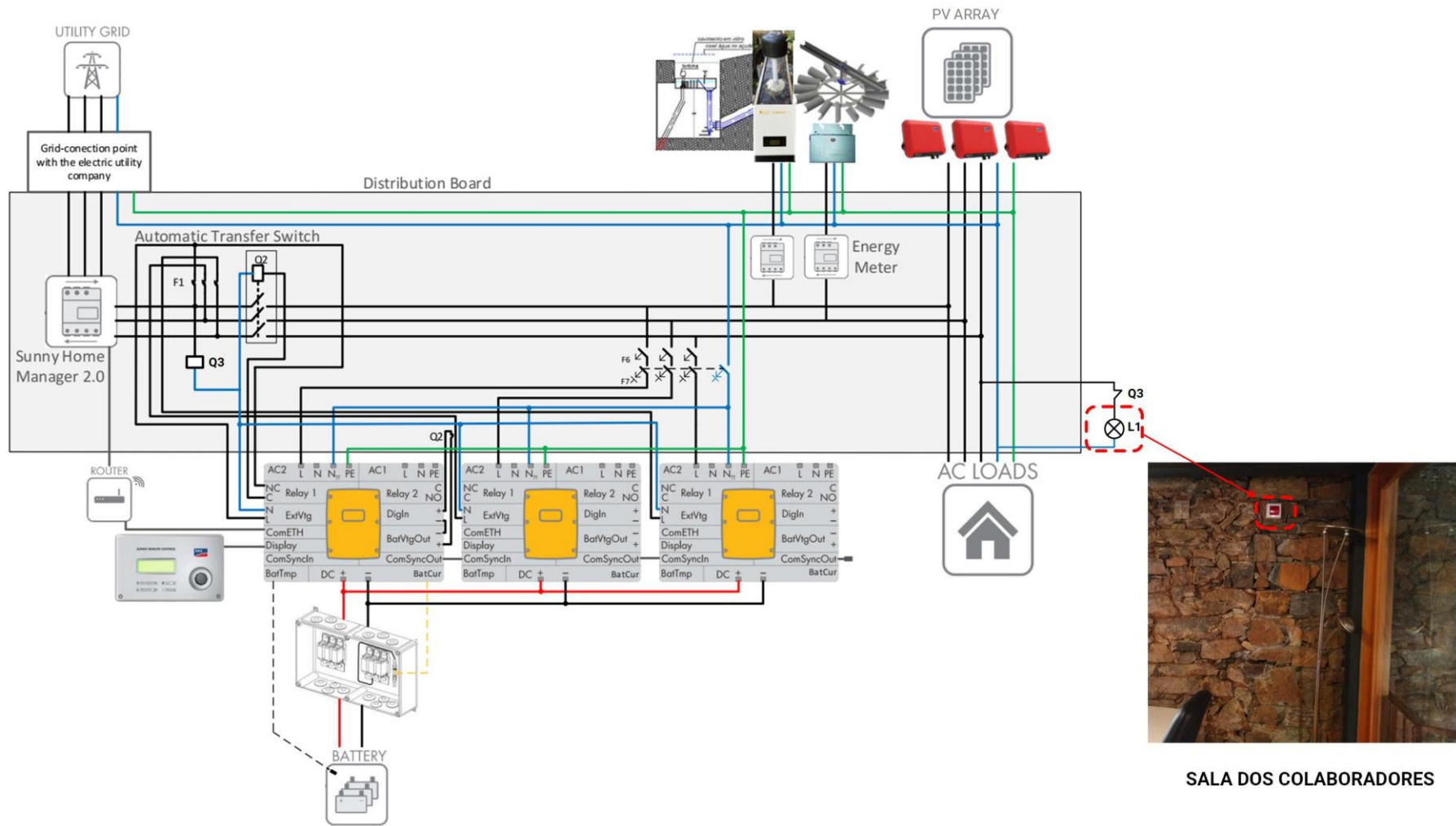


Figura 33: Vista geral da microrrede inteligente da Casa da Seda
 Fonte: Adaptado de [50]

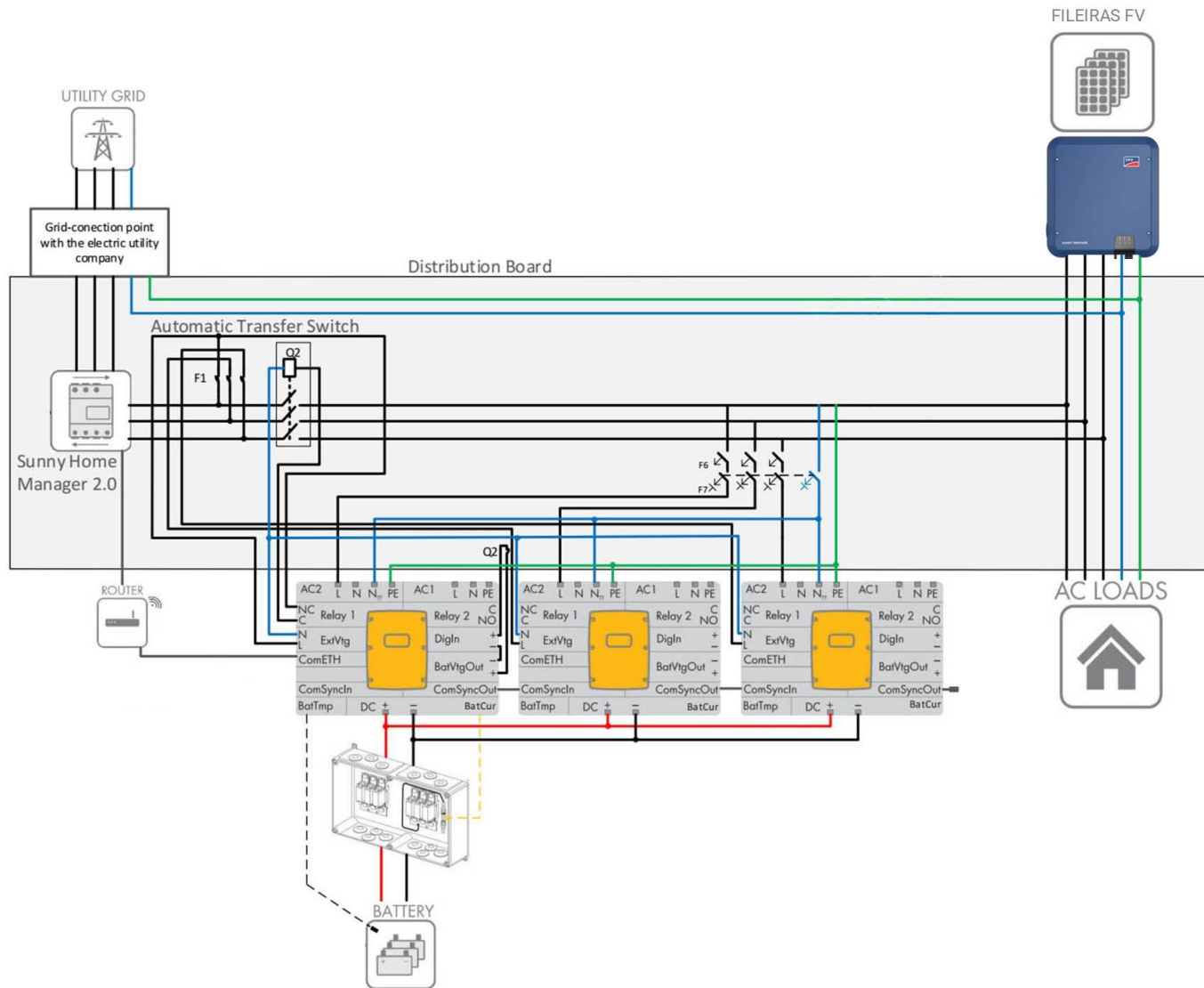


Figura 34: Vista geral da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Adaptado de [48]

A operação das microrredes em questão é condicionada por quatro fatores: conexão à rede elétrica externa, estado de carga das baterias, e consumo e produção de energia. Por meio da Figura 35 pode-se visualizar, de forma geral, a operação das microrredes. As microrredes, em condições normais, devem estar conectadas à rede elétrica externa (*on-grid*). Dessa forma o trânsito de potência pode fluir livremente, isso significa que a microrrede pode consumir ou fornecer energia à rede pública (indicação 1 da Figura 35), quando essa está indisponível, modifica-se a operação das microrredes para o modo isolado (*off-grid*) [50], [61], [65]. Para uma melhor percepção e com base na Figura 35, dividiram-se os modos de operação das microrredes em *on-grid* e *off-grid*.

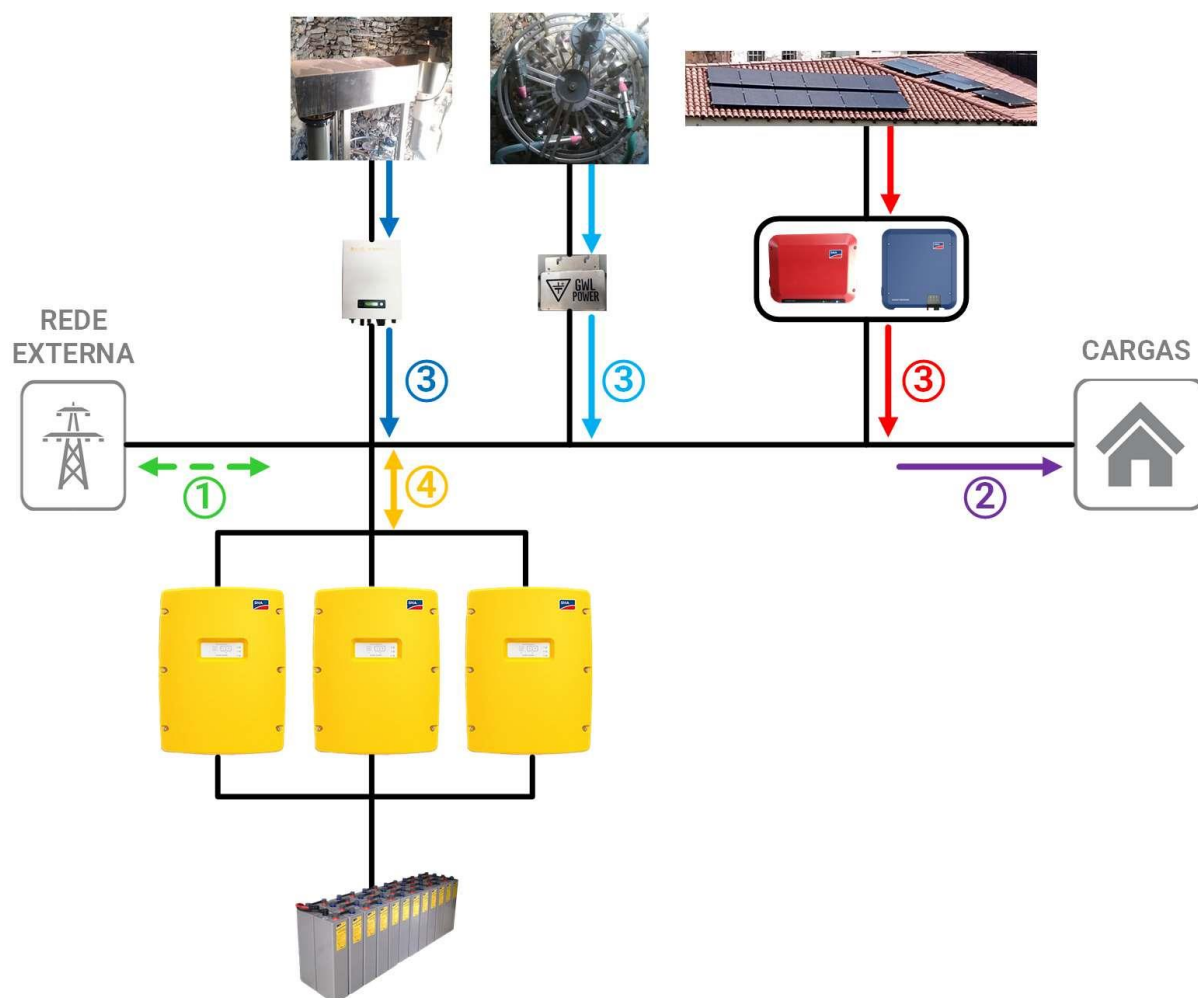


Figura 35: Operação simplificada de uma microrrede inteligente baseada na tecnologia SMA
Fonte: Autoria própria

5.3.1 Operação off-grid

Quando a rede externa não está disponível (por avarias ou falhas), o SI mestre detectará esse ocorrido e desconectará a microrrede da rede elétrica pública. A partir disso os SIs formam uma rede interna dentro da instalação, fazendo com que as cargas sejam apenas alimentadas pelos sistemas de geração e armazenamento de energia (indicações 3 e 4 da Figura 35). Nesse sentido, o fornecimento de energia está condicionado à quantidade de energia armazenada nas baterias (pelo estado de carga) e da produção de energia fotovoltaica ou hídrica no momento [61], [66].

Posteriormente, com a rede pública disponível e detectada pelo SI mestre, esse reconectará a microrrede à rede externa pelo sistema do ITA, com tempo de reconexão de até sete segundos. Dessa maneira, a microrrede retornará ao modo de operação *on-grid*, o que implica que as cargas serão alimentadas pelos sistemas de geração e armazenamento de energia (descarregamento das baterias) e pela rede externa [50]. A operação *on-grid* é mais detalhada no item 5.3.2 a seguir.

5.3.2 Operação on-grid

A partir da produção e consumo de energia, o SHM comandará ações nos equipamentos da microrrede visando o gerenciamento de energia, ou seja, promover o autoconsumo e seu incremento. O autoconsumo se dá pelo consumo da geração de energia local (sistemas fotovoltaicos e hídricos) pelas cargas, quando o consumo é maior do que a produção, os SIs fornecerão a energia acumulada nas baterias para incrementar o autoconsumo. Quando a energia dos sistemas de geração e armazenamento não são suficientes, então a microrrede fornecerá o restante da energia faltante às cargas recorrendo à rede elétrica pública [49], [50].

Nessa perspectiva, se a produção é maior que o consumo, o excedente de energia será armazenado no banco de baterias pelos SIs, desde que haja margem para carga dessas. Consoante a isso, a energia acumulada em momentos de excesso de produção pode ser utilizada em momentos de maior consumo. Entretanto, caso as baterias já possuam grande quantidade de energia acumulada, a energia excedente deverá ser reduzida, uma vez que a injeção de potência na rede elétrica está configurada para não ocorrer. Essa parametrização ocorre pois, no momento em que

este trabalho foi escrito, não há retorno financeiro devido a venda de energia à concessionária local [50], [61].

Dessa maneira, para reduzir o excesso de energia produzida, o sistema de gerenciamento de energia reduzirá a produção dos inversores fotovoltaicos (SBs ou STP) pelo controle de potência ativa a partir da frequência, esse mesmo controle pode aumentar a produção, se houverem condições para isso. Portanto, fazendo com que o balanço energético seja equilibrado, visando o autoconsumo e a não injeção de potência na rede pública. Caso a geração e consumo estejam equilibrados, por consequência, o sistema não armazenará ou injetará energia [50], [61]. O funcionamento do controle de potência ativa por frequência dos inversores fotovoltaicos SMA é detalhado no item 5.3.3 a seguir.

Resumidamente, através da Tabela 6, pode-se visualizar os comportamentos e ações na gestão de energia das microrredes.

Tabela 6: Comportamentos e ações na gestão de energia das microrredes
Fonte: Autoria própria

Quando	Carga das Baterias (%) está:	Ação
<u>Consumo maior que produção</u>	Alta	Buscar energia necessária das baterias e aumentar a produção (se possível)
<u>Consumo maior que produção</u>	Baixa	Buscar energia necessária à rede elétrica pública
<u>Produção maior que consumo</u>	Baixa	Carregar baterias com o excesso
<u>Produção maior que consumo</u>	Alta	Diminuir a produção de energia fotovoltaica.
<u>Consumo igual à produção</u>	Indiferente	Nada a fazer

5.3.3 Controle de potência ativa em inversores fotovoltaicos SMA

A potência ativa de inversores SMA pode ser controlada por meio do “frequency-dependent control of active power” (controle de potência ativa pela

frequência), a partir da variação da frequência imposta pelo SI, logo os inversores fotovoltaicos SMA podem reduzir sua injeção de potência ativa até 0W [61].

Em um sistema de armazenamento flexível de energia com baterias, a potência ativa pode ser controlada de 0 a 100% da potência nominal [61]. O controle da potência ativa por frequência por ser visualizado pela Figura 36, e suas etapas identificadas pela Tabela 7.

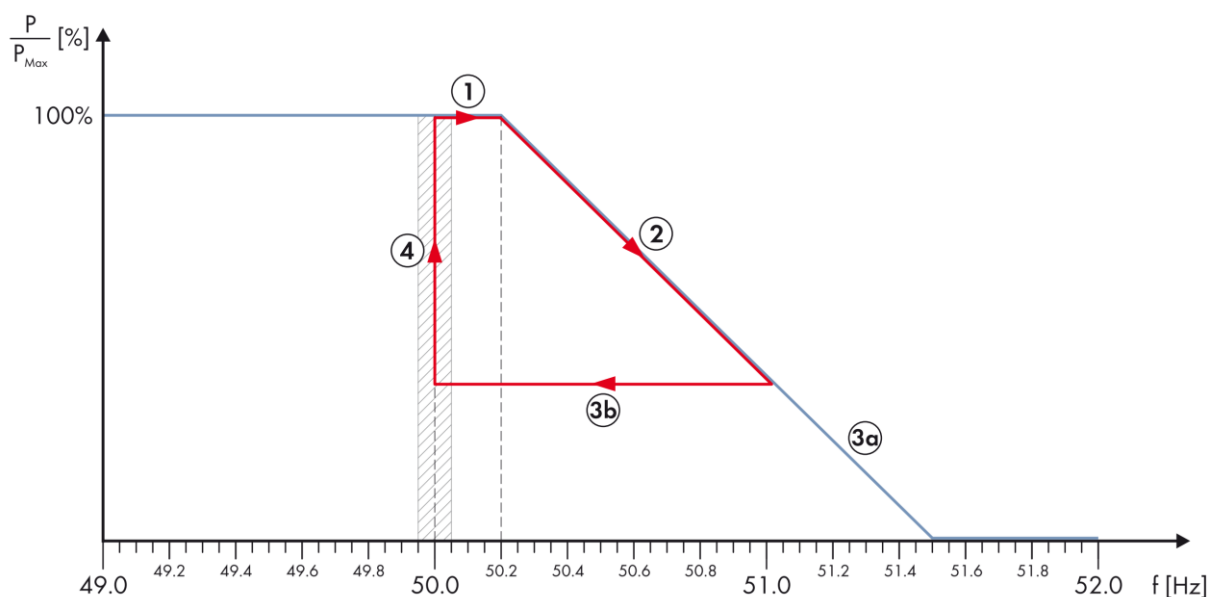


Figura 36: Controle da potência ativa por frequência
Fonte: [61]

Tabela 7: Etapas do controle da potência ativa pela frequência
Fonte: [61]

Posição	Condição	Frequência (Hz)
1	Operação normal	< 50,2
2	Potência decresce linearmente em relação ao máximo disponível	> 50,2
3a	Potência continua a reduzir linearmente até 0W	51,5 > Frequência > 50,2
3b	Frequência é mantida constante ou retorna para o valor nominal	< 51,5
4	Aumento da potência, desde que a frequência não volte a subir. O aumento de potência é dado por saltos de 10% da potência nominal por minuto, até o máximo disponível	50,05

5.3.4 Comunicação e transmissão de informações

Para a realização do gerenciamento de energia e ações automáticas coordenadas pelos equipamentos das microrredes, utilizam-se sistemas e protocolos de comunicação entre os equipamentos SMA. A comunicação e transmissão de informações entre os equipamentos e portais de monitorização da SMA é feita por meio do protocolo Speedwire e SMADData2+. O Speedwire consiste em uma estrutura de comunicação robusta para sistemas fotovoltaicos descentralizados e de grande escala, o qual é baseado em protocolos de IP de internet. De forma complementar, o SMADData2+ é um protocolo de comunicação que coordena as ações de otimização dos sistemas fotovoltaicos da tecnologia SMA [68]. Ambos os protocolos de comunicação citados são fechados e de acesso exclusivo do fabricante.

