

INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

MARCOS SCHREIBER

**GERENCIADOR DE ARMAZENAMENTO E DEMANDA COM
DISPOSITIVO IOT PARA AMBIENTE SMART GRID**

Curitiba

2019

MARCOS SCHREIBER

**GERENCIADOR DE ARMAZENAMENTO E DEMANDA COM
DISPOSITIVO IOT PARA AMBIENTE SMART GRID**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Área de Concentração Sistemas Energéticos Convencionais e Alternativos, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio de Medeiros

Coorientador: Prof. Zeno Iensen Nadal

Curitiba

2019

S378g

Schreiber, Marcos.

Gerenciador de armazenamento e demanda com dispositivo IoT para ambiente smart grid / Marcos Schreiber. 127 p. il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Lucio de Medeiros.

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Institutos Lactec – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, 2019.

Inclui Referências bibliográficas.

1. Armazenamento de energia. 2. IoT. 3. Microgeração. 4. Geração distribuída I. Madeiros, Lucio de. II. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Institutos Lactec – Programa de PósGraduação em Desenvolvimento de Tecnologia. III. Título.

CDD 004.699

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCOS SCHREIBER

GERENCIADOR DE ARMAZENAMENTO E DEMANDA COM DISPOSITIVO IOT PARA AMBIENTE SMART GRID

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito para obtenção do grau de Mestre, no Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, realização do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), pela seguinte banca examinadora:



ORIENTADOR(A): Prof.^(a) Dr.^(a) Lúcio de Medeiros
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Prof.^(a) Dr.^(a) Rodrigo Jardim Riella
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Prof.^(a) Dr.^(a) Carlos Gabriel Bianchin
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Prof.^(a) Dr.^(a) Solivan Arantes Valente
Universidade Positivo (UP)

Curitiba, 04 de dezembro de 2019.

Dedico esse trabalho à minha bicicleta ergométrica que funcionou direitinho durante os testes de geração de energia, uma das premissas para este trabalho, permitindo assim perder 29 quilos em 5 meses de muita pedalada...

“Não se pode escrever nada com indiferença.”

Simone de Beauvoir

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao suporte técnico do Projeto P&D 2866-0442/2017, executado pelos Institutos LACTEC e a COPEL Distribuição S.A., no âmbito do programa P&D ANEEL, absolutamente imprescindível ao longo de todo o projeto,

Aos brilhantes professores do LACTEC, pelo entusiasmo e dedicação à mais nobre das profissões,

Ao orientador Prof. Lucio de Medeiros, mecenas das boas ideias, pela paciência, estímulo e ponderações precisas em todo o trabalho realizado,

Ao coorientador Prof. Zeno Nadal, pelo amplo interesse e suporte técnico ao projeto, um verdadeiro arrombador de portas para grandes oportunidades,

Ao mestre Julio Omori, discreto apoiador, de olhar crítico e questionador, cujos desafios permitiram importantes aprimoramentos neste projeto,

À minha esposa Ana Cristina, meus filhos Marcos Eduardo e Marcelo Augusto, bem como a todos meus familiares pelo apoio contínuo, amor incondicional,

À música, arte, paixão e profissão, sempre presente, inspiração e trilha sonora das nossas vidas,

A Deus, Verbo supremo, que não se abstém de semear nas mais singelas mentes a capacidade de criar,

Muito obrigado!

RESUMO

A introdução de um sistema de armazenamento de energia elétrica em unidades consumidoras torna-se uma importante ferramenta de gestão de energia, tanto no próprio local de consumo, através da integração de energia intermitente gerada neste local e do gerenciamento da sua demanda, como no lado da comercializadora ou distribuidora de energia. Além de incrementar seus índices de qualidade no provimento de energia, pode dispor de uma ferramenta de equilíbrio na distribuição e demanda, através do gerenciamento dos parâmetros de controle via rede de dados, acessado por dispositivos IoT (*Internet of Things*, ou Internet das Coisas), colocados sobre o armazenamento e demanda locais. Insere-se, assim, de forma ampla e integrada, ao ambiente *Smart Grid*, definido como um sistema onde a transmissão e a distribuição de energia elétrica se utiliza da Tecnologia da Informação para a sua maior eficiência e novas capacidades de controle e gestão.

O objetivo desse trabalho é construir, testar e avaliar um gerenciador de armazenamento e demanda com microcontrolador eletrônico programável. Adicionalmente, criar e aplicar um método cujas decisões de demanda acontecem através da monitoração do armazenamento em determinados intervalos de tempo. As medições são enviadas a um banco de dados num servidor de rede onde novos parâmetros para a gestão são obtidas desse mesmo banco, através de uma conexão integrada ao conceito de IoT, utilizando protocolo ipv4 (funcionalidade implementada neste microcontrolador). Dessa forma, os parâmetros para as tomadas de decisão na gestão desse armazenamento podem ser tratados no ambiente do servidor de rede e direcionados ao dispositivo local, atualizando-o a todo momento. Sob o ponto de vista das empresas de distribuição de energia, o resultado apresentado se vislumbra na implementação do armazenamento distribuído, trazendo importantes ferramentas de gestão energética. Para o consumidor final, o resultado se constitui em propiciar dois benefícios importantes: economia e autonomia, de forma parcial ou mesmo total.

Palavras-chave: Armazenamento de energia controlado por IoT; ferramentas *Smart Grid* de armazenamento; Gerenciamento de energia pelo lado da demanda; Microgeração intermitente.

ABSTRACT

The electrical energy storage system installed in consumer units (houses and other buildings, farms, etc.) is an important energy management tool, both at the place of consumption, through the integration of intermittent energy generated on site, and the management of its demand, as well as the energy supplier or distributor side where, in addition to increasing its quality indexes in power supply, it can have a tool to balance the distribution and demand, through the management of control parameters via data network, accessing IoT (Internet of Things,) placed on local storage and demand. It introduces, in a comprehensive and integrated way, the Smart Grid environment. Thus, it is broadly integrated into the Smart Grid environment, defined as a system where transmission and electricity distribution utilities Information Technology for greater efficiency and new control and management capabilities. The objective of this work is to build, test and evaluate a solution with a programmable electronic microcontroller, a storage and demand manager. Additionally, the goal is to create and apply a method whose demand decisions happen by monitoring storage at certain time intervals. The measurements are sent to a database on a network server and new parameters for the management are received from that same bank, through IoT (internet of things) connectivity, implemented in this microcontroller. In this way, the parameters for the decision making in the management of this storage can be treated in the network server environment and sent to the local device, updating it. From the point of view of energy distribution companies, the result presented is seen in the implementation of distributed storage, bringing important energy management tools. For the final consumer, the result is to bring two important benefits: economy and autonomy, partially or even totally.

Keywords— Power storage managed by IoT; Smart Grid storage tools; demand side management; renewable energy; intermittent microgeneration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - BATERIA ESTACIONÁRIA DE CHUMBO ÁCIDO COM ELETRÓLITO LÍQUIDO	25
Figura 2 - MODOS DE CONEXÃO DAS BATERIAS PARA CONSTITUIÇÃO DE BANCOS	28
Figura 3 – CURVA TÍPICA DE CARGA DE UMA BATERIA.....	29
Figura 4 – PRODUÇÃO ÓTIMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	30
Figura 5 - CONTROLADOR DE CARGA ELETRÔNICO TIPO PWM	32
Figura 6 - CONTROLADOR DE CARGA ELETRÔNICO, TIPO MPPT	33
Figura 7 – CURVA DE MÁXIMA POTÊNCIA NUM CONTROLADOR TIPO MPPT	33
Figura 8 –COMPARAÇÃO - CURVAS DE CARGAS PELOS PROCESSOS PWM E MPPT	34
Figura 9 – CONFIGURAÇÕES DE MICROGERAÇÃO E A VARIAÇÃO SEMIAUTÔNOMA.	37
Figura 10 - MICROCONTROLADOR ESP 32, PINAGEM E CARACTERÍSTICAS	43
Figura 11 - DISPLAY OLED MONOCROMÁTICO DE 0,96 POLEGADAS – 128 X 64	43
Figura 12 - INTERFACE HMI - DISPLAY TOUCH SCREEN NEXTION.....	44
Figura 13 - BARRAMENTO CC – CONCENTRADOR E DISTRIBUIDOR DE ENERGIA	46
Figura 14 – CONEXÕES DO CHAVEADOR DE 3 CANAIS + 2 CANAIS PERMANENTES .	47
Figura 15 – DIAGRAMA EM BLOCOS DO SISTEMA GERALDO COMPLETO	48
Figura 16 - GERENCIAMENTO DA DEMANDA PROCESSOS DE “IDA” e “VOLTA”	50
Figura 17 – GERENCIAMENTO DE DEMANDA – INSOLAÇÃO – DIA LIMPO.....	51
Figura 18 - GERENCIAMENTO DE DEMANDA – INSOLAÇÃO – DIA NUBLADO	51
Figura 19 – DIAGRAMA EM BLOCOS DO INVERSOR OFF-GRID SOLAR	52
Figura 20 – ATUAÇÃO - CARREGADOR CA/CC CONTROLADO PELO GERENCIADOR .	53
Figura 21 - FLUXO DE FUNCIONAMENTO DA PROGRAMAÇÃO.....	56
Figura 22 - ESTRUTURA BÁSICA DE REDE PARA GERENCIADOR IoT.....	57
Figura 23 – DISPOSITIVO IOT – REGISTRADOR DE CONSUMO.....	58
Figura 24 – ESTRUTURA DA REDE INTRANET – GERALDO + REGICON	59
Figura 25 – BANCO DE DADOS NO SERVIDOR – TABELA “SETUP”	60
Figura 26 – BANCO DE DADOS NO SERVIDOR – TABELA “TESTE 2”	61
Figura 27 – MONTAGEM DO SISTEMA GERALDO–RAMAIS DE CARGAS.....	63
Figura 28 – PAINEL DO INVERSOR OFF-GRID - MEDIÇÕES	64
Figura 29 – SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA BICICLETA ERGOMÉTRICA.....	65
Figura 30 – MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE PARA GERADOR A COMBUSTÃO... ..	66
Figura 31 – MEDIÇÃO DE CORRENTE NAS BATERIAS	66
Figura 32 – MEDIÇÃO DE CORRENTE – ENTRADA CC DO INVERSOR ON GRID	67
Figura 33 – MONTAGEM DO SISTEMA GERALDO NO COPELAB.....	74
Figura 34 – INSERÇÃO DE CHAVES BY-PASS NO QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO.....	75
Figura 35 – MÓDULO ARDUÍNO DE 4 RELÉS E DIAGRAMA ELETRÔNICO.....	76

Figura 36 – TRANSITÓRIO DE “IDA” COM RELÉ.....	77
Figura 37 – TRANSITÓRIO DE “VOLTA” COM RELÉ.....	78
Figura 38 – CIRCUITO INTERNO DO SSR-40DA.....	79
Figura 39 – ATUAÇÃO DO SSR-40DA	79
Figura 40 – DRIVER ELETRONICO DESENVOLVIDO PARA OS SSRs	80
Figura 41 – TRANSITÓRIO DE “IDA” COM SSRs.....	81
Figura 42 - TRANSITÓRIO DE "VOLTA" COM SSRs.....	81
Figura 43 - RUÍDO DO CHAVEAMENTO PWM SOBRE O BARRAMENTO CC.....	82
Figura 44 – MONTAGEM DO SISTEMA GERALDO NA VERSÃO COMPACTA.....	85
Figura 45 – REGICON: REGISTRO DE CONSUMO EM 24 HORAS.....	85
Figura 46 – TELA “MONITOR” INTERFACE HMI	94
Figura 47 – TELA “COMANDO” INTERFACE HMI	95
Figura 48 – TELA ”AJUSTES” INTERFACE HMI.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - DADOS COMPARTILHADOS VIA BANCO DE DADOS (SQL) EM SERVIDOR...	59
Tabela 2 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA – RAMAIS E SUAS CARGAS.....	64
Tabela 3 – LEITURAS REALIZADAS – 02/OUT/2019.....	69
Tabela 4 – TOTALIZAÇÕES DAS LEITURAS REALIZADAS – CASO 1.....	72

LISTA DE SIGLAS

BMS	<i>Battery Manager System</i> , sistema gerenciador de baterias de íons de lítio.
DNS	<i>Domain Name System</i> , sistema hierárquico e distribuído de gestão nomes para computadores, serviços ou qualquer outra máquina conectada a uma rede de dados, associando nomes de domínios a endereços IP numéricos.
FC	Fator de carga.
GD	Geração distribuída.
GERALDO	Acrônimo para “Gerenciador de Armazenamento Local e Demanda Otimizada”, nome do dispositivo criado, escopo desse projeto.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> .
IoT	<i>Internet of Things</i> , Internet das coisas ou conectividade das coisas.
IP	<i>Internet Protocol</i> , número que identifica um dispositivo numa rede de dados.
NBR	Norma Técnica Brasileira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
CA	Corrente alternada.
CC	Corrente contínua.
CC/CA	Conversão de corrente contínua para corrente alternada.
CA/CC	Conversão de corrente alternada para corrente contínua.
PWM	<i>Pulse With Modulation</i> , modulação por largura de pulsos.
mDNS	<i>Multicast DNS</i> , método de descoberta de vizinhos de uma rede de dados, usado em pequenas redes sem servidores DNS próprios.
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i> , rastreamento do ponto de máxima transferência de potência.
VE	Veículo Elétrico.
Wp	Watts pico, potência máxima instantânea.
SCR	<i>Silicon Controlled Rectifier</i> , retificador controlado de silício.
SQL	Linguagem de pesquisa declarativa padrão para banco de dados relacional (base de dados relacional).
TCP/IP	Conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede.
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i> , pertence à família dos tiristores.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
	1.1 CONTEXTO.....	14
	1.2 OBJETIVOS.....	17
	1.3 JUSTIFICATIVA.....	18
	1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
	2.1 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NO CONSUMIDOR FINAL ..	24
	2.2 MICROGERAÇÃO-FONTES RENOVÁVEIS E INTERMITENTES	30
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
4	MATERIAIS E MÉTODO	42
	4.1 MATERIAIS.....	42
	4.1.1 Estrutura de base	42
	4.1.2 Componentes eletrônicos	42
	4.1.3 Softwares	44
	4.1.4 Banco de Dados	45
	4.1.5 Equipamentos.....	45
	4.2 MÉTODO	46
	4.2.1 Estrutura de programação do microcontrolador IoT	54
	4.2.2 Acesso a rede de dados e ao servidor de rede	57
5	APLICAÇÃO DO MÉTODO	63
	5.1 ESTABELECIMENTO COMERCIAL (CASO 1)	63
	5.1.1 Resultados.....	71
	5.2 COPELAB (CASO 2)	74
	5.3 VERSÃO COMPACTA (CASO 3)	84
6	CONCLUSÕES	86
7	TRABALHOS FUTUROS	88
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE 1 – Integração de interface HMI (display touch screen)....	93
	Correção de erro de firmware do HMI	96
	APÊNDICE 2 – Compêndio de medições – CASO 1	97

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A realidade atual do consumo de energia, nas suas mais diversas formas, tem trazido novos desafios, tanto na sua geração, controle e distribuição como no seu uso mais eficiente. Cresce também a importância do uso de fontes renováveis, limpas e ambientalmente favoráveis, porém se trata de fontes intermitentes na sua essência, o que insere desafios ainda maiores para um fornecimento contínuo de energia.

Em todo o mundo muitas alternativas são buscadas, não só para o aumento da geração de energia, como também na sua forma de produção, para a viabilidade de novas fontes, renováveis ou não, sobretudo mais eficientes. Neste cenário, um elemento já há muito conhecido retoma a sua importância e se torna cada vez mais determinante para estes novos desafios: o armazenamento local de energia. Segundo Yixing Xu; Chanan Singh (2015), o setor de energia elétrica está passando por uma transição da rede elétrica convencional existente para uma rede inteligente mais confiável, eficiente e segura. Para atingir esses objetivos, componentes como armazenamento de energia serão incluídos e ampliados para grandes escalas. Os principais benefícios do armazenamento de energia incluem mudança de horário de alto consumo de energia elétrica, regulação de frequência e alívio de congestionamento de transmissão.

Energia elétrica armazenada em acumuladores é uma ferramenta essencial tanto para um suprimento contínuo, compensando a intermitência de uma microgeração local ou distribuída com fontes renováveis, como para o suprimento de energia em falhas eventuais de fornecimento da rede elétrica concessionária. Nos sistemas de Geração Distribuída (GD), o armazenamento suaviza as variações de geração inerentes a sistemas que se utilizam de fontes renováveis. Conforme afirmam Anurag K. Srivastava; Aarthi A. Kumar; Noel N. Schulz (2012), os dispositivos de armazenamento de energia têm um impacto positivo sobre a instabilidade transitória nas GDs.

Por sua vez, o gerenciamento da demanda das cargas consumidoras, em um ambiente onde o custo monetário da energia fornecida em redes concessionárias vem se estratificando na linha do tempo, traz grande eficiência ao consumo de toda a energia disponibilizada, tanto pela rede elétrica local como pela acumulada. Assim,

uma tabela de custos conforme a hora do dia, como a apresentada pela Tarifa Branca introduzida no Brasil no início de 2018, permite um consumo mais inteligente e eficiente através do uso de acumuladores, carregando-os nas horas de menor custo e utilizando-os nas horas de maior custo, com benefícios para os dois lados da rede elétrica, o provedor/distribuidor e o consumidor. Codemo; Erseghe; Zanella, (2013) afirmam que o uso de baterias de grande porte nas instalações dos usuários finais pode reduzir o custo médio do fornecimento de energia com esse tipo de procedimento, mostrando que a capacidade das baterias tem um impacto direto e bastante linear nessa redução de custos.

Um sistema de acumulação local de energia elétrica, que garante o suprimento em momentos de eventuais falhas no fornecimento local, normalmente é dimensionado para suprir às cargas consumidoras por um determinado período, classificadas como essenciais, porém, intrinsecamente faz a compensação da intermitência da microgeração, se esta estiver presente. Torna-se também um elemento aglutinador de variadas fontes de energia intermitente e, concomitantemente, a própria rede elétrica local, que pode ser solicitada nos seus momentos de menor custo para a complementação de carga do armazenamento.

Importante lembrar que esse tipo de consumidor (chamado de *prosumer*, ou prosumidor, produtor e consumidor), torna-se também um armazenador, mitigando novos investimentos das concessionárias de energia na ampliação de seus sistemas de geração e distribuição, melhorando o Fator de Carga¹ de suas instalações.

Outro elemento que retoma a sua importância hoje é a microgeração, que pode operar integrado à uma rede local de energia ou não. Como se vislumbra um cenário de esgotamento dos recursos naturais energéticos disponíveis e as fontes naturais existentes estão cada vez mais distantes dos centros de consumo, essa microgeração, próxima ou mesmo situada na própria ponta consumidora, tem se tornado cada vez mais importante e uma boa alternativa para enfrentar o consumo crescente por energia no futuro próximo.

A microgeração é também a porta de acesso à produção de energia limpa e renovável, seja solar fotovoltaica, eólica ou ainda outras formas. Uma delas, a que se pretende incluir aqui, pode ser denominada de energia *fitness* (*Energy Generating Fitness Equipment*). Movimentos cíclicos de alguns exercícios corporais físicos, como

¹ Esse fator será mais detalhado na seção 2.2 deste trabalho.

se vê praticados em academias de ginástica, podem ser transformados em energia elétrica. O trabalho apresentado por M. Karthik; S. Yegaopan; S. Dhanush; S. Srinith; K. Vishnuram (2018), detalha o uso desse tipo de energia e afirmam que existe um potencial inexplorado em aproveitar a eletricidade a partir da força humana nas academias de ginástica. Embora não seja ideal em termos de custos do ciclo de vida, existem regiões promissoras de aplicação da eletricidade advinda do esforço físico humano, nas quais a energia elétrica não está disponível ou possui um alto custo.

No caso experimental a ser apresentado aqui, isso foi desenvolvido através da troca do freio eletromagnético de uma bicicleta ergométrica por um pequeno gerador CC (corrente contínua), agindo de forma semelhante aos freios regenerativos de um carro elétrico. Essa geração foi então integrada ao armazenamento local, juntamente com as fontes intermitentes solar, eólica, à combustão e outras.

O consumo dessa energia, como é de se esperar, não deve estar limitado a essa intermitência, típica da sua produção, deve-se considerar então o seu armazenamento como um fator importante ao processo de seu gerenciamento, além do controle da sua produção e distribuição.

A baixa previsibilidade da contribuição dessas fontes intermitentes de energia exige novos modelos de simulação de sistemas conectados e novos critérios de operação do parque gerador e sobretudo importantes custos de provisão de reserva, por exemplo, o armazenamento. Segundo J. Skea; D. Anderson; T. Green; R. Gross; P. Heptonstall; M. Leach, (2008), os principais problemas são a diferença, em termos estatísticos, entre a disponibilidade de recursos da fonte intermitente e a geração convencional, além da contribuição que a fonte intermitente pode fazer para atender ao pico de demanda do sistema, mantendo a sua confiabilidade.

Portanto, um gerenciamento do armazenamento e demanda pode diminuir esse custo, pois diminui a injeção de energia na rede elétrica local, uma vez que ela é direcionada primeiro ao consumo e armazenamento e somente o excedente é direcionado à esta rede.

Esse armazenamento, associado a um gerenciamento local, com conectividade de dados compartilhada em uma ampla rede possibilita uma forma de gestão de energia, tornando-se uma ferramenta para o ecossistema *Smart Grid*. Uma das maneiras de se implementar essa conectividade é a disponibilizada por

dispositivos IoT² (Internet das Coisas), pelo seu baixo custo e pelo uso de infraestruturas de rede de dados já existentes e consolidadas. Esses dispositivos basicamente utilizam estruturas de rede de dados próximas para enviar leituras realizadas por seus sensores e receber comandos de controle para atuar sobre seus sistemas operativos. Min Wey, Seung Ho Hong e Musharraf Alam (2015) descrevem em seu artigo uma plataforma de gerenciamento de energia baseada em IoT em um modelo de informações e protocolos abertos, que aproveita as redes de fornecimento de energia para implantar o gerenciamento de resposta à demanda em uma instalação industrial.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é construir e avaliar um sistema denominado Gerenciador de Armazenamento Local e Demanda Otimizada (“GERALDO”) de energia elétrica em um consumidor final, com o uso de um dispositivo microcontrolador programável com funcionalidades IoT, em um hardware WiFi associado, possibilitando o acesso a um banco de dados via protocolo internet ipv4, viabilizando sua monitoração e controle.

Os objetivos específicos da presente dissertação são:

- Projetar e construir um controle eletrônico com o uso de microcontrolador programável com estrutura WiFi incluída, de baixo custo, para o gerenciamento do armazenamento local de energia elétrica, considerando a demanda de cargas consumidoras, o controle da profundidade de descarga do banco de baterias e a injeção de excedente para a rede elétrica local, havendo ou não a presença de uma microgeração local, seja ela intermitente, renovável ou não. Este microcontrolador, por definição, é um chip (circuito integrado) de um computador dedicado (SoC – *System on a Chip*), com processador, memória e periféricos embutidos, capaz de executar processos específicos definidos por uma programação inserida em sua memória.

² **IoT:** *Internet of Things*, internet das coisas, ou ainda conectividade das coisas, trata-se de uma rede de dispositivos dotados de tecnologia embarcada, capaz de receber, coletar e emitir dados pela Internet.

- Através da conectividade viabilizada pelos dispositivos IoT, via WiFi utilizando protocolo ipv4, escolhido aqui pelo seu baixo custo, desenvolver um controle inteligente, de simples implantação, com alta capacidade de gerenciamento e possibilidades de associações ou ampliações pelo acesso a um banco de dados num servidor de rede, com suficiente nível de segurança;
- Testar e validar os resultados obtidos em termos de economia de energia e autonomia da unidade consumidora, bem como incluir outros possíveis resultados alcançados, através de estudo de casos.