Capítulo 6 - Parametrização das microrredes inteligentes

Nesse capítulo apresentam-se breves descrições de como são realizadas as parametrizações no Sunny Island e Sunny Portal, assim como a explicação dos principais parâmetros em cada um desses.

6.1 Realização das parametrizações no Sunny Island e Sunny Portal

6.1.1 Realização da parametrização do Sunny Island 4.4M-11

No modelo SI4.4M-11 da microrrede inteligente da Casa da Seda, as parametrizações são realizadas a partir da utilização do Sunny Remote Control, o qual está conectado no SI mestre. O procedimento de parametrização por esse equipamento é simples e intuitivo, entretanto, para uma melhor noção de como é realizado o manuseio desse e o procedimento de parametrização do SI4.4M-11, tem-se o *Manual de Parâmetros e Medidas* elaborado para os funcionários da Casa da Seda. Para este SI, não será abordado o procedimento de parametrização quando o sistema da microrrede é iniciado, uma vez que, no contexto deste trabalho, o SI já estava parametrizado e a operar, graças ao trabalho de [50].

6.1.2 Realização da parametrização do Sunny Island 6.0H-12

Após a instalação da microrrede no Posto Aquícola de Castrelos, procedeu-se o comissionamento dessa, onde uma das etapas consistia em realizar a parametrização do SI6.0H-12. Diferentemente do SI4.4M-11, o SI6.0H-12 não possui um Sunny Remote Control, uma vez que é um equipamento mais recente, nesse sentido, toda a parametrização desse é realizada por meio da função WLAN (“*Rede local sem fios*”) do inversor. Nesse sentido, para conectar-se a WLAN do inversor, deve-se procurar o sinal ‘Wi-Fi’ com a seguinte configuração: SMA[número de série do equipamento], inserir a palavra-passe WPA2-PSK do equipamento, e após isso, acessar o endereço de IP: 192.168.12.3 do equipamento no navegador de internet. Os

números de série e a palavra-passe são disponíveis na etiqueta na lateral do equipamento, como pode ser visto na Figura 37 a seguir [64].



Figura 37: Informações para a conexão com o SI6.0H-12
Fonte: Autoria própria

Após o estabelecimento da conexão com o SI6.0H-12 mestre e a criação de um acesso a interface do equipamento, parametriza-se o cluster de SIs por meio do assistente de instalação do dispositivo. A parametrização via assistente de instalação é limitada e serve, principalmente, para colocar o SI em serviço seguindo os valores por defeito [64].

Posteriormente, para realizar a parametrização adequada dos SIs à microrrede, usou-se o campo “*Device parameters*” (indicação A da Figura 39) da interface de operação do dispositivo. As outras funções indicadas na Figura 39 são: menu de funções (A), configurações do usuário (B), função de ajuda da interface (C), barra informações (D), comportamento do estado de carga das baterias (E), e visão de medidas geral do sistema (F) [64]. As Figura 39, exibem as interfaces do assistente de instalação e da interface do equipamento disponíveis no manual de operação do SI6.0H-12.

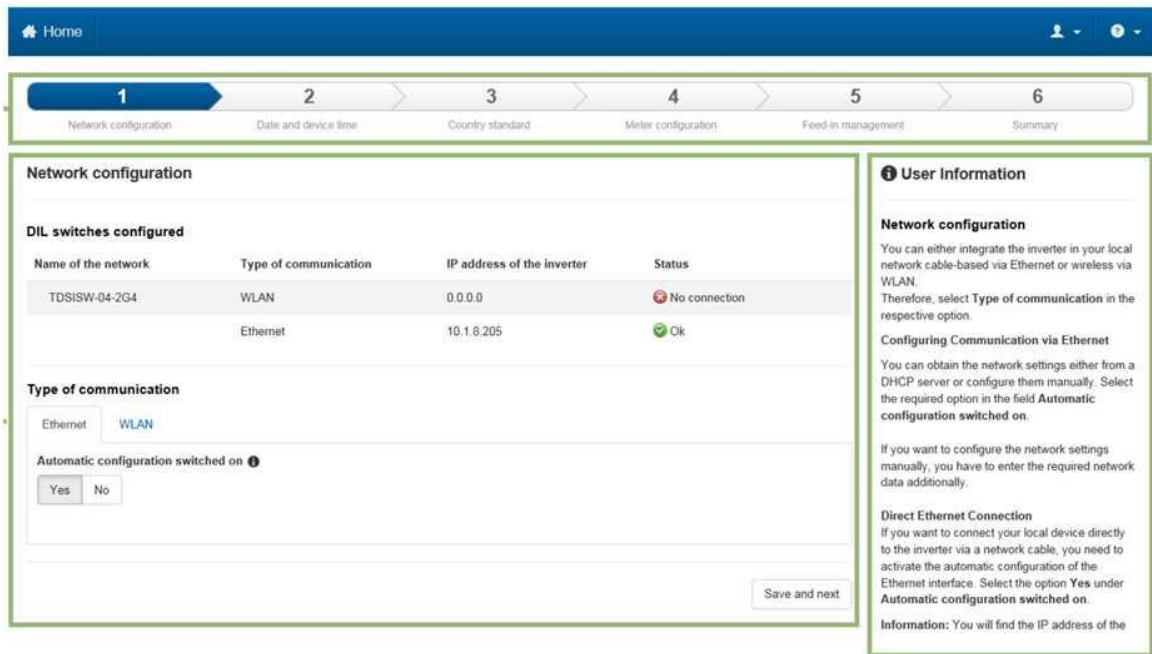


Figura 38: Assistente de instalação - SI6.0H-12
Fonte: [64]

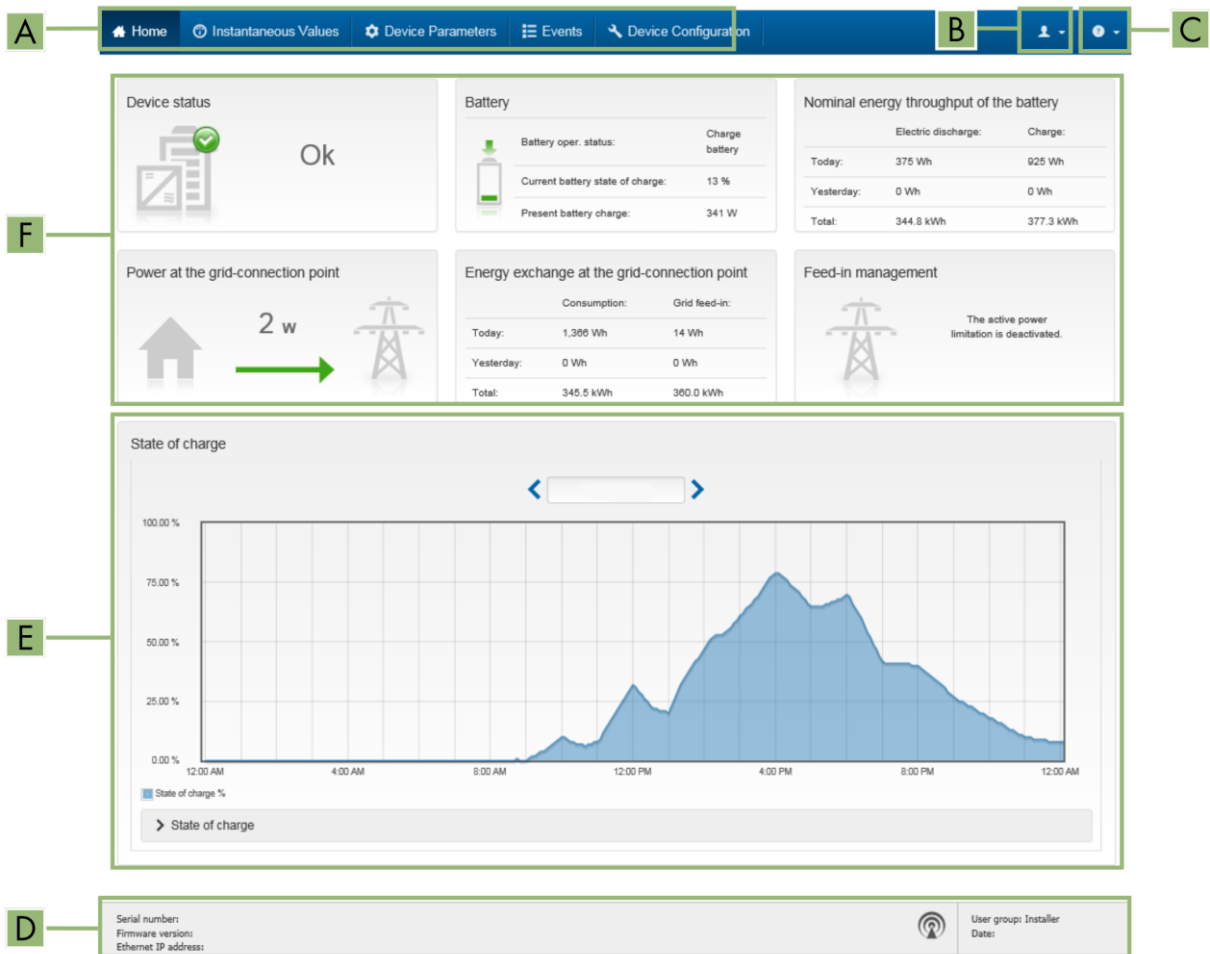


Figura 39: Interface de operação do SI6.0H-12
Fonte: [64]

6.1.3 Realização da parametrização do Sunny Portal

O Sunny Portal é um portal de monitorização pela internet, que permite aos usuários das tecnologias SMA de sistemas de armazenamento flexível monitorizar à distância o seu funcionamento e controlar cargas. As informações da microrrede são enviadas em tempo real pelo Sunny Home Manager para o Sunny Portal pela conexão de internet [60]. A Figura 40, exhibe a interface do Sunny Portal para a microrrede do Posto Aquícola de Castrelos.



Figura 40: Interface do Sunny Portal para a microrrede do Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Sunny Portal

A partir da Figura 40 na vista geral do sistema, pode-se visualizar as principais informações do sistema como: produção fotovoltaica instantânea, consumo, estado de carga da bateria e do sistema, energia fotovoltaica produzida no dia, redução das emissões de CO₂, entre outros. Pode-se visualizar melhor os significados das seções do Sunny Portal (SP), assim como explicações detalhadas sobre o procedimento de monitorização da microrrede no *Manual de Monitorização da Microrrede*, o qual foi confeccionado para os colaboradores da Casa da Seda.

No Posto Aquícola de Castrelos, após o comissionamento do SI e do STP, é necessário registrar e configurar o sistema da microrrede pelo SP. Esses procedimentos ocorrem após a conexão do SHM com a internet, para o registro no SP, basta criar um acesso (email) e um registro do sistema fotovoltaico (local, nome do sistema entre outras informações). Já para a configuração, deve-se seguir as etapas do processo de configuração do sistema dado por um assistente da plataforma do SP, as quais são: identificação dos equipamentos do sistema da SMA por meio dos códigos PIC (*Product Identification Code*) e RID (*Registration Identifier*) localizados nas etiquetas dos produtos, seleção e adição dos dispositivos encontrados na rede de internet na mesma rede de internet, e por fim, inserção das propriedades do sistema FV como potência nominal e rendimento específico anual.

A partir disso, a monitorização da microrrede já está a ocorrer, em sequência, deve-se realizar algumas parametrizações no SP (exemplificadas melhor no item 6.3). Entretanto, todos os parâmetros são configurados pela sequência: aba de *Configuração* (1), *Propriedades do sistema* (2) e *Parâmetros* (3), como na Figura 41 abaixo.

Compensação

A energia produzida pelo seu sistema fotovoltaico pode ser por si consumida ou vendida, isto é, injectada na rede eléctrica pública. Introduz em consideração ao controlar os equipamentos consumidores.

Compensação por injeção na rede:	0,0000 Euro / kWh
Sistema com Autoconsumo	Sim
Compensação por Autoconsumo	0,0000 Euro / kWh

Limitação da injeção de potência activa na rede

Conforme a exigência do seu operador da rede, o Sunny Home Manager pode assegurar que a energia fotovoltaica excedente* só seja injec

- Limitação a um valor fixo em kW
- Limitação a uma percentagem da potência nominal do sistema (intervalo de configuração: 0% a 99%)
- Zero Export (evita a injeção na rede)** (configuração: 0% da potência nominal do sistema)

Caso no seu sistema exista um inversor com bateria, é possível indicar um tempo mínimo de resposta a partir da configuração de uma limitação de injeção na rede, o inversor com bateria tem tempo suficiente*** para utilizar a potência de injeção no carregamento do banco de baterias.

Nota: o operador do sistema é responsável pela exactidão dos dados relativos à limitação da injeção de potência activa e à potência nominal.

* Tem-se em conta que, em períodos de maior produção fotovoltaica com consumo directo simultâneo, na verdade, seja admitida uma potência activa.

** Apesar de Zero Export, é possível que seja injectada na rede uma quantidade residual inevitável de energia devido aos tempos de ciclo de carga.

*** Tempos de resposta típicos para inversores com bateria SMA: o valor padrão de 5 s garante a inclusão dos bancos de baterias habituais.

Figura 41: Procedimento de parametrização do Sunny Portal
Fonte:[69]

6.2 Parametrização do Sunny Island

Os parâmetros definidos nos SIs são de suma importância para uma boa gestão da energia armazenada no banco de baterias, assim como as condições necessárias para prolongar a vida útil dessas. Os principais parâmetros são os mesmos para os modelos SI4.4M-11 e SI6.0H-12, nesse sentido, todos os grupos de parâmetros apresentados nesta seção são aplicados a ambos os modelos, para uma maior noção da quantidade, tipos e valores dos outros parâmetros dos SIs 4.4M-11 e 6.0H-12, tem-se o Apêndice A: Lista de parâmetros dos inversores bidirecionais SI4.4M-11 e SI6.0H-12. Contudo, há uma diferenciação entre os parâmetros dos modelos de SIs, que é a identificação dos parâmetros, no SI4.4M-11 esses estão identificados por número e siglas, já para o SI6.0H-12 são identificados pelo nome completo dos parâmetros [64], [70]. Dessa maneira, para uma melhor percepção dos parâmetros, escolheu-se a forma de apresentação dos parâmetros do SI4.4M-11. Portanto, dividiu-se a apresentação e explicação desses por grupos, expostos a seguir.

6.2.1 Parametrização da rede elétrica externa

A partir dos parâmetros da rede elétrica (grupo 230#External), os SIs estabelecem os critérios de conexão com a rede externa, fazendo com a legislação elétrica da rede seja respeitada. Nas microrredes estudadas, utilizou-se os parâmetros já disponíveis por defeito, adotando-se a legislação VDE-AR-4105 (232#01). Esse parâmetro é protegido pelo fabricante (SMA Grid Guard) [64], [70].

6.2.2 Parametrização dos inversores bidirecionais

No grupo 210#Inverter, parametrizam-se as grandezas elétricas relativas ao funcionamento dos inversores bidirecionais SI, como tensão nominal, frequência, e corrente máxima durante carga e descarga de cada SI. Nesse sentido, para a tensão e frequência nominal, adotou-se os valores por defeito, 230V e 50Hz [64], [70].

Já para a corrente máxima de carga e descarga para cada SI, adotaram-se os valores de 4,3A e 8,0A, para os SI da Casa da Seda e do Posto Aquícola de Castrelos, respectivamente. Esses valores foram parametrizados com base no consumo da instalação e potência de carregamento e descarregamento das baterias (para não ser

muito alta). Adicionalmente, para o Posto Aquícola de Castrelos, também foi considerada a possibilidade de que as baterias pudessem alimentar as bombas por alguns instantes.

6.2.3 Parametrização das baterias

A gestão da energia das baterias feita pelos SIs visa determinar com precisão o estado de carga das baterias, a partir da determinação e monitorização desse. Com uma boa operação e controlo da carga e descarga das baterias de chumbo ácido (VRLA) utilizadas nas microrredes, pode-se conservar o tempo de vida útil dessas [71].

Nesse sentido, os SIs são capazes de estabelecer um controlo suave da carga das baterias, assim como escolher a estratégia de carga ideal para o tipo de bateria e de acordo com as condições operacionais em que estão a ser usadas. Essas funcionalidades são feitas por meio dos métodos de controlo de carga e descarga das baterias [71].

A Tabela 8 e Figura 42, exibem os parâmetros quanto às propriedades do banco de baterias e o controlo de carregamento feito em três fases, respetivamente. Os valores atribuídos a todos parâmetros foram determinados com base nas recomendações do fabricante das baterias [72].

Tabela 8: Propriedades do banco de baterias das microrredes
Fonte: [64][70][72]

Número	Parâmetro	Valor
221#01	Tipo da bateria	VRLA
221#02	Capacidade nominal da bateria para uma descarga de 10h	455Ah
221#03	Tensão nominal do banco de baterias	48V
221#04	Temperatura máxima das baterias	40°C
221#05	Temperatura das baterias como limite de conexão após a desconexão por sobreaquecimento	35°C

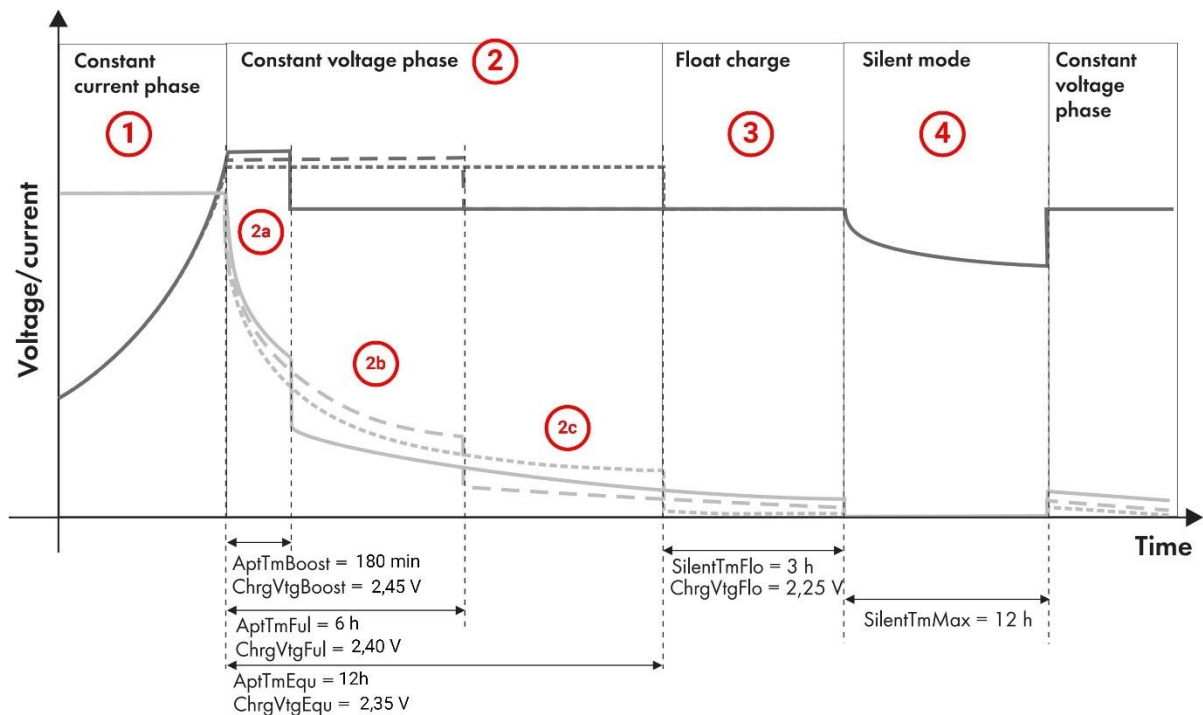


Figura 42: Controle de carregamento do Sunny Island com os valores para as baterias A602/625 Solar Sonenschein
 Fonte: Adaptado de [71]

Baseado na Figura 42, visualizam-se as fases do controle de carga do banco de baterias das microrredes inteligentes, as quais são descritas de acordo com os Sunny Islands 4.4M-11 e 6.0H-12, e propriedades das baterias [64],[70–72].