1.3 JUSTIFICATIVA

O crescimento da importância do armazenamento local ou distribuído de energia elétrica, conectado em *microgrids*³, torna fundamental a implementação de uma inteligência eletrônica na gestão de energia, controlando ciclos integrados de geração, armazenamento e demanda. Dobrescu, R.; Stefan Mocanu; Mihai Craciunescu e Anghel, M. (2018) consideram os serviços de Geração e o Armazenamento Distribuídos como Recursos Distribuídos de Energia, formando um sistema de distribuição ativo de energia, alimentado por múltiplas fontes.

Assim, um sistema *microgrid* seria, no futuro, formado por fontes renováveis e não renováveis, com um armazenamento associado, tendo seu controle estratificado em dois níveis: em baixo nível seriam os controles de tensão, corrente e frequência, implementado em geral por uma interface eletrônica de potência. Em alto nível seriam estratégias de gerenciamento para alcançar metas de eficiência a médio e longo prazos, implementado por uma conectividade a uma rede de dados por funcionalidades IoT.

O gerenciamento de carga ideal e o armazenamento de energia elétrica adicionado a uma microgeração local são as opções mais eficazes nos benefícios potenciais trazidos por unidades descentralizadas de energia, segundo E. Georges; J. E. Braun e V. Lemort (2016). No entanto, segundo esse mesmo estudo, a economia de custos para a concessionária implicada por uma grande taxa de penetração de produção descentralizada é frequentemente menor do que o custo de compensar essa

³ **Microgrids:** Rede de pequenos geradores de energia elétrica conectados de forma sincronizada a uma geração principal.

produção excedente e, dessa forma, o modelo de mercado para painéis fotovoltaicos caminha para tarifas de revenda menos atraentes (Comissão Europeia, 2015).

Nesse contexto, o gerenciamento ideal de carga consumidora para o usuário final pode diferir à medida que os programas de medição líquida, que resultam nos créditos de energia quando excedentes são injetado na rede elétrica local, evoluem. Na abordagem descentralizada, para alcançar paridade de rede sob condições econômicas menos atraentes, o objetivo para o usuário final não é mais maximizar o excedente de eletricidade entregue à rede, mas maximizar seu autoconsumo.

Diferentemente dos conhecidos sistemas chamados híbridos, o gerenciamento da demanda aqui proposto viabiliza sua implantação prática no consumidor final, residencial ou comercial, sem que seja necessário que a potência instalada da microgeração, bem como o armazenamento, sejam a mesma do consumo total no local. Basta que sejam dimensionados somente para as cargas que seriam eleitas como essenciais, deixando as demais fora do sistema.

Dessa forma, pode-se programar quais ramais de demanda devem receber energia provida pelo armazenamento numa situação de falha de fornecimento na rede elétrica local e quais ficariam de fora desse provimento.

A inserção dessa inteligência no local do consumo com conectividade a um servidor de rede de dados abre importantes perspectivas de macrocontrole e supervisão de um sistema de distribuição de energia em um ambiente *Smart Grid*. Por exemplo, ao se redirecionar fluxos de energia entre redes através do controle estratificado da profundidade de descarga das baterias e de escolha entre fontes (rede local e armazenamento) para as demandas internas de consumo de energia.

Portanto, dentro do ambiente *Smart Grid*, obtém-se uma solução possível via IoT para um gerenciamento amplo da energia elétrica gerada, armazenada e consumida em cada *prosumer* ou prosumidor, elemento produtor/consumidor de energia, fazendo uso de uma rede de dados TCP/IP já presente, acessando o WiFi local, dispondo dessa forma para um servidor de rede de dados todas as funcionalidades de coleta e controle de informações.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação será apresentada começando por sua fundamentação teórica, percorrendo tópicos de serviços de energia, intermitência da geração por fontes renováveis, autonomia parcial e geração distribuída. Em seguida será tratado o armazenamento de energia elétrica no consumidor final, seus benefícios e, em especial, o benefício da conectividade de dados sobre este armazenamento distribuído.

Apresenta-se, na sequência, algumas formas básicas do uso de uma microgeração local e suas trocas de energia com a rede elétrica local, destacando-se a forma denominada de semiautônoma. Na revisão da literatura, cita-se alguns trabalhos de diversos autores que fundamentam esta apresentação. Logo depois, lista-se os materiais e métodos pretendidos aqui para se realizar o gerenciamento do armazenamento e da demanda, a conectividade IoT a um servidor de rede de dados e a estrutura de programação utilizada para o microcontrolador.

Por fim, descreve-se toda a aplicação do método proposto, seu projeto, estrutura e montagens em dois estudos de caso, o primeiro em um estabelecimento comercial e o segundo no COPELAB, laboratório montado em um contêiner, seguida das conclusões e proposta de trabalhos futuros.

No Apêndice 1 se tem o detalhamento da integração de uma interface HMI (*Human-Machine Interface*) viabilizada por um display *touch screen* e no Apêndice 2 todo o compêndio de dados levantados em uma rotina de medições diárias realizadas durante um mês de teste do sistema GERALDO instalado no estabelecimento comercial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O armazenamento de energia elétrica pode ser qualificado como um serviço de energia aplicável em qualquer ponto de um sistema elétrico, desde a geração, transmissão, distribuição e ao consumidor final. Os serviços prestados em geral se destinam a fazer compensações de energia, eliminar ou pelo menos diminuir as intermitências de alguma geração distribuída e suprir energia ao usuário nos momentos de falhas de fornecimento. Porém, conforme o caso, o porte e a manutenção de um sistema de armazenamento, a sua viabilidade fica comprometida frente aos resultados de sua operação.

Narimani, Mohammad Rasoul; Asghari, Babak e Sharma Ratnesh (2017), propõem estratégias ótimas para o controle de sistemas de armazenamento de energia, distribuídos para diminuir o custo de carga demandada e aumentar a utilização fotovoltaica local para edifícios comerciais e industriais. A redução do custo de carga demandada tem um impacto direto na fatura de eletricidade do cliente, enquanto o aumento da utilização local de energia fotovoltaica pode ajudar na eficiência dos sistemas de distribuição. Apresentam métodos de otimização, baseados em um modelo para cada objetivo individual. Além disso, uma estratégia ampla de controle também foi implementada e estudada para mostrar a possibilidade de associar ambos os serviços em um único sistema de armazenamento.

A intermitência intrínseca dos pequenos sistemas de geração (microgeração) conectados à rede elétrica, especialmente as advindas de fontes renováveis, é normalmente compensada por esta rede, porém a proliferação e o aumento dessa microgeração podem testar os limites de estabilidade dessa rede, dependendo de suas características e seu porte.

Dessa forma, a compensação de energia dada por um sistema de armazenamento torna-se uma ferramenta importante frente a proliferação dos sistemas de geração distribuída (GD), em especial se houver uma inteligência embutida, compartilhada entre controle local desse armazenamento e um servidor de rede de dados a ele conectado.

Conforme Shahzad Khan, Devashish Paul, Parham Momtahan e Moayad Aloqaily (2018), *microgrids* são opções potencialmente poderosas no desenvolvimento de cidades inteligentes. Assim, examinam os fatores que levam à adoção de microrredes nas redes elétricas tradicionais, discute os benefícios que

impulsionam este crescimento, identifica alguns problemas que impedem a captura de benefícios da geração distribuída dentro de microrredes e fornece uma estrutura para esta geração. Sugerem a aplicação de Inteligência Artificial (IA) para superar esses e outros desafios, abordam ainda a computação periférica nessas redes com o uso de dispositivos IoT para otimizar o gerenciamento em microrredes desde o nível residencial, no bairro, comunidade e empresas. Destacam ainda que os sistemas convencionais de energia estão passando por uma transformação radical, devido à crescente demanda em todo o mundo, como também a urgência de reduzir as emissões de carbono. Ambas as metas podem ser alcançadas incorporando mais geração de energia renovável à rede e alavancando tecnologias inovadoras de informação e comunicação de redes inteligentes.

Normalmente, um serviço de energia implica em um volume mínimo de armazenamento necessário para fornecer energia de forma relevante. Assim, isso significa ainda que mais armazenamento deve ser adicionado ao valor médio de consumo, para suprir a energia solicitada por um tempo maior. Quando o projetista dimensiona o sistema de armazenamento com baterias, ele deve escolher a sua capacidade em termos de energia nominal armazenada. Para cada tecnologia, um dado valor de energia nominal corresponde a uma potência máxima que pode ser trocada. Dependendo das diferentes aplicações possíveis, o uso de sistemas de armazenamento integrados ou propositadamente instalados permite ao usuário da rede melhorar seu próprio desempenho, tanto no lado econômico e de eficiência energética quanto em termos de serviços à rede elétrica. Embora apenas parcialmente reconhecido, cada serviço tem seu próprio valor o que, em vários casos, remunera integralmente o investimento da instalação de um sistema de armazenamento de tamanho adequado.

Num sentido mais prático, Ajao, Adetokunbo; Luo, Jingwei; Liang, Zheming; Alsafasfeh, Qais H.; Su, Wencong, (2017), reportam um sistema inteligente de gestão de energia doméstica, integrado com cargas despacháveis (como lavadoras e secadoras), geradores renováveis distribuídos (por exemplo, painéis fotovoltaicos) e dispositivos distribuídos de armazenamento de energia (banco de baterias e/ou veículos elétricos *plug-in*). Com o objetivo de reduzir os custos operacionais totais e as emissões de carbono para uma futura casa residencial, procuram também satisfazer os níveis de conforto dos usuários finais. Modelam uma grande variedade de eletrodomésticos e formulam o problema de operação econômica, usando

programação linear inteira mista. Realizam ainda estudos de caso para validar e demonstrar a eficácia do algoritmo de solução proposto. Os resultados da simulação mostram o impacto positivo do gerenciamento de cargas não essenciais, geradores renováveis distribuídos e dispositivos de armazenamento de energia distribuído.

A Internet das Coisas (IoT), termo criado por Kevin Ashton, conecta dispositivos, tais como sensores e servomecanismos, à rede de dados, permitindo que se obtenha medições, análise de dados e reações de controle, como acionamentos ou ajustes graduais, a despeito da distância em que esses dispositivos se encontram. Por outras palavras, a internet das coisas nada mais é que uma rede de objetos físicos (veículos, prédios e outros dotados de tecnologia embarcada, sensores e conexão com a rede) capaz de reunir e de transmitir dados.

A tecnologia Wi-Fi, abreviação de *Wireless Fidelity*, é muito utilizada em dispositivos IoT. Permite uma comunicação de dados sem cabos ou fios, através de frequências de rádio para isso. Com um equipamento chamado Roteador Wi-Fi (*Wi-Fi router*) ou *hotspot*, permite-se que dispositivos móveis, como celulares, acessem uma rede de dados estruturada sem a necessidade de conexões físicas.

IPv4 é a quarta versão do protocolo de interconexões de redes na Internet. Responsável atual pela maior parte dos roteamentos de tráfego na Internet, apesar de protocolos mais atuais já serem implementados, como o IPv6. O IPv4 utiliza endereços de 32 bits, o que dá uma certa limitação para o espaço de endereços em 2^{32} ou 4.294.967.296 endereços.

Dessa forma, os trabalhos reportados aqui permitem vislumbrar que a inclusão do armazenamento distribuído, associado a um gerenciamento compartilhado no próprio local, com uma inteligência implementada num servidor de rede de dados, forma um conceito para o método e sua aplicação que serão apresentados aqui, nesse trabalho. Essencialmente, trata-se de um controle da demanda de energia elétrica como forma de gestão do armazenamento local, este suprido pela rede distribuidora de energia em seus períodos de menor custo, concomitante com alguma microgeração conectada ao armazenamento e eventualmente injetando seu excedente de energia gerado à esta própria rede distribuidora.

2.1 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CONSUMIDOR FINAL

Trazer para um *prosumer* ou prosumidor um sistema viável de armazenamento de energia, tirando da rede concessionária esse papel, mesmo de forma parcial ou total, acrescenta ganhos para ambos, pois este prosumidor, além de dispor de economia e alguma autonomia, pode ajudar a rede elétrica local em momentos de sobrecarga, utilizando-se da energia gerada e armazenada. Se houver uma geração local com excedente de energia no momento, pode injetá-lo nesta rede elétrica. Comercialmente, pode-se estar falando de um sistema híbrido, porém uma gestão autônoma ou sistematizada da demanda, além da conectividade de dados que expande essa gestão em um servidor de rede, o torna algo mais amplo do que isso.

De um modo geral, o armazenamento instalado no consumidor permite tanto concentrar energia intermitente gerada (e eventualmente complementada pela rede elétrica local), como distribuí-la à demanda consumidora de uma forma mais contínua, não dispensando completamente a rede elétrica disponível.

Percebe-se, conforme justificado acima, a necessidade de implementação de uma inteligência a esse armazenamento. Além do seu próprio monitoramento, decisões de gestão dessa energia armazenada podem ser tomadas por dispositivos microcontroladores, adicionando ou retirando cargas demandadas, acionando uma recarga em determinados momentos, complementando assim uma microgeração local, se houver.

2.1.1 ARMAZENAMENTO POR BANCO DE BATERIAS

Existem muitos tipos de baterias acumuladoras de eletricidade, sendo as baterias de chumbo-ácido as mais conhecidas e utilizadas. Essas baterias podem ser de ácido na forma líquida ou em gel, como também ser de montagem selada ou aberta.

As baterias seladas não requerem a adição de água. Uma alternativa às baterias de chumbo-ácido são as de níquel-cádmio ou níquel-metal-hidreto.

As baterias de níquel são mais caras, porém são mais duráveis e podem ser mais adequadas em algumas aplicações remotas, onde existe dificuldade para manutenção e de acesso. Nesse caso são vantajosas e seu investimento é compensado pela redução dos custos de manutenção dos sistemas.

As baterias chumbo-ácido são as mais difundidas no mercado devido ao seu reduzido custo relativo. São as mais empregadas nos sistemas fotovoltaicos autônomos e semiautônomos no momento. Tem-se uma ilustração na Figura 1.

FIGURA 1 - BATERIA ESTACIONÁRIA DE CHUMBO ÁCIDO COM ELETRÓLITO LÍQUIDO



FONTE: Dio Real Skills – Learn and share real skills and knowledge (2012)

A bateria de chumbo-ácido estacionária tem aspecto semelhante ao de uma bateria automotiva, porém há importantes diferenças técnicas entre esses dois tipos. Nas aplicações fotovoltaicas não se recomenda o uso de baterias automotivas convencionais, pois essas aplicações exigem o uso de baterias que aceitem ciclos diários de descarga profunda, como as tracionárias, por exemplo. A bateria automotiva foi projetada para oferecer grande intensidade de corrente elétrica por um curto período. Sofre rápidas descargas durante o acionamento do motor de arranque do veículo, porém essas não são descargas profundas, representam cerca de 10% de queda da carga armazenada.

A bateria de chumbo-ácido de eletrólito líquido é construída com placas de chumbo mergulhadas em uma solução ácida. A energia é inserida na bateria e dela retirada através de reações químicas do chumbo com o ácido sulfúrico. Para poder fornecer uma grande intensidade de corrente, a bateria automotiva é construída com placas metálicas finas, aumentando sua área de superfície. Uma superfície grande é necessária para permitir rápidas reações químicas, quando a descarga da bateria é solicitada. No uso automotivo a descarga ocorre com pouca frequência e as placas são pouco utilizadas. Se forem usadas para fornecer corrente durante um longo período, essas placas tendem a deslocar-se devido às forças mecânicas produzidas pela passagem da corrente e a bateria é então danificada. Essa descarga profunda

nesse tipo de bateria provoca um processo químico chamado *sulfatação*⁴, que acarretará num envelhecimento precoce, encurtando sua vida útil.

Em seu site, o fabricante de baterias TUDOR explica:

A sulfatação das placas positivas de uma bateria é um fenômeno natural devido à descarga da mesma. Só é considerado como defeito quando por ocasião da carga da bateria o sulfato de chumbo não se transforma em matéria ativa, ou seja, o elemento não se carrega.

Quando a sulfatação é muito intensa a bateria perde parte ou mesmo toda a sua capacidade. Então, fica caracterizado o defeito, que pode ser causado por vários problemas:

- Descargas profundas, com recargas incompletas ou longo tempo sem recarga.
- Cargas sistematicamente incompletas.
- Bateria semi-carregada ou descarregada durante um tempo prolongado.
- Baixo nível do eletrólito.

Podemos conhecer uma bateria com placas sulfatadas (placas duras) pelos seguintes dados:

- Diminuição da capacidade.
- Diminuição da densidade.
- Baixa reação química nos vasos sulfatados durante recargas, com aquecimento excessivo.
- Coloração anormal das placas, com manchas brancas.

(TUDOR BATERIAS, 2017).

Em contrapartida, uma bateria estacionária possui placas metálicas mais grossas, sendo projetada para fornecer correntes constantes por longo tempo. Ela pode oferecer altas correntes quando necessário, mas foi projetada para fornecer correntes de valores menores durante o uso normal em tempo prolongado, como em um sistema fotovoltaico autônomo, por exemplo. Uma bateria estacionária é projetada para ser descarregada completamente algumas poucas vezes, o que ocorre especialmente no uso em *No-Breaks* ou sistemas UPS (unidade de alimentação ininterrupta).

A bateria estacionária é projetada para trabalhar imóvel em sistemas de alimentação de emergência, sistemas UPS (*Uninterruptible Power Supply*) terrestres e outros. Para o seu uso em sistemas fotovoltaicos é necessária uma fabricação diferenciada que suporte ciclos diários de descarga profunda, por isso, algumas baterias vêm com especificação de baterias estacionárias para uso solar ou baterias estacionárias para uso em sistemas fotovoltaicos.

⁴ **Sulfatação:** Sais derivados do ácido sulfúrico que formam grandes placas cristalinas na superfície nas placas metálicas de uma bateria, diminuindo sua eficiência no armazenamento.

A bateria de chumbo-ácido com eletrólito em gel é uma versão melhorada da bateria de chumbo ácido com eletrólito líquido. Suas principais vantagens são a maior vida útil, com um maior número de ciclos de carga e descarga e a possibilidade de ser usada em locais pouco ventilados, pois não libera gases durante seu funcionamento normal.

A bateria de gel é equipada com uma válvula de segurança que permite a liberação de gases na ocorrência de sobrecargas. A presença dessa válvula faz com que a bateria de gel seja conhecida pela sigla VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*).

Esse tipo de bateria requer um controlador de carga adequado às suas características, pois é altamente sensível a sobrecargas. A tensão de corte da carga deve ser rigorosamente mantida para que não ocorra a liberação de gases por sobretensão. Devido à selagem desta bateria, não é possível verificar o seu nível de carga através da medição da concentração do ácido (densidade do eletrólito).

A bateria AGM (*Absorbed Glass Mat*) é um tipo avançado de bateria VRLA. Suas características são parecidas com as das baterias ácidas VRLA de gel e sua maior vantagem é permitir ciclos de descarga mais profundos do que as convencionais, projetadas para suportar um número maior de ciclos de carga e descarga. É uma bateria de alto custo e pouco encontrada no mercado, em comparação com as de chumbo-ácido.

As baterias de chumbo ácido estacionárias são consideradas de ciclo profundo, enquanto as baterias automotivas não devem sofrer descargas profundas para não comprometer sua vida útil, as estacionárias de ciclo profundo permitem tais descargas. Outras, especialmente versões industriais, mais robustas, permitem uma profundidade de descarga ainda maiores, sem perder sua capacidade. Os termos “estacionária” e “ciclo profundo” normalmente se confundem quando nos referimos às baterias de chumbo-ácido que possuem essas características. Embora essas denominações tenham significados diferentes, uma bateria estacionária de chumbo-ácido quase sempre é também uma bateria que aceita descargas profundas, recebendo a classificação de bateria de ciclo profundo.

As baterias de íons de lítio possuem altas densidades de energia quando comparadas às de chumbo-ácido e outras. Por isso, são muito utilizadas em sistemas móveis ou equipamentos portáteis, como celulares, *tablets* e *notebooks*. Utilizada em grande escala pela primeira vez em 1991 pela Sony Corporation, possuem um alto número de ciclos de carga e descarga e não apresentam o chamado “efeito memória”

que comprometiam os processos de recarga das outras baterias portáteis. Possuem diversas composições alternativas de materiais associados e são atualmente a mais utilizada forma de armazenamento em veículos elétricos (VEs). O baixo custo da implementação de uma eletrônica de controle de carga nessas baterias (BMS – *Battery Management System*) as viabilizou e propiciou a segurança necessária para a sua utilização em larga escala, como em praticamente qualquer dispositivo móvel hoje em dia, como os celulares e *smartphones*. Controladores de Carga para baterias de lítio em sistemas fotovoltaicos já se tornaram comuns hoje no mercado especializado.

As baterias de sódio são baterias de sal fundido do tipo sódio-cloreto de níquel (NaNiCl_2), possuem elevada densidade de energia (796Wh/kg), suportando cerca de 3000 a 7000 ciclos de carga, dentro de uma alta faixa de temperatura de operação. Mais caras e mais leves que as de chumbo-ácido, já são produzidas comercialmente, o que deve baixar gradativamente o seu custo.

2.1.2 ASSOCIAÇÃO DE BATERIAS

A associação de baterias em série permite obter tensões maiores e a associação em paralelo permite fornecer correntes maiores. A Figura 2 ilustra estes modos de conexão das baterias para a constituição de bancos.

FIGURA 2 - MODOS DE CONEXÃO DAS BATERIAS PARA CONSTITUIÇÃO DE BANCOS



FONTE: MPPT Solar (2019)

Na conexão em série a tensão do banco é a soma das tensões de cada bateria, mas a corrente do conjunto é a mesma fornecida por uma única bateria. Normalmente as baterias encontradas no mercado têm tensões de 12V, 24V e 48V.

Um banco de 48 V e 100 Ah, por exemplo, pode ser constituído de uma única bateria de 48 V e 100 Ah ou por quatro baterias de 12 V e 100 Ah, ligadas em série.

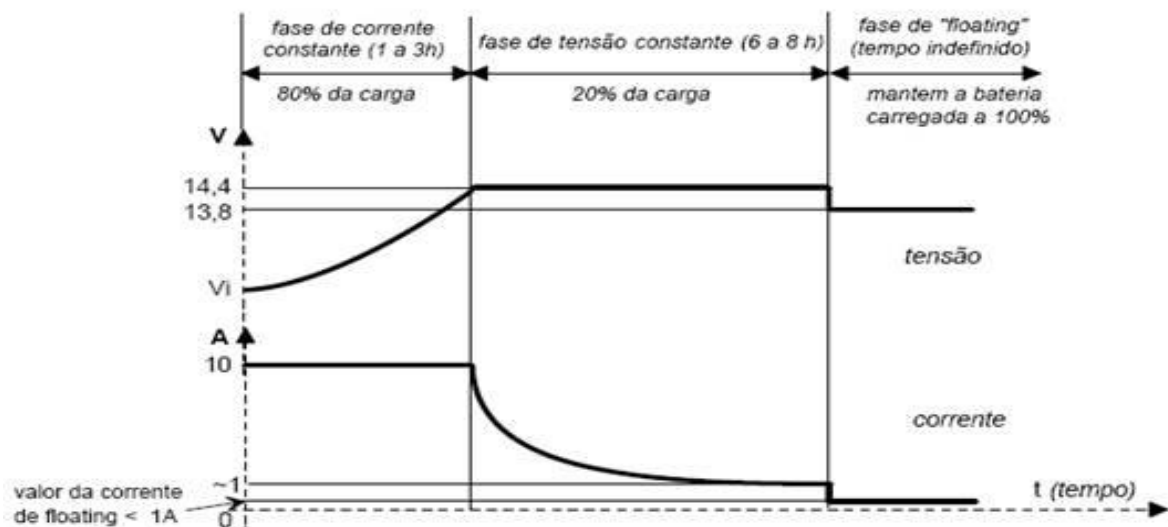
Na conexão de baterias em paralelo, a tensão do banco é a mesma tensão de uma bateria individual, mas as correntes são somadas. Esse tipo de conexão é empregado para proporcionar correntes maiores, mantendo-se a tensão de uma única bateria.

Para aumentar simultaneamente a tensão e a capacidade de corrente como também o armazenamento de carga nos bancos, pode-se realizar a conexão de baterias em série e paralelo. Primeiramente são agregadas as baterias em série para obter tensões maiores e posteriormente se acrescentam conjuntos em paralelo para proporcionar maior corrente de saída e elevar a capacidade de armazenamento de carga.

2.1.3 CICLO DE CARGA DAS BATERIAS

Em geral as baterias devem ser carregadas e mantidas seguindo um comportamento dado pelas curvas de tensão e corrente mostrados na Figura 3, exibindo três fases distintas: o carregamento com corrente constante, o carregamento com tensão constante, onde a corrente cai acentuadamente e, por fim, a fase de flutuação, com corrente de carga muito baixa, que repõe a perda natural da bateria para manter sua carga.

FIGURA 3 – CURVA TÍPICA DE CARGA DE UMA BATERIA

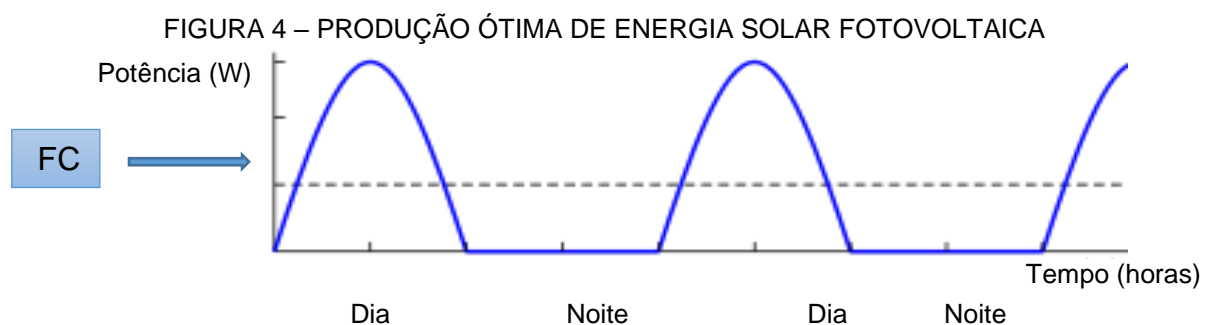


2.2 MICROGERAÇÃO POR FONTES RENOVÁVEIS E INTERMITENTES

Fontes renováveis de energia são tipicamente intermitentes, pois a conversão de energia acontece sob fenômenos naturais intermitentes. Importante destacar que algumas dessas fontes são mais viáveis se instaladas de forma concentrada, formando grandes usinas e outras para uma forma de geração distribuída, de porte menor, porém espalhadas pela rede elétrica. Isso depende, é claro, do bioma natural o qual estão inseridas. O conceito de intermitência pode ser ampliado mesmo a grandes usinas hidráulicas ou térmicas, uma vez que os insumos necessários podem ser fornecidos a essas usinas de forma inconstante, devido a sazonalidades, por exemplo. Algumas dessas fontes de energia limpa vêm se destacando mais em tempos recentes pelo seu custo decrescente, aumentando a sua viabilidade. A seguir, destaca-se alguns elementos de microgeração solar, eólica e “fitness”, utilizados na Aplicação do Método, além da própria energia elétrica disponibilizada pelas redes concessionárias locais, que atuam de forma complementar.

2.2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A fonte intermitente de maior vocação para uma geração distribuída é a solar fotovoltaica, que normalmente produz energia em dias de sol, sem nebulosidades, como apresentado no Figura 4.



FONTE: O autor (2018).

A linha pontilhada de FATOR DE CARGA (FC), é estabelecida como a linha para um consumo constante de energia. O principal desafio apresentado pelas fontes intermitentes de energia renovável é a eficiência dada pela potência consumida e a

potência instalada. Hinrichs, Kleinbach e Reis (2012, p. 91) descrevem essa eficiência de um processo de conversão de energia como:

$$\eta = \frac{E_{\text{util}}}{E_{\text{total}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Onde E_{util} = energia ou trabalho útil produzido

E_{total} = entrada total de energia

Esse fator de carga só pode ser mantido constante se houver alguma capacidade de armazenamento associada à geração intermitente.

Um sistema fotovoltaico é geralmente composto de um painel ou um conjunto de painéis fotovoltaicos, um controlador de carga, uma bateria ou um banco de baterias e, conforme a aplicação, um conversor de corrente contínua para corrente alternada (CC/CA), comumente chamado de Inversor.

Os módulos fotovoltaicos produzem energia na forma de corrente contínua (CC). Para algumas aplicações é necessário converter essa energia em corrente alternada (CA), através do Inversor.

Em aplicações que requerem baterias, deve ser empregado um Controlador de Carga, que é um carregador de baterias específico para aplicações fotovoltaicas.

O controlador de carga é usado para regular a carga da bateria e prolongar sua vida útil, protegendo-a de sobrecargas ou descargas excessivas. Modelos atuais de controladores têm a função de maximizar a produção de energia do painel fotovoltaico, através do recurso denominado MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – rastreamento do ponto de máxima potência).

Os sistemas fotovoltaicos com baterias devem obrigatoriamente empregar um controlador ou regulador de carga. É o dispositivo que faz a correta conexão elétrica entre o painel fotovoltaico e a bateria, permitindo que as baterias sejam carregadas adequadamente.

Alguns modelos de controladores de carga disponibilizam uma entrada para se conectar um sensor de temperatura, preso ao corpo da bateria, onde se faz compensações de carga conforme essa temperatura no momento, alterando alguns parâmetros importantes em função da mudança da resistência elétrica interna da bateria em função dessa temperatura, entre outros.

Os controladores de carga PWM (*Pulse Width Modulation* – modulação de largura de pulsos) possuem circuitos eletrônicos que fazem um controle preciso das correntes de carga da bateria. Esses controladores têm um microprocessador em seu circuito de controle que controla a largura dos impulsos de corrente aplicados à bateria e são capazes de realizar o carregamento através de um algoritmo que respeita o perfil de carga de três estágios apresentados na Figura 3 acima, caracterizando assim esses estágios como de carga pesada, absorção e flutuação.

Os controladores eletrônicos do tipo PWM têm a vantagem de maximizar o uso da bateria e prolongar sua vida útil, através do recurso de carregamento otimizado. Executam as mesmas funções dos controladores convencionais encontrados em automóveis, protegendo a bateria contra sobrecarga ou descarga excessiva, através do fechamento ou abertura das chaves, de acordo com a tensão observada nos terminais da bateria. Tem-se um exemplo desse tipo de equipamento na Figura 5.

FIGURA 5 - CONTROLADOR DE CARGA ELETRÔNICO TIPO PWM



FONTE: Victron Energy – Blue Power (2018)

Os controladores de carga MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – rastreamento do ponto de máxima potência) são os mais utilizados atualmente. Além de possuírem circuitos eletrônicos de chaveamento por PWM, que possibilitam otimizar o processo de carregamento da bateria, ainda possuem o recurso MPPT, que faz o módulo fotovoltaico operar sempre em seu ponto de máxima transferência de potência, qualquer que seja a condição de radiação solar ou temperatura de trabalho do módulo.

Tem-se a seguir um exemplo desse controlador de carga MPPT mostrado na Figura 6.

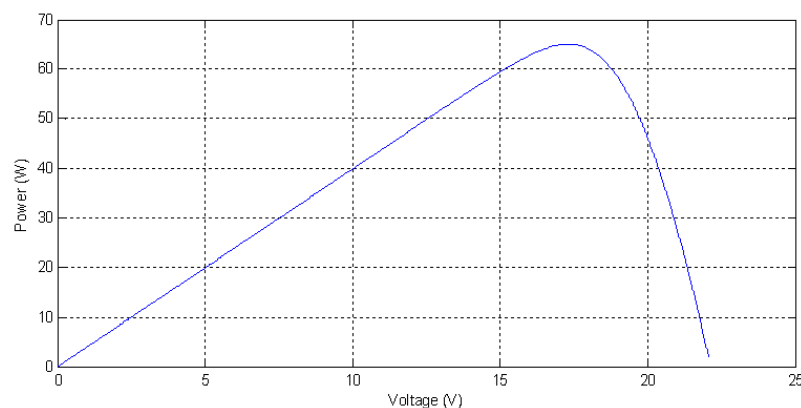
FIGURA 6 - CONTROLADOR DE CARGA ELETRÔNICO, TIPO MPPT



FONTE: Victron Energy – Blue Power (2018)

Quando o módulo está conectado ao sistema, uma tensão sobre a bateria de 12V, por exemplo, é imposta a ele. Dessa forma a operação do painel fotovoltaico pode variar na faixa de tensão de aproximadamente 10V a 15V, de acordo com a insolação e a condição da bateria. Como se sabe, a potência fornecida pelo painel depende do seu valor de tensão respeitando a sua curva característica P – V (potência e tensão). Existe, portanto, somente um valor de tensão no qual a potência do painel é máxima, como se mostra no Figura 7. Na condição ideal deve-se fazer o sistema fotovoltaico operar nesse ponto. O controlador MPPT permite isso, pois seu circuito eletrônico de dois estágios consegue desacoplar o módulo fotovoltaico da bateria, permitindo a esses dois componentes operar em níveis de tensão diferentes.

FIGURA 7 – CURVA DE MÁXIMA POTÊNCIA NUM CONTROLADOR TIPO MPPT



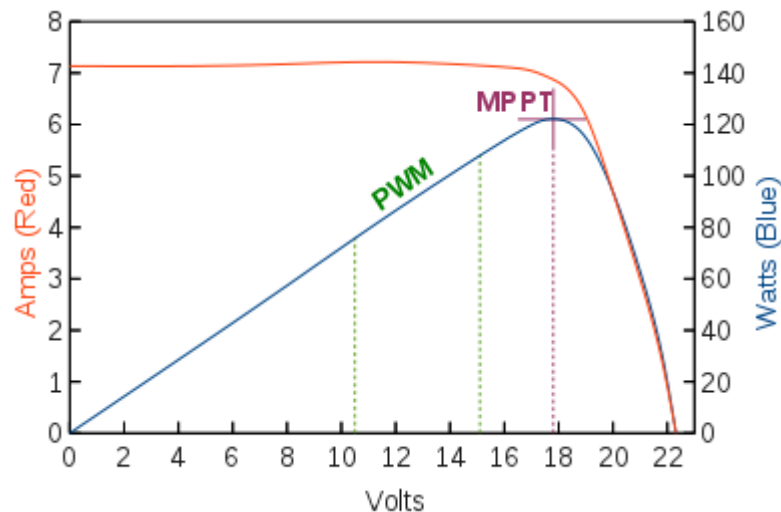
FONTE: Victron Energy – Blue Power (2018)

Com o uso do controlador de carga MPPT, o módulo fotovoltaico pode operar com a tensão necessária para encontrar o seu ponto de máxima potência, independentemente do valor da tensão nos terminais da bateria. Trata-se, portanto,

de um conversor CC/CC, isto é, de corrente contínua para corrente contínua, operando na melhor transferência de potência possível.

Uma comparação entre esses dois métodos de carregamento das baterias pode ser visualizada na Figura 8, onde se observa a eficiência de cada um. Como o custo da eletrônica embarcada mais elaborada dos MPPT têm baixado cada vez mais, este último tem sido o mais usado e é o que normalmente é embutido nos inversores atuais para uso solar fotovoltaico, tanto o OFF-GRID⁵ como o ON-GRID ou GRID-TIED⁶. Além disso, já se tem disponível para comércio Controladores de Carga para banco de baterias de lítio, indicando importantes tendências no aprimoramento das baterias.

FIGURA 8 – COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE CARGAS PELOS PROCESSOS PWM E MPPT



FONTE: Stefen's Stuff (2013)

Os painéis fotovoltaicos produzem energia em corrente contínua, tal como uma bateria, convertendo a energia luminosa do sol em energia elétrica através do processo fotovoltaico. Um painel costuma possuir várias células fotovoltaicas, conectadas em série e paralelo, tal como um banco de baterias, resultando em seus terminais essa soma de tensões e correntes. Painéis de 250 e 260Wp são montados com 6 colunas com 10 células cada. Já um painel de 315 e 320Wp tem 6 colunas com 12 células cada.

⁵ OFF-GRID: Termo usado para produção solar de energia elétrica isolada de qualquer rede concessionária local, realizando a sua própria geração e armazenamento.

⁶ ON-GRID ou GRID-TIE: Termo usado para produção solar de energia elétrica conectada a uma rede local, realizando trocas de energia estabelecidas por contrato entre o microgerador e a concessionária.

Os painéis com o menor custo/kWh atualmente são os *poli-cristalinos*, conhecidos como *polisilício* (p-Si) e silício *multi-cristalino* (mu-Si), existentes desde 1981. A eficiência destes painéis é de 13 a 16,5%, ou seja, esse é o percentual de energia luminosa convertida em energia elétrica pelo processo fotovoltaico.

Os painéis monocristalinos, mais antigos e um pouco mais eficientes (14 a 21%) têm um processo de fabricação chamado Czochralski, para a obtenção do silício monocristalino, que resulta em perdas na hora do recorte dos lingotes cilíndricos, por isso são mais caros.

Existem ainda painéis solares *flexíveis* de filme fino (TFSC), com eficiência de 7 a 13%, de silício amorfo (a-Si), com 6 a 9% de eficiência, painel solar de Telureto de Cádmio (CdTe), com 9 a 11% de eficiência, painel de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS / CIGS), com 10 a 12% de eficiência, células fotovoltaicas orgânicas (OPV), com eficiência prevista maior que as de silício e ainda painéis solares híbridos (HJT), de fabricação conhecida por Heterojunção,⁷ com eficiência em torno de 20%.

2.2.2 GERAÇÃO EÓLICA

A geração eólica é também uma fonte renovável e intermitente de energia elétrica, de vocação mais concentrada em sítios eólicos, geralmente distantes dos grandes centros de consumo. O ambiente urbano normalmente não tem uma geografia favorável, devido à alta rugosidade dada pelo adensamento típico de cidades de grande e médio porte. Eventualmente em construções de grandes alturas pode ser viável a introdução de pequenos geradores eólicos, porém estão sujeitos ao controle de órgãos do meio ambiente, em especial por causa dos ruídos inerentes a esse tipo de geração. Na Aplicação do Método é usado um pequeno gerador eólico do tipo eixo horizontal, de pequeno porte (especificações detalhadas em Materiais e Método), em ambiente urbano para se observar a integração de uma outra fonte intermitente ao projeto aqui apresentado.

2.2.3 GERAÇÃO A COMBUSTÃO

Como um importante suporte a sistemas elétricos, a geração a combustão é desejável quando as opções por fontes renováveis ou a energia de uma rede elétrica local não estão disponibilizadas, seja qual for o motivo. Assim, especialmente para

⁷ **Heterojunção:** Junção entre dois semicondutores diferentes entre si, com diferentes características e dopagens distintas. Pode também ser uma junção metal-semicondutor.

períodos longos sem geração sobre o armazenamento, a ponto de torná-lo comprometido para o suprimento, a geração a combustão se torna uma das alternativas mais viáveis. Na Aplicação do Método esta geração será mostrada como um elemento útil para essa situação, porém necessária para a autonomia completa, quando não se tem a disponibilidade de uma rede elétrica local.

2.2.4 GERAÇÃO “FITNESS”

Termo criado aqui para o uso de geradores acoplados a equipamentos cíclicos utilizados em academias de ginástica, como a bicicleta ergométrica. Esses equipamentos normalmente possuem sistema de freio eletromagnético para oferecer o peso necessário ao exercício físico proposto. A troca desse freio por um gerador faz com que essa energia produzida na frenagem seja direcionada ao armazenamento, um banco de baterias. Na Aplicação do Método isso será apresentado também como uma das fontes intermitentes de energia conectada ao armazenamento geral.

2.3 FORMAS DE GESTÃO DE ENERGIA: SISTEMAS CONECTADOS E NÃO CONECTADOS

A microgeração de energia elétrica no próprio local de consumo pode adquirir características distintas, conforme é realizada a sua conexão às cargas e à rede local. Para o uso de fontes renováveis, é preciso um elemento conversor de energia (por exemplo, solar fotovoltaica para elétrica), e um elemento armazenador, seja um banco de baterias ou um contrato de troca de energia com uma rede distribuidora local de energia.

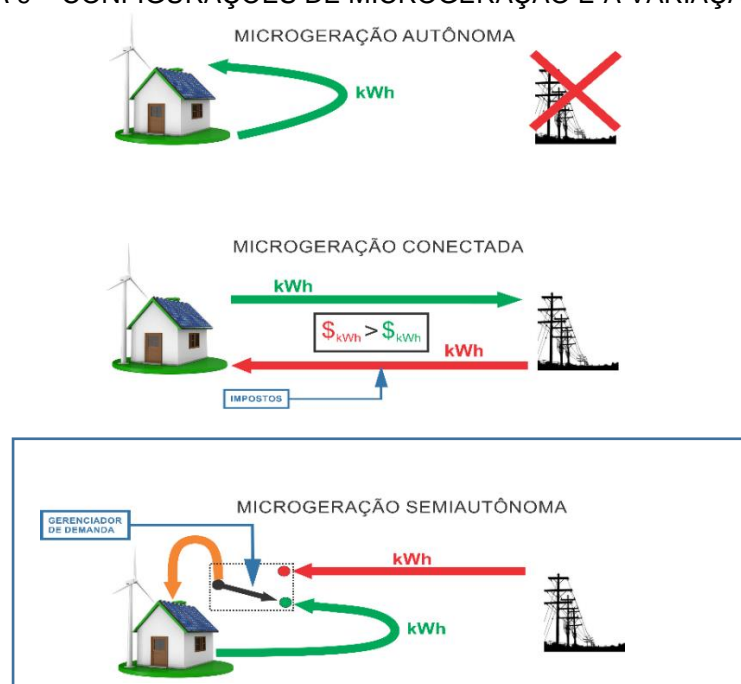
Assim, na microgeração autônoma, que é desconectada de qualquer rede local, toda a energia produzida é armazenada e consumida no próprio local. Quase sempre é uma das únicas opções para locais distantes de redes de distribuição de energia, como fazendas, sítios, desertos e demais áreas isoladas. Na microgeração conectada, a energia gerada é consumida no local e o saldo lançado ou retirado de uma rede distribuidora. Mediante contrato e homologações, este consumidor irá pagar ou obter créditos de energia por este saldo contabilizado no fim de cada período. Tecnicamente, essa rede local realiza o papel do elemento armazenador para uma geração intermitente, ora recebendo e ora provendo energia.

A terceira via pode ser denominada semiautônoma. Uma escolha das fontes de energia para as cargas se dá por um dispositivo gerenciador, através de um

chaveamento reversível, que é programado para receber algumas variáveis monitoradas, como a situação de carga das baterias e direcionar, de forma escalonada, energia às cargas consumidoras, ora revertendo para a microgeração local, enquanto essa for suficiente ou numa situação de falha de fornecimento na rede de energia, ora para rede concessionária local, quando essa microgeração se torna insuficiente ou mesmo cessa, poupando as baterias. Assim, tem-se sucessivas trocas de fontes de energia para os diversos ramais ou canais de demanda.

Essa configuração requer um chaveamento reversível de diferentes cargas, normalmente em corrente alternada (CA). Mesmo operando na mesma frequência, tem-se duas fontes (rede elétrica e microgeração local, esta operacionalizada por um inversor autônomo do tipo OFF-GRID) em diferentes fases e, comparando uma em relação a outra, essa diferença se mostra inevitavelmente oscilante ao longo do tempo, passando em alguns momentos pelo completo sincronismo de fase. É claro que, se for utilizado um inversor CC/CA que permita ser sincronizado com o sinal da rede elétrica, o chaveamento reversor pode ser realizado imediatamente, porém é desejável que esta reversão ocorra além deste momento de sincronismo, na passagem de corrente por zero, de forma a não prejudicar a carga consumidora em sua alimentação. As três configurações para uma microgeração local descritas acima são apresentadas na Figura 9, com destaque para a última.

FIGURA 9 – CONFIGURAÇÕES DE MICROGERAÇÃO E A VARIAÇÃO SEMIAUTÔNOMA.



FONTE: O autor (2018).

Comparado a um sistema conectado, esse método, mesmo exigindo a implantação de um chaveamento aprimorado e separação de ramais de cargas (canais) conforme sua classificação, traz alguns benefícios importantes como:

- Estabelece a formação de um sistema híbrido qualificado por carga, permitindo um melhor dimensionamento do banco de baterias, além de poder submeter essa demanda ao controle de um servidor de rede de dados, ampliando-se a uma gestão mais global de energia;
- A diferença de custo entre a energia injetada e a obtida da rede elétrica pode financiar o próprio banco de baterias, sob algumas condições;
- Permite o uso concomitante de gerações distintas, intermitentes ou não, como será demonstrado na aplicação do método a seguir.

Para esta proposta semiautônoma, um elemento fundamental se torna necessário para estabelecer um controle da demanda do consumo de energia, escolhendo os momentos para revertê-la entre a própria microgeração e a rede local, através de comutações. Trata-se de um Gerenciador de Demanda, um equipamento eletrônico baseado num dispositivo microcontrolador programável, que tomará todas as decisões do ponto e forma de comutação nas reversões das cargas, conforme monitoração do armazenamento e parâmetros relacionados.

O sistema gerenciador deve operar de forma autônoma, porém pode ter seus parâmetros atualizado pelo acesso à um servidor de rede de dados, dando assim, sob o ponto de vista do armazenamento distribuído, um acesso a cada elemento armazenador. De uma forma mais ampliada, pode-se dizer que num ambiente *Smart grid* de armazenamento distribuído, cada elemento dessa forma tem um *gateway* associado para a sua administração. Um *gateway* se traduz como um mapeamento que interconecta diferentes protocolos de redes de dados, fazendo as devidas conversões desses protocolos. É um elemento intermediário que traduz e adapta pacotes originados da rede de dados local para que possam atingir um destinatário, assim como traduz a resposta obtida para esta rede local.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão descritos alguns trabalhos focados tanto em sistemas de armazenamento de energia na ponta consumidora como soluções de gerenciamento através de conectividade de dados por sistema IoT. Assim, após a descrição de cada trabalho, faz-se comentários de sua contribuição ou comparação ao trabalho aqui apresentado.

Barsali et al. (2015) destacam o novo paradigma dado pela exploração de sistemas de armazenamento de energia, intrínseca ou deliberadamente instalados. Estes sistemas desempenham um papel importante ao permitir um controle efetivo das várias fontes e cargas ligadas ao sistema. Os autores abordam, detalhadamente, os serviços que um sistema de armazenamento é capaz de fornecer para um sistema de energia elétrica.

Dessa maneira, prevê-se uma transição onde uma classe de usuários de eletricidade pode facilmente adaptar seu comportamento, com uma inteligência embutida no seu armazenamento de energia. Sistemas de transporte urbano eletrificado, por exemplo, podem explorar o armazenamento a bordo interagindo com estações com interface de troca de energia, além do uso de sistema de freios regenerativos, que permitem economizar até 30% da energia primária necessária, de forma rentável.