6.2.3.1 Fase de corrente constante (Constant current phase - 1):

A corrente de carga das baterias é mantida constante para que a tensão das baterias cresça, e consequentemente as baterias carreguem. Esse controle é mantido até que a tensão das baterias atinja o limite de tensão definido para essa fase do processo de carga. A corrente máxima de carga é definida pelo parâmetro 222#01BatChrgCurMax em 35A, e limitada pela corrente máxima dos inversores durante a carga e descarga 210#03InvChrgCurMax definido em 4,3A (Casa da Seda) e 8,0A (Posto Aquícola de Castrelos).

6.2.3.2 Fase de tensão constante (Constant voltage phase -2):

Nessa fase, a tensão das baterias é mantida em um valor constante, como resultado a corrente diminui de forma contínua. Essa fase de carregamento pode ser dividida em outras três etapas de carga das baterias, denominadas: *boost*, *full* e *equalization*.

- a. **Carregamento em modo *boost*:** Mantém-se uma tensão elevada aplicada nas baterias, as quais carregarão entre 85% e 90% da sua capacidade atual, durante pouco tempo. Os parâmetros desse processo são dados por: tensão de carregamento *boost* nas baterias (222#07ChrgVtgBoost igual a 2,45V) e tempo de duração do carregamento (222#02 AptTmBoost definido em 180 min).
- b. **Carregamento total (*full*):** É utilizado para compensar efeitos causados por carregamentos insuficientes e para prolongar a vida útil das baterias, as quais serão carregadas até pelos menos 95% do seu estado de carga. A ocorrência do carregamento total é ajustada com base nos ciclos de carga total que devem ocorrer a cada 14 dias (222#05 CycTmFul), e na quantidade de descargas das baterias, a qual é igual a oito vezes a capacidade nominal das baterias, aproximadamente 174,72kWh. Os parâmetros que condicionam esse modo de carregamento são: tempo de duração do modo de carregamento total (222#03AptTmFul igual a 6h), e tensão de cada bateria (222#08 ChrgVtgFul igual a 2,40V).
- c. **Carregamento de equalização (*equalization*):** Nesse modo de carregamento, os SIs cancelam os diferentes estados de carga de cada bateria do banco de baterias, essa diferença do estado de carga entre as baterias pode ocorrer devido a comportamentos diferentes em cada uma. A partir disso, previne-se que uma das baterias pare de funcionar, logo, estendendo-se a vida útil dessas. A equalização do estado de carga das baterias é feita em ciclos de carregamento de 90 dias (222#06 CycTmFul), ou quando o descarregamento do banco de baterias é igual a trinta vezes a capacidade nominal, aproximadamente 655,20kWh. O ajuste da tensão das baterias e do tempo de duração do carregamento de equalização são dados pelos parâmetros 222#09 ChrgVtgEqu igual a 2,35V e 222#AptTmEqu igual 12h.

6.2.3.3 Carga em *float* - 3:

A tensão das baterias é reduzida gradativamente até que atinja o valor especificado para o carregamento em modo float (222#10 ChrgVtgFlo igual a 2,25V). Em seguida, a tensão é mantida constante até ao fim do carregamento, o qual dura

até que as seguintes condições sejam satisfeitas: o descarregamento das baterias é igual a 30% da capacidade nominal do banco de baterias (cerca de 6,55kWh) ou o estado de carga das baterias é menor que 70% da capacidade de carregamento disponível. O objetivo principal desse modo de carregamento é fazer com que as baterias se mantenham carregadas, mas sem sobrecarregarem. Após esse modo, as baterias mudam para o modo de carregamento de corrente constante.

6.2.3.4 Modo silencioso (*Silent mode*):

Se o parâmetro que habilita o modo de poupança de energia estiver ativado (224#01BatSilentEna) e o tempo de duração do modo de carregamento float for atingido (224#02SilentTmFlo igual a 3h), então os SIs passarão a operar em modo de economia de energia. Dessa forma, fazendo com que as baterias não sejam utilizadas, e por consequência, as cargas da microrrede serão alimentadas pela rede, até o tempo máximo de duração desse modo ser atingido (224#03BatSilentTmMax igual a 12h) ou até que a tensão do banco de baterias abaixe em 3,36V. Entretanto, no contexto das microrredes abordadas neste trabalho, o modo silencioso de controlo de carga das baterias está desativado.

6.2.4 Parametrização de backup do autoconsumo com incremento do autoconsumo

Os sistemas de incremento do autoconsumo com backup de energia em baterias dependem de uma produção fotovoltaica disponível ao longo do ano, assim pode-se manter e utilizar as baterias como um sistema de armazenamento de energia. A disponibilidade de energia fotovoltaica é condicionada pela localização do sistema, estações do ano e conseqüentemente, o tempo de exposição do sol [61].

Nessa perspectiva, pode haver uma variação da utilização da energia das baterias pelo SI, uma vez que com poucas horas de sol no dia, menor será a capacidade de autoconsumo e de carregamento das baterias pela energia FV excedente. Por se tratar de um sistema de incremento do autoconsumo, na falta de energia FV o SI descarregará a energia disponível das baterias. Entretanto, no verão

torna-se possível utilizar mais energia FV para o consumo e armazenar a energia excedente [59], [61], [64].

Consoante a isso, a parametrização dos SIs deve levar em consideração a sazonalidade da energia FV, e por consequência adequar os limites de descarga das baterias. A partir disso, o SI é parametrizado para o incremento do autoconsumo por meio da seleção dos parâmetros: 261#01 SIfCsmplncEna em “*Enable*” (habilitação do função de incremento do autoconsumo), 261#02 SIfCsmpposSel em “*North*” (seleção do hemisfério do sistema FV instalado) e 261#03 Saisonenable em “*yes*” (habilitação do comportamento sazonal) [59], [64].

Para que a utilização das baterias seja eficiente e adequada ao comportamento sazonal do sistema fotovoltaico, mais um grupo de parâmetros é necessário ser configurado. O grupo de parâmetros 262#BatUsage, define a utilização da percentagem do estado de carga das baterias de forma sazonal, e considera os critérios de proteção das baterias. Esses parâmetros são baseados em cinco áreas ajustáveis para o armazenamento de energia em sistemas de incremento de autoconsumo, após definidos os valores dos parâmetros dessas áreas, o próprio SI ajusta os valores de acordo com a sazonalidade [59], [64]. A Figura 43 exibe um exemplo do estado de carga do banco de baterias com base na utilização sazonal.

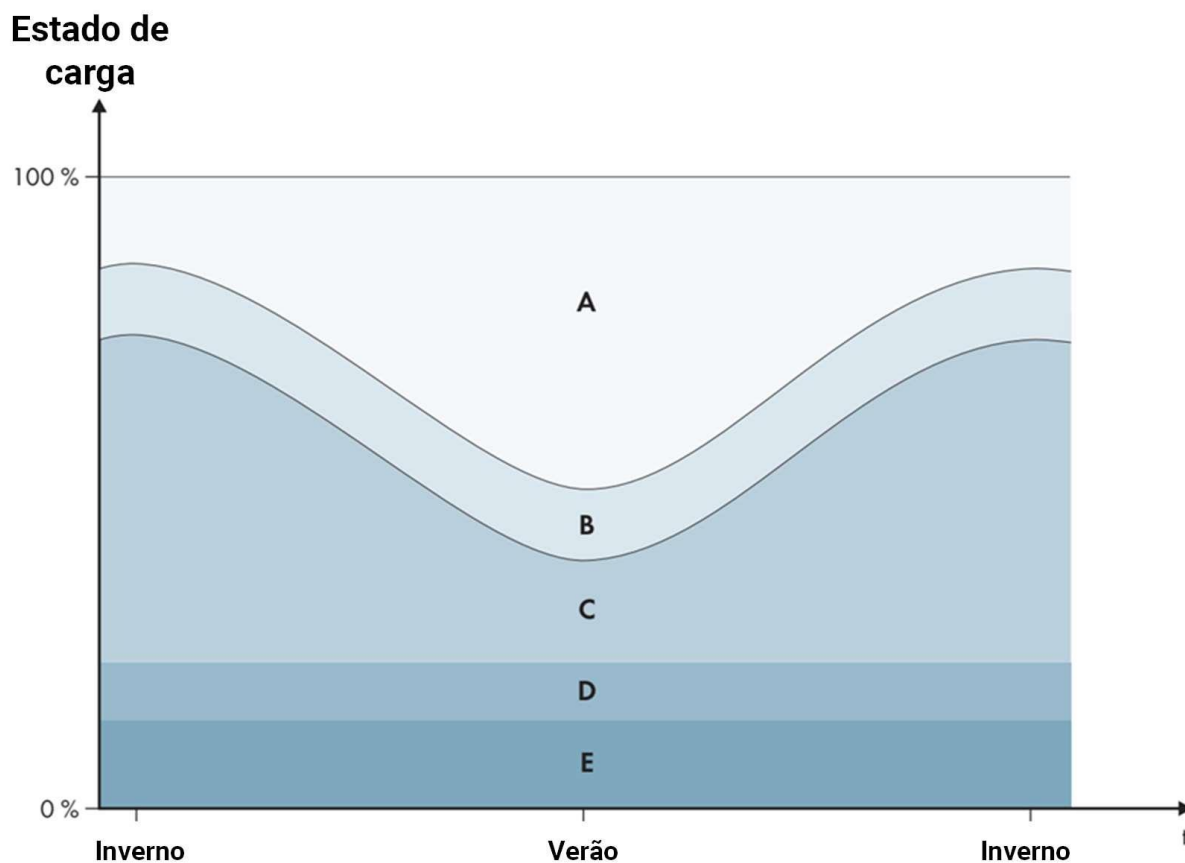


Figura 43: Estado de carga das baterias na utilização do incremento do autoconsumo sazonal
Fonte: Adaptado de [64]

Para uma melhor percepção, cada uma das áreas da Figura 43 são descritas em seguida, bem como o parâmetro e comportamento do SI associado a essa região [59], [64].

- A. Área de autoconsumo:** Essa área é responsável pelo incremento do autoconsumo em termos da utilização do estado de carga do banco de baterias durante o ano. O parâmetro dessa área é: a mínima largura da área de autoconsumo no dia mais curto do ano em termos da porcentagem do estado de carga da bateria (262#05MinSlfCsmplSOC). Por meio desse parâmetro, o SI utiliza o banco de baterias para o incremento do autoconsumo.
- B. Conservação do estado de carga:** Essa área define a porcentagem de carga das baterias para a preservação da carga nominal das baterias pelo excesso de energia FV, pelo parâmetro 262#04PVResSOC. Se não houver excesso de energia FV disponível, o SI passará a operar em modo de economia de energia.

- C. Área de reserva de energia:** Essa área tem como função a reserva de energia do sistema. O parâmetro definido nessa região é o 262#03BUResSOC, mínima percentagem do estado de carga das baterias dedicado a reserva de energia no dia mais longo do ano. O SI só irá utilizar a percentagem de carga dessa região quando a rede elétrica externa não estiver disponível. Com a rede disponível novamente, o SI recarregará as baterias com a potência nominal da rede.
- D. Área de proteção contra descarregamento profundo:** O parâmetro 262#02BatResSOC, define a largura dessa área pela percentagem do estado de carga reservada para a proteção do banco de baterias. Essa área só pode ser atingida quando há falha na rede externa, quando isso ocorre, os SIs mudarão sua operação para o modo standby, e esses checam a cada duas horas se é possível recarregar as baterias pela energia FV. Quando a rede volta a estar disponível, os SIs carregam as baterias com a potência nominal da rede.
- E. Área de descarregamento profundo:** A largura dessa área é definida pelo parâmetro 262#01ProtResSOC, essa só pode ser atingida quando há falha na rede elétrica. Quando essa percentagem de carga das baterias é atingida, os SIs são desligados, automaticamente, para proteger as baterias de um descarregamento profundo. Quando a rede elétrica pública está novamente disponível, é necessário realizar um procedimento de carregamento manual.

A atribuição desses valores foi feita com base na monitorização constante da microrrede, uma vez que o consumo e produção de energia não podem ser previstos com precisão. Nesse sentido, a partir da observação do comportamento do sistema, pode-se ajustar os valores dos parâmetros do incremento do autoconsumo.

Na microrrede da Casa da Seda, modificaram-se os parâmetros de incremento do autoconsumo em relação ao que se consta em [50], pois notou-se que as baterias poderiam descarregar mais ao longo dos dias. Chegou-se a essa observação pois a energia FV durante o dia estava a ser reduzida, já que as baterias não possuíam mais capacidade de armazenamento.

Para o Posto Aquícola de Castrelos, por possuir uma grande potência FV instalada, optou-se por definir o parâmetro 262#05MinSlfCsmP em 10%, pois a produção FV diária já conseguiria suprir grande parte do consumo. A Tabela 9, apresenta os valores definidos, atualmente, para os SIs das microrredes estudadas neste trabalho.

Tabela 9: Parâmetros de incremento do autoconsumo das microrredes inteligentes
Fonte: Autoria própria

Área/Parâmetro	Casa da Seda	Posto Aquícola de Castrelos
Área de autoconsumo 262#05MinSlfCsmP	30%	10%
Conservação do estado de carga 262#04PVResSOC	20%	10%
Área de reserva de energia 262#03BUResSOC	5%	10%
Área de proteção contra descarregamento profundo 262#02BatResSOC	5%	20%
Área de descarregamento profundo 262#01ProtResSOC	15%	20%

6.3 Parametrização do Sunny Portal

Os parâmetros configuráveis no SP são: compensação, limitação da injeção da potência ativa na rede, serviços de gestão da rede através de comunicação baseada em internet, tarifa de energia, controlo de janelas temporais para carregamento de um banco de baterias, objectivo de optimização, redução das emissões de CO₂, e prognóstico.

- **Compensação:** A produção da energia da microrrede pode ser consumida localmente ou injetada na rede elétrica externa, dessa forma, o SHM pode realizar um controlo das cargas baseado nesse parâmetro.
- **Limitação da injeção da potência ativa na rede:** O SHM pode assegurar que a energia FV excedente seja injetada na rede elétrica externa ou não, esse controlo pode ser de 0 a 99% da potência nominal do sistema FV.
- **Serviços de gestão da rede através de comunicação baseada na internet:** Com esse parâmetro ativado, o SHM pode receber especificações do operador da rede quanto à injeção de potência ativa e reativa na rede.
- **Tarifa de energia:** Com os valores da tarifa de energia, o SHM pode gerenciar as cargas conectadas ao sistema com base na tarifação.
- **Controlo de janelas temporais para carregamento de um banco de baterias:** Baseado nesse parâmetro, o banco de baterias pode ser carregado em horários específicos, visando uma economia de energia, uma vez que o carregamento pode ser parametrizado consoante a menor tarifação (geralmente no período noturno).
- **Objectivo de optimização:** Nesse parâmetro, o SHM coordenará a melhor estratégia de controlo de cargas. Os modos de optimização disponíveis são: ecológico (visa um maior autoconsumo) e económico, o qual visa o controlo de equipamentos que retorne a melhor estratégia do ponto de vista da tarifa de energia.
- **Redução das emissões de CO₂:** O SP utiliza esse valor para calcular a quantidade de CO₂ poupados pela produção de energia da microrrede. O valor definido por defeito é de 700g/kWh.
- **Prognóstico:** Indica o rendimento anual previsto, o qual pode ser calculado automaticamente com base nas propriedades do inversor FV, ou fixado de acordo com uma estimativa feita com base na localização do sistema FV.

A Tabela 10, exhibe a parametrização feita nas microrredes da Casa da Seda e do Posto Aquícola de Castrelos

Tabela 10: Parâmetros das microrredes inteligentes no Sunny Portal
Fonte: Autoria própria

Parâmetro	Casa da Seda	Posto Aquícola de Castrelos	Observação
Compensação	0 €/kWh	0 €/kWh	Falta de incentivo
Limitação da injeção da potência ativa na rede	"Zero Export" (0% da potência nominal)	"Zero Export" (0% da potência nominal)	Falta de incentivo para injetar na rede
Serviços de gestão da rede através de comunicação baseada na internet	Não habilitado	Não habilitado	Não há necessidade
Tarifa de energia	0,156 €/kWh	22:00 – 08:00h 0,017€/kWh 08:00 – 10:30h 0,066€/kWh 10:30 – 13:00h 0,184€/kWh 13:00 – 19:30h 0,066€/kWh 19:30 – 21:00h 0,184€/kWh 21:00 – 22:00h 0,066€/kWh	Baseado nas tarifas de energia dos locais
Controlo de janelas temporais para carregamento de um banco de baterias	Não habilitado	Não habilitado	Não foi interessante até o momento habilitar
Objectivo de optimização	Económico	Económico	Não há cargas controladas na microrrede, logo o parâmetro está sem função
Redução das emissões de CO₂	700g/kWh	700g/kWh	Valor por defeito
Prognóstico Rendimento total específico	1500 kWh/kWp	1500 kWh/kWp	Valor calculado com base na localização do sistema

Em relação aos parâmetros de compensação e injeção da potência ativa na rede elétrica, atualmente, o Decreto-Lei 153/2014 e as Portarias nº15/2020 e nº16/2020 permitem que o excedente da produção fotovoltaica em unidades de produção para o autoconsumo possa ser injetado na rede [73], [74]. Entretanto, a empresa que fornece eletricidade para a Casa da Seda e o Posto Aquícola de Castrelos não deseja celebrar um contrato de compra de excedente de energia injetada na rede externa, dessa forma, ambas as microrredes estão parametrizadas para não permitir a injeção de potência ativa na rede elétrica pública.

Capítulo 7 - Resultados

Nesse capítulo apresenta-se: análise de desempenho das microrredes, relativamente à geração e operação, identificação de comportamentos do sistema de incremento do autoconsumo através da monitorização pelo Sunny Portal, resolução ou identificação de erros ou falhas na operação, integração da geração pico hídrica, e finalmente, propostas de otimização.

7.1 Análise de desempenho: geração e operação

Apresenta-se nessa seção os resultados de geração e consumo de energia elétrica desde o comissionamento das microrredes inteligentes. A microrrede da Casa da Seda está a operar desde o dia 31 de julho de 2019, já a do Posto Aquícola de Castrelos está a operar desde o dia 14 de fevereiro de 2020. Dessa forma, dividiu-se os resultados de geração para cada uma das microrredes.

7.1.1 Microrrede inteligente da Casa da Seda

Os resultados de geração dessa microrrede foram coletados a partir do Sunny Portal, o qual produz gráficos e viabiliza a análise quanto ao desempenho da microrrede. A partir da Figura 44 (29/08/2019), visualiza-se o gráfico de geração, que exhibe ao longo do tempo, a quantidade de energia gerada e utilizada para consumo directo, carregamento de baterias ou injeção na rede.

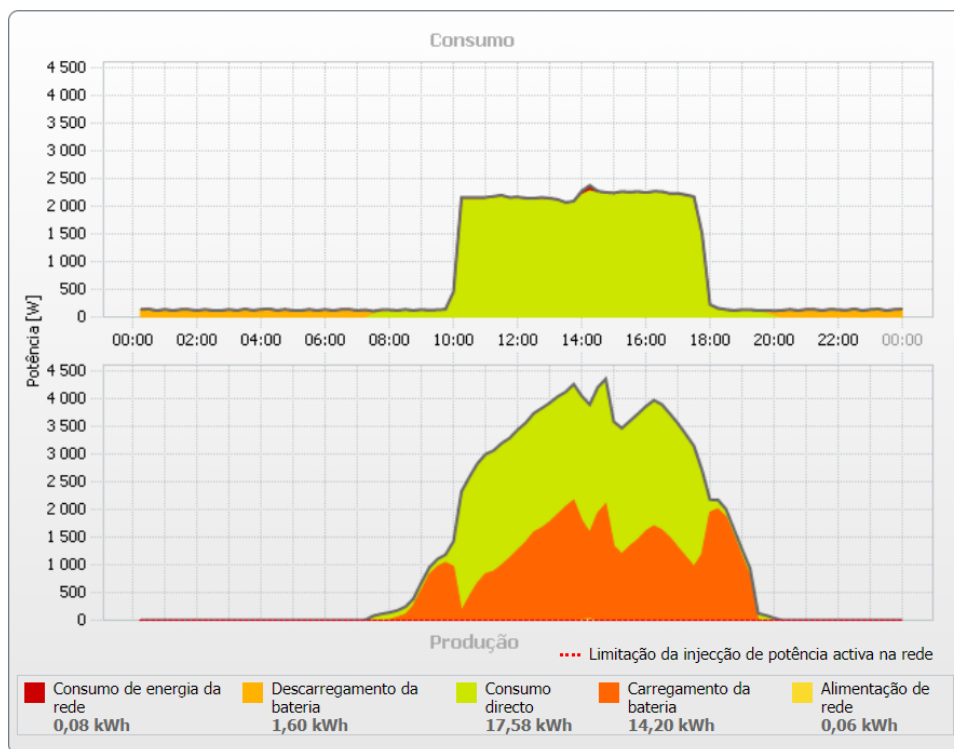


Figura 44: Balanço energético - Casa da Seda, 29/08/2019

Fonte: Sunny Portal

Com base na Figura 44, nota-se que a geração FV do sistema corresponde às áreas de consumo directo (17,58kWh) e carregamento das baterias (14,20kWh), totalizando em autoconsumo diário de 31,79kWh e uma quota de autoconsumo de 100%. A partir disso, nota-se que o sistema FV foi capaz de produzir a energia necessária para suprir a demanda do dia, e ainda armazenar uma grande quantidade de energia. Nesse sentido, a quota de autoconsumo igual a 100%, significa que toda a energia gerada foi utilizada localmente (cargas e carregamento das baterias) e não se injetou uma quantidade significativa de energia na rede (0,06kWh é expectável pois o sistema não consegue ser exato em todos os momentos). Portanto, nesse dia, a microrrede comportou-se de acordo com os parâmetros e funcionamentos já descritos em outras seções deste trabalho.

Paralelamente, pode-se perceber pela Figura 44 o horário de funcionamento da Casa da Seda em dias normais de operação. Nota-se que o consumo directo de energia (parte superior do gráfico) aumenta de 500W para 2100W em poucos instantes às 10h, já por volta das 18h, visualiza-se uma redução do consumo, de 2100W para 500W. Nas horas fora desse intervalo das atividades do museu, o

descarregamento das baterias foi suficiente para suprir o consumo da instalação durante o período noturno, cerca de 150W.

Com a finalidade de perceber melhor o comportamento da operação da microrrede em diferentes casos, a Figura 45 exibe o balanço energético de três dias de operação.

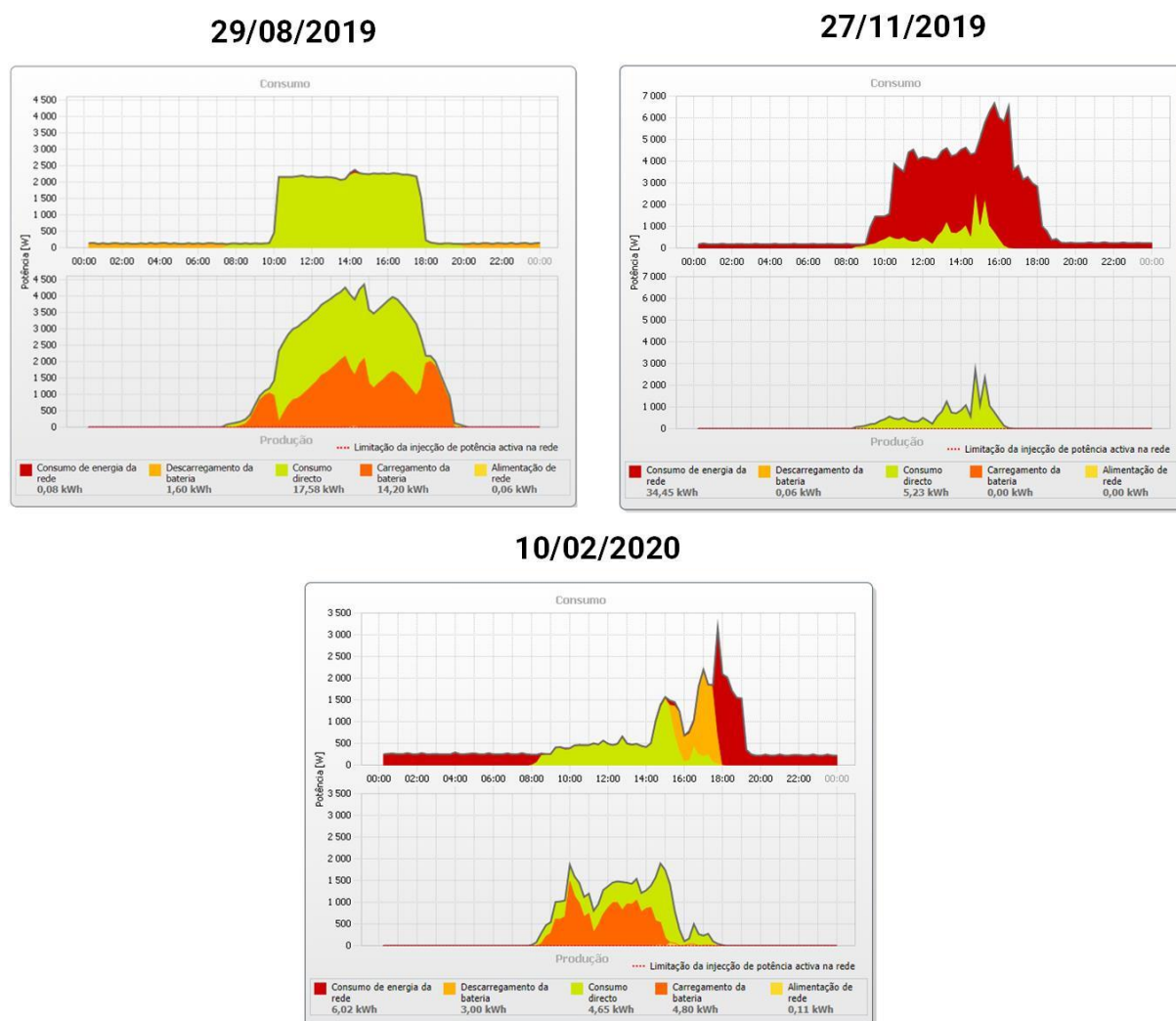


Figura 45: Operações da microrrede inteligente da Casa da Seda
Fonte: Sunny Portal

No balanço energético do dia 27/11/2019, nota-se que a produção FV não foi o suficiente para suprir a demanda das cargas da instalação, uma vez que no mês de novembro a geração FV é prejudicada por dias nublados. A partir disso, a microrrede buscou a energia faltante da rede externa já que não foi possível buscar energia das baterias. Adicionalmente, pode-se perceber que não foi possível carregar as baterias, já que não houve excedente de energia FV.

No dia 10/02/2020, visualiza-se que a microrrede estava a funcionar bem, já que nos momentos de excesso de produção FV as baterias carregaram. Próximo às 16h, a produção FV foi reduzida, devido as poucas horas de sol, dessa forma a microrrede descarregou as baterias para o incremento do autoconsumo até atingir o limite parametrizado (parametrização do descarregamento das baterias para incremento do autoconsumo). Portanto, tornou-se necessário suprir a demanda das cargas pela energia da rede.

A Tabela 11, exibe o balanço energético da microrrede, o qual é constituído por: consumo directo, carregamento e descarregamento das baterias, consumo da rede, quota de autoconsumo e taxa de autonomia da microrrede, nos três dias de operação apresentados anteriormente.

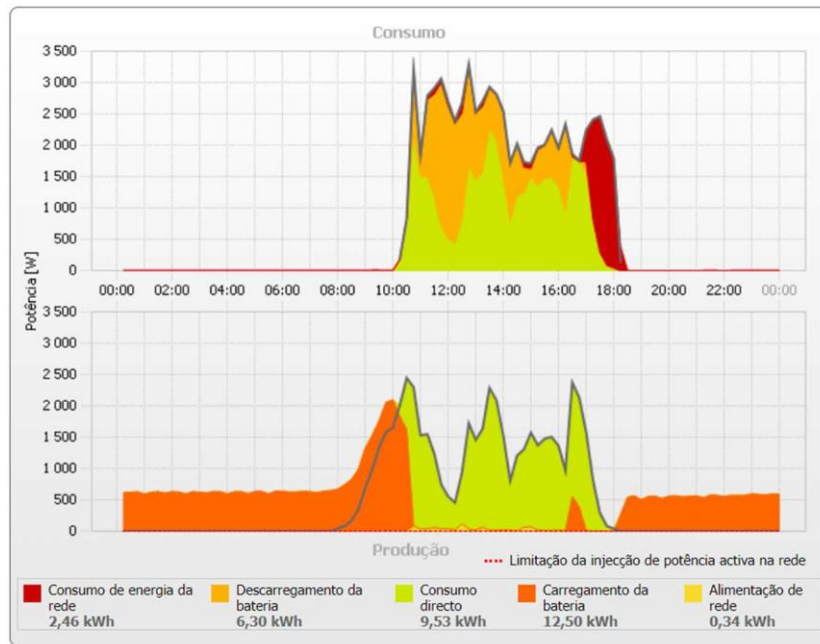
Tabela 11: Balanço energético da microrrede inteligente da Casa da Seda em três dias de operação
Fonte: Sunny Portal

Balanço energético	29/08/2019	27/11/2019	10/02/2020
Consumo directo (kWh)	17,58	5,23	4,65
Carregamento das baterias (kWh)	14,20	0,00	4,80
Descarregamento das baterias (kWh)	1,60	0,06	3,00
Consumo da rede (kWh)	0,08	34,45	6,02
Quota de autoconsumo (%)	100,00	100,00	99,00
Taxa de autonomia (%)	100,00	13,00	56,00

Nesse sentido, com base na Tabela 11 pode-se visualizar que a microrrede está a operar em modo de incremento do autoconsumo devido à percentagem da quota de autoconsumo, uma vez que independentemente da quantidade de produção FV do dia, toda a energia gerada é consumida ou armazenada. É necessário ressaltar que o autoconsumo também é condicionado pela limitação de potência ativa parametrizada, dessa forma, o sistema FV não está a produzir 100% da sua capacidade a todo o instante. A taxa de autonomia é definida pela proporção da alimentação própria (consumo directo e descarregamento das baterias), em relação ao consumo diário. Dessa maneira pela Tabela 11, nota-se que a autonomia da microrrede está diretamente condicionada ao consumo e produção de energia diário da instalação.

Em relação ao sistema pico hídrico, após instalar a estrutura provisória para a integração do sistema pico hídrico na microrrede (Figura 24), a turbina pico-hídrica ficou a operar na Casa da Seda durante alguns dias, apenas para efeito de testes. Entretanto, a integração da produção pico hídrica com o Sunny Portal não foi feita (mais detalhes na secção 7.4), dessa forma, não foi possível medir com precisão a potência que a turbina estava a produzir pelo Sunny Portal. Contudo pode-se visualizar que essa estava a injetar energia na rede a partir do comportamento não expectável das baterias e da injeção de energia na rede durante a noite, como na Figura 46.

19/02/2020



20/02/2020

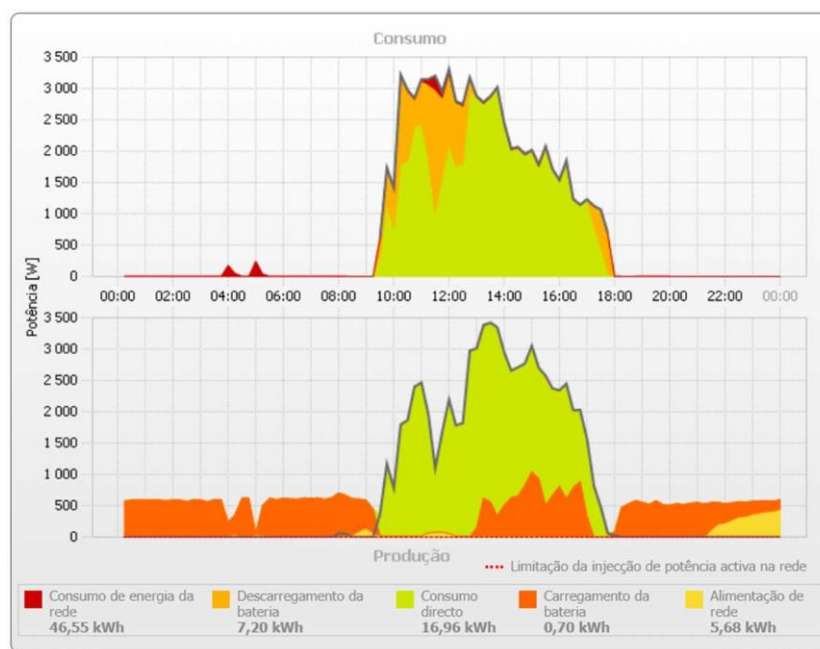


Figura 46: Balanço energético com produção hídrica
Fonte: Sunny Portal

Ao observar os gráficos dos balanços energéticos da Figura 46, nota-se que houve um carregamento das baterias com, aproximadamente 500W durante a noite. Obviamente isso não ocorreu pela produção FV, e também não pode ter ocorrido pela rede elétrica, já que quase não houve consumo da rede durante 0h até 9h nos dias 19 e 20 de fevereiro de 2020. Dessa forma, a única conclusão é de que o sistema hídrico

da Casa da Seda estava a alimentar as cargas e a injetar o excesso de potência na rede.

Por não ser possível determinar a potência que a turbina estava a injetar, estimou-se essa com base no consumo da instalação durante o período das 0h-9h, geralmente, a potência consumida nesse período é em torno de 250W (valor estimado visualmente pela monitorização contínua do sistema). Adotando-se esse valor, e com base na potência de carregamento das baterias na Figura 46, próxima de 500W (visualmente adotada), estima-se que a turbina LH400 estava a produzir cerca de 750W. Posteriormente, retirou-se o sistema hídrico de operação, assim não haveria o risco de que esse ficasse a injetar energia na rede externa.

Relativamente ao desempenho do sistema FV, pode-se analisar a produção de energia para cada um dos inversores (SB 1, 2 e 3), assim como a produção total do sistema FV pela Figura 47 e Tabela 12, os dados do mês de junho foram coletados no dia 28/06/2020.

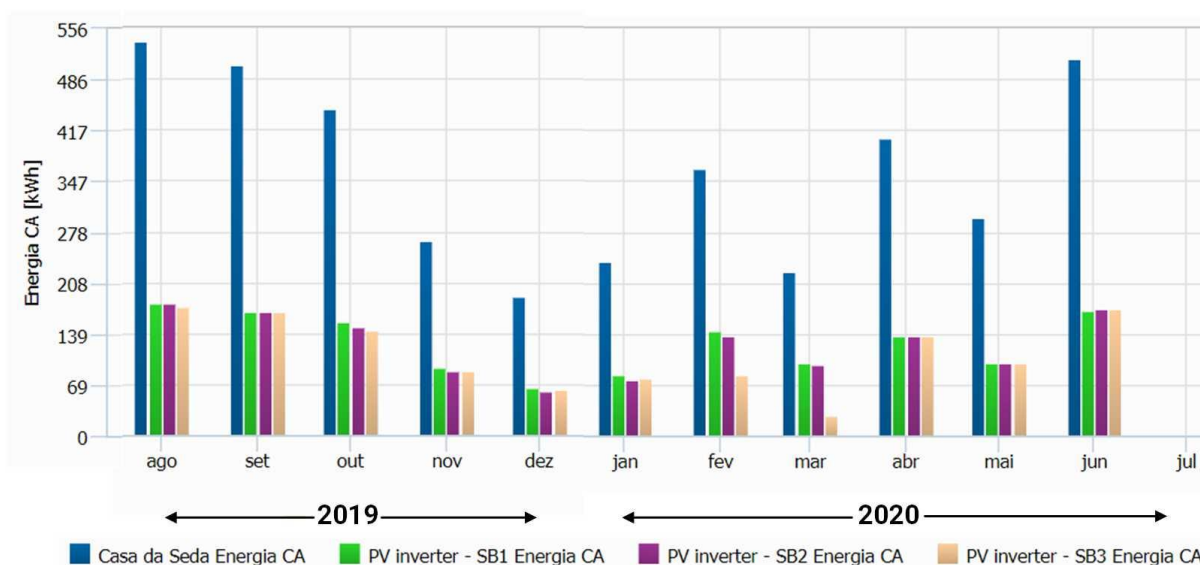


Figura 47: Produção de energia do sistema fotovoltaico da Casa da Seda
Fonte: Adaptado do Sunny Portal

Tabela 12: Produção de energia do sistema fotovoltaico da Casa da Seda
Fonte: Sunny Portal

Mês / Ano	SB1 (kWh)	SB2 (kWh)	SB3(kWh)	Casa da Seda (kWh)
Agosto /2019	180,53	180,92	176,24	537,69
Setembro /2019	169,17	167,40	167,83	504,39
Outubro /2019	154,95	148,49	142,52	445,96
Novembro /2019	91,16	86,57	88,36	266,09
Dezembro /2019	65,45	60,71	62,51	188,67
Janeiro /2020	82,58	76,80	78,61	238,00
Fevereiro /2020	143,69	136,63	82,76	363,09
Março /2020	99,06	97,81	26,91	223,79
Abril /2020	135,78	135,30	135,53	406,61
Mai /2020	100,09	98,48	98,59	297,17
Junho /2020	171,21	172,40	172,57	516,18

Com base na Figura 47 e na Tabela 12, visualiza-se a variação da produção fotovoltaica durante os onze meses (agosto de 2019 a junho de 2020), evidenciando o comportamento sazonal desse sistema de energia renovável, já que os meses de maior produção são agosto e setembro de 2019, e junho de 2020.

No mês de maio de 2020, a geração de energia foi reduzida devido as políticas de isolamento da pandemia do COVID-19, por consequência, o consumo de energia elétrica da Casa da Seda reduziu nesse mês. A partir disso, como a microrrede está parametrizada para não injetar o excedente da produção na rede externa, o sistema de controle reduziu a potência de geração do sistema FV visando apenas o autoconsumo.