Descrevem ainda os autores que, dependendo da interface e da presença de armazenamento, um usuário ativo pode fornecer várias funções para a rede; eles podem ser classificados principalmente como “serviços de trocas de potência” e “serviços de energia”. Os primeiros se referem a serviços de trocas de energia com a rede, tendo durações de até alguns minutos. Os últimos envolvem trocas de energia mais prolongadas e sustentadas. Em outras palavras, a razão entre energia e potência para um “serviço de troca de potência” pode ser efetivada em alguns minutos, enquanto para um “serviço energético” considera-se de alguns minutos até várias horas.

Assim, este trabalho traz uma importante contribuição ao conceituar o armazenamento como um serviço de energia, que pode atuar desde o provedor até o consumidor.

Choi et al., (2018), por sua vez, apresentam uma estratégia robusta de controle para um sistema de armazenamento de energia conectado a uma *microgrid*,

definida pelos autores como uma microgeração conectada, através de cronograma de controle, atuando mesmo sob as piores condições de erro na predição de demanda líquida, onde um sistema de gerenciamento de energia se atualiza periodicamente.

Partindo do conceito de que uma *microgrid* é uma rede elétrica localizada que gerencia uma variedade de cargas e fontes de energia, classifica-se os sistemas conectados e isolados como passivos, renováveis ou ativos.

Para o trabalho aqui apresentado, este cronograma de controle inspira uma forma de implementação sobre o gerenciamento amplo provido pelo servidor de rede, fazendo parte do método aqui desenvolvido de compartilhamento da gestão de energia.

O uso de baterias de grande porte nas instalações dos usuários finais pode reduzir o custo médio do fornecimento de energia com esse tipo de procedimento, mostrando o impacto direto do delas como redutor de custos da energia (CODEMO; ERSEGHE; ZANELLA, 2013).

Ajao, Adetokunbo; Luo, Jingwei; Liang, Zheming; Alsafasfeh, Qais H.; Su, Wencong, (2018) trazem, de forma pragmática, um sistema inteligente de gestão da energia utilizada em ambiente doméstico, com sistemas distribuídos de armazenamento e geração renovável, objetivando a redução dos custos operacionais e da emissão de carbono. Apresentam estudo de caso comprovando a eficácia do algoritmo proposto. O acesso via IoT a um servidor de rede de dados proposto aqui permite a implantação de diferentes metodologias de gestão de energia, como a apresentada por esses autores, fazendo uso de uma conectividade com uma infraestrutura pronta e segurança amadurecida. Dessa forma, o objetivo é dar essa viabilidade às mais diferentes metodologias e seus algoritmos.

Zheng; Meinrenken; Lackner, (2014) analisam a resposta à demanda (DR) no armazenamento de eletricidade em prédios, para não se exigir que os consumidores operem seus eletrodomésticos em horários alterados ou reduzidos objetivando um gasto menor com o consumo de energia elétrica. O armazenamento seria despachado para estes equipamentos conforme a necessidade, suprimindo os picos de consumo na rede elétrica local. Descrevem assim um modelo estocástico de nível de aplicação, baseado em um agente para simular a demanda por eletricidade de uma família média americana. Neste trabalho pode-se vislumbrar a gestão do armazenamento em situações onde não há microgeração associada, atuando sobre as diferentes precificações da energia fornecida.

Dobrescu, R.; Stefan Mocanu; Mihai Craciunescu e Anghel, M. (2018), salientam que parâmetros de regulação obtidos por sensores e medidores para atuação em um *microgrid* podem ter sua conectividade realizada sob plataforma IoT. Para isso desenvolveram um algoritmo de otimização baseado é um método de filtragem de dados cujos resultados confirmam que a plataforma IoT é benéfica no controle de qualidade no uso parcimonioso da largura da banda internet e na latência na troca de dados. Portanto, corrobora a viabilidade do uso de estrutura IoT para uma gestão de armazenamento e demanda sobre *microgrids* em ambiente *Smart Grid*.

Ioakimidis et al., (2014) apresentam o conceito de *Energy Box*, caixa de energia, no contexto da tecnologia V2G, ou veículo conectado à rede, para atender às necessidades de gerenciamento de energia em uma residência moderna, com infraestrutura disponibilizada para fontes renováveis, com a bateria de um veículo elétrico desempenhando o papel de armazenamento local. Seus resultados obtidos para o mercado português de eletricidade indicam que essa abordagem tem o potencial de competir como um serviço auxiliar e sustentar negócios com benefícios tanto para as *microgrids* quanto para os ocupantes da residência.

Assim, para o trabalho aqui apresentado esse conceito acima amplia o armazenamento distribuído associando-o ao sistema de baterias do veículo elétrico, próxima importante demanda num futuro muito próximo. Importante lembrar que se pode apresentar como uma das soluções para a transferência de geração de energia de combustíveis fósseis para fontes de eletricidade, amparando especialmente as redes de distribuição.

O trabalho de Schreiber; Canetta; Frossard (2017) apresenta um sistema gerenciador de demanda de cargas consumidoras de energia elétrica que utiliza a reversibilidade do chaveamento entre a fonte de energia armazenada, mantida por uma microgeração local e a disponibilizada pela rede local concessionária, conceituando assim um sistema semiautônomo de microgeração.

A presente dissertação é uma continuidade deste último trabalho, onde se substitui um microcontrolador simples (Arduino⁸) por outro (Expressif ESP32) com funcionalidades IoT embutidas, como *WiFi*, *Bluetooth* e *Watchdogs*. O gerenciamento passa a ser monitorado e ampliado por um servidor de rede de dados, além do aumento dos canais de controle de demanda e novos canais (ADCs) de medições.

⁸ **ARDUINO**: Plataforma livre de hardware para protótipos eletrônicos, com suporte para entradas e saídas comandadas, com uma linguagem padrão de programação, C++ adaptado.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 MATERIAIS

Os materiais necessários para o desenvolvimento do método proposto estão listados a seguir. Ressalte-se que os itens dessa lista já foram adquiridos pelo autor e foram utilizados na aplicação do método e análise dos resultados apresentados no próximo capítulo.

3.1.1 Estrutura de base

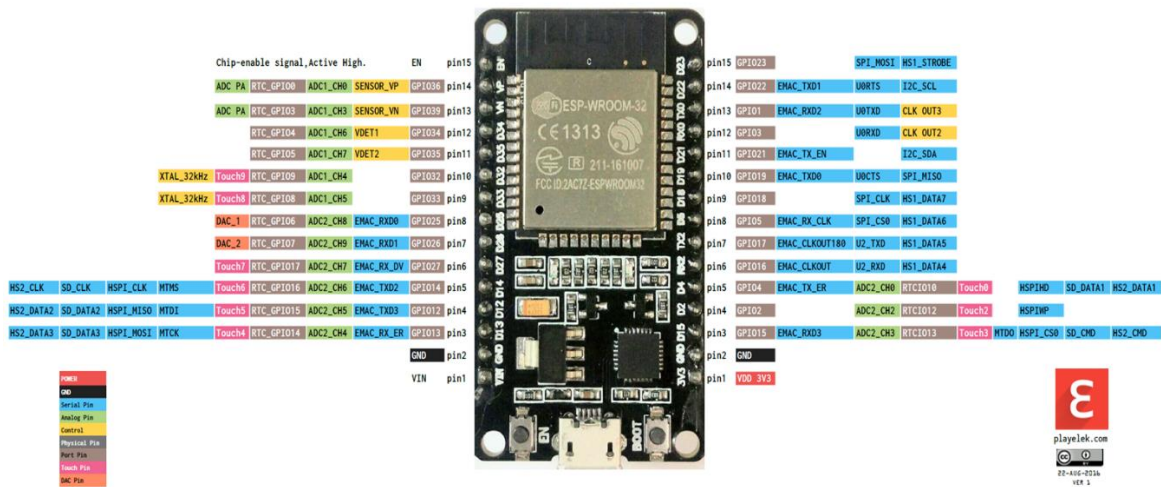
- Banco de baterias de 24V/220Ah no total, com duas estacionárias de 12V/220Ah em série, opcionalmente em conjunto com um supercapacitor de 33,3F/30V;
- Inversor OFF-GRID de 1000W, com MPPT e carregador CA/CC;
- Inversor GRID-TIE ou ON-GRID de 1000W;
- 1.320 Wp de painéis fotovoltaicos;
- Aerogerador CA trifásico, 300W, eixo horizontal, a 2,2 m acima da cobertura;
- Gerador a combustão com motor 2T (gasolina) de 350W, 120Vca/60Hz, monofásico;
- Controlador de Carga para o aerogerador trifásico (projeto próprio) de 300W;
- Conjunto transformador 120/26 Vca com retificação (onda completa) para gerador a combustão;
- Bicicleta ergométrica com gerador CC (24V/8A) adaptado como elemento de frenagem, diodo em série para impedir fluxo contrário de corrente.

3.1.2 Componentes eletrônicos

- Microcontrolador IoT ESP32; Na Figura 10 tem-se uma ilustração do microcontrolador e uma breve descrição, pinagem e características, entre as quais se vê as que o distingue, como as funcionalidades IoT.

FIGURA 10 - MICROCONTROLADOR ESP 32, PINAGEM E CARACTERÍSTICAS

DOIT ESP32 DEVKIT V1 PINOUT



Processador principal: LX6 32-bit Dual-core, operando 2-240 MHz.

Processador secundário: ULP (Ultra Low Power coprocessor).

FLASH: 4MB.

RAM: 520kB.

GPIO: 34, com 3.3V e 12mA.

1 Sensor de temperatura interno.

4 Watchdogs.

True Random Number Generator (TRGN).

4 Timers de 64-bit.

10 Sensores de touch capacitivo.

01 Sensor de efeito Hall embutido.

ADC: 18 canais, com resolução de 12-bit.

DAC: 2 canais, com resolução 8-bit.

WiFi: 2,4 GHz, 802.11 b/g/n.

Bluetooth: Bluetooth Low Energy v4.2 (BLE).

Acelerador via hardware para encriptações, hash e afins. (AES, RSA, SHA e ECC).

FONTE: Microcontrollers Lab (2018)

- Display Oled gráfico de 0,96 polegadas, conexão serial I2C, ilustrado na Figura 11;

FIGURA 11 - DISPLAY OLED MONOCROMÁTICO DE 0,96 POLEGADAS – 128 X 64



FONTE: Adafruit Industries (2019)

HMI/Display touch screen Nextion, conexão serial TX/RX, visualizado na Figura 12;

FIGURA 12 - INTERFACE HMI - DISPLAY TOUCH SCREEN NEXTION



FONTE: NEXTION - Itead Studio (2018)

- Opto-acopladores PC817;
- Resistores 1/4W;
- Shunts para 50A;
- Capacitores eletrolíticos;
- Placas com 2 e 3 relés, com acionamento via opto-acoplador/transistor (comutador CA multicanal, de 3 canais, para as versões normal e compacta);
- Dois SSRs⁹ para reversão de cargas CA sem interrupção de corrente;
- Placa de circuito impresso, cabos e fiações.

3.1.3 Softwares

- Aplicativo IDE Arduíno (programação em C++ adaptado) com extensões e bibliotecas para ESP32 e ESP32 Wemos Lolin;
- Aplicativo UwAmp (servidor de rede Apache PHP, com MySQL PHP MyAdmin);
- Aplicativo Nextion para programação gráfica e *touch* do display TFT;
- Aplicativo Notepad++, para programação em PHP;

⁹ **SSR**: *Solid State Relay*, relé de estado sólido, componente eletrônico normalmente constituído de um optoacoplador e um tiristor ou transistor MOSFET de potência, embutidos em um só encapsulamento, para se fazer controle em circuitos de potência de forma semelhante a um relé, porém sem contatos mecânicos.

- Aplicativo MatLab com o aplicativo associado desenvolvido MS_Gerenciador_ARMDEM
- Aplicativo *Bonjour* instalado em computador (Windows) para acesso à intranet por mDNS.
- Aplicativo ExpressSCH, para desenho dos circuitos eletroeletrônicos;
- Aplicativo ExpressPCB, para desenho dos circuitos impressos.

3.1.4 Banco de Dados

- Estruturado em *PHP MyAdmin* (MySQL), em servidor local de rede.

A intermediação entre o gerenciador e o banco de dados se dará por *script* em PHP executado pelo servidor local. Recebe instruções e leituras em HTTP do dispositivo e as coloca em tabela SQL. Ao mesmo tempo, lê valores em outra tabela SQL e os envia para o dispositivo microcontrolador conectado à rede de dados via Wi-Fi. Trata-se de um processo básico de conectividade de dados com segurança limitada à criptografia Wi-Fi e a 3 níveis de *login*. Para uma aplicabilidade mais adequada, abrangente e segura, outros protocolos, como o MQTT¹⁰, são mais adequados.

3.1.5 Equipamentos

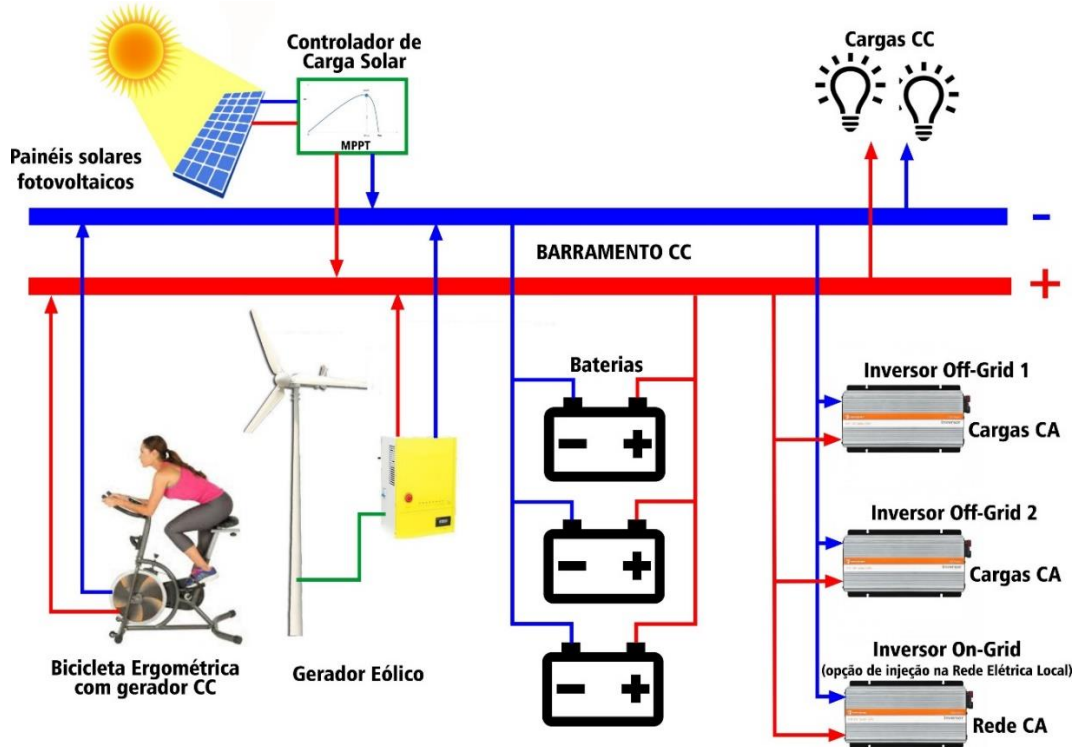
- Notebook, atuando como servidor local de rede, *hotspot* móvel, osciloscópio digital, monitor IDE e navegador de rede;
- Osciloscópio analógico, 2 canais, 20 MHz;
- Interface USB - Osciloscópio digital, 2 canais;
- Multímetro digital;
- Amperímetros CC digitais;
- Alicates multímetro digital, com capacidade de leitura de corrente CC por efeito Hall, sem o uso de *shunts*;
- Fontes 5Vcc, 500mA e 1A.

¹⁰ **MQTT:** *Message Queuing Telemetry Transport*, protocolo de troca de mensagens otimizada para sensores, servomecanismos e dispositivos móveis. Minimizam o uso de bandas de rede de dados e garantem confiabilidade com algum nível razoável de garantia de entrega. Voltada a comunicações emergentes M2M (machine to machine) e aplicações IoT.

3.2 MÉTODO

A forma de gestão de energia proposta consiste em concentrar no armazenamento local todo o fluxo de energia depositada pelas mais variadas fontes e ao mesmo tempo alimentar as cargas consumidoras, como mostrado na Figura 13.

FIGURA 13 - BARRAMENTO CC – CONCENTRADOR E DISTRIBUIDOR DE ENERGIA



FONTE: O autor (2017).

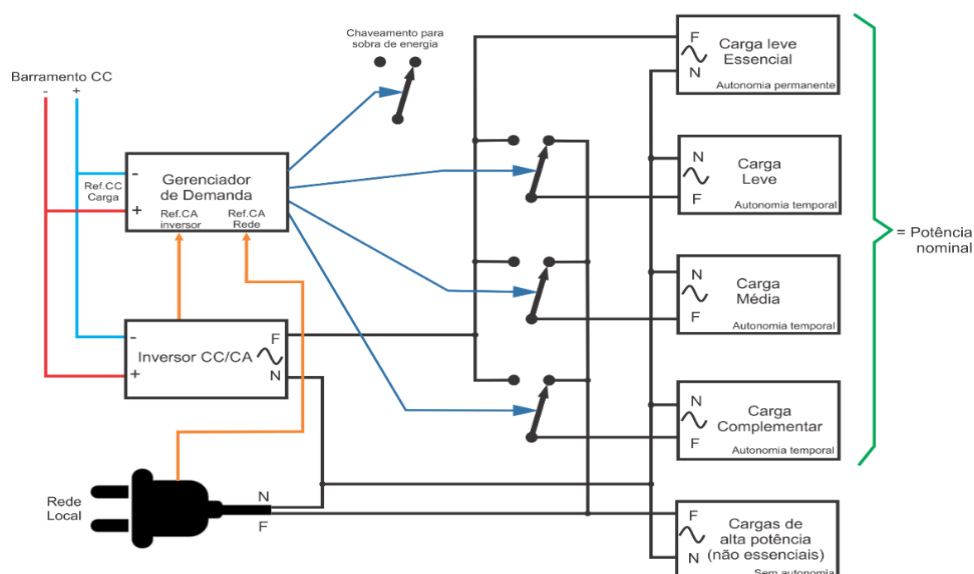
Conceitua-se aqui um barramento CC (corrente contínua), associado ao armazenamento, como um elemento concentrador e distribuidor de energia e, sobre seu armazenamento, a obtenção de parâmetros que irão determinar a gestão da demanda bem como o direcionamento do excedente de energia produzido eventualmente.

Tem-se, portanto, do lado esquerdo do barramento CC, a associação de fontes geradoras de energia, intermitentes, como a solar fotovoltaica, uma bicicleta ergométrica e um aerogerador. Todos operando em CC. Na parte central do barramento, tem-se o armazenamento através de um banco de baterias e no lado direito do barramento as cargas consumidoras, tanto diretamente conectadas em CC, como através de inversores CC/CA, para cargas consumidoras em CA (corrente

alternada). Essas cargas, quando supridas pelo barramento CC, por definição operam de forma ilhada ou autônoma da rede elétrica local e por isso dispensou-se um especial cuidado no chaveamento reversor em CA para essas cargas, tema que será abordado mais adiante. Observa-se que um dos inversores (do tipo ON-GRID) está designado a injetar energia na própria rede elétrica CA local, que será acionado pelo sistema GERALDO nos momentos de excedente de energia sobre o armazenamento.

Uma demanda controlada pela medição periódica do nível de carga desse armazenamento é então inserida de forma a manter essa carga dentro de limites estabelecidos pelas próprias características do banco de baterias, usado para o armazenamento. Assim, em situações de carga em altos níveis, mais demanda de consumo é acrescentada. Nas situações de carga em baixos níveis, a demanda é retirada canal por canal, até ser totalmente direcionada à rede elétrica local, preservando o armazenamento. Um exemplo com 3 canais de demanda é mostrado na Figura 14. Mais dois canais podem ser acrescentados, um permanentemente conectado à rede elétrica local, onde nele teríamos cargas de alto consumo e não essenciais, que normalmente inviabilizariam o custo do armazenamento para mantê-las. O outro canal seria de cargas leves e essenciais, como iluminação de emergência, computadores e portão eletrônico, por exemplo. O armazenamento precisa, nesse caso, ser dimensionado de forma a manter de forma segura essas cargas, com um Fator de Carga suficiente.

FIGURA 14 – CONEXÕES DO CHAVEADOR CA DE 3 CANAIS + 2 CANAIS PERMANENTES



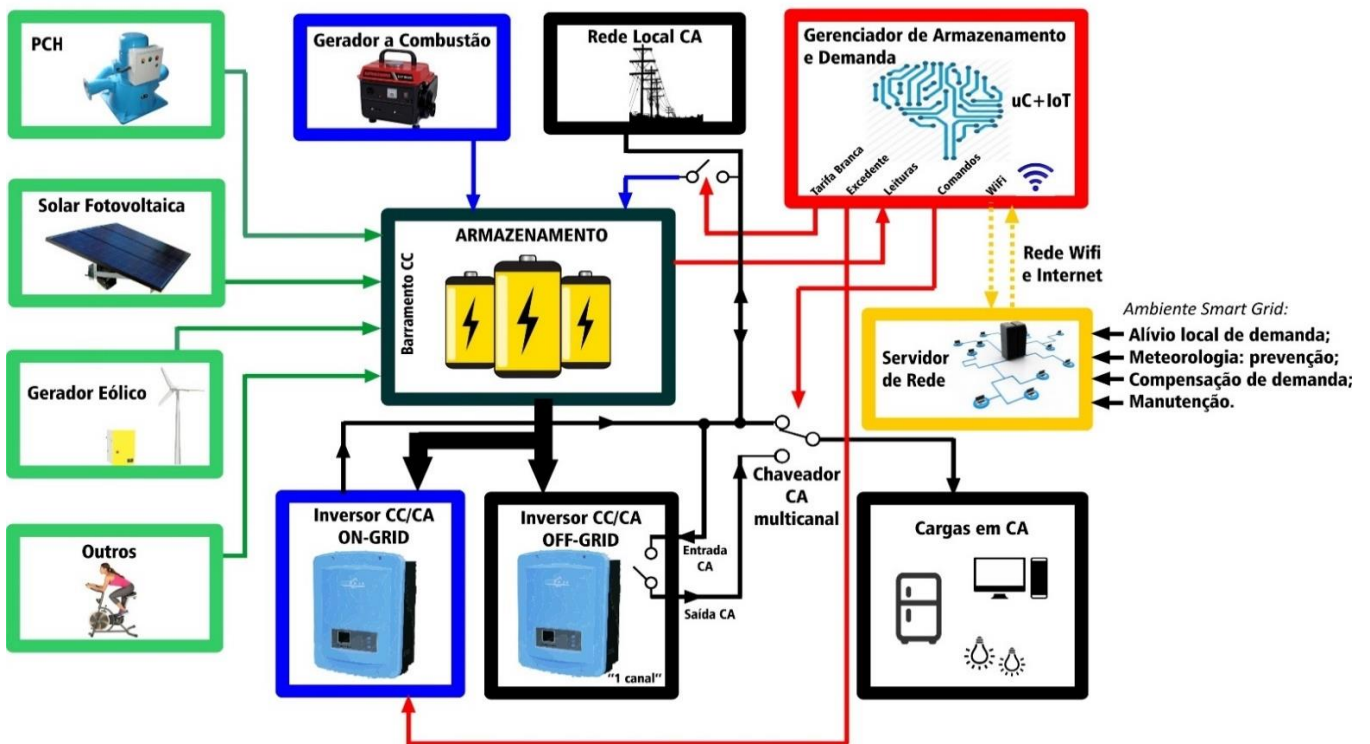
FONTE: O autor (2018).