Em relação ao desempenho individual dos inversores FV, pela Figura 47 percebe-se que os inversores estão a injetar valores de potência próximos uns dos outros ao longo do ano. Entretanto, nota-se que nos meses de fevereiro e março de 2020, o inversor SB3 esteve com um desempenho muito abaixo dos outros, isso ocorreu devido a um mau contato entre os módulos da fileira ligada ao SB3. O inversor SB3 parou de injetar potência no sistema da microrrede no dia 21/02/2020, e a

resolução desse mau contato só ocorreu no dia 12/03/2020. Esse evento pode ser visualizado pela Figura 48, a qual exibe a produção do inversor SB3 nesses dias.

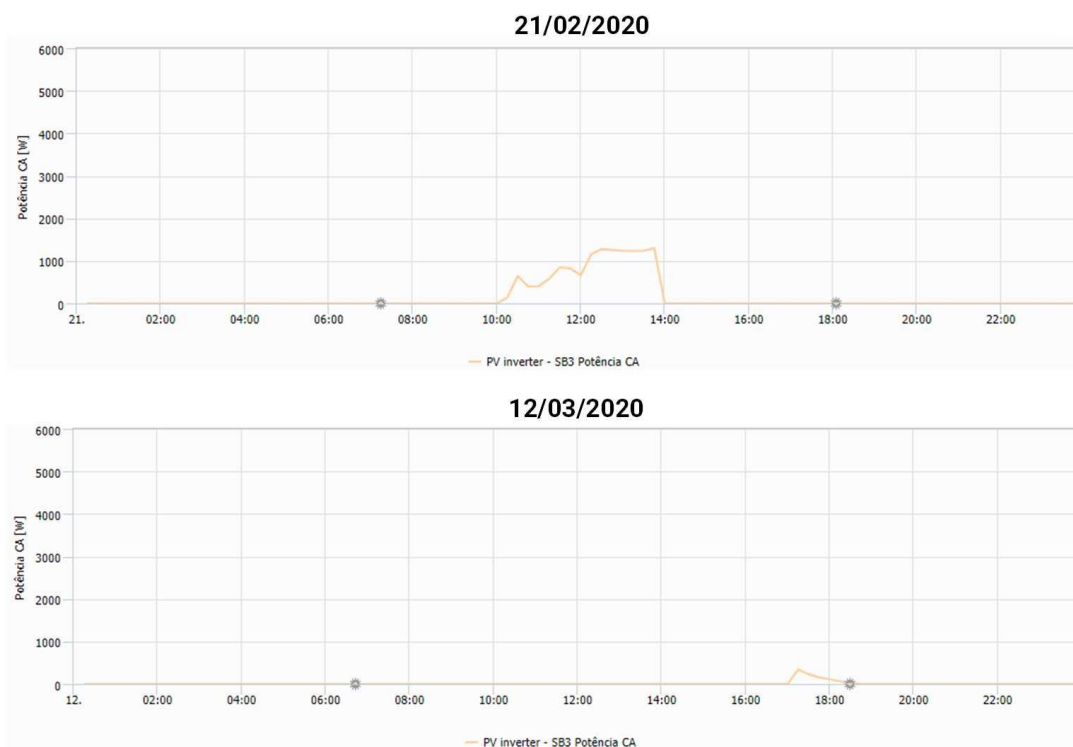


Figura 48: Falha na fileira fotovoltaica ligada ao SB3
Fonte: Adaptado do Sunny Portal

Nessa perspectiva, a microrrede da Casa da Seda esteve a funcionar por quase onze meses, dessa maneira, a Figura 49 e a Tabela 13 apresentam o balanço energético total do sistema até o dia 28/06/2020.

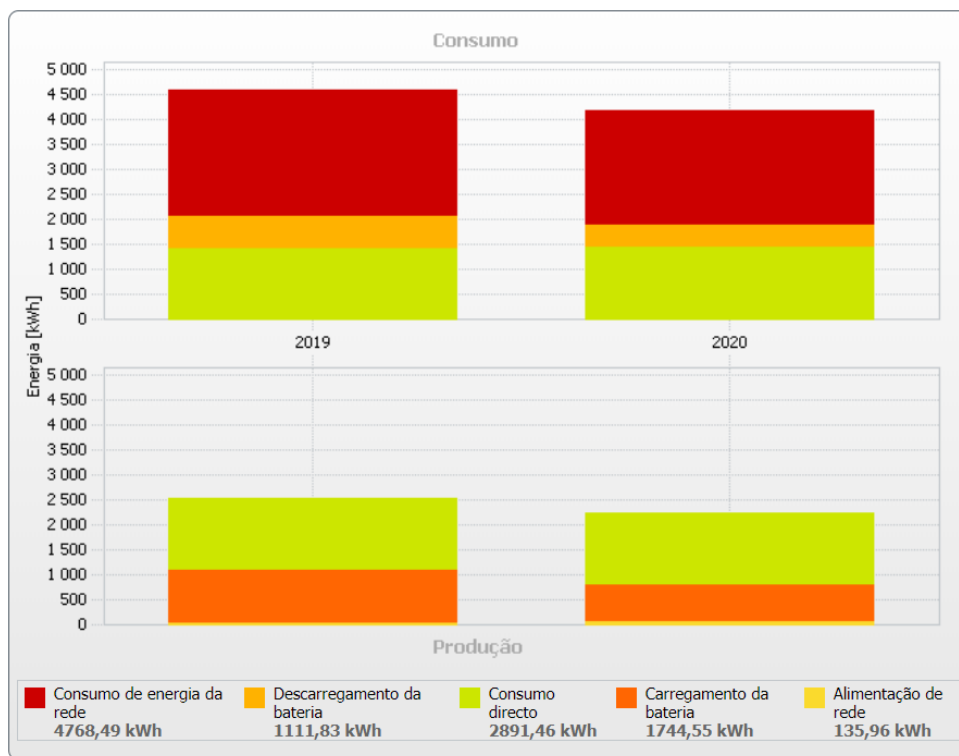


Figura 49: Balanço energético anual da microrrede inteligente da Casa da Seda (até o dia 28/06/2020)
 Fonte: Sunny Portal

Tabela 13: Balanço energético da microrrede inteligente da Casa da Seda (até 28/06/2020)
 Fonte: Sunny Portal

Balanço energético	2019	2020
Consumo de energia da rede (kWh)	2.510,14	2.258,26
Consumo directo (kWh)	1.426,59	1.464,87
Carregamento das baterias (kWh)	1.046,20	698,35
Descarregamento das baterias (kWh)	661,90	449,93
Injeção na rede	49,84	86,13
Quota de autoconsumo (%)	97,00	99,00
Taxa de autonomia (%)	45,00	45,00

7.1.2 Microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos

O comissionamento da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos ocorreu no dia 15/02/2020, entretanto, essa só pode ser monitorizada remotamente a partir do dia 15/06/2020. Nesse local, não havia uma estrutura de internet no local, dessa forma, foi necessário contratar um serviço de internet para a instalação, e infelizmente houve muita demora para o recebimento desse serviço, o qual comprometeu o acompanhamento remoto do desempenho dessa microrrede.

A operação dessa microrrede obedece os mesmos princípios e raciocínios aplicados no sistema da Casa da Seda, a partir disso pode-se perceber que a microrrede de Castrelos está a funcionar de acordo com as especificações e parametrizações estabelecidas pela Figura 50

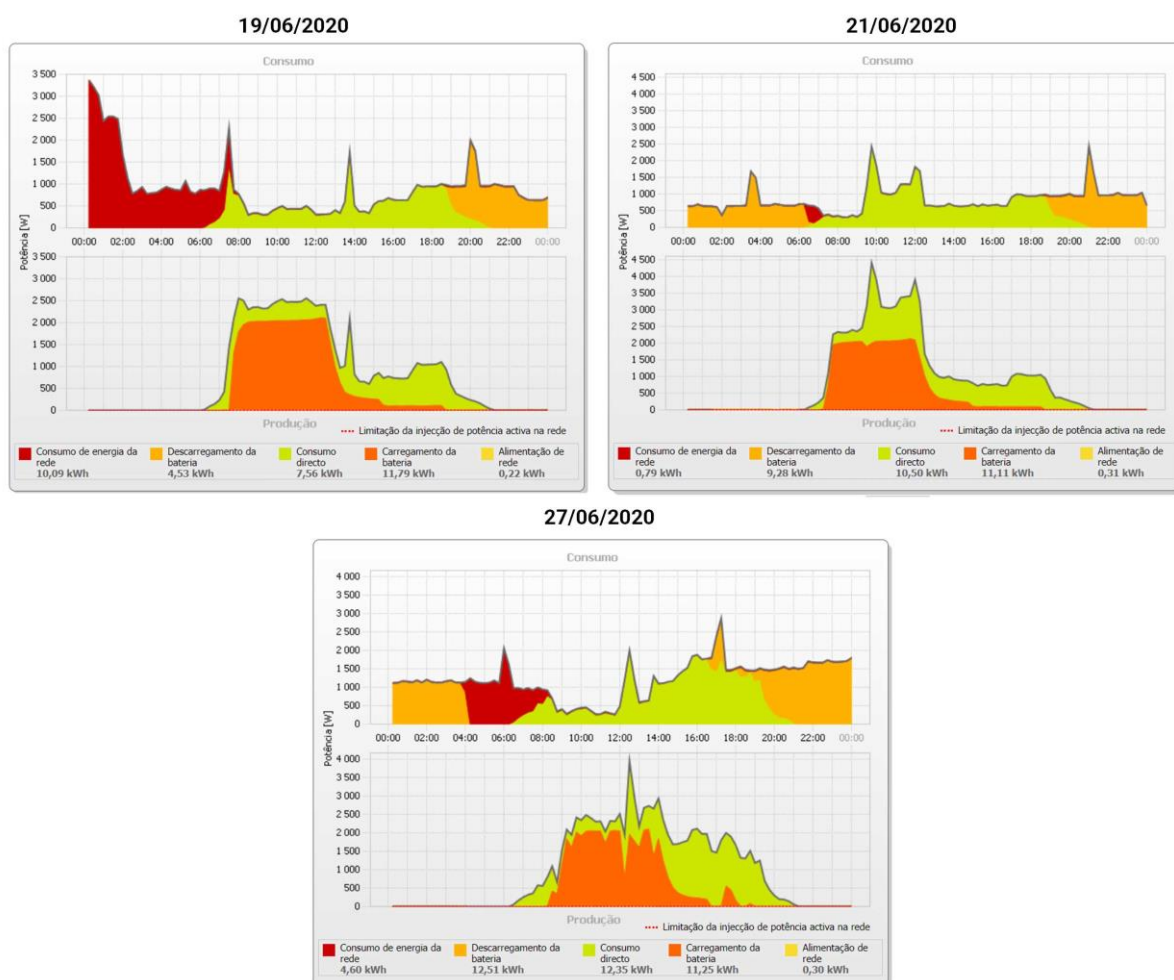


Figura 50: Operações da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Sunny Portal

Apesar dos poucos dias de monitoramento da microrrede, já pode-se perceber que essa está a funcionar corretamente. Ao observar a Figura 50, visualmente é possível ver que a microrrede está a funcionar em modo de incremento do autoconsumo. Quando há excesso de produção FV, a energia é armazenada no banco de baterias, por outro lado, no período noturno ou quando há picos de demanda, nota-se que as baterias estão a descarregar, portanto a parametrização para o incremento do autoconsumo em um sistema de armazenamento em baterias está a funcionar.

Relativamente ao sistema fotovoltaico do Posto Aquícola Castrelos, nota-se pela Figura 51, que esse está a funcionar de forma adequada e já possui uma produção total de 323,42kWh gerados.

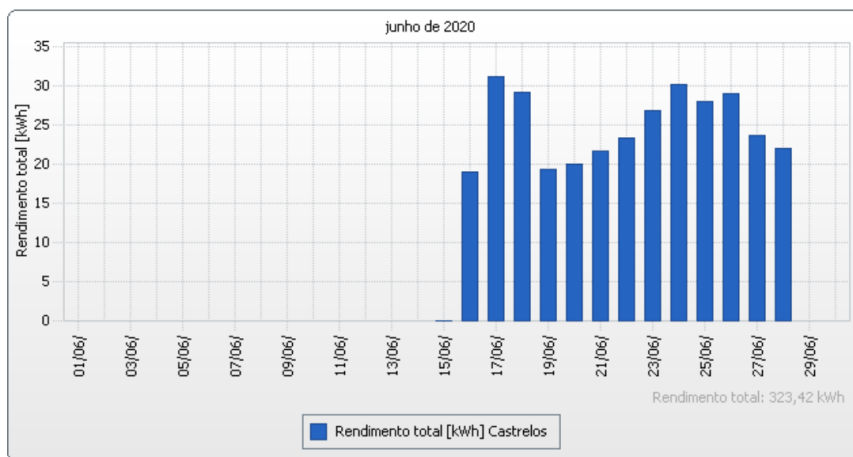


Figura 51: Produção de energia do sistema fotovoltaico do Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Sunny Portal

Nessa perspectiva, a Figura 52 e a Tabela 14 exibem o balanço energético da microrrede desde do início da monitorização até o dia 28/06/2020.

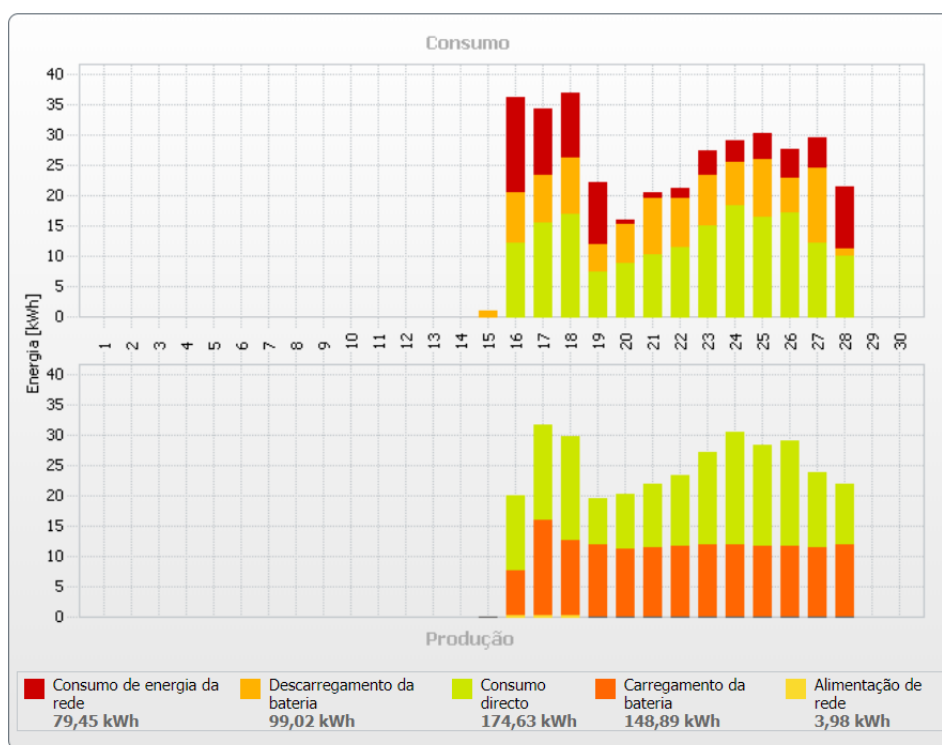


Figura 52: Balanço energético da microrrede inteligente do Posto Aquícola de Castrelos (até o dia 28/06/2020)
Fonte: Sunny Portal

Tabela 14: Balanço energético da microrrede inteligente de Posto Aquícola de Castrelos
Fonte: Sunny Portal

Balanço energético	15/06/2020 – 28/06/2020
Consumo de energia da rede (kWh)	79,45
Consumo directo (kWh)	174,63
Carregamento das baterias (kWh)	148,89
Descarregamento das baterias (kWh)	99,02
Injeção na rede	3,98
Quota de autoconsumo (%)	99,00
Taxa de autonomia (%)	77,00

Baseado na Tabela 14, pode-se visualizar que o sistema da microrrede está a funcionar visando o autoconsumo e possui uma taxa de autonomia elevada devido à grande potência fotovoltaica instalada (10kW).

7.2 Identificação de comportamentos

Durante a monitorização da operação da microrrede da Casa da Seda, identificaram-se alguns comportamentos do sistema que são de grande valia para perceber seu funcionamento e parâmetros que o condicionam. Esses comportamentos foram identificados ao longo do tempo, ou seja, aconteceram e a partir disso, estudou-se o motivo pelo qual esses ocorreram. Dessa forma, os próximos itens visam elucidar e explicitar os comportamentos percebidos.

7.2.1 Carregamento total

No dia 04/03/2020, observou-se um comportamento não expectável no balanço energético do Sunny Portal pela Figura 53 a seguir:

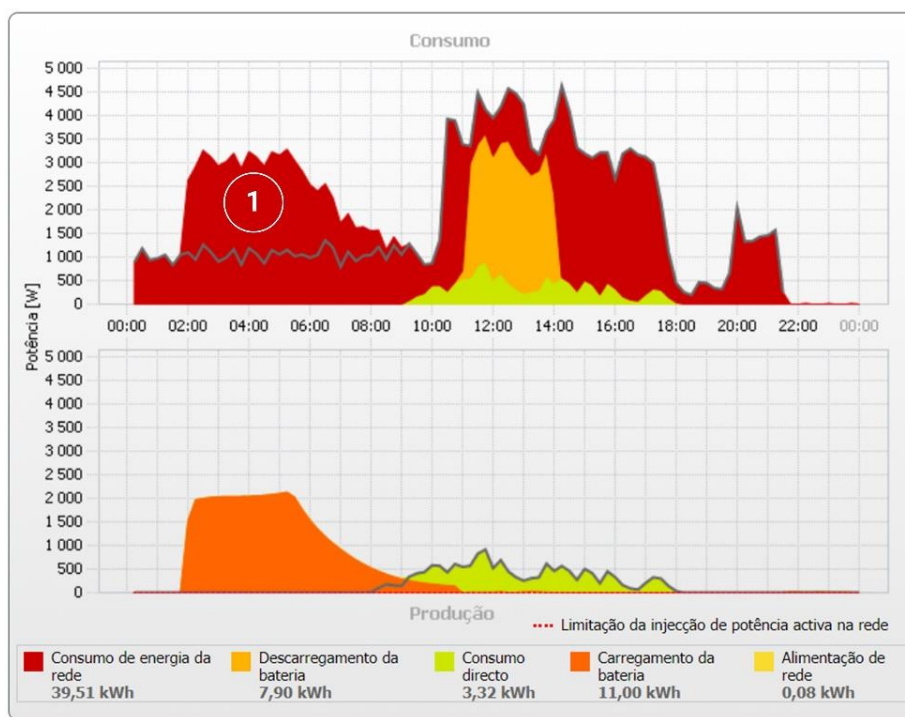


Figura 53: Balanço energético - Casa da Seda, 04/03/2020

Fonte: Sunny Portal

De forma rápida, nota-se que a microrrede funcionou bem durante todo o dia 04/03/2020, como se pode observar na Figura 53. Entretanto, ocorreu um carregamento das baterias não expectável das 2:00h – 11:00h. A partir do gráfico na Figura 53, nota-se que o carregamento das baterias foi realizado em grande parte, através do consumo de energia da rede elétrica. A área a vermelho acima da linha

cinza e destacada pelo número 1, representa a energia adicional fornecida pela rede elétrica para realizar o carregamento das baterias.

O comportamento de carga das baterias nesse dia pode ser visualizado ao observar o gráfico de Vista geral SI4.4M-722, exposto na Figura 54.

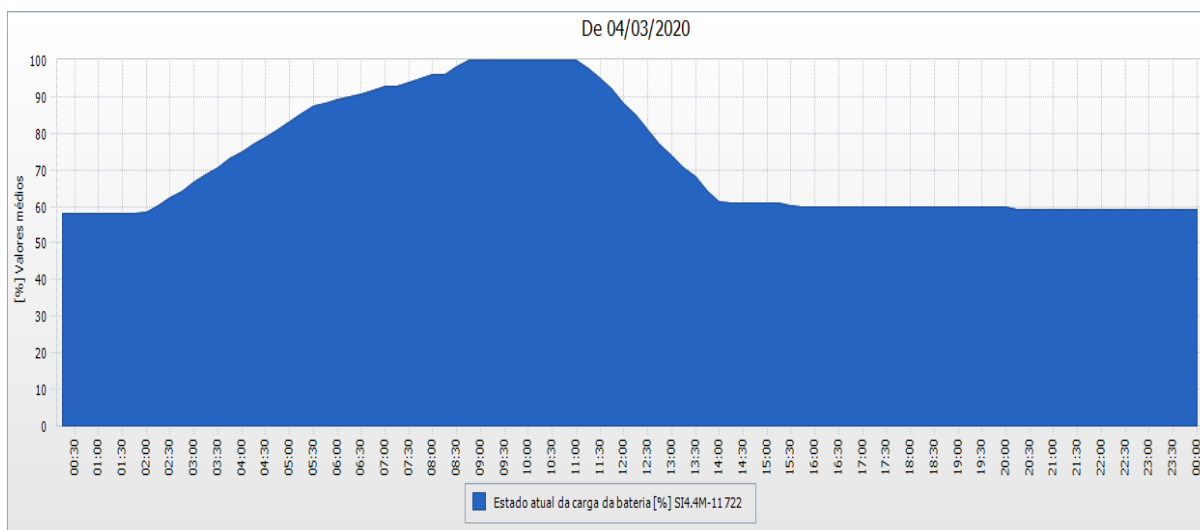


Figura 54: Estado de carga das baterias, Casa da Seda - 04/03/2020
Fonte: Sunny Portal

A partir das Figura 53 e Figura 54, nota-se que carregamento não expectável trata-se de um modo de carregamento, o qual recarregou as baterias até 100%. Nesse sentido, dividiu-se a análise desse em etapas de acordo com o horário de ocorrência.

- 1. Antes das 2:00h:** No balanço energético (Figura 53), nota-se que a potência de carregamento das baterias cresce velozmente durante pouco tempo, isso faz com que a tensão nas baterias comece a subir, logo isso indica o início da fase de corrente constante do controlo de carregamento das baterias (detalhes em 6.2.3.1). No início dessa fase, as baterias ainda não está a carregar, pois para carregarem, a tensão do banco de baterias tem de ser maior que a nominal.
- 2. Das 2:00h – 5:30h:** Durante esse intervalo, no balanço energético a potência de carregamento é constante, como consequência, as baterias começam a carregar de forma linear (Figura 54). Nesse momento, a corrente dos SIs é mantida constante, e por consequência, a tensão das baterias começam a subir linearmente, quando a tensão dessas atinge o valor limite, os SIs passam para a outra fase do processo de carregamento (tensão constante).
- 3. Das 5:30h – 11:00h:** A partir das 5:30h, a tensão das baterias já atingiu o valor limite, dessa forma, os SIs passam a manter a tensão das baterias

constante, como consequência, as baterias continuam a ser carregadas (mas com menos intensidade), Figura 54. Com a tensão constante, a corrente fornecida pelos SIs diminui progressivamente, portanto a potência de carregamento exigida também passa a diminuir na mesma progressão (Figura 53). Às 11:00h, a potência de carregamento é próxima a zero, e o estado de carga das baterias está em 100%.

Baseado nas etapas descritas, no formato do gráfico da potência de carregamento e na descrição da parametrização do controlo de carregamento das baterias (seção 6.2.3), conclui-se que o modo de carregamento analisado é um ciclo de carregamento total (full charge). Adicionalmente, confirmou-se que se tratava desse modo de carregamento, pois ao visitar a instalação da microrrede, verificou-se que o contador de ciclos de carregamento total (222#05CycTmFul) coincidia com a data do ocorrido. O formato desse modo de carregamento pode ser visualizado na Figura 42 já apresentada.

No dia 21/04/2020, o balanço energético também apresentou um comportamento próximo do descrito anteriormente, o qual pode ser visualizado pela Figura 55.

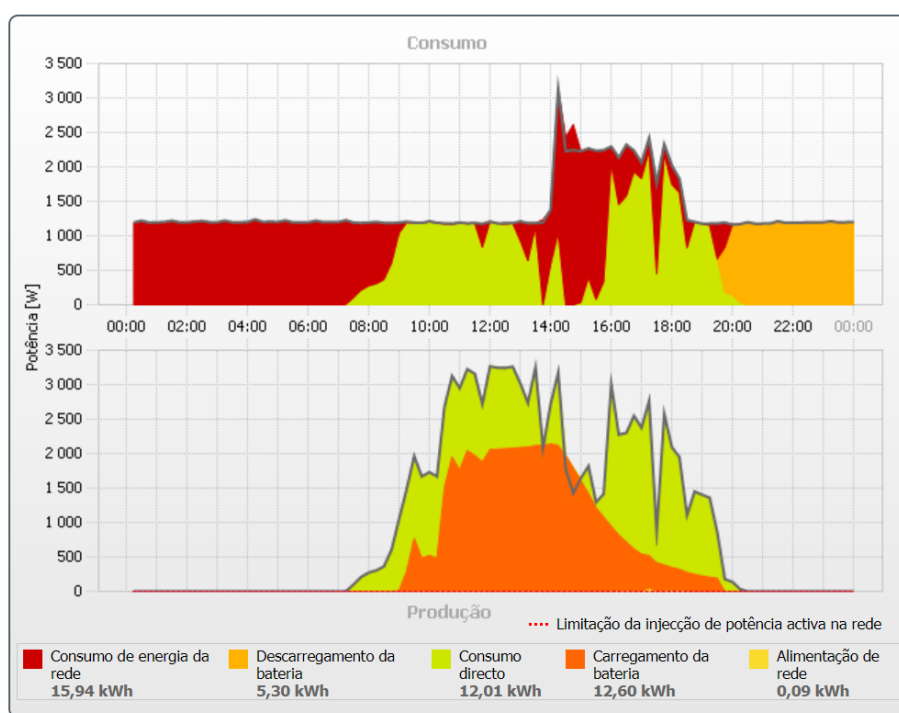


Figura 55: Balanço energético – Casa da Seda, 21/04/2020
Fonte: Sunny Portal

Pela Figura 55, nota-se que o comportamento é semelhante ao do dia 04/03/2020, uma vez que a potência de carregamento apresentou o mesmo formato

ao longo do tempo. Às 12:00h, a potência de carregamento das baterias começou a ser constante, manteve-se assim até por volta das 14:00h, e passou a diminuir até as 19:30h (aproximadamente). Ao desconsiderar a precisão quanto aos intervalos de tempo de cada mudança no comportamento da potência de carregamento, é possível estimar que se trata do mesmo modo de carregamento (*full charge*). A fim de verificar se esse realmente ocorreu, observa-se a Figura 56 abaixo.

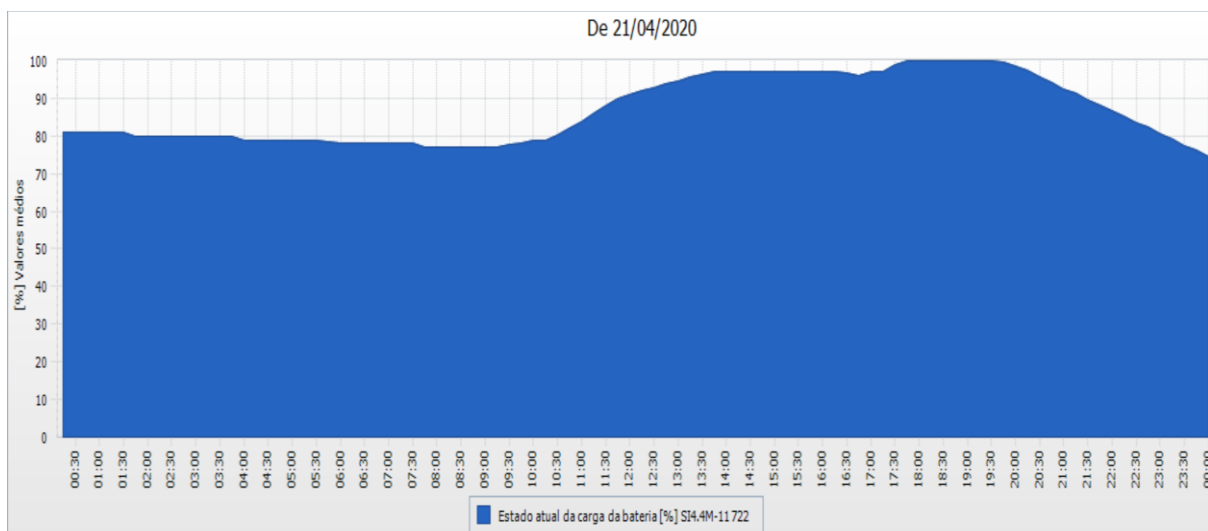


Figura 56: Estado de carga das baterias, Casa da Seda - 21/04/2020
Fonte: Sunny Portal

Ao estabelecer a relação entre o balanço energético e gráfico do estado de carga das baterias do dia 21/04/2020, conclui-se que houve um ciclo de carregamento no modo *full charge*. Entretanto, diferentemente do primeiro carregamento total citado, esse ocorreu com auxílio da produção fotovoltaica e necessitou recorrer à energia da rede elétrica para manter o perfil de curvatura da potência de carregamento. Esse fenômeno é visualizado na Figura 55, através da parcela da potência de carregamento que ultrapassa a linha de consumo directo (cinza) no gráfico de produção do sistema, ou pelo pico de energia consumida da rede externa (área a vermelho) acima da linha de consumo (cinza) no gráfico de consumo da microrrede. Adicionalmente, observou-se que o sistema realmente havia ativado o modo de carregamento total dos SIs pelo diário de registros do Sunny Portal (no dia 20/04/2020), o qual informou que o SI4.4M-11 mudou para o modo de carga total da bateria (Figura 57).



Figura 57: Indicação de mudança para o estado de carga total das baterias
Fonte: Sunny Portal

Nesse sentido, percebe-se como ocorre o carregamento total das baterias durante a ativação do modo de carregamento das baterias pelos SIs. De forma complementar, pode-se visualizar comportamento do carregamento total das baterias na microrrede do Posto Aquícola de Castrelos pela Figura 58.

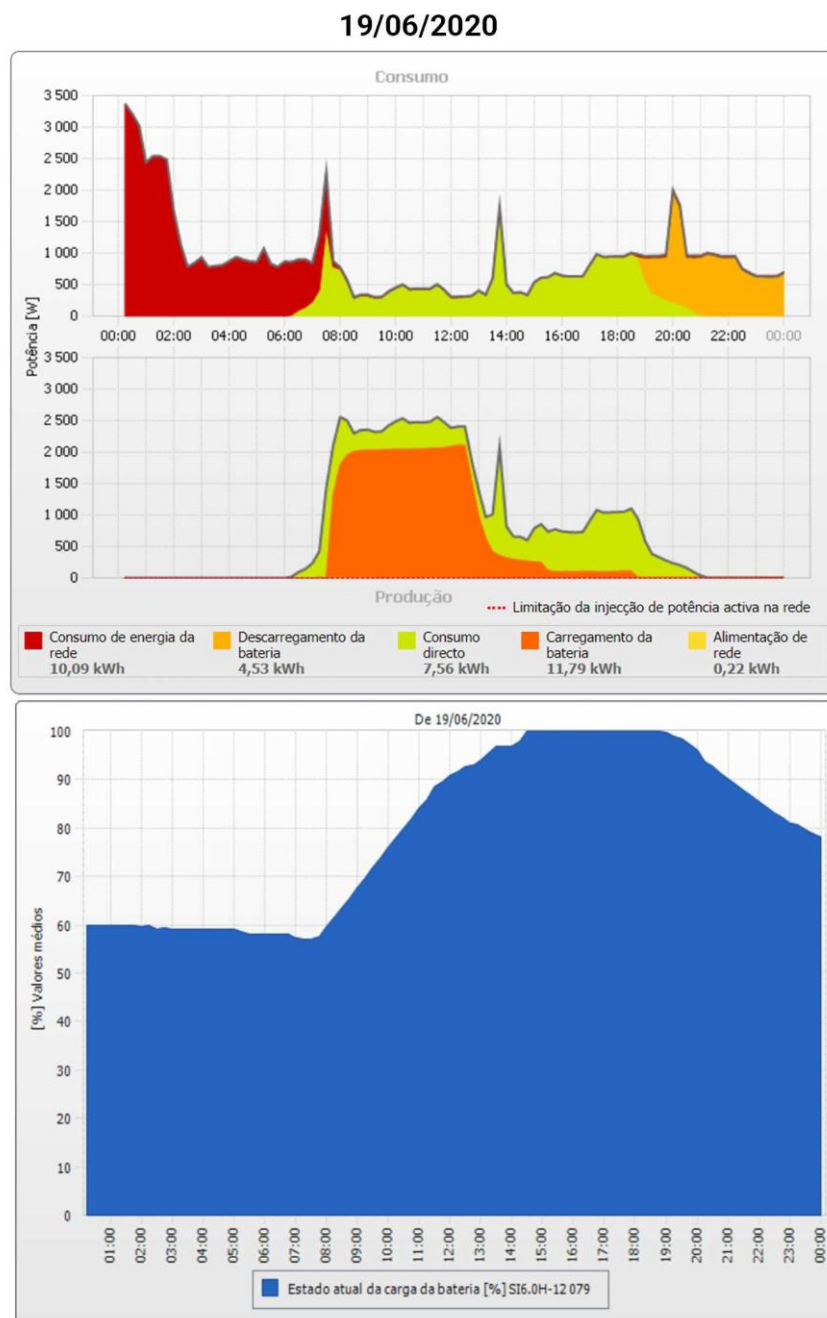


Figura 58: Balanço energético - Posto Aquícola de Castrelos, 19/06/2020
Fonte: Sunny Portal

O balanço energético da Figura 58 pode ser analisado com a mesma lógica de análise feita nos balanços energéticos da microrrede da Casa da Seda. Nesse sentido, visualiza-se que houve um carregamento total das baterias (modo *full charge*) no Posto Aquícola de Castrelos apenas via energia FV, pois no diário de registro do Sunny Portal não houve a execução de um ciclo de carregamento *full charge*.

Dessa maneira, pode-se identificar o formato do algoritmo de carga dos SIs no controlo do carregamento das baterias, concluindo que esse é fixo tanto para os ciclos de modos carregamento, quanto para o armazenamento de energia pelo excesso da produção FV. Adicionalmente, nota-se que quando um ciclo de modo de carregamento é executado, a microrrede pode vir a utilizar energia da rede para manter o modo de carregamento mesmo que a energia FV instantânea seja quase suficiente para o carregamento total das baterias.

7.2.2 Limitação da potência ativa na energia fotovoltaica

A Figura 59 exhibe o balanço energético da microrrede da Casa da Seda no dia 05/05/2020. A partir desse pode-se visualizar o controlo da potência ativa no sistema FV. Nesse dia, o consumo da instalação é praticamente constante e em torno de 200W, às 7:00h já há excedente da produção FV, o qual começa a carregar as baterias.

Contudo, a partir da 9:00h, o sistema de controlo de carregamento das baterias começa a ser executado (visualizado pelo perfil do gráfico) uma vez que a capacidade de produção é muito superior ao consumo da instalação. A partir disso, o controlo da potência ativa é ativado, fazendo com que a produção fotovoltaica seja reduzida, e acompanhe a potência de carregamento das baterias, ao mesmo tempo que não injete energia na rede.

05/05/2020

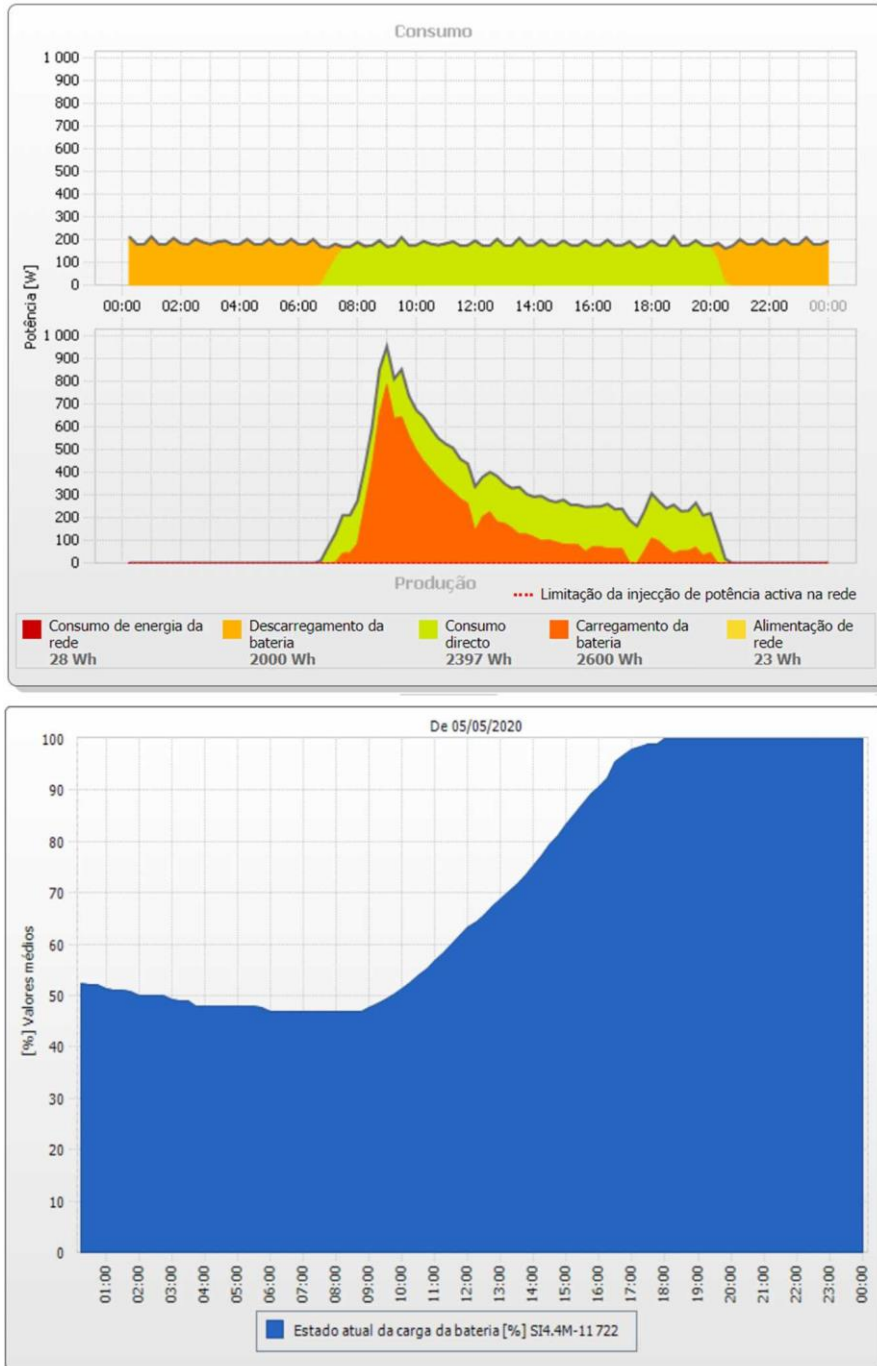


Figura 59: Balanço energético - Casa da Seda, 05/05/2020

Fonte: Sunny Portal

7.3 Resolução de falhas

Durante todo o período de monitorização da microrrede da Casa da Seda, houve duas falhas em sua operação, as quais foram identificadas e solucionadas. Uma das falhas ocorreu devido à parametrização dos SIs, e a outra ocorreu devido ao mau contato em um dos conetores de uma fileira fotovoltaica.