Além disso, esse gerenciamento é compartilhado com um servidor de rede de dados, que faz os registros de leituras de parâmetros para a tomada de decisões de gerenciamento mais amplo, dentro de um ecossistema *Smart Grid*.

Pode-se assim integrar fontes intermitentes, renováveis e não renováveis, além da rede distribuidora local. O consumo é gerenciado por reversões das cargas consumidoras entre a energia disponibilizada pelo armazenamento e a rede elétrica local. O excedente pode ser direcionado a esta rede elétrica, por um inversor ON-GRID conectado, também controlado pelo gerenciador.

Um diagrama abrangente, em blocos, é apresentado na Figura 15, onde as cores verdes representam as fontes renováveis de energia, que podem ou não estar presentes, em azul os elementos não necessários mas complementares, em preto elementos necessários (a rede local CA pode ser dispensada para o caso do sistema operar de forma totalmente autônoma ou ilhada, onde o controle de carga e frequência é detalhado mais adiante), em vermelho a inteligência proposta para gerenciar todas as trocas de energia e em amarelo as funcionalidades dadas pelo dispositivo IoT, que assim pode inserir o sistema em um ambiente *Smart Grid*.

FIGURA 15 – DIAGRAMA EM BLOCOS DO SISTEMA GERALDO COMPLETO



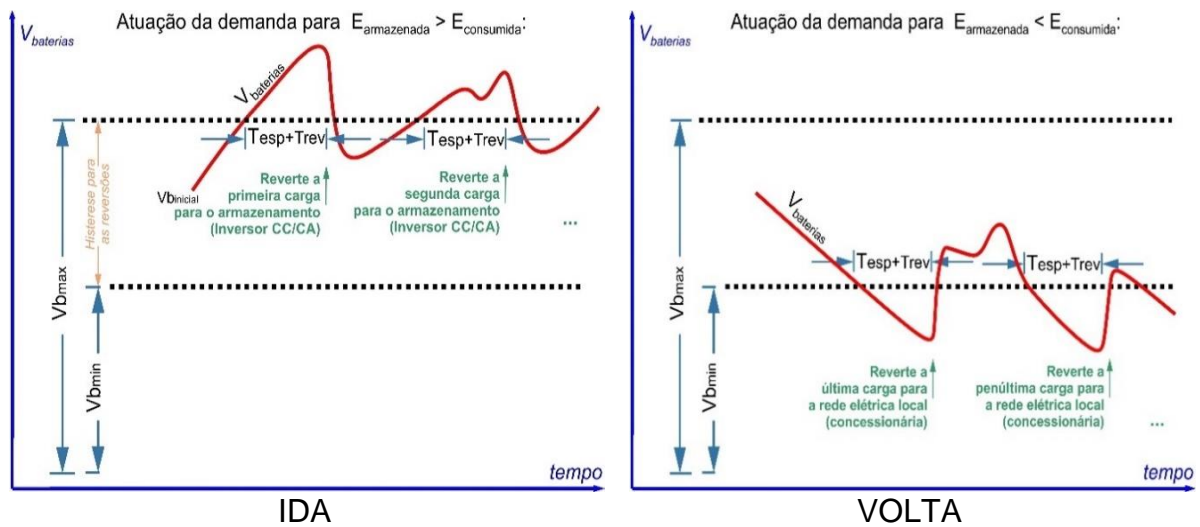
FONTE: O autor (2018)

Dessa forma, este método disponibiliza o armazenamento distribuído como uma ferramenta de economia e autonomia de energia para o consumidor, mas também como ferramenta de mitigação de falhas na rede elétrica distribuidora, alívio programado para situações de sobrecarga e até geração ilhada em situações especiais. Um banco de baterias de grande porte associado a uma microgeração local com um fator de carga consistente pode propiciar uma autonomia completa ao sistema.

Neste projeto dois inversores distintos são utilizados, um do tipo ON-GRID, conectado à rede local concessionária, que atuará somente nos momentos de excedentes de energia gerada e outro do tipo OFF-GRID, permanentemente em operação, garantindo fornecimento às cargas consumidoras em CA (corrente alternada) que forem revertidas sobre ele pelo GERALDO, incluindo nos momentos de falha de fornecimento na rede concessionária local. O Gerenciador, monitorando a situação de carga das baterias, irá acrescentar mais cargas a este inversor, tirando-as da rede elétrica local, ou então irá retirá-las deste inversor, colocando-as de volta à rede elétrica.

Na Figura 16 tem-se a ilustração das comutações de ida e de volta (ida = da rede elétrica local para o inversor e volta = do inversor para a rede). Dois intervalos de tempo são somados até que se conclua as reversões: o primeiro é um tempo de espera (T_{esp}), para a consolidação do nível de carga das baterias. Esse valor depende do Fator de Carga da instalação, dado pela capacidade da microgeração, do armazenamento e do consumo. O segundo (T_{rev}), é o tempo que se espera para ocorrer o sincronismo de fase entre as fontes CA., que pode ser nulo se estiverem em fase (caso de inversor OFF-GRID sincronizado pelo sinal da rede elétrica local), muito curto se o inversor for pouco estável em frequência e mais longo se o inversor for muito estável em frequência. Nos testes feitos com os inversores mais estáveis, o tempo mais longo medido foi cerca de dois minutos.

FIGURA 16 - GERENCIAMENTO DA DEMANDA PROCESSOS DE “IDA” E “VOLTA”

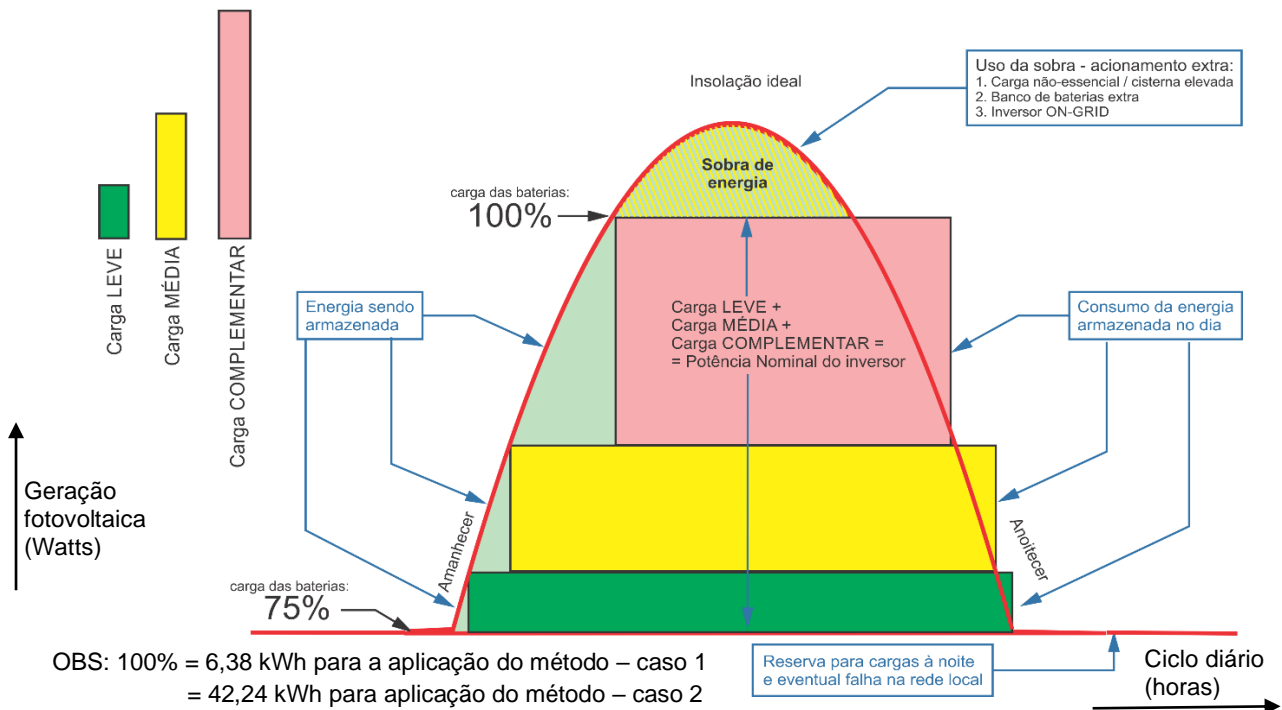


FONTE: O autor (2018)

Este processo de reversão de cargas é realizado por uma programação que reverte nos momentos de sincronia em CA, no instante de passagem por zero. No diagrama em blocos da Figura 15 acima, isso acontece pelo elemento denominado Chaveador CA Multicanal. Neste projeto está previsto a reversibilidade de até oito canais, ou seja, de até oito conjuntos de cargas em CA. No exemplo de uma microgeração a partir de painéis solares, o gerenciamento da demanda dessas cargas em um sistema já implementado de três canais é apresentado pela Figura 17, para um dia de insolação total. Essas disposições são definidas para este projeto específico, o sistema GERALDO.

O sistema permite ainda que distribuições de ramais de cargas em instalações bifásicas ou trifásicas possam receber energia de um único inversor ou gerador monofásico, desde que este suporte toda a carga colocada sobre si. A programação do microcontrolador pode acionar relés que selecionarão de qual fase irão buscar o sincronismo em CA, comparando-a com a da geração local, para realizar a reversão sincronizada dessas cargas. Por exemplo, num sistema de 6 ramais de cargas distribuídos em cada fase de uma instalação trifásica, o sistema irá primeiro selecionar a fase do primeiro grupo da qual irá buscar o sincronismo com o Inversor, então inicia-se a comparação dos sinais até fazer a primeira reversão, logo depois seleciona a fase do segundo grupo e assim por diante.

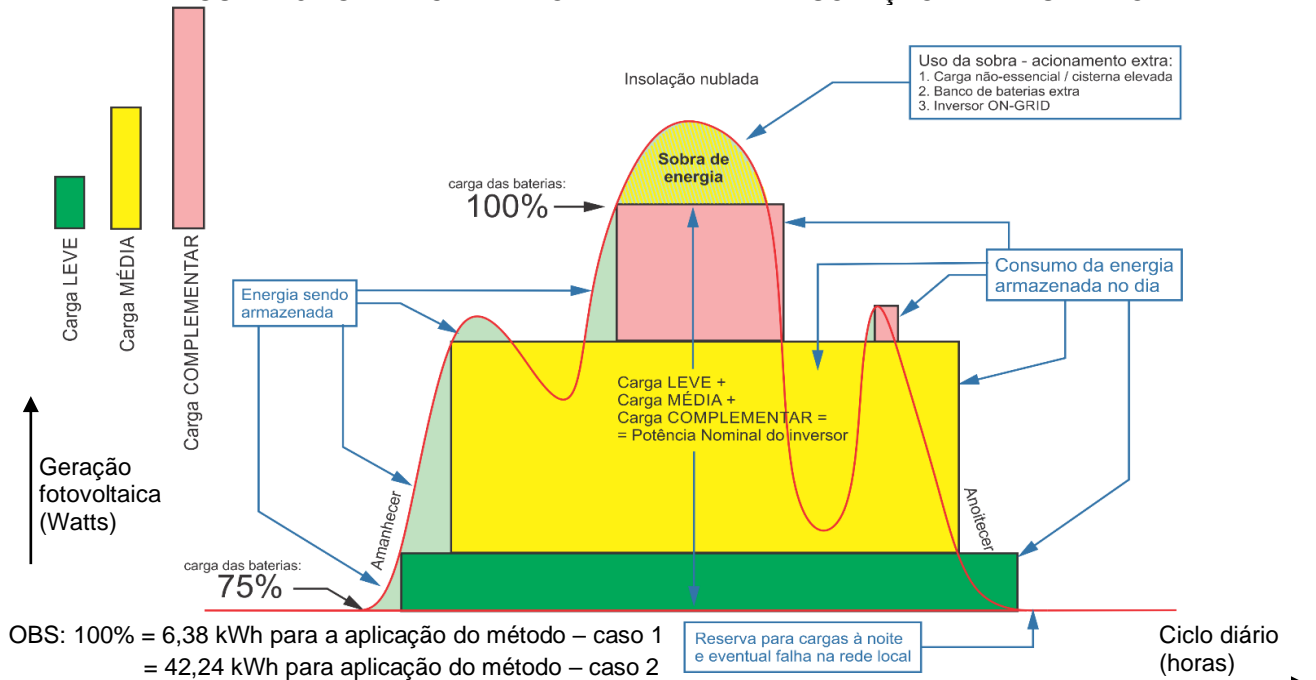
FIGURA 17 – GERENCIAMENTO DE DEMANDA – INSOLAÇÃO – DIA LIMPO



FONTE: O autor (2018)

Para um dia com nebulosidade variada, o Gerenciador de Demanda atua como representado na (Figura 18). As cargas consumidoras são gradualmente colocadas e retiradas da microgeração, conforme a insolação do dia varia.

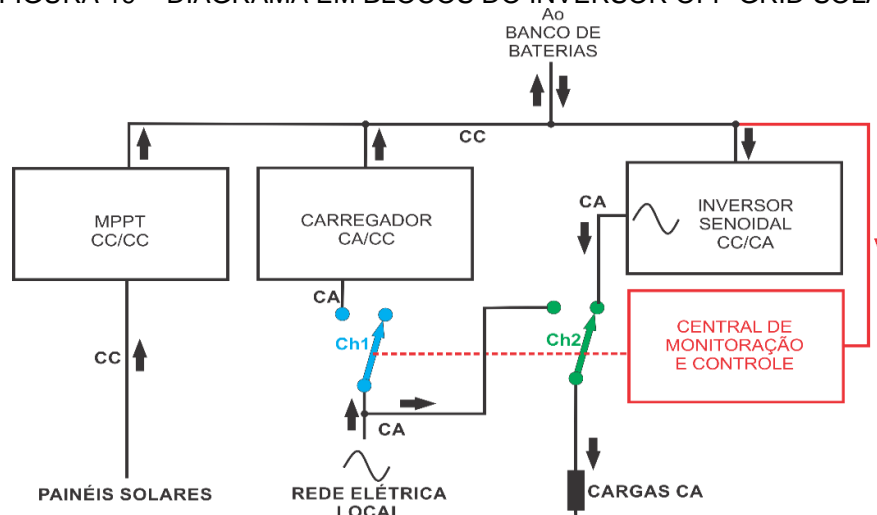
FIGURA 18 - GERENCIAMENTO DE DEMANDA – INSOLAÇÃO – DIA NUBLADO



FONTE: O autor (2018).

Voltando à Figura 15 no diagrama do sistema completo, observa-se que já existe também um chaveamento interno no inversor OFF-GRID, que faz um *by-pass* entre a rede concessionária local e a sua saída em CA. Esse *by-pass* acontece no momento de descarga mais profunda do banco de baterias, protegendo-as, ao mesmo tempo que um carregador interno é acionado para recarregar as baterias com a energia da rede local. É claro que essa situação só acontece quando não há energia vinda da fonte solar fotovoltaica. Na Figura 19, apresenta-se o diagrama em blocos desse inversor *OFF-GRID* solar utilizado com esse *by-pass*. Observa-se que possui três elementos importantes que o constitui: Controlador de Carga MPPT, Inversor CC/CA e Carregador CA/CC (de cerca de 1/5 da potência nominal do Inversor, conforme seu manual). Por uma questão construtiva, esse carregador utiliza o mesmo transformador do Inversor, só que agora com o sentido inverso do fluxo de energia.

FIGURA 19 – DIAGRAMA EM BLOCOS DO INVERSOR OFF-GRID SOLAR

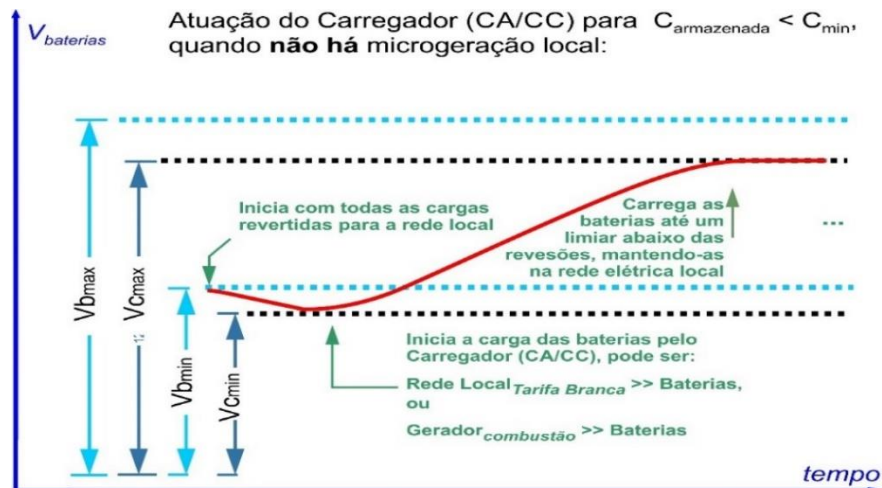


FONTE: O autor (2018).

Assim, na programação do GERALDO evita-se essa situação, tirando gradativamente as cargas consumidoras do Inversor, quando se atinge o limiar mínimo V_{bmin} , passando-as à rede elétrica local. Se mesmo assim as baterias continuarem a ter sua carga reduzida, ao atingir um novo limiar, V_{cmin} (logo abaixo de V_{bmin}), aciona-se um Carregador externo que trará energia da rede elétrica para o armazenamento, até atingir o limiar de carga V_{cmax} , logo abaixo de V_{bmax} , que é o limiar para iniciar as reversões da demanda para o banco de baterias. Dessa forma, somente quando houver alguma nova geração sobre o armazenamento e V_{bmax} for

atingido, o processo de “ida” irá se iniciar. Vê-se esse comportamento na Figura 20. Esses quatro parâmetros são atualizáveis pelo servidor de rede, via acesso à internet.

FIGURA 20 – ATUAÇÃO DO CARREGADOR CA/CC CONTROLADO PELO GERENCIADOR



FONTE: O autor (2018).

Portanto, dessa forma se tem estabelecido um método de controle da demanda, estratificada em cargas CA agrupadas em ramais conectados a canais de controle. Esses canais sofrerão reversões entre as fontes CA da rede local e da microgeração local sobre o banco de baterias, através do inversor CC/CA. A quantidade de canais irá depender do projeto elétrico do que se pretende demandar, lembrando que mais dois ramais podem-se considerar pré-existentes: O primeiro com as cargas permanentemente providas pelo armazenamento, em geral pontos estratégicos de iluminação, portaria, equipamentos de acesso à internet e outros similares. Geralmente são de baixo consumo e podem ser alimentados permanentemente pelo banco de baterias, em qualquer situação. O segundo por cargas de alto consumo, mas de pouco tempo de utilização que, por isso mesmo exigiriam um alto custo de implementação de armazenamento e microgeração para sustê-las. Importante relembrar que o provimento de energia no momento de falha de fornecimento da rede elétrica local é outro ponto fundamental nesse sistema, que opera como um UPS programável para as cargas determinadas a serem sustentadas nessa situação.

Ao se compartilhar estes parâmetros com um servidor de rede de dados, um amplo ambiente de controle pode ser criado, inserindo-se assim ao ecossistema *Smart Grid*. Importantes possibilidades podem ser criadas ao comercializador e ao

gestor de distribuição de energia, as quais são detalhadas no final desse trabalho. Ampliações de rede podem ser mitigadas, prevenções contra intempéries à rede de distribuição, diminuindo a profundidade de descarga das baterias para esses usuários, para terem energia elétrica em suas residências numa eventual falha de fornecimento, por exemplo. Unidades de armazenamento em subestações regionais podem ser demandas para operações de redundância e manutenção, além de estar habilitadas a serem microgeradores, ampliando o conceito de geração distribuída para o armazenamento distribuído.

De forma singular, também pode ser uma importante resposta para a demanda de energia exigida para a recarga do veículo elétrico (VE), tornando um processo mais rápido, uma vez que se daria entre bancos de baterias, poupando a rede elétrica concessionária. É claro que o porte do banco de baterias precisa ter capacidade para tal recarga.

Finalmente, uma interface HMI (*Human Machine Interface*) foi acrescentada ao sistema, habilitando-se uma nova porta serial interna (RX/TX, em 9.600 bauds) disponível no microcontrolador. Por possuir um processador (tipo ARM) interno, essa interface disponibiliza um aplicativo para programar suas funcionalidades de *display touch* em um computador. Sua implementação é detalhada no Apêndice 1.

4.2.1 Estrutura de programação do microcontrolador IoT

O gerenciamento é estruturado sobre uma programação dividida em três linguagens bastante conhecidas, atuando em diferentes máquinas. A primeira é a C++ adaptado, uma linguagem de programação compilada multi-paradigma, assim chamada por incluir uma linguagem funcional (ênfatisa aplicações de funções e expressões matemáticas) e imperativa (ênfatisa comandos e mudanças de estado no programa), orientada a objetos e genérica. Conhecida nas plataformas Arduino, foi utilizada aqui para a programação do microcontrolador ESP32, escolhido pelo seu baixo custo e grande capacidade para implementações IoT.

A segunda linguagem, o HTML, é usada em trechos dentro da programação da primeira (C++ adaptado). Essa linguagem é uma abreviação de *Hipertext Markup Language*, utilizada para construção de páginas Web. Arquivos HTML podem ser interpretados por navegadores de internet (*Web browsers*). Foi usada aqui para apresentar de forma bem básica para dar acesso a um console computador ou

dispositivo móvel através da intranet, pela ferramenta mDNS (*multicast DNS*), introduzindo algumas leituras feitas pelo microcontrolador.

A terceira linguagem é o PHP, acrônimo de *Personal Home Page*, criada para o desenvolvimento de aplicações no lado do servidor de rede de dados, que permite conter *scripts* HTML em seu corpo. Ou seja, ela não é executada pelo microcontrolador, mas sim pelo próprio servidor de rede. Foi usada aqui para receber os dados fornecidos pelo dispositivo IoT em HTTP e inseri-los na tabela de *logs* (*ger_teste2*) do banco de dados SQL (*MySQL*) e, ao mesmo tempo, ler os dados da tabela *setup* e enviá-los ao dispositivo microcontrolador por HTTP. Portanto, faz uma troca de dados toda a vez que é solicitado.

Assim, constituiu-se toda a programação do microcontrolador sobre seus dois núcleos (cores) processadores, conforme o fluxo de funcionamento na Figura 21.