Relativamente a falha na parametrização dos SIs, após alguns meses de funcionamento, observou-se que o sistema estava a funcionar mal. Isso pode ser visualizado pelos balanços energéticos da Figura 60 a seguir.

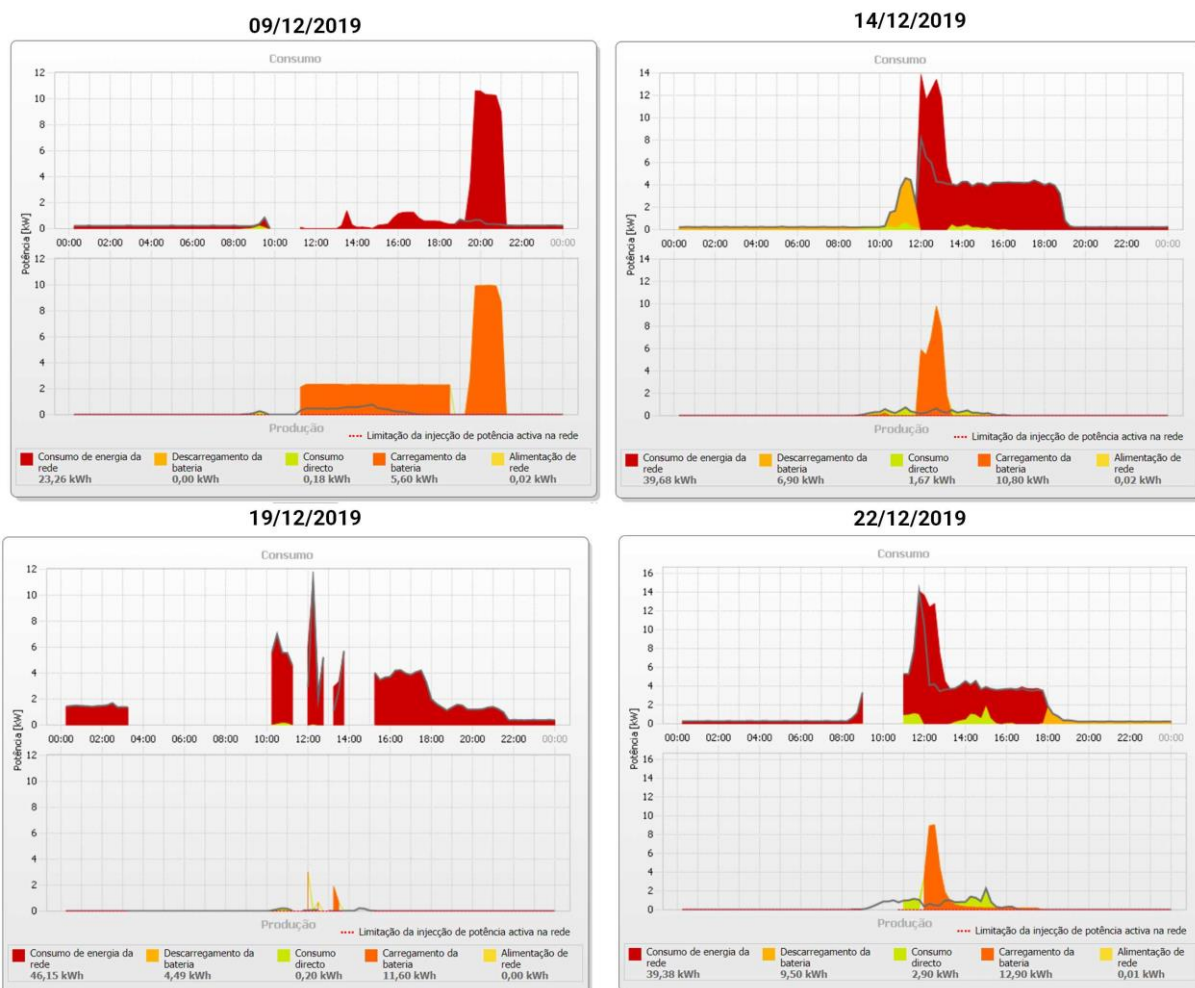


Figura 60: Balanços energéticos, microrrede a falhar
Fonte: Sunny Portal

Pela Figura 60, é possível notar visualmente que a microrrede não estava a funcionar bem, pois haviam picos de carregamento das baterias e de consumo da rede elétrica que não estão previstos em quaisquer cenários de operação da microrrede. Devido aos picos de potência no consumo da rede externa, algumas vezes o disjuntor

da entrada do fornecimento de energia era desarmado, pois esses picos eram suficientes para ultrapassar a demanda contratada da Casa da Seda.

Dessa maneira, a microrrede passa muitas vezes a operar em modo *off-grid*, e por consequência, os colaboradores da Casa da Seda passam a tentar reestabelecer a conexão com a rede externa pelo rearme do disjuntor da concessionária de energia, já que esses percebiam a mudança do modo *on-grid* para o *off-grid*. Entretanto a medida era ineficiente, pois esse ocorrido voltava a acontecer repetidas vezes.

Na Figura 60, ainda é possível visualizar que há cortes entre as medições dos balanços energéticos, evidenciando que o sistema não estava a medir bem a gestão da energia da microrrede. Nessa perspectiva, desligou-se o sistema no dia 24/12/2020, e após as festas natalinas, o professor Américo Vicente Leite identificou que os parâmetros de tensão das baterias nos modos de carregamento estavam errados, assim como o valor ganho do sensor de corrente.

A partir disso, definiu-se os novos valores com base nas especificações do fabricante das baterias Sonnenschein e do sensor de corrente, os novos valores já estão inseridos na lista de parâmetros da microrrede no Apêndice A. Posteriormente às correções na parametrização, o sistema não demonstrou mais falhas relativas à parametrização dos SIs.

Em relação a falha da fileira fotovoltaica, após identificado que o inversor SB3 não estava a injetar potência na microrrede (21/02/2020), o conector foi substituído. Contudo, isso ocorreu após algumas semanas (em 12/03/2020), devido à dificuldade de acessar o telhado da Casa da Seda. A Figura 48 exibiu a identificação da falha da fileira fotovoltaica, assim como o retorno da sua operação.

7.4 Integração da geração pico hídrica

A integração da geração pico hídrica no Sunny Portal tem o objetivo de conseguir monitorizar remotamente toda a produção de energia da microrrede da Casa da Seda de forma separada, pico hídrica e fotovoltaica. Nos trabalhos anteriores a esse, pensava-se que para integrar a produção da energia pico hídrica era apenas necessário utilizar um medidor de energia com tecnologia SMA, o Energy meter, de acordo com os manuais do fabricante [58].

Entretanto, ao perceber melhor o funcionamento do Energy meter, e entrar em contato com o representante da SMA em Portugal, chegou-se à conclusão que não seria possível integrar a produção hídrica de forma separada da fotovoltaica. Isso ocorre pois o sistema da microrrede só pode possuir um contador de energia, o qual pode ser o próprio Sunny Home Manager 2.0 ou um Energy Meter.

Para que o Energy Meter seja utilizado como contador de energia de todo o sistema, seria necessário fazer com que todo o fluxo de potência passasse por ele, tanto dos inversores SBs quanto da turbina pico hídrica e da roda de água. A configuração atual do quadro elétrico da microrrede não está organizada para que isso ocorra.

Entretanto, devido ao sistema de monitorização não conseguir desagregar as medidas de produção fotovoltaica e hídrica, optou-se por não utilizar o Energy Meter como o contador principal de energia.

Nesse sentido, torna-se necessário buscar uma nova solução para a monitorização da geração pico hídrica, a qual possibilite a sua monitorização de forma remota, mesmo que em outra plataforma de monitorização. Por uma questão de prazo hábil para a pesquisa de uma nova solução, não foi possível contemplar uma solução viável para a integração do sistema pico hídrico na monitorização da microrrede inteligente da Casa da Seda, neste trabalho.

7.5 Propostas de otimização

Nessa seção, abordam-se propostas de otimização dos sistemas das microrredes, as quais tiveram sua viabilidade de implementação estudadas, bem como critérios necessários para implementá-las.

7.5.1 Controlo de cargas pelo uso de tomada controláveis

As microrredes inteligentes baseadas na tecnologia SMA podem controlar aparelhos consumidores conectados ao seu sistema de monitorização pelo Sunny Portal. A partir disso, o Sunny Home Manager pode controlar esses equipamentos de acordo com parametrizações estabelecidas e perfil de equipamento, dessa forma, pode-se gerir ainda melhor o consumo de energia da instalação, visando o autoconsumo ou um rendimento económico mais vantajoso [60], [75].

No contexto das microrredes inteligentes deste trabalho, indica-se a utilização das tomadas controláveis Smart Plug Switch EDIMAX – SP2101W, essas podem ser integradas ao sistema de monitorização e gerenciamento da microrrede pelo Sunny Portal e comandadas pelo Sunny Home Manager. Com a utilização dessas, torna-se viável o controlo de equipamentos de baixa potência até bombas de piscina e de aquecimento de água sanitária. O controlo desses equipamentos pode ser feito almejando: retorno económico (operação em horários de menor tarifação), maior utilização do potencial de geração de energia pelo sistema FV, ou controlo de automático de operação de dispositivos [76], [78].

Na microrrede da Casa da Seda, torna-se interessante utilizar o controlo de equipamentos para uma maior utilização do potencial de geração do sistema FV. Durante as segundas-feiras, como o museu não está aberto ao público nem desempenhando suas atividades normais, o consumo da instalação é baixo, dessa forma, é expectável que se as baterias estiverem totalmente carregadas, o sistema começará a reduzir a produção FV pelo controlo da potência ativa [76 - 78] .

Portanto, a utilização de uma tomada controlável pode viabilizar que em momentos de excesso de energia FV, desde que as baterias estejam carregadas, uma carga pode ser acionada, como um aquecedor de água sanitária. Devido à pandemia

do COVID-19, não foi possível receber e instalar a tomada controlável na microrrede inteligente da Casa da Seda.

Para a microrrede do Posto Aquícola de Castrelos, acredita-se que é seria interessante realizar o acionamento das bombas durante o verão, uma vez que através de uma tomada controlável, pode-se controlar a alimentação de um relé que habilitaria o funcionamento do conversor de frequência responsável pelo controlo das bombas [76 - 78] .

Dessa maneira, seria possível controlar o acionamento das bombas pelo Sunny Portal, assim como medir o consumo das bombas (medição indireta através do acionamento das tomadas controláveis), desde que o conversor de frequência esteja devidamente parametrizado para a sua aplicação. Não foi possível instalar o controlo das bombas a partir das tomadas controláveis pelo Sunny Portal devido a tempo hábil de execução deste trabalho, assim como a falta de especificações quanto ao funcionamento das bombas (tempo de duração da bombagem e frequência que ocorre).

7.5.2 Sinalização de operação *off-grid*

Durante a execução deste trabalho, notou-se que os colaboradores da Casa da Seda tinham dificuldade de notar quando a microrrede estava a operar em modo *off-grid*. Dessa maneira, como uma forma de alerta-los sobre esse evento, ligou-se uma sinalização luminosa na sala dos colaboradores. A sinalização é acesa quando o contator Q3 da Figura 33 deixa de receber energia da rede externa (desconexão da microrrede pelo interruptor de transferência automática). A partir disso, a sinalização será acesa pela energia das baterias quando a microrrede está a operar em modo isolado.

Possivelmente esta sinalização luminosa possa ser implementada também na microrrede do Posto Aquícola de Castrelos.

7.5.3 Elaboração de manuais para os colaboradores da Casa da Seda

Com a finalidade de deixar os colaboradores da Casa da Seda autônomos quanto ao domínio dos conhecimentos relativos à microrrede inteligente instalada, elaboraram-se manuais para sua capacitação. Os manuais foram escritos de acordo com três níveis de conhecimento em relação ao conhecimento da microrrede.

No nível iniciante, tem-se o manual sobre o *Projeto Silk House*, nesse realiza-se uma introdução sobre esse projeto que viabilizou a implementação da microrrede inteligente, a explicação dos conceitos básicos de uma microrrede inteligente, e a instrução sobre a identificação e função dos equipamentos da microrrede instalada no local, assim como o seu funcionamento. A partir desse manual, almeja-se que os colaboradores da Casa da Seda sintam-se confortáveis para explicar sobre essa tecnologia instalada, e também que tenham desejo de aprender mais sobre o sistema com os outros manuais.

No nível intermédio há dois manuais, o de indicações visuais da microrrede e o de monitorização dessa pelo Sunny Portal. No manual de indicações visuais o leitor poderá identificar os principais sinais visuais, sobretudo luminosos que indicam como a microrrede está a funcionar, dessa forma, o colaborador da Casa da Seda poderá perceber mais profundamente como a microrrede está a operar, assim como explanar esse conhecimento ao público visitante. Já o manual de monitorização, almeja que o leitor perceba como é realizada a monitorização da microrrede, e que possa identificar de forma remota se o sistema está a funcionar bem ou não.

Para uma melhor compreensão, o manual apresenta: a interface do Sunny Portal e suas funções de análise; o método e procedimento de monitorização da microrrede, que engloba um fluxograma de ações e indicações simplificadas de como se proceder em situações de bom ou mau funcionamento, e finalmente, a descrição de alguns exemplos de análise da monitorização da microrrede de acordo com o método elaborado, adicionalmente, gravou-se um vídeo explicativo demonstrando a aplicação da rotina de monitorização da microrrede.

No nível avançado de conhecimento em relação a microrrede, o colaborador terá acesso a dois manuais técnicos que exibem o procedimento de como acessar as interfaces de comando dos equipamentos Sunny Boy e Sunny Island, assim como o

procedimento para alterar parâmetros desses. No manual relativo ao Sunny Boy, o leitor será capacitado a conseguir acessar a interface de comunicação dos inversores fotovoltaicos, possibilitando ter acesso a todas as informações sobre o equipamento.

Já no manual sobre o Sunny Island, o leitor aprenderá como pode acessar parâmetros e medidas nesse equipamento, e também terá disponível a lista com os parâmetros fundamentais para um bom funcionamento da microrrede inteligente. Adicionalmente, gravou-se um vídeo explicativo demonstrando como é realizado o manuseio do Sunny Remote Control e o acesso às medidas e configurações de parâmetros.

De forma complementar, um guia rápido sobre a microrrede foi montado, por meio desse, o colaborador que já tem domínio total dos outros manuais já mencionados poderá visualizar as principais indicações da microrrede e verificar se essa está a funcionar corretamente. Caso não esteja, algumas instruções de como resolver os possíveis problemas foram elaboradas.

É importante ressaltar que os referidos manuais, não substituem em hipótese alguma a consulta dos manuais dos equipamentos SMA. Os manuais produzidos, têm como objetivo sintetizar e tornar acessível o conhecimento sobre a microrrede inteligente da Casa da Seda adquirido ao longo deste trabalho.

Capítulo 8 - Conclusões

Neste trabalho apresentou-se a monitorização e análise de duas microrredes inteligentes em dois centros de divulgação de ciência, a Casa da Seda e o Centro Aquícola de Castrelos, na cidade de Bragança, Portugal. A implementação dessas microrredes visa transformar esses locais em um exemplo de aplicação de novas tecnologias de aproveitamento de recursos endógenos para a geração e consumo de energia renovável. A partir disso, esses espaços tornam-se modelos sobre a utilização da energia elétrica de forma eficiente, inovadora, e ambientalmente consciente para a sua comunidade local.

As microrredes inteligentes instaladas são baseadas na tecnologia SMA de sistemas de armazenamento flexível de energia em baterias para o incremento do autoconsumo. Dessa maneira, pode-se produzir energia elétrica através de módulos fotovoltaicos e por uma turbina pico-hídrica para baixas quedas (mesmo que em testes), fazendo com que o consumo da instalação fosse, prioritariamente, abastecido por esses sistemas renováveis de geração, ao mesmo tempo que excessos de produção poderiam ser armazenados e gastos em momentos mais oportunos. Portanto as microrredes estavam configuradas para atingir a maior taxa de autoconsumo possível.

Com base na monitorização, parametrização e instalação correta das microrredes inteligentes deste trabalho, notou-se que até mesmo locais com uma pequena instalação elétrica podem apresentar quotas de autoconsumo e taxas de autonomia significativas, se investirem e aplicarem uma tecnologia eficiente, segura e confiável.

O desenvolvimento e aplicação de projetos de microrredes por instituições de ensino em conjunto com organizações pública e/ou privadas, faz com que a sociedade tenha exemplos concretos de que é possível aplicar o conhecimento da academia num contexto real. A partir disso, os envolvidos são beneficiados por desenvolverem um senso de realização, e de estarem a fazer algo que realmente tenha uma aplicação importante para a sociedade, como é o caso deste trabalho.

Nesse sentido, ao analisar a operação e funcionamento dessas microrredes inteligentes, notou-se que o emprego de tecnologias de gestão, armazenamento e produção de energias renováveis podem realmente contribuir para um autoconsumo e autossuficiência de pequenos produtores e consumidores de energia elétrica, em relação ao grande sistema elétrico de energia.

Ainda nessa perspectiva, a possibilidade de ser autossuficiente e consumir a própria energia limpa, faz com que mais pessoas possam ter acesso à eletricidade, e que menores parcelas do consumo de energia elétrica sejam pertencentes a fontes poluidoras. Apesar do cenário de aplicação das microrredes inteligentes ser promissor, todo o sistema elétrico de energia tem de ser modificado para que um desenvolvimento sustentável seja alcançado, mesmo com um cenário global em intensa mudança.

De uma forma geral, o sistema elétrico de energia ainda não sofreu, de fato, uma revolução na sua forma de funcionar e de se relacionar com os seus utilizadores. Entretanto, isto está a mudar pela Agenda de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, pela ODS7 - Energia Limpa e acessível, e as microrredes inteligentes fazem parte dessa revolução.

8.1 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros relacionados com as microrredes inteligentes da Casa da Seda e do Posto Aquícola de Castrelos, tem-se as seguintes sugestões:

- Instalação definitiva do sistema pico hídrico de energia nas microrredes inteligentes estudadas, e integração desse a um sistema de monitorização remota;
- Avaliação do desempenho das microrredes quanto ao autoconsumo, considerando a geração fotovoltaica e pico-hídrica quando estiverem definitivamente instaladas e a operar;
- Integração de equipamentos controláveis no Sunny Portal, de modo que esses visem uma melhor otimização dos recursos de geração, ou que atendam às necessidades da Casa da Seda e do Posto Aquícola de Castrelos.

- Realização de um estudo de amortização do investimento feito para a instalação das microrredes inteligentes

Capítulo 9 - Referências

- [1] United Nations, "Sustainable Development Goals," *Online*, 2020.
<https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs> (accessed Jun. 15, 2020).
- [2] United Nations, "Sustainable Development Goal 7," *Online*, 2020.
<https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7> (accessed Jun. 15, 2020).
- [3] I. E. A. IEA, "World Energy Outlook 2019 - Renewables," *Online*, 2019.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/renewables#abstract>
 (accessed Jun. 16, 2020).
- [4] I. E. A. IEA, "World Energy Outlook 2019 - Electricity," *Online*, 2019.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/electricity#abstract>
 (accessed Jun. 16, 2020).
- [5] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M. D. Bazilian, N. Wagner, and R. Gorini, "The role of renewable energy in the global energy transformation," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 24, no. June 2018, pp. 38–50, 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.01.006.
- [6] H. Farhangi, "The path of the smart grid," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 18–28, 2010, doi: 10.1109/MPE.2009.934876.
- [7] T. Adefarati and R. C. Bansal, "Integration of renewable distributed generators into the distribution system: A review," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 10, no. 7, pp. 873–884, 2016, doi: 10.1049/iet-rpg.2015.0378.
- [8] A. H. Fathima, N. Prabakaran, K. Palanisamy, S. Mekhilef, and J. . Justo, *Hybrid Renewable Energy Systems in Microgrids: Integration, Developments and Control*. Woodhead Publishing, 2018.
- [9] S. Borlase, *SMART GRIDS: Infrastructure, Technology and Solutions*. 2013.
- [10] I. of E. and E. E. IEEE, *Microgrids: Architectures and Control*. John Wiley and Sons Ltd, 2014.