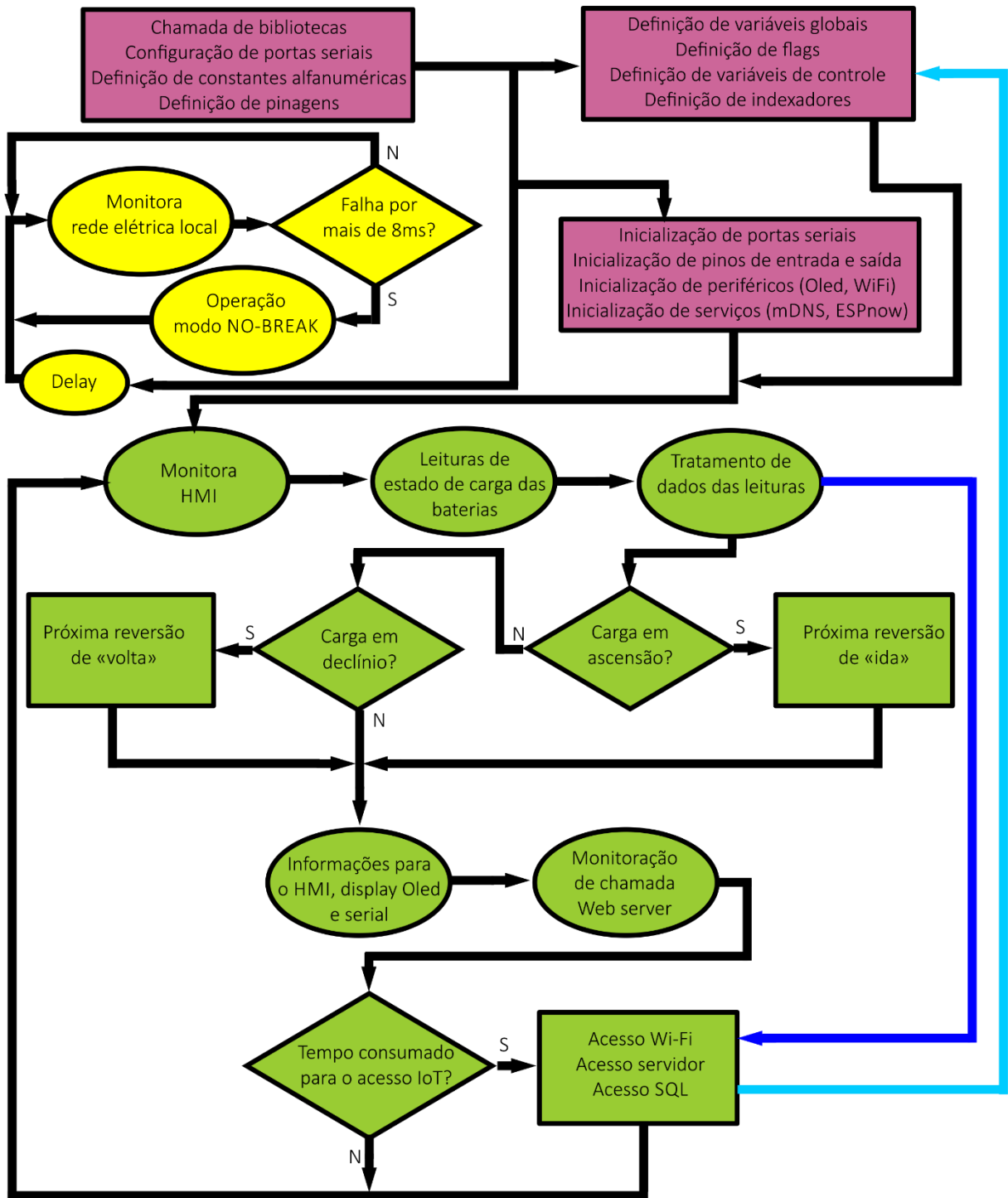
O processamento acontece de forma assíncrona, pois existem rotinas de programação concomitantes sendo executadas em cada um dos núcleos do microcontrolador, conforme indicado nas cores verde e amarela, compartilhando entre si algumas variáveis e flags globais. Dessa forma, consegue-se fazer todo o gerenciamento enquanto se monitora a rede elétrica local. Se houver alguma falha de fornecimento, o sistema entra no modo nominado aqui de NO-BREAK, onde se congela o gerenciamento para priorizar o fornecimento de energia a partir do banco de baterias às cargas consumidoras, eleitas como essenciais, nos canais já predeterminados para realizar essa função.

Pode-se ainda, através do HMI, retirar ou acrescentar novos canais sobre essa função. Por exemplo, supondo que a geladeira esteja em um canal não programado a fornecer energia numa falha da rede elétrica local, este pode ser acionado manualmente a buscar energia do armazenamento, num caso de um tempo muito longo sem energia da rede elétrica.

Na troca de dados com o servidor, o gerenciador fornece suas leituras para o banco de dados deste servidor e, numa segunda tabela SQL, ele lê os dados lá colocados para então atualizar seus novos parâmetros para o gerenciamento.

Dessa forma, implementa-se aqui uma programação sobre este servidor que administraria diversos dispositivos gerenciadores IoT semelhantes, tomando decisões em ambiente macro, já no âmbito do ecossistema *Smart Grid*. Isso permitiria um amplo controle centralizado sobre um sistema de armazenamento distribuído, criando ferramentas de integração a este ambiente.

FIGURA 21 – FLUXO DE FUNCIONAMENTO DA PROGRAMAÇÃO COM PROCESSAMENTO ASSÍNCRONO (MULTITHREAD)



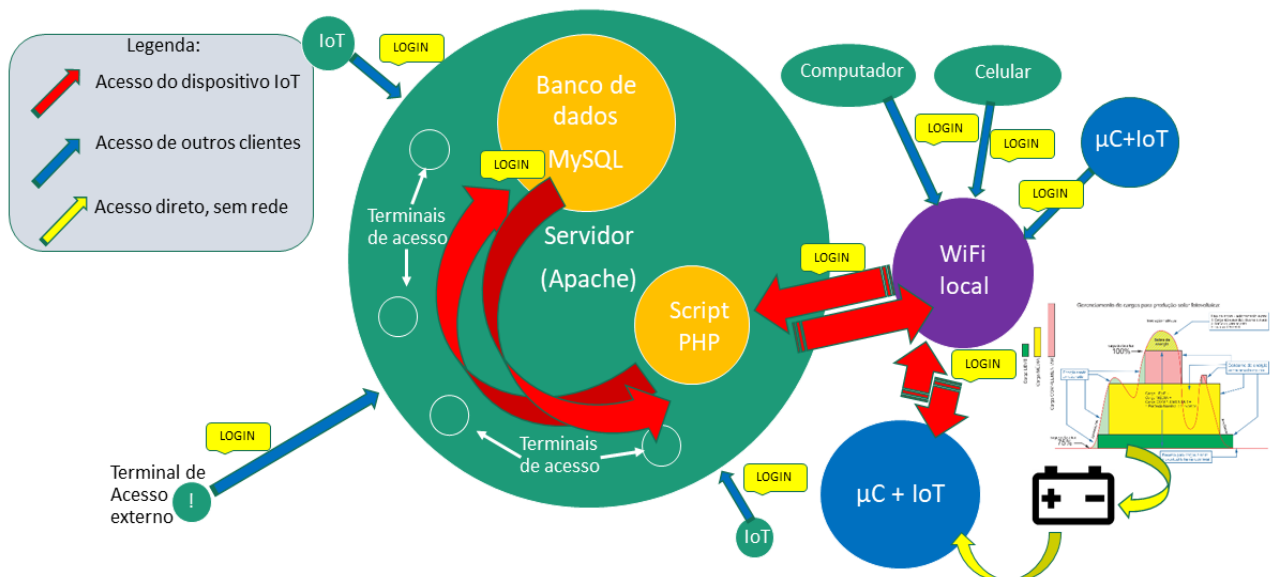
- LEGENDA -----
- Fluxo de inicialização
 - Novos parâmetros fornecidos pelo servidor
 - Executado pelo núcleo (Core) 1 do microcontrolador
 - Leituras enviadas para o servidor
 - Executado pelo núcleo (Core) 0 do microcontrolador

FONTE: O autor (2019).

4.2.2 Acesso a rede de dados e ao servidor de rede

Tratando-se de um microcontrolador com hardware WiFi embutido, o gerenciamento do sistema é compartilhado pelo acesso a uma rede de dados. Trafegando pela internet, permite que todos os parâmetros utilizados para este gerenciamento possam ser lidos a partir de um banco de dados, disponibilizados por um servidor de rede e aplicados no gerenciamento em seguida. Permite-se também registrar, neste mesmo banco de dados, as suas várias leituras (logs), como percentual de carga das baterias, potência instantânea da microgeração, potência e energia consumida, mapeamento das cargas consumidoras e até temperatura ambiente, pois o microcontrolador tem esse tipo de sensor embutido, além de sensor de efeito hall para leituras de altas correntes em CC ou CA. Na Figura 22, pode-se ver uma forma elementar de comunicação e troca de dados via rede Intranet/Internet, sob protocolo TCP/IP.

FIGURA 21 - ESTRUTURA BÁSICA DE REDE INTRANET/INTERNET PARA GERENCIADOR IOT



FONTE: O autor (2018).

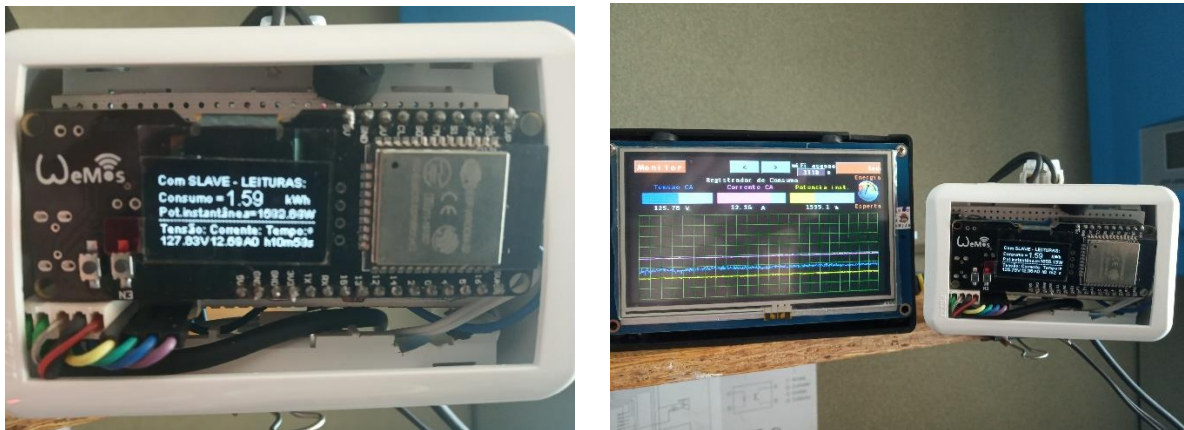
Para a estrutura local de rede de dados, utiliza-se basicamente duas redes sem fio: a Wi-Fi, através de um roteador comum (ou função hotspot móvel do próprio

notebook, por exemplo) e pelo protocolo *ESPNow*, da própria Espressif, fabricante do microcontrolador ESP32, que faz uso do hardware Wi-Fi embutido no chip, operando em 2.6GHz, resultando na comunicação do tipo *master/slave* entre dois dispositivos.

Um segundo equipamento desenvolvido é chamado de *Registrador de Consumo* (também com outro ESP32, com Oled embutido, da *Wemos Lolin*), conFigurado como *master* e tendo o GERALDO atuando como *slave*. Esse dispositivo faz a leitura de tensão e corrente em uma entrada monofásica, para assim obter as medições de potência instantânea (em W) e consumo de energia (em kWh).

Como este dispositivo estaria logo após o quadro de entrada de energia de uma edificação, desenvolveu-se essa conectividade sem fio, via protocolo *ESPNow*, enviando dessa forma as suas leituras. Como é possível continuar operando com o Wi-Fi simultaneamente, esse Registrador de Consumo também acessa o mesmo servidor de rede do Gerenciador para, numa tabela SQL própria (chamada de *consumo*), inserir suas leituras a cada hora. Pode-se visualizar a sua construção na Figura 23.

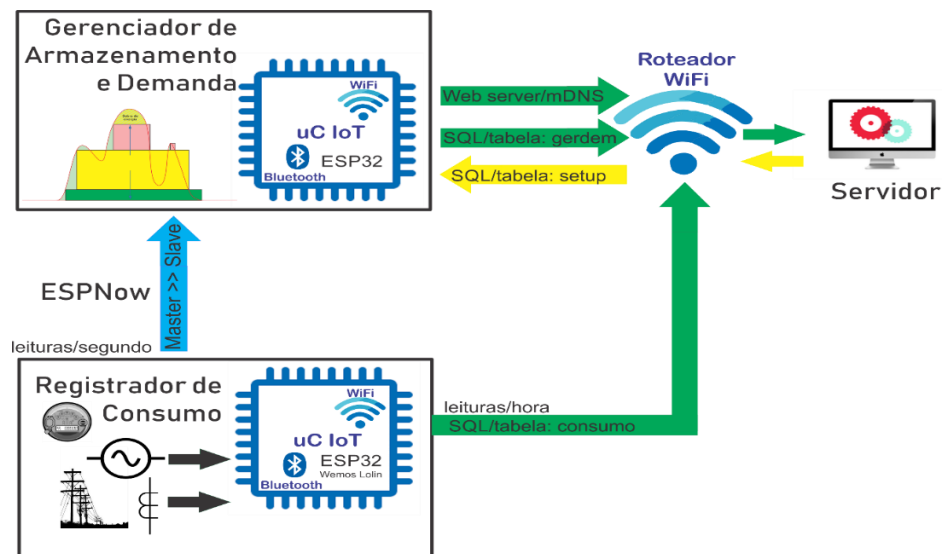
FIGURA 23 - DISPOSITIVO IOT – REGISTRADOR DE CONSUMO DE ENERGIA COM ESPNOW



FONTE: O autor (2019).

Disponibilizou-se, na intranet, mais um serviço: *Web server*, respondendo a um chamado local na mesma camada de rede. Esse serviço e o mDNS (*multicast DNS*) são serviços abertos para a integração de possibilidades de conectividade a novos dispositivos IoT, operando em conjunto. Assim, essa rede local ficou estruturada conforme ilustrado na Figura 24.

FIGURA 24 - ESTRUTURA DA REDE INTRANET COM O REGISTRADOR DE CONSUMO INTEGRADO AO GERENCIADOR VIA ESPNOW:



FONTE: O autor (2019).

Utilizando o aplicativo *uWamp*, um servidor de rede do tipo Apache (PHP 7.0.3) com Banco de SQL (MySQL 5.7.11) formatou-se duas tabelas simples com apenas alguns parâmetros para se estabelecer a troca de dados com os dispositivos IoT Gerenciadores. A primeira com os parâmetros a serem LIDOS (chamada *setup_gerdem*) pelos dispositivos microcontroladores e a segunda (chamada de *teste2_gerdem*) para RECEBER os dados. Na Tabela 1 listam-se esses dados. Essas tabelas SQL podem ser expandidas para comportar outros dados, conforme a necessidade.

TABELA 1 – DADOS COMPARTILHADOS VIA BANCO DE DADOS (SQL) EM SERVIDOR

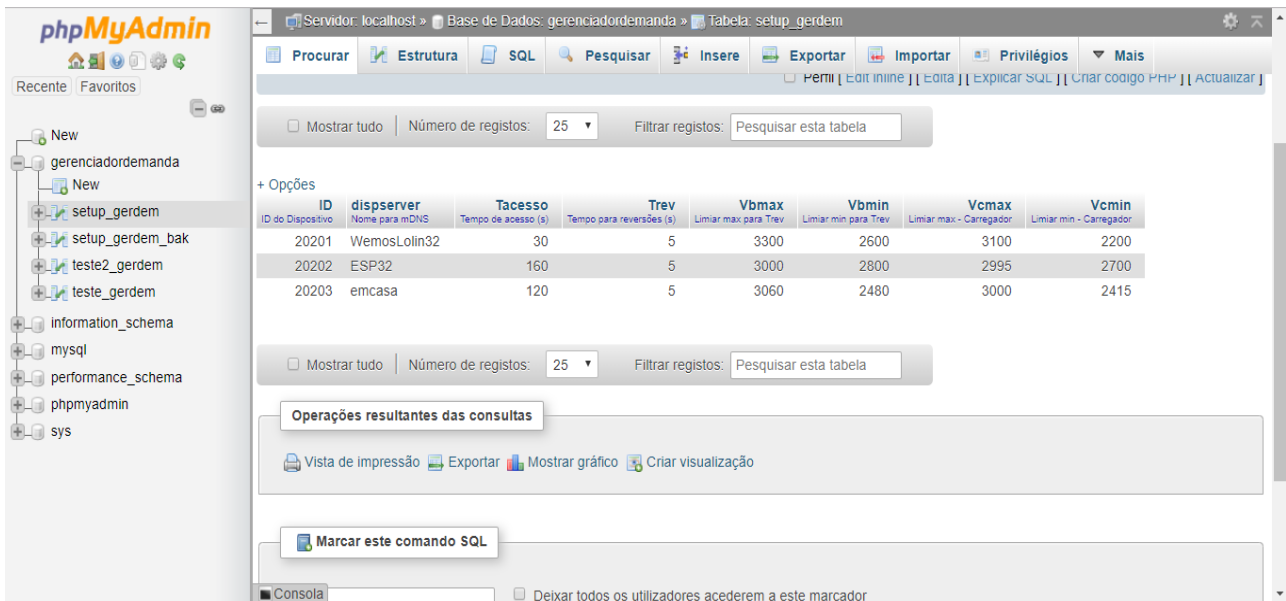
Nome da Tabela SQL	Itens da tabela
<i>setup_gerdem</i>	ID, <i>dispserver</i> , <i>Tacesso</i> , <i>Trev</i> , <i>Vbmax</i> , <i>Vbmin</i> , <i>Vcmax</i> e <i>Vcmin</i>
<i>teste2_gerdem</i>	<i>ger-id</i> , Data e Hora, <i>ger_Cbat</i> , <i>ger_Pot</i> e ID

FONTE: O autor (2019).

Na Figura 25 é mostrada a primeira tabela SQL, onde se estabeleceu os valores para três dispositivos IoT (seus IDs identificados como 20201, 20202 e 20203). Em *dispserver* foi dado um nome para cada Gerenciador IoT, Tempo de acesso (*Tacesso*) e Tempo de reversão (*Trev*) fixados em segundos, tensões limiares das baterias (*Vbmax* e *Vbmin*) e de atuação do Carregador CA (*Vcmax* e *Vcmin*) fixados nos valores absolutos conforme as leituras que o microcontrolador faz através de um

conversor A/D (analógico para digital) de 12 bits. Portanto, este faz leituras de tensões de 0 a 3,3 V convertendo para valores absolutos de 0 a 4095. Assim, manipulando por valores absolutos, não se necessita fazer as conversões para diferentes bancos de baterias associados em 12, 24, 36, 48 volts ou outra configuração.

FIGURA 25 - BANCO DE DADOS NO SERVIDOR LOCAL DE REDE – TABELA “SETUP”



ID	dispsver	Tacesso	Trev	Vbmax	Vbmin	Vcmax	Vcmin
ID do Dispositivo	Nome para mDNS	Tempo de acesso (s)	Tempo para reversões (s)	Limiar max para Trev	Limiar min para Trev	Limiar max - Carregador	Limiar min - Carregador
20201	WemosLolin32	30	5	3300	2600	3100	2200
20202	ESP32	160	5	3000	2800	2995	2700
20203	emcasa	120	5	3060	2480	3000	2415

FONTE: O autor (2018).

A segunda tabela pode ser chamada de *logs* enviados pelos dispositivos IoT, basicamente um relatório das leituras realizadas. A Figura 26 apresenta essa tabela com os parâmetros número da leitura (*ger_id*), Data e Hora, carga percentual do banco de baterias (*ger_Cbat*), potência injetada (valores positivos) ou extraída (valores negativos) do banco de baterias (*ger_Pot*) e o ID (número de identificação) do dispositivo que enviou estes dados. Assim, a geração sobre o armazenamento traduziria a potência com sinal positivo e o consumo da energia armazenada se traduziria como potência negativa. Dessa forma se indica a direção do fluxo de corrente sobre banco de baterias.

FIGURA 26 - BANCO DE DADOS NO SERVIDOR LOCAL DE REDE – TABELA “TESTE 2”

	ger_id	Data e Hora	ger_Cbat Carga baterias (%)	ger_Pot Pot. no barramento (W)	ID
Edita Copiar Apagar	776	2018-12-27 17:32:08	188	21	20202
Edita Copiar Apagar	777	2018-12-27 17:35:36	179	49	20202
Edita Copiar Apagar	778	2018-12-27 17:38:40	139	-24	20202
Edita Copiar Apagar	779	2018-12-27 17:43:06	192	24	20202
Edita Copiar Apagar	780	2018-12-28 14:37:11	122	-4	20202
Edita Copiar Apagar	781	2018-12-28 14:43:10	203	17	20202
Edita Copiar Apagar	782	2018-12-28 15:22:35	137	-8	20202
Edita Copiar Apagar	783	2018-12-28 15:55:04	119	-10	20202
Edita Copiar Apagar	784	2018-12-28 16:06:29	153	-20	20202
Edita Copiar Apagar	785	2018-12-28 16:12:03	200	18	20202
Edita Copiar Apagar	786	2018-12-28 16:14:37	184	30	20202
Edita Copiar Apagar	787	2018-12-28 16:19:18	168	9	20202
Edita Copiar Apagar	788	2018-12-28 16:54:50	123	-24	20202
Edita Copiar Apagar	789	2018-12-28 16:59:59	191	27	20202

FONTE: O autor (2018).

Portanto, todos os parâmetros para as reversões, excedente de energia, busca de energia da rede local para o armazenamento (ou por gerador a combustão), cargas essenciais a serem mantidas independentes da rede elétrica local, leituras de consumo, energia local gerada, temperatura ambiente e outros podem ser implementados, guardados e manipulados num servidor de rede e, com isso, gerenciar num grande ambiente, atuando sobre os vários prosumidores.

Cada usuário pode receber uma programação diferenciada em seu Gerenciador, de acordo com a sua necessidade. No entanto, inicialmente essa programação é escrita em três versões: Sistema com microgeração presente e acesso à rede elétrica concessionária, sistema sem microgeração, somente armazenamento com acesso a rede elétrica local e sistema autônomo, com microgeração e armazenamento, sem acesso à rede elétrica concessionária.

A mesma importância se procurou dar à segurança de todo o sistema, tanto no ambiente de acesso à rede de dados, como no *hardware* local, no projeto elétrico e eletrônico envolvidos. Os itens previstos para esta segurança são resumidos a seguir:

- Segurança para o uso da rede pública de dados:

Começa pela criptografia WPA, protocolo 802.11n, no acesso local ao roteador WiFi, passando por pelo menos três níveis de *login* (autenticação) e criptografia de acesso. Uma VPN, *Virtual Private Network*, pode ser aplicada no

firmware do roteador WiFi, assim, por tunelamento sob criptografia, protege-se o fluxo dos dados na rede internet, garantindo confidencialidade, autenticação e integridade.

O sistema é suficientemente autônomo numa situação sem acesso à rede de dados, operando em modo *default*, isto é, se não conseguir acessar a rede internet após um número pré-determinado de tentativas, o Gerenciador usa os parâmetros iniciais programados para manter o seu funcionamento ou pode manter os últimos parâmetros lidos do banco de dados. Esse critério ou ainda um outro pode ser decidido de acordo com as características no local de instalação.

- Segurança no *hardware* e periféricos:

Para panes eventuais no processamento de dados realizados pelo microcontrolador, faz-se uso de *Watchdogs*, um tipo de temporizador que é zerado periodicamente. Quando este não recebe o sinal para zerar a contagem de tempo (geralmente num intervalo de até 8 segundos), então ele reinicia todo o sistema. Pode atuar em nível de *software* (3 *Watchdogs* no ESP32) como de *hardware* (1 *Watchdog*). Trata-se de um elemento essencial para um dispositivo IoT. No ESP32, o *Watchdog* de *hardware* é um circuito reinicializador construído totalmente em separado do circuito processador, garantindo seu funcionamento mesmo com o processador completamente travado ou inoperante.

Inclui-se ainda a proteção contra severo dano elétrico nos periféricos, onde numa pane os relés desenergizados reverterem as cargas para a rede local naturalmente. Também se prevê uma reversão manual no quadro de distribuição de energia, para o completo isolamento de todo o sistema e a sua manutenção, através de chaves manuais reversoras do tipo alavanca, para cada canal de chaveamento do Gerenciador, atuando como *by-pass*.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

5.1 ESTABELECIMENTO COMERCIAL (CASO 1)

O sistema GERALDO foi montado em um estabelecimento comercial e de prestação de serviços, localizado em região urbana da cidade de Curitiba, Paraná, constitui-se um consumidor de energia elétrica com seguintes características:

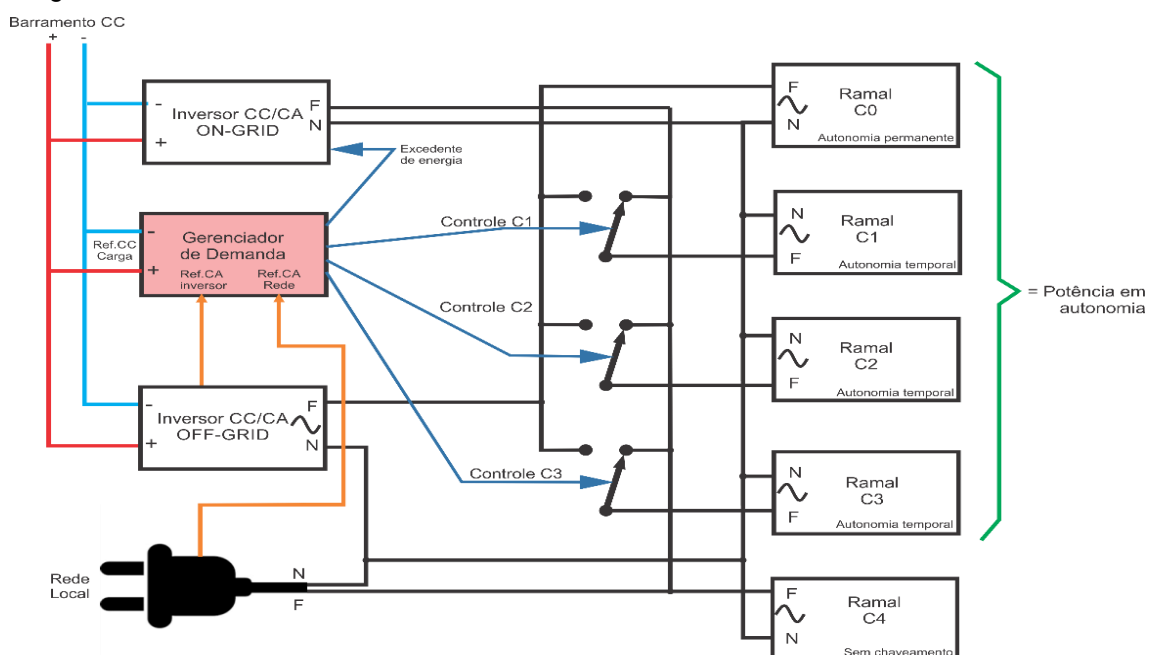
- Consumidor “B”, instalação trifásica, em 127/220 Vca;
- Consumo médio diário: 9,6 kWh/dia (indicado na própria fatura de energia).

Geração local, armazenamento e inversores instalados:

- 1.320 Wp da geração fotovoltaica, 350 W do gerador a combustão, 200 Wp da bicicleta ergométrica, 300 W de gerador eólico e 250 W do Carregador CA/CC, embutido no inversor OFF-GRID;
- 220 Ah de capacidade de armazenamento, barramento CC em 24 a 29 Vcc;
- Capacidade de potência em forma ilhada (inversor OFF-GRID) de 1.000 W;
- Capacidade de Injeção de energia para a rede elétrica (inversor ON-GRID) de 800 W.

Dividiu-se a demanda desse consumidor com uma intervenção em seu quadro de distribuição de energia, inserindo o sistema GERALDO e qualificando as cargas consumidoras em ramais C0 a C4, conforme diagrama ilustrado na Figura 27.

Figura 27 – MONTAGEM DO SISTEMA GERALDO – RAMAIS DE CARGAS DEMANDADAS



FONTE: O autor (2019).

Estes ramais de cargas, os quais somente C1, C2 e C3 sofrem reversões entre as fontes em CA, possuem os seguintes equipamentos, indicados na Tabela 2.

TABELA 2 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA - RAMAIS E SUAS CARGAS

Ramal	Cargas em CA	Potência máxima (W):
C0	Iluminação essencial (LEDs)	80
C1	Iluminação piso superior (LEDs + Lâmpadas eletrônicas) e Modem & WiFi	300
C2	Computadores (desktops) da Secretaria e Recepção	280
C3	Computadores (desktops) do Estúdio	290
C4	Iluminação térreo, cantina (geladeira, cafeteiras) e banheiro com chuveiro	7800

FONTE: O autor (2019).

A soma das potências das cargas C0 a C3 não deve ultrapassar a potência máxima permitida pelo inversor OFF-GRID, que é aqui de 1.000 W. Essas cargas, quando providas por este inversor permanentemente ligado sobre as baterias, estarão operando de forma autônoma em relação a rede elétrica distribuidora local.

Devido a sua construção, este inversor OFF-GRID consome 67 W operando a vazio, o que se traduz numa perda residual de energia e diminui a eficiência energética do sistema. Essa perda essencialmente acontece devido a filtragem do chaveamento em PWM sob modulação senoidal, que busca diminuir o índice THD do sinal senoidal produzido.

A injeção de energia na rede elétrica local se dá com um inversor ON-GRID, comandado pelo sistema GERALDO, com potência máxima de 800 W.

Para o levantamento de dados, fez-se leituras em medidores instalados para tal finalidade, onde o próprio inversor OFF-GRID utilizado (Inversor, Controlador MPPT e Carregador CA/CC embutidos) utilizado aqui possui diversas medições apresentadas em seu display, conforme imagem e seu detalhamento na Figura 28.

Figura 28 – PAINEL DO INVERSOR OFF-GRID, MEDIÇÕES PARA LEVANTAMENTO DE DADOS



FONTE: O autor (2019).

Neste display temos as seguintes medições:

- PV IN: Tensão CC fornecida pelos painéis fotovoltaicos conectados na entrada do Controlador MPPT embutido;
- AC IN: Tensão CA na entrada do Carregador CA/CC e by-pass para a saída CA, quando acionados;
- OUT: Tensão CA na saída do Inversor;
- BATT: Tensão CC do banco de baterias;
- TEMP: Temperatura ambiente;
- FREQ: Frequência de operação (ele se ajusta automaticamente a sistema em 50 ou 60 Hz);
- LOAD: Percentual de carga medido na saída CA do inversor (nesse caso 100% = 1000 W);
- BATT: Percentual de carga medido pela tensão CC nas baterias;
- PV IN: Energia fotovoltaica total produzida, medida acumuladamente.

Assim, para a obtenção dos parâmetros estabelecidos para a coleta de dados que indicarão o comportamento da gestão de energia dada pelo sistema GERALDO, as medições foram realizadas das seguintes formas:

Geração local

- Medição do PV IN (em kWh) dadas pelo próprio inversor OFF-GRID, para a geração fotovoltaica;
- Na bicicleta ergométrica, através de programação em um Arduino Nano, para leituras de corrente, tensão, potência e energia produzida, além da energia corporal consumida estimada, em calorias. Vê-se essa implementação construída na imagem e seu detalhe na Figura 29.

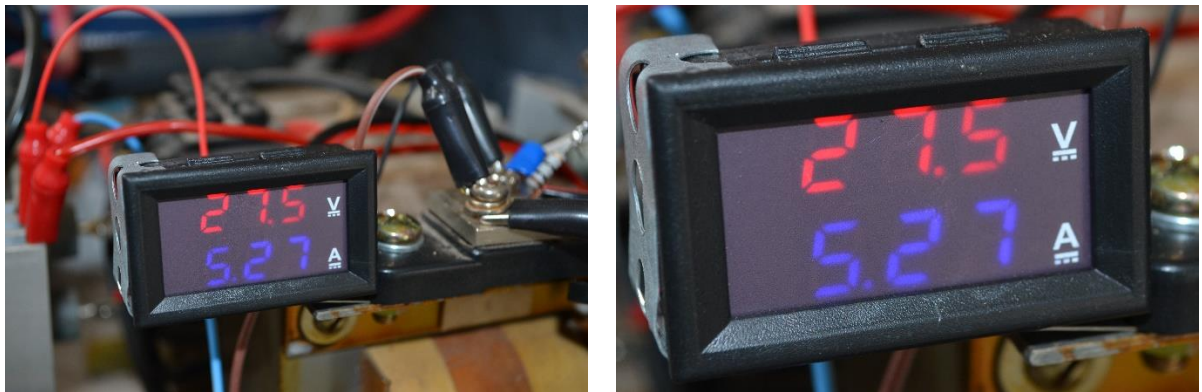
Figura 29 – SISTEMA DE MEDIÇÃO DESENVOLVIDO PARA A BICICLETA ERGOMÉTRICA, COM ARDUÍNO NANO



FONTE: O autor (2019).

- Para o Carregador CA/CC, fez-se a medição de consumo de energia utilizada no ciclo de recarga completa do banco de baterias, contabilizando-se quando acionado. Valor total medido de 0,975 kWh;
- Para o Gerador a combustão, mediu-se a tensão das baterias e a corrente CC produzida por este após passar por um transformador (120/26 V) e retificador em onda completa. Essa medição é mostrada na Figura 30.

Figura 30 – MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE CC PARA O GERADOR À COMBUSTÃO



FONTE: O autor (2019).

Fluxo de potência nas baterias

- Medição direta de tensão e corrente nas baterias. Considerou-se valores positivos para situações de carregamento destas e negativo para descargas. Visualiza-se esse medidor de corrente na Figura 31. Para a tensão CC considerou-se a medida pelo inversor OFF-GRID no item BATT apresentado em seu display;

Figura 31 – MEDIÇÃO DE CORRENTE NAS BATERIAS



FONTE: O autor (2019).

Potência consumida em autonomia

- Esse valor é diretamente indicado no item “LOAD” no inversor OFF-GRID, ali mostrado em percentual.

Excedente injetado na rede elétrica

- Medição feita com amperímetro do tipo efeito Hall, para corrente CC, sem o uso de resistor Shunt, portanto não invasivo, conforme mostrado na Figura 32 e seu detalhe. A tensão utilizada para o cálculo é a indicada em “BATT” no display do inversor OFF-GRID.

Figura 32 – MEDIÇÃO DE CORRENTE NA ENTRADA CC DO INVERSOR ON-GRID



FONTE: O autor (2019).

Destaca-se que esses parâmetros não são os medidos e colocados no servidor de rede pelo dispositivo IoT utilizado no sistema GERALDO. Lá estão outros parâmetros, que irão reger os processos de gerenciamento, tais como os limiares para as reversões, para o acionamento do Carregador CA/CC, para o acionamento do inversor ON-GRID (injeção do excedente de energia para a rede elétrica local), bem como os tempos de consolidação das leituras e de novos acessos ao próprio servidor através do acesso do dispositivo IoT à rede WiFi local.

Dados coletados – gráficos

A partir das leituras realizadas produziu-se as planilhas e, assim, os gráficos correspondentes às potências medidas. O cálculo integral dessas curvas, que representa a área correspondente, traduz-se na energia por ela dispendida. Assim, a soma dos montantes de energia do saldo do fluxo de potência sobre o banco de baterias, da potência consumida em autonomia e do excedente injetado na rede elétrica local, deve resultar em algo próximo ao valor medido da geração total energia produzida localmente, este dado pela soma da geração fotovoltaica, da produção gerada pela bicicleta ergométrica e dos ciclos de recarga produzidos pelo Carregador CA/CC embutido no próprio inversor OFF-GRID. Realizou-se então o cálculo integral dessas curvas de potência pela regra dos trapézios, resultando na energia aproximada para cada um desses casos.

A seguir reproduz-se a tabela do dia 02 de outubro e seu detalhamento. Esta e as demais dos dias subsequentes estão colocadas em compêndio no Apêndice 2, ao final desse trabalho.

Importante lembrar que a energia obtida pela produção fotovoltaica foi medida pelo próprio inversor OFF-GRID, uma vez que todos os painéis foram ligados no seu controlador MPPT interno. Os demais valores foram obtidos pela medição de tensão CC e correntes, uma consumida pelo próprio inversor OFF-GRID, traduzindo-se na denominada potência autônoma, ou seja, consumida de forma independente da rede elétrica local e a outra consumida pelo inversor ON-GRID que, uma vez acionado, injeta energia nesta rede elétrica local, na condição de uma microgeração ser suficiente para manter todas as cargas sobre si, além do banco de baterias estar em flutuação, ou seja, trata-se da injeção do excedente de energia à rede elétrica local.

Formatou-se, assim, uma tabela para a coleta diária de dados, permitindo uma comparação do fluxo de potência sobre o armazenamento (considerando positivo para a situação de carga das baterias e negativo para a descargas destas), com as potências de operação em autonomia (cargas sobre o inversor OFF-GRID) e a injetada na rede elétrica local (excedente de energia). Esses valores são mostrados a seguir na Tabela 3, com suas curvas correspondentes.

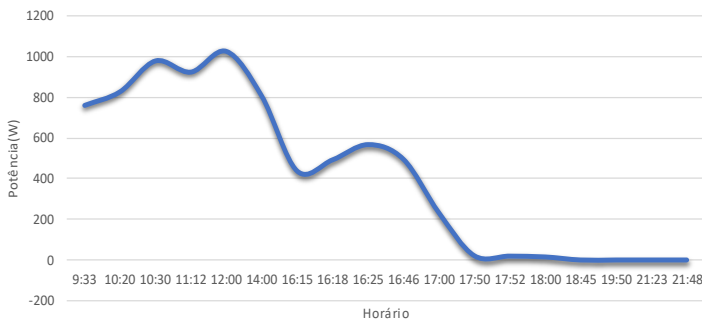
TABELA 3 – LEITURAS REALIZADAS – 02/OUT/2019

Horário:	Carga das baterias (%):	Potência nas baterias (W)	Pot.ON-GRID injetada (W)	Pot. OFF-GRID autônoma (W)	Pot. Gerada painéis FV	Energia gerada Bike + Gerador a Combustão + Carregador (kWh)	Saldo de Pot.(W)	Energia FV acumulada (kWh)	Energia FV gerada (kWh)	Temperatura	Situação de carga demandada
5:40	87	-66,9	0	0	0	0	0	1422,8	0	17	
6:30	89	47,9	0	0	115	0	115	1422,9	0,1	17	
6:45	90	63,5	0	0	151	0	151	1422,9	0,1	17	
7:27	96	284,6	0	0	353	0	353	1423,1	0,3	18	
7:30	96	258,7	0	55	365	0	310	1423,1	0,3	18	C1
8:20	98	318,6	0	55	421	0	366	1423,4	0,6	20	C1+C2
8:50	100	402,9	0	90	540	0	450	1423,7	0,9	21	C1+C2+C3
8:54	95	-68,6	434,9	95	539	0	9,1	1423,7	0,9	21	C1+C2+C3+OnGrid
9:00	93	-39	416	100	528	0	12	1423,8	1	22	C1+C2+C3+OnGrid
9:30	93	7,8	421,8	230	724	0	72,2	1424,1	1,3	23	C1+C2+C3+OnGrid
9:33	93	3	449	260	761	0	52	1424,1	1,3	23	C1+C2+C3+OnGrid
10:20	95	95,76	440,8	230	828	0	157,2	1424,8	2	25	C1+C2+C3+OnGrid
10:30	96	111,7	457	330	980	0	193	1424,9	2,1	25	C1+C2+C3+OnGrid
11:12	96	71,8	470,8	310	925	0	144,2	1425,6	2,1	27	C1+C2+C3+OnGrid
12:00	99	145,8	544	285	1027	0	198	1426,5	2,8	28	C1+C2+C3+OnGrid
14:00	95	69,2	462,8	210	807	0	134,2	1428,2	3,7	30	C1+C2+C3+OnGrid
16:15	88	-297	335	340	438	0	-237	1429,8	5,4	31	C1+C2+C3+OnGrid
16:18	93	147	0	320	493	0	173	1429,8	7	32	C1+C2+C3
16:25	96	219,1	0	310	568	0	258	1429,9	7	32	C1+C2+C3
16:46	98	194,4	0	290	496	0	206	1430,1	7,1	30	C1+C2+C3
17:00	91	-107,5	0	325	233	0	-92	1430,2	7,3	30	C1+C2+C3
17:50	86	-369	0	370	21	0	-349	1430,2	7,4	29	C1+C2+C3
17:52	87	-158,7	0	130	19	0	-111	1430,2	7,4	29	C1+C2
18:00	88	-137	0	90	15	0	-75	1430,2	7,4	29	C1+C2
18:45	87	-203,3	0	130	0	0	-130	1430,2	7,4	28	C1+C2
19:50	87	-124,8	0	60	0	0	-60	1430,2	7,4	27	C1
21:23	87	-86,8	0	20	0	0,015	-20	1430,2	7,4	25	
21:48	87	-86,8	0	20	0	0,015	-20	1430,2	7,4	25	

Medição energia FV inicial(kWh)	Hora inicial (decimal)	Hora final (decimal)	Período das leituras (decimal)
1422,8	5,67	21,80	16,13

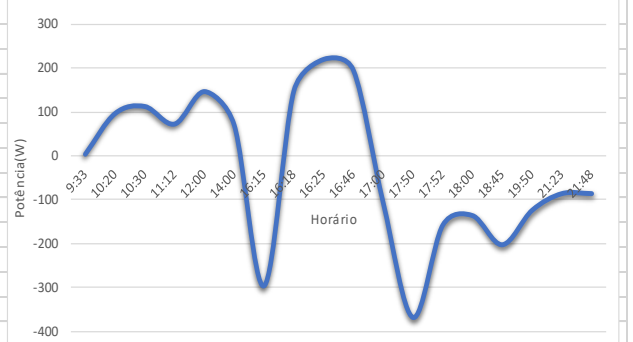
Total de energia gerada(kWh)	Energia consumida e armazenada (kWh)	
7,43	4,45	59,91%

Geração local



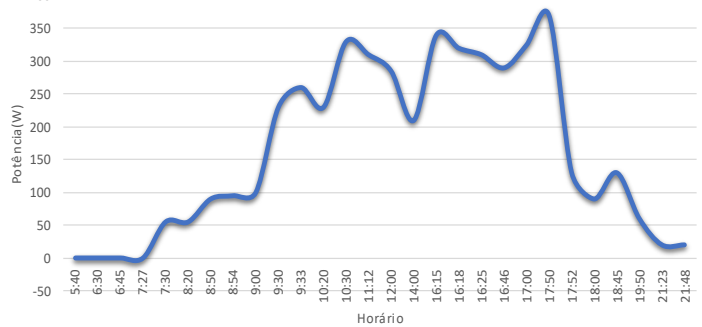
Total (kWh)= 7,43

Fluxo de potência nas baterias



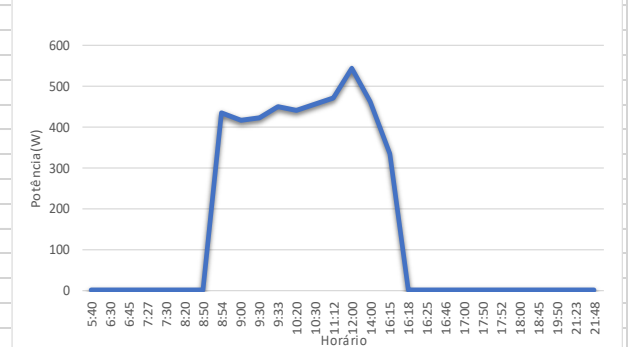
Total (kWh)= 0,0941

Potência consumida em autonomia



Total (kWh)= 1,0020

Excedente injetado na rede elétrica



Total (kWh)= 3,3549

FONTE: O autor (2019).

Observações:

- Dia com pouca nebulosidade, alta insolação;
- Geração com bicicleta ergométrica associada a gerador CC no final do dia. Uma hora de pedalada, consumo corporal de 650 calorias, produzindo 30 Wh, direcionado às baterias;

Os itens dessa planilha são detalhados a seguir:

- *Horário*: Hora local da leitura realizada;
- *Cargas das baterias*: Valor percentual da carga das baterias, indicado pela medição realizada no inversor OFF-GRID;
- *Pot. nas baterias*: Fluxo de potência sobre as baterias, dado pelo produto da corrente CC (positiva na situação de carregamento e negativo em descarga) medido por um amperímetro, pela tensão CC indicada no display do inversor OFF-GRID;
- *Pot. ON-GRID injetada*: Potência injetada pelo inversor ON-GRID, medida pelo produto da tensão CC das baterias pela corrente CC medida na entrada desse inversor, através de um alicate amperímetro, não invasivo, operado por efeito Hall;
- *Pot. OFF-GRID autônoma*: Potência consumida medida na saída do inversor OFF-GRID, indicada no próprio display, no item LOAD. O valor dado em percentual é convertido em Watts. Essa potência é operada de forma autônoma em relação ao fornecimento provido pela rede elétrica local, extraída unicamente das baterias;
- *Pot. Gerada painéis FV*: Potência produzida pela geração fotovoltaica, valor medido pelo inversor OFF-GRID, uma vez que este possui o controlador MPPT embutido. É apresentado em seu display no item PV IN;
- *Energia gerada Bike + Gerador a Combustão + Carregador*: Soma das produções de energia dadas pela bicicleta ergométrica, do gerador a combustão e do Carregador CA/CC (embutido no inversor OFF-GRID);
- *Saldo de Pot.*: Saldo do total de potência gerada e a consumida. Essa coluna é destinada a um balizamento com a do fluxo de potência sobre as baterias, permitindo sua aferição, uma vez que seu comportamento deve se assemelhar a este último;
- *Energia FV acumulada*: O inversor OFF-GRID possui um contador acumulativo de energia fotovoltaica produzida, iniciado desde o seu acionamento. Portanto essa coluna apresenta esses valores que serão descontados do maior valor obtido no dia anterior;
- *Energia FV gerada*: Produção fotovoltaica diária até o momento da leitura, dado pela subtração do valor acumulado (coluna anterior) do maior valor obtido no dia anterior. Este saldo representa assim a energia fotovoltaica diária acumulada, produzida até o momento dessa leitura;

- *Temperatura*: Medição da temperatura ambiente do recinto das baterias, feito pelo instrumento alicate amperímetro;
- *Situação de carga demandada*: Situação do chaveamento reversor realizado sob o comando do sistema GERALDO, assim como do acionamento do inversor ON-GRID, para a injeção do excedente de energia gerado para a rede elétrica local.

Logo abaixo apresentam-se os seguintes itens:

- *Medição energia FV inicial*: Valor máximo obtido na leitura da energia fotovoltaica produzida no dia anterior (PV IN), na medição realizada pelo inversor OFF-GRID;
- *Hora inicial (decimal)*: Horário da primeira leitura, em decimal. Utilizado para o cálculo integral.
- *Hora final (decimal)*: Horário da última leitura, em decimal. Utilizado para o cálculo integral da curva de potência.
- *Período das leituras (decimal)*: Período no qual foram feitas as leituras, em decimal. Utilizado para o cálculo integral da curva de potência.
- *Total de energia gerada*: Valor da produção total diária de energia, soma das medições do inversor OFF-GRID (fotovoltaica) e das produções da bicicleta ergométrica e do Carregador CA/CC embutido neste inversor;
- *Energia consumida e armazenada*: Soma das energias obtidas pelo cálculo integral das curvas de potência dadas pelo fluxo de potência sobre as baterias, potência operada de forma autônoma e potência injetada na rede elétrica local;

Apresentam-se em seguida as curvas de potência que representam esses dois últimos itens arrolados acima (*Total de energia gerada* e *Energia consumida e armazenada*), obtidas pelas tabelas das leituras realizadas durante o dia.