- [11] H. Farhangi, *Smart microgrids: Lessons from campus microgrid design and implementation*. 2016.
- [12] S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, and P. Crossley, *Microgrids and active distribution networks*. 2009.
- [13] K. Ubilla *et al.*, "Smart microgrids as a solution for rural electrification: Ensuring long-term sustainability through cadastre and business models," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 5, no. 4, pp. 1310–1318, 2014, doi: 10.1109/TSTE.2014.2315651.
- [14] M. Soshinskaya, W. H. J. Crijns-Graus, J. M. Guerrero, and J. C. Vasquez, "Microgrids: Experiences, barriers and success factors," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 40, pp. 659–672, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.198.
- [15] B. S. R. of W. E. BP, "Statistical Review of World Energy -2020,69th edition," 2020.
- [16] W. Liu, X. Zhang, and S. Feng, "Does renewable energy policy work? Evidence from a panel data analysis," *Renew. Energy*, vol. 135, pp. 635–642, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.12.037.
- [17] M. Ciucci, "Fact Sheets on the European Union - Renewable energy," 2020. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/70/renewable-energy> (accessed Jun. 17, 2020).
- [18] E. P. Technologies and E. Impacts, *Handbook of Distributed Generation*. 2017.
- [19] L. Freris, *Renewable energy in power systems*, vol. 46, no. 08. 2009.
- [20] A. Harvey, *Micro-Hydro Design Manual.pdf*. Intermediate Technology Publications, 1993.
- [21] I. H. A. IHA, "Hydropower Status Report 2020 - Sector trends and insights," 2020.
- [22] K. Sopian and J. A. B. Razak, "PICO HYDRO : CLEAN POWER FROM SMALL STREAMS," *3rd WSEAS Int. Conf. Renew. ENERGY SOURCES*, no. May, pp. 414–419, 2015.

- [23] M. F. Basar, A. Ahmad, and N. Hasim, "Introduction to the Pico Hydro Power and the Status of Implementation in Malaysia," *2011 IEEE Student Conf. Res. Dev.*, pp. 283–288, 2011.
- [24] A. A. Lahimer, M. A. Alghoul, K. Sopian, N. Amin, N. Asim, and M. I. Fadhel, "Research and development aspects of pico-hydro power," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 8, pp. 5861–5878, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.05.001.
- [25] V. Leite, Â. Ferreira, J. Couto, and J. Batista, "A Practical Approach for Grid-connected Pico-hydro Systems using Conventional Photovoltaic Inverters," *2016 IEEE Int. Energy Conf. (ENERGYCON), Leuven, 2016*, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/ENERGYCON.2016.7513911.
- [26] P. Maher, M. The Nottingham Trent University, and Center, *Community Pico Hydro in Sub-Saharan Africa : Case Study 2 Site : Thima , Kirinyaga District , Kenya*. 2002, pp. 1–7.
- [27] A. Kadier, M. S. Kalil, M. Pudukudy, H. A. Hasan, A. Mohamed, and A. A. Hamid, "Pico hydropower (PHP) development in Malaysia : Potential , present status , barriers and future perspectives Pico hydropower (PHP) development in Malaysia : Potential , present status , barriers and future perspectives," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. January, pp. 2796–2805, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.06.084.
- [28] J. Hofmeister, S. Krebs, G. Schickhuber, and G. Scharfenberg, "Design and development of a Pico Hydro turbine system for the use in developing countries," *IYCE 2015 - Proc. 2015 5th Int. Youth Conf. Energy*, pp. 1–7, 2015, doi: 10.1109/IYCE.2015.7180767.
- [29] V. Leite, Â. Ferreira, J. Couto, and J. Batista, "Compatibility Analysis of Grid-connected Pico-hydro Systems using Conventional Photovoltaic Inverters," *18th Eur. Conf. Power Electron. Appl. EPE 2016 ECCE Eur. 2016*, pp. 1–9, 2016, doi: 10.1109/EPE.2016.7695615.
- [30] A. H. Smets, K. Jäger, O. Isabella, R. A. van Swaaij, and M. Zeman, *Solar energy - The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and*

systems. Cambridge: UIT, 2016.

- [31] A. McEvoy, T. Markvart, and L. Castaner, *Practical Handbook of Photovoltaics - Fundamentals and Applications (2012)*, Second. Elsevier Ltd, 2012.
- [32] I. R. E. A. IRENA, "Renewable Power Generation Costs in 2018," 2018. [Online]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf.
- [33] I. R. E. A. IRENA, "Installed Capacity Trends," *www.irena.org*, 2020. <https://public.tableau.com/profile/irena.resource#!/vizhome/shared/CGR8YW C8B> (accessed Jun. 18, 2020).
- [34] IRENA, "Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access : An opportunity not to be missed," 2019. [Online]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Off-grid_RE_Access_2019.pdf.
- [35] K. Shivarama Krishna and K. Sathish Kumar, "A review on hybrid renewable energy systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 907–916, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.187>.
- [36] M. Stadler and A. Naslé, "Planning and implementation of bankable microgrids," *Electr. J.*, vol. 32, no. 5, pp. 24–29, 2019, doi: [10.1016/j.tej.2019.05.004](https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.05.004).
- [37] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou, and A. Dimeas, "Microgrids management," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 6, no. 3, pp. 54–65, 2008, doi: [10.1109/MPE.2008.918702](https://doi.org/10.1109/MPE.2008.918702).
- [38] M. H. K. Tushar, C. Assi, M. Maier, and M. F. Uddin, "Smart microgrids: Optimal joint scheduling for electric vehicles and home appliances," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 1, pp. 239–250, 2014, doi: [10.1109/TSG.2013.2290894](https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2290894).
- [39] I. E. A. IEA, "Tracking Energy Integration 2019," 2019. <https://www.iea.org/reports/tracking-energy-integration-2019> (accessed Jun.

- 19, 2020).
- [40] T. I. of E. and T. IET, *Clean Energy Microgrids*. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2017.
- [41] R.Cecchini and G.Pelosi, "Cecchini1992.Pdf," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 34, no. 2, pp. 30–37, 1992, doi: 10.1109/74.134307.
- [42] International Renewable Energy Agency (IRENA), "Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030," 2017. [Online]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017_Summary.pdf?la=en&hash=2FDC44939920F8D2BA29CB762C607BC9E882D4E9.
- [43] E. S. G. T. P. ETP, "Smartgrids, European Technology Platform on vision and Strategy for Europe's Electricity of the Future," 2006. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf.
- [44] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C. Marnay, "Microgrids," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 5, no. august, pp. 78–94, 2007.
- [45] V. Leite, Â. Ferreira, J. Batista, and J. Couto, "Analysis of the Operation of a Microgrid With Renewable Distributed Generation," *III Congr. Iberoam. Sobre Microrredes con Generación Distrib. Renov.*, pp. 1–10, 2015.
- [46] W. Maidana *et al.*, "Design of a Self-sustainable System Based on Renewable Energy Sources for a Small Museum of Science Dissemination - the House of Silk," *III Congr. Ibero-Americano Ambient. e Tecnol.*, pp. 155–160, 2017.
- [47] W. Maidana, "Conceção de um Sistema Autossustentável para um Edifício de Divulgação de Ciência: A Casa da Seda," Instituto Politécnico de Bragança, 2017.
- [48] M. Silva, V. Leite, D. Roman, P. Araújo, W. Maidana, and J. Batista, "Design of a Microgrid Based on Renewable Energy Sources for an Aquaculture Centre," pp. 1–13, 2018.
- [49] L. G. A. Figueiredo, W. Maidana, and V. Leite, "Implementation of a Smart

- Microgrid in a Small Museum: The Silk House,” *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 1152 CCIS, pp. 121–134, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-38889-8_10.
- [50] L. G. A. Figueiredo, “Implementation of a Smart Microgrid in a Small Museum: The Silk House,” Instituto Politécnico de Bragança, 2020.
- [51] Panasonic, “Photovoltaic module HIT - Panasonic,” 2020.
https://panasonic.net/lifesolutions/solar/download/pdf/N330_325_320SJ47D_atasheet_190226.pdf (accessed Jun. 24, 2020).
- [52] SMA Solar Technology AG, *Operating manual - Sunny Boy 1.5/2.0/2.5, Version 1.3*. Niestetal, Germany.
- [53] PowerSpout, *Low Head Installation Manual*. New Zealand, 2015.
- [54] I. de C. Dalmarco, P. H. A. de Araujo, A. V. T. Leite, L. M. C. Queijo, and L. E. M. Lima, “Prototyping a horizontal water wheel for electricity generation in a small museum: the House of Silk,” *Ciudad. Intel. Total. Integr. Efic. y Sostenibles*, no. September, pp. 809–814, 2018, [Online]. Available:
<https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/375>.
- [55] CALEFFI, *Válvulas de esfera motorizadas para centrais térmicas - série 638*. São Paulo, Brasil, 2013.
- [56] Allterco Robotics EOOD, *User Guide, Shelly 4pro - 4 Circuit WiFi Relay Switch*. Sofia, Bulgaria, 2019.
- [57] A. V. S. AVS and J+J, *J3C H300-DPS Smart Eletric Actuator*. 2017.
- [58] SMA Solar Technology AG, *Planning Guidelines SMA SMART HOME, Versão 4.4*. Niestetal, Germany, 2004.
- [59] SMA Solar Technology AG, *Installation Manual - Sunny Island 3.0M/4.4M/6.0H/8.0H, Versão 3.3*. Niestetal, Germany, 2016.
- [60] SMA Solar Technology AG, *Operating Manual - SUNNY HOME MANAGER 2.0, Versão 1.1*. Niestetal, Germany, 2017.
- [61] SMA Solar Technology AG, *Planning Guidelines SMA FLEXIBEL STORAGE SYSTEM WITH BATTERY-BACKUP FUNCTION, Versão 2.3*. Niestetal, Germany,

2004.

- [62] REC group, *Datasheet REC TWINPEAK 72 SERIES*. .
- [63] SMA Solar Technology AG, *Operating manual SUNNY TRIPOWER 8.0/10.0*, Versão 1.0. Niestetal, Germany, 2018.
- [64] SMA Solar Technology AG, *Operating manual SUNNY ISLAND 4.4M/6.0H/8.0H*, Versão 1.3. Niestetal, Germany, 2019.
- [65] SMA Solar Technology AG, *System Description SMA FLEXIBLE STORAGE SYSTEM with Battery-Backup Function, Battery Systems including Increased Self-Consumption with SUNNY ISLAND 4.4M/6.0H/8.0 and SUNNY HOME MANAGER*, Versão 1.0. Niestetal, Germany, 2017.
- [66] SMA Solar Technology AG, *Planning Guidelines - SMA FLEXIBLE SOTRAGE SYSTEM with Battery Backup Function - Circuit Overviews, Schematic Diagrams and Material Lists*, Versão 2.6. Niestetal, Germany.
- [67] SMA Solar Technology AG, *Operating BatFuse-B.01/B.03*, Versão 3.0. Niestetal, Germany, 2004.
- [68] SMA Solar Technology AG, *Technical Information SMA SPEEDWIRE FILEDBUS*, Versão 1.1. Niestetal, Germany.
- [69] SMA Solar Technology AG, *Manual de utilização SUNNY HOME MANAGER no SUNNY PORTAL*, Versão 1.7. Niestetal, Germany, 2004.
- [70] SMA Solar Technology AG, *Operating manual - Sunny Island 3.0M/4.4M/6.0H/8.0H*. Niestetal, Germany.
- [71] SMA Solar Technology AG, *Technical information - Battery management of the Sunny Island*, Versão 2.0. Niestetal, Germany.
- [72] Exide Technologies GmbH, *Sonnenschein Solar, Solar Block, A600 Solar, Powercycle - Operating instruction - Stationary valve regulated lead-acid batteries*. Büdinger, Germany, 2015.
- [73] Diário da República Eletrónico, "Portaria nº 15/2020," 2020.
<https://www.apren.pt/contents/legislation/0000300005.pdf> (accessed Jun.

28, 2020).

- [74] Diário da República Eletrônico, “Portaria nº 16/2020 - AMBIENTE E AÇÃO CLIMÁTICA.” <https://www.apren.pt/contents/legislation/0000600007.pdf> (accessed Jun. 28, 2020).
- [75] SMA Solar Technology AG, *Planning Guidelines SMA Smart Home - The system solution for a Greater Independence*, Versão 5.1. Niestetal, Germany.
- [76] SMA Solar Technology AG, *Technical Information - SMA SMART HOME - Load Control via MUST Time Period*, Versão 1.1. Niestetal, Germany.
- [77] SMA Solar Technology AG, *Technical Information SMA SMART HOME - Load Control via CAN Time Period*, Versão 1.1. Niestetal, Germany.
- [78] SMA Solar Technology AG, *Technical Information - SMA SMART HOME - Load Control Using Relays or Contactors*, Versão 1.1. Niestetal, Germany.

**Apêndice A: Lista de parâmetros dos
inversores bidirecionais SI4.4M-11 e
SI6.0H-12**

Lista de Parâmetros - Sunny Island 4.4M-11

210# Inverter

Número	Parâmetro	Valor	Descrição
210#01	InvVtgNom	230 [V]	Tensão nominal
210#02	InvFrqNom	50 Hz	Frequência nominal
210#03	InvChtgCurMax	4,3 [A]	Máxima corrente na carga e descarga para cada SI

220#Battery

221#Property

Número	Parâmetro	Valor	Descrição
221#01	BatTyp	VRLA	Tipo da bateria
221#02	BatCpyNom	455Ah	Capacidade de nominal C10
221#03	BatVtgNom	48 [V]	Tensão nominal do banco de baterias
221#04	BatTmpMax	40°C	Temperatura máxima das baterias
221#05	BatTmpStr	35°C	Temperatura das baterias como limite de conexão após a desconexão por superaquecimento

222#Charge Mode

Número	Parâmetro	Valor	Descrição
222#01	BatChrgCurMax	35A	Corrente máxima de carregamento
222#02	AptTmBoost	180 min	Tempo de absorção do carregamento boost
222#03	AptTmFul	6h	Tempo de absorção do carregamento full (total)
222#04	AptTmEqu	12h	Tempo de absorção do carregamento de equalização
222#05	CycTmFul	14d	Ciclo de carregamento total em dias
222#06	CycTmEqu	90d	Ciclo de carregamento de equalização em dias
222#07	ChrgVtgBoost	2.45V	Tensão em cada bateria no modo boost de carregamento
222#08	ChrgVtgFul	2.40V	Tensão em cada bateria no modo de carregamento total
222#09	ChrgVtgEqu	2.35V	Tensão em cada bateria no modo de carregamento de equalização
222#10	ChrgVtgFlo	2.25V	Tensão em cada bateria no modo de carregamento de float
222#11	BatTmpCps	4 mV/degC	Temperatura de compensação na bateria em mV/°C

222#12	AutoEquChrgEna	Enable	Carregamento de equalização automático
225#Current Sensor			
Número	Parâmetro	Valor	Descrição
225#01	BatCurSnsTyp	50mV	Tipo de sensor de corrente
225#03	BatCurGain50	500 [A/50mV]	Ganho do sensor de corrente em A/50mV
232# Grid Control			
Número	Parâmetro	Valor	Descrição
232#01	Country	VDE-AR-4105	Seleção de legislação (protegido)
260#SlfCsmBackup			
261#General			
Número	Parâmetro	Valor	Descrição
261#01	SlfCsmPlncEna	Enable	Habilitação do incremento do autoconsumo
261#02	SlfCsmPosSel	North	Mês de maior rendimento para a utilização do estado de carga das baterias
261#03	Saisonenable	Yes	Habilitação do comportamento sazonal
262#BatUsage			
Número	Parâmetro	Valor	Descrição
262#01	ProtResSOC	15%	Menor limite de proteção contra descarga profunda das baterias
262#02	BatResSOC	5%	Largura mínima de proteção contra descarga profunda das baterias
262#03	BUResSOC	5%	Mínima percentagem do estado de carga das baterias dedicado a reserva de energia no dia mais longo do ano
262#04	PVResSOC	20%	Percentagem de carga das baterias para a preservação da carga nominal das baterias pelo excesso de energia FV,
262#05	MinSlfCsmSOC	30%	Mínima largura da área de autoconsumo no dia mais curto do ano em termos da percentagem do estado de carga da bateria

Parâmetros - SI 6.0H-12	
Inversor	
Cluster	
Parâmetro / Grupo	Valor
Tipo	230 [V]
Sistema	50 Hz
Máxima corrente de carga	8A
Tensão nominal	230V
Frequência nominal	50Hz
Função para operação on/off grid	Funções para operação on grid
Modo de operação	Autoconsumo e backup
Autoconsumo	
Parâmetro / Grupo	Valor
Aumento do autoconsumo ligado	Sim
Modo de economia ativado	Sim
Lado CC	
Parâmetro / Grupo	Valor
Tipo de fontes CC adicionais	Fontes CA e controladores CC
Lado CA	
Solicitação da rede pela energia (potência)	
Parâmetro / Grupo	Valor
Corrente máxima de vinda da rede	34,5A
Seleção de legislação elétrica	
Parâmetro / Grupo	Valor
Legislação elétrica	VDE-AR-N4105
Bateria	
Parâmetro	Valor
Tipo da bateria	VRLA
Capacidade de nominal C10	455Ah
Tensão nominal do banco de baterias	48 [V]
Temperatura máxima das baterias	40°C
Temperatura das baterias como limite de conexão após a desconexão por superaquecimento	35°C
Suspensão de descarga	45V
Corrente máxima de carregamento	80
Tempo de absorção do carregamento boost	180 min
Tempo de absorção do carregamento full (total)	6h
Tempo de absorção do carregamento de equalização	12h
Ciclo de carregamento total em dias	14d

Ciclo de carregamento de equalização em dias	90d
Tensão em cada bateria no modo boost de carregamento	2.45V
Tensão em cada bateria no modo de carregamento total	2.40V
Tensão em cada bateria no modo de carregamento de equalização	2.35V
Tensão em cada bateria no modo de carregamento de float	2.25V
Temperatura de compensação na bateria em mV/°C	4 mV/degC
Carregamento de equalização automático	On
Parâmetro	Valor
Tipo de sensor de corrente	50mV
Ganho do sensor de corrente em A/50mV	500 [A/50mV]
Limite de tensão que desativa a gestão da bateria	54,00V
Áreas de autoconsumo	
Parâmetro	Valor
Mês de maior rendimento para a utilização do estado de carga das baterias	Junho
Habilitação do comportamento sazonal	Yes
Parâmetro	Valor
Menor limite de proteção contra descarga profunda das baterias	20%
Largura mínima de proteção contra descarga profunda das baterias	20%
Mínima percentagem do estado de carga das baterias dedicado a reserva de energia no dia mais longo do ano	10%
Percentagem de carga das baterias para a preservação da carga nominal das baterias pelo excesso de energia FV,	10%
Mínima largura da área de autoconsumo no dia mais curto do ano em termos da percentagem do estado de carga da bateria	10%