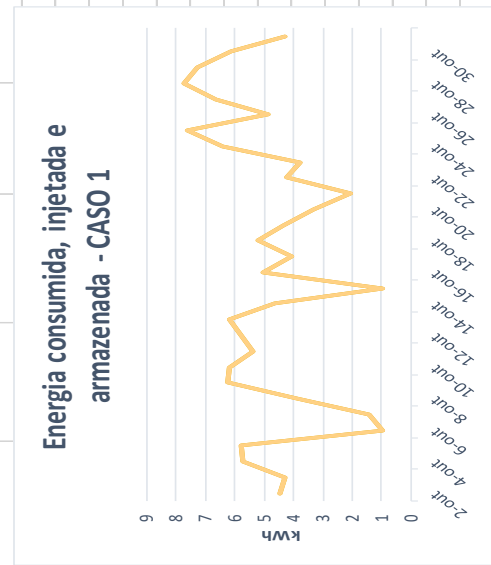
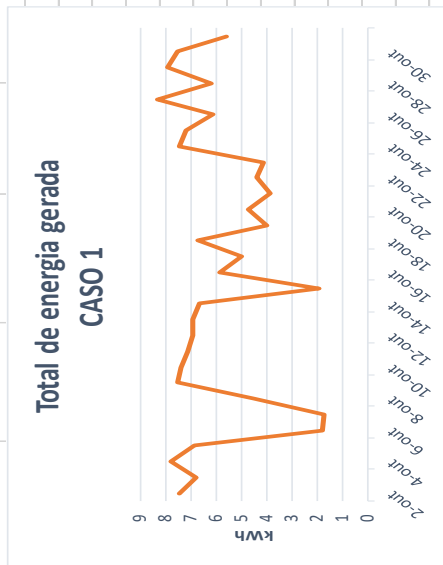
Dessa forma, o levantamento é então reproduzido para os demais dias até o final do mês e apresentados em compêndio no Apêndice 2 desse trabalho. Observações relevantes são colocadas em cada dia, pelas suas singularidades e, em alguns casos, por simulações provocadas. Adicionalmente, o sistema GERALDO foi aplicado, também, em laboratório da Copel Distribuição S.A., o que será detalhado na seção 5.2.

5.1.1 RESULTADOS

Apresenta-se, a seguir, a Tabela 4, com as totalizações dos dados obtidos durante o período mensal, com resultados apresentados na coluna destacada em azul. Por um erro de formatação de dados ocorrido no dia 1 de outubro, esse dia foi desconsiderado (valores expurgados, indicados em rosa).

TABELA 4 – TOTALIZAÇÕES DAS LEITURAS – CASO 1

OUT/2019	Dias	Energia gerada (kWh)	Energia consumida em autonomia, injetada e armazenada (kWh)	Economia indicada pela fatura de energia (Copel), em kWh	Valor faturado anterior 15/SET a 15/OUT (R\$)	Valor faturado com GERALDO 15/OUT a 15/NOV (R\$)	Economia indicada pelas faturas (R\$)	Economia em 30 dias em kWh (\$ e kWh)	Total consumido pelo Carregador CA/CC (kWh)	Energia injetada (kWh) e valores diários (Wh)	Energia em autonomia (kWh) e valores diários (Wh)	Energia armazenada (kWh)	Consumo últimos 12 meses (kWh)	Consumo com GERALDO (kWh)
TOTAL no mês	30	166,31	135,10	100,42	199,36	139,11	46,07	21,40%	9,75	0,00	0,46	2,13	288	188
Média diária (expurgado)	1-out	5,54	4,50	3,55			1,54	34,88%	0,33	0,00	0,02	0,07	9,60	6,25
	2-out	7,43	4,45							0,00	0,00	-86,13		
BALANÇO (kWh):	3-out	6,8	4,31							0,00	0,00	-9,50		
	4-out	7,775	5,72						0,975	0,00	2,08	-12,35		
Gerção	5-out	6,83	5,78						0,975	0,00	0,00	-23,98		
166,31 kWh	6-out	1,762	0,98						0,975	0,00	0,00	-78,68		
	7-out	1,7	1,40							0,00	0,00	-18,54		
Economizado	8-out	4,5	3,90							0,00	0,00	-11,84		
100,42 kWh	9-out	7,5	6,24							0,00	8,63	74,06		
60,38%	10-out	7,4	6,20							0,00	0,00	-6,43		
	11-out	7,1	5,36							0,00	206,25	136,94		
Perdas:	12-out	6,9	5,79							0,00	0,00	179,67		
MPPT+CC/CA	13-out	6,9	6,15							0,00	21,67	184,98		
9,85 kWh	14-out	6,675	4,64						0,975	0,00	0,00	55,20		
5,92%	15-out	1,9	0,97							0,00	0,00	-33,18		
Inversor a vazio	16-out	5,85	5,02							0,00	0,00	24,42		
48,24 kWh	17-out	5	4,06							0,00	0,00	50,84		
29,01%	18-out	6,695	5,23							0,00	0,00	147,50		
	19-out	4	4,36							0,00	0,00	29,75		
Carreg. CA/CC	20-out	4,7	3,33							0,00	1,75	11,87		
9,75 kWh	21-out	3,85	2,08						0,975	0,00	0,00	191,66		
5,86%	22-out	4,4	4,24							0,00	0,00	1,13		
Total de perdas	23-out	4,115	3,75							0,00	0,00	43,88		
67,84 kWh	24-out	7,475	6,39						0,975	0,00	0,00	381,64		
40,79%	25-out	7,2	7,60							0,00	65,08	179,57		
	26-out	6,125	4,84							0,00	8,00	8,83		
	27-out	8,3	6,66							0,00	4,08	35,63		
	28-out	6,175	7,73						0,975	0,00	0,00	164,67		
	29-out	7,9	7,25						0,975	0,00	74,00	64,66		
	30-out	7,5	6,15							0,00	0,00	26,00		
	31-out	5,6	4,27							0,00	70,83	363,66		



FONTE: O autor (2019).

Observa-se uma similaridade das curvas de energia gerada e consumida, que mostram a efetividade do gerenciamento da demanda. As poucas diferenças ocorreram em situações singulares, conforme se tem relatadas no compêndio do Apêndice 2 desse trabalho.

Neste estabelecimento, as leituras da fatura de energia são realizadas entre os dias 11 a 15 de cada mês, portanto, para o levantamento realizado no mês inteiro, de 01 a 31 de outubro de 2019, foi preciso analisar as faturas dos meses anterior e posterior a outubro. A economia totalizou 100,42 kWh poupados, significando uma queda de 34,88%. Em valores monetários foram R\$ 46,07 poupados, 21,4 % a menos do que se pagou na média dos últimos 12 meses.

É preciso destacar que dos 166,31 kWh gerados, 60,38% se refletiu em energia poupada, contabilizada pelas faturas de energia. O restante se compôs dos seguintes fatores:

- Perdas nas conversões CC/CC (MPPT) e CC/CA (Inversor) internas no inversor OFF-GRID, com valor especificado em manual de 94,08% de eficiência desse conjunto, ou seja, uma perda de 5,92%;
- Operação do inversor OFF-GRID a vazio, medido o valor de 67 W, apesar de ser indicado 5 W no manual, representando uma perda mensal estimada de 48,24 kWh, ou 29,01% do total gerado;
- Operações de recarga das baterias pelo Carregador CA/CC embutido neste inversor, com um montante ao final do período de 9,75 kWh, ou 5,82%.

Este último fator pode ser considerado como um processo inerente à manutenção da carga das baterias, uma vez que o Carregador CA/CC é acionado em situações especiais, com finalidade de manter a integridade delas. Importante observar que, quando este é acionado, um relé interno do inversor OFF-GRID faz um by-pass entre a entrada em CA da rede local e a saída desse inversor às cargas consumidoras, conforme já descrito na página 51 desse trabalho. O sistema GERALDO está projetado para controlar esse Carregador, contendo um relé para fazer esse acionamento conforme parâmetros trocados com o servidor de rede, porém experimentou-se deixar esse carregador interno do inversor OFF-GRID realizar essa função para, entre outras coisas, analisar a aceitabilidade do GERALDO a essa configuração. Conforme relato do dia 16/OUT no compêndio (Apêndice 2), acontece um caso onde esse carregador é acionado com o inversor ON-GRID ainda em operação. Sob o controle do sistema GERALDO isso jamais aconteceria. Um ajuste do parâmetro *Vbmin* foi feito para evitar essa situação.

5.2 COPELAB (CASO 2)

Para testar e analisar os resultados da aplicação do sistema GERALDO, propôs-se montá-lo no COPELAB, laboratório da COPEL Distribuição S.A., no polo km 3, localizado na Rua José Izidoro Biazzetto, 158 - Mossunguê, Curitiba – PR. Neste caso, trata-se de um contêiner de 30 m² com diversos tipos de cargas consumidoras demandadas, entre elas o sistema de recarga de alguns veículos elétricos ali disponibilizados. Essa montagem é visualizada na Figura 33.

FIGURA 33 – MONTAGEM DO SISTEMA GERALDO NO COPELAB – COPEL DISTRIBUIDORA



FONTE: O autor (2019).

ConFiguração da instalação:

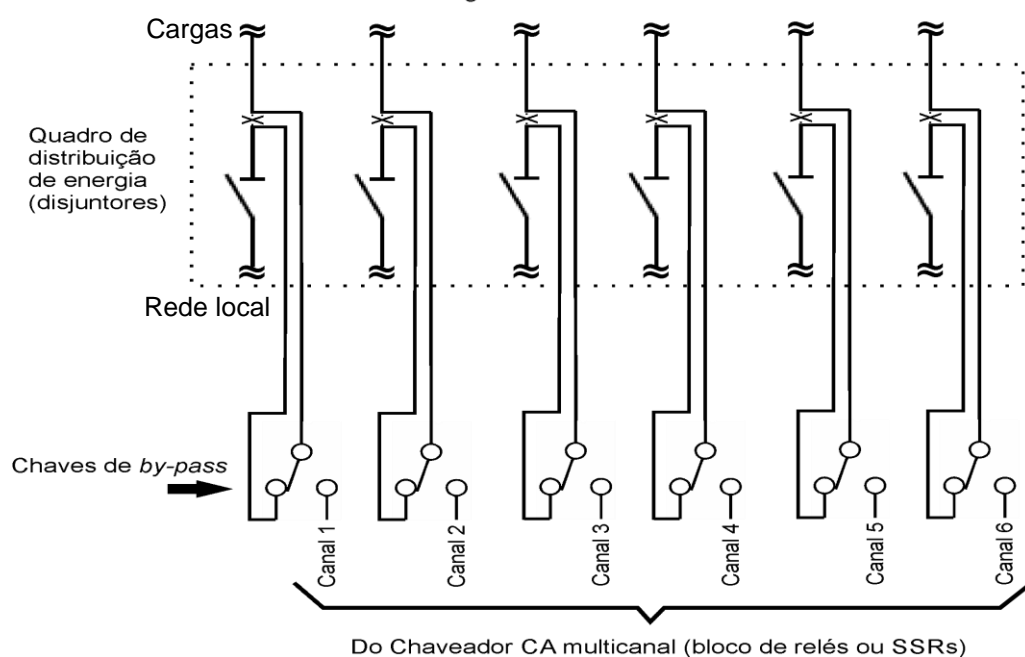
- Barramento CC de 48 a 52 Vcc;
- Inversor OFF-GRID da Outback, senoidal, de 3.000 W;
- Sem inversor ON-GRID;
- 16 baterias de 220 Ah, em 4S/4P, totalizando 880 Ah, cerca de 44 kWh;
- Sem microgeração local disponível, recarga das baterias dada exclusivamente pelo Carregador CA/CC, de 1.500W;
- 4 Canais/ramais de chaveamento, sendo um deles por SSRs (utilizado para recarga em CA de veículo elétrico).

5.2.1 MONTAGEM E INSTALAÇÃO

Conforme mencionado, a montagem e instalação descritos a seguir se deu nas dependências da COPELAB, laboratório da empresa COPEL Distribuição S.A. A primeira intervenção se deu no quadro de distribuição de energia do local, identificando cada ramal consumidor e eventualmente requalificando esses ramais conforme o tipo, a potência e a sua importância em ser suprida ou não por um banco de baterias, nos momentos de ausência de energia na rede elétrica local.

Introduziu-se um grupo de chaves reversoras para o *by-pass*. Na Figura 34 mostra-se essa interligação realizada do quadro de distribuição para o módulo Chaveador CA. Nesse caso é dado um exemplo para 6 canais demandados. Isso faz com que cada ramal de distribuição de cargas esteja ou não sujeito ao chaveamento do GERALDO. Essencial para caso de graves danos ao sistema como para a realização de serviços de manutenção, mantendo assim estas cargas providas de energia. Importante lembrar que, no chaveamento por relés, as cargas recebem energia da rede elétrica local quando estes estão em repouso. Portanto, numa pane do sistema, esses relés desenergizados manterão as cargas fora da geração obtida do armazenamento, porém mantidas na rede elétrica. Isso pode acontecer, por exemplo, com a queima do inversor OFF-GRID, pois este alimenta o sistema gerenciador.

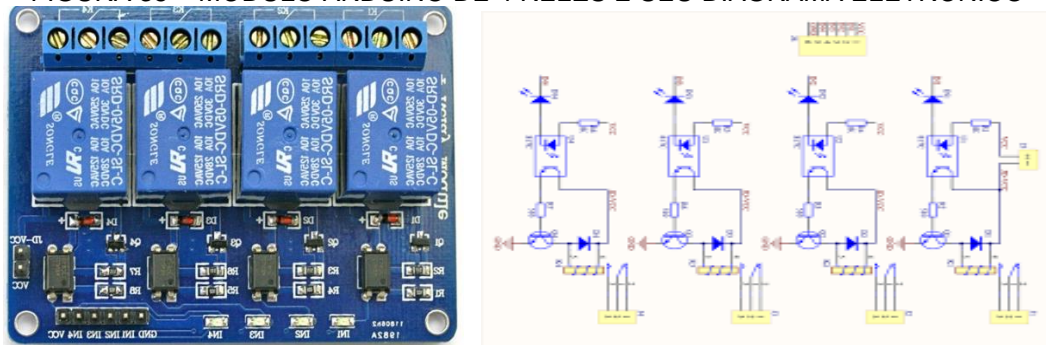
FIGURA 34 – INSERÇÃO DE CHAVES BY-PASS AOS RAMAIS NO QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO



FONTE: O autor (2019).

No presente projeto, pôde-se usar um conjunto comum de relés, com 2 ou 4 unidades, para constituir esse Chaveador CA multicanal. Por exemplo, os comercializados como acessórios para a família do microcontrolador Arduino, como o mostrado na Figura 35.

FIGURA 35 – MÓDULO ARDUÍNO DE 4 RELÉS E SEU DIAGRAMA ELETRÔNICO



FONTE: SunFounder (2019)

Esse módulo de comutação, que faz as reversões das cargas consumidoras em CA, deve preferencialmente ficar montado próximo ao quadro de disjuntores que fazem a distribuição de energia no imóvel. Como normalmente o módulo Gerenciador (GERALDO) ficaria distante desse quadro, é previsto o uso de um cabo de rede de dados blindado (8 vias) interligando esses dois módulos, com conectores RJ45.

O Gerenciador, quando toma a decisão de realizar a reversão de um canal onde se tem as cargas em CA, procura detectar o sincronismo de fase entre a rede elétrica local e o Inversor CC/CA, mesmo que este não produza uma onda senoidal. Se este inversor ou gerador local for sincronizado com a rede local, então a reversão ocorre imediatamente, como já mencionado acima, no ponto zero da transição da onda. Se a geração em CA não for sincronizada com a rede local, o Gerenciador espera até o momento em que aconteça o sincronismo, para assim acionar a reversão no ponto de passagem por zero da onda de ambas as fontes.

Mesmo inversores ou geradores muito estáveis em frequência irão em algum momento entrar em sincronismo com a rede elétrica. Alguns podem demorar um pouco mais (os mais estáveis levaram até 2 minutos nos testes realizados) e outros, de construção mais simples, são mais rápidos. A decisão de projeto de operar as reversões dessa forma foi tomada pela premissa de que o sistema tem que operar com qualquer tipo de microgeração em CA que o usuário decidir usar, desde simples geradores a combustão, pequenas turbinas hidráulicas ou a vapor até inversores

simples, não-senoidais, ou mais elaborados, senoidais autônomos e senoidais sincronizados.

Conforme ilustrado anteriormente, tem-se a representação das possibilidades de uma comutação reversível do Chaveador CA de 3 canais, para cargas em CA denominadas aqui “LEVE”, “MÉDIA” e “COMPLEMENTAR”, além dos dois canais estáticos, que não sofrem comutação.

Com o uso de uma interface USB para um aplicativo osciloscópio digital, pôde-se registrar as comutações reversoras sincronizadas realizadas por relés e SSRs. A Figura 36 mostra a transição de ida, da rede CA local (senoidal) para o inversor (onda quadrada). Em amarelo se tem a forma de onda sobre a carga CA e em azul o sinal de comando ao relé reversor.

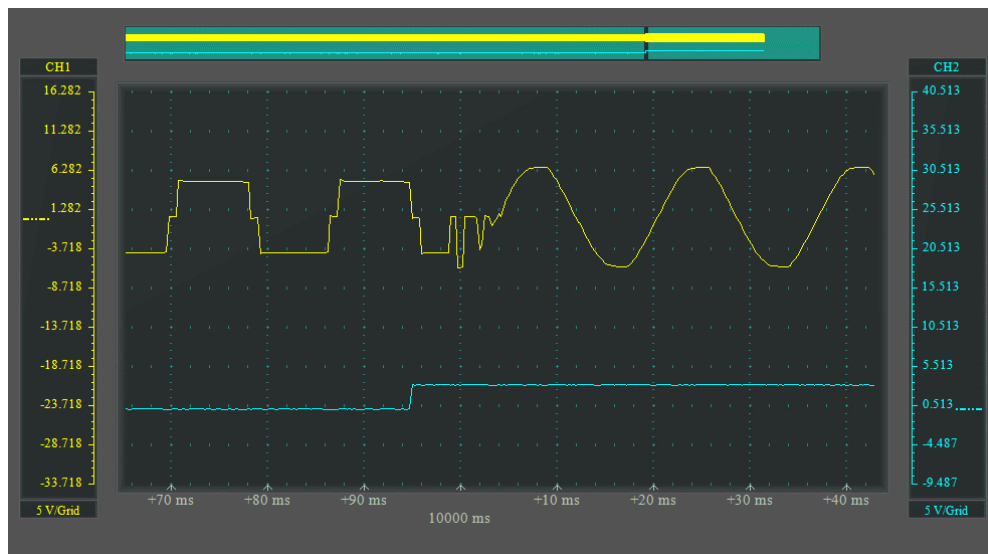
FIGURA 36 – TRANSITÓRIO DE IDA COM RELÉ: REVERSÃO DA REDE LOCAL PARA INVERSOR



FONTE: O autor (2019).

Mesmo o impulso de comando ocorrer no ponto exato de sincronismo entre as fontes, no transitório de passagem por zero de tensão, observa-se o atraso da atuação do relé. Os primeiros 2 ms são o tempo necessário para que a energização da bobina faça com que o contato desligue a carga da fonte senoidal. Nos 2 ms seguintes se tem a interrupção de corrente, que é quando a alavanca movimentadora do relé percorre a área intermediária entre os contatos. Cerca de 4 ms após o comando, a alavanca chega ao contato de destino. Na Figura 37 é apresentado o transitório de retorno, quando a carga sai do inversor (onda quadrada) e volta para rede elétrica local (onda senoidal).

FIGURA 37 – TRANSITÓRIO DE VOLTA COM RELÉ: REVERSÃO INVERSOR PARA REDE LOCAL



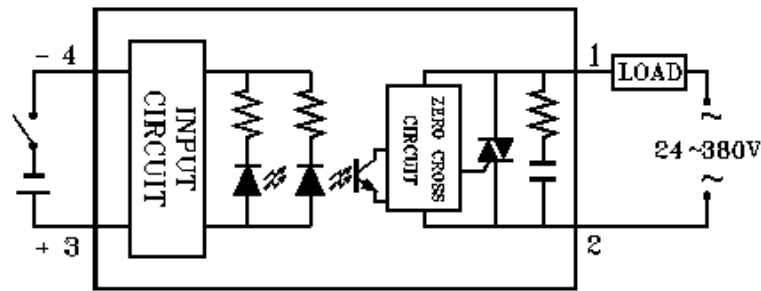
FONTE: O autor (2019).

Como esse transitório de retorno acontece pela interrupção da corrente na bobina do relé, a movimentação do contato fica sujeita a uma mola presa à alavanca móvel, que a traz de volta. Esse processo se mostra mais lento e instável do que o de acionamento. Nos primeiros 3 ms o contato da carga com o inversor ainda é mantido pois a corrente da bobina se esvai por um diodo em antiparalelo e o magnetismo resultante ainda mantém o contato na posição inicial, em seguida o contato se solta e observa-se o centelhamento nos contatos na corrente da carga, até chegar à sua interrupção. Quase 6 ms após o comando é que o contato à fonte senoidal se realiza.

Uma técnica comum para acelerar esses processos é energizar a bobina do relé com uma tensão duas vezes maior que a nominal por um curto período, permanecendo na tensão nominal em seguida e, para retornar o contato, aplica-se uma tensão inversa na bobina, também por um curto período, zerando-a em seguida.

Testou-se, então, uma alternativa de reversão das cargas CA usando dois SSRs, cada um ligado a uma fonte CA (rede local e inversor) e ambos alimentando essas cargas de forma reversível. Como o envio do sinal já acontece no sincronismo e no transitório por zero das duas fontes, o processo fica bastante facilitado. O modelo escolhido é o Fotek SSR-40DA, fabricado em Hong-Kong, cujo circuito interno e suas principais características técnicas são apresentados pelo fabricante na Figura 38.

FIGURA 38 – CIRCUITO INTERNO DO SSR-40DA



Fonte: FOTEK (2018)

Características técnicas

ENTRADA

Tensão de operação: 3 a 32 Vcc

Corrente de disparo: 7,5 mA, em 12 V

Método de controle: *Zero Cross Trigger*

SAÍDA

Tensão de operação: 24 a 380 Vca

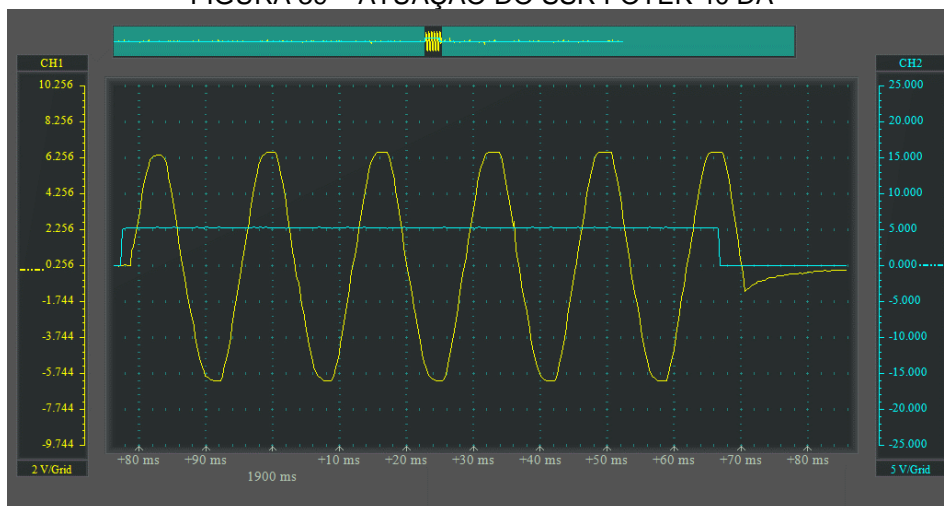
Corrente máxima: 135 A

Tempo de resposta: < 10 ms

Temperatura de operação: de -20 a 80 C

Porém, antes da sua implementação, analisou-se na prática a sua forma de atuação, obtendo-se o resultado conforme mostrado na Figura 39. O traço em azul é o sinal de comando e o amarelo o sinal sobre a carga CA (utilizada uma lâmpada de filamento de 20 W + motor de indução de 40W).

FIGURA 39 – ATUAÇÃO DO SSR FOTEK 40 DA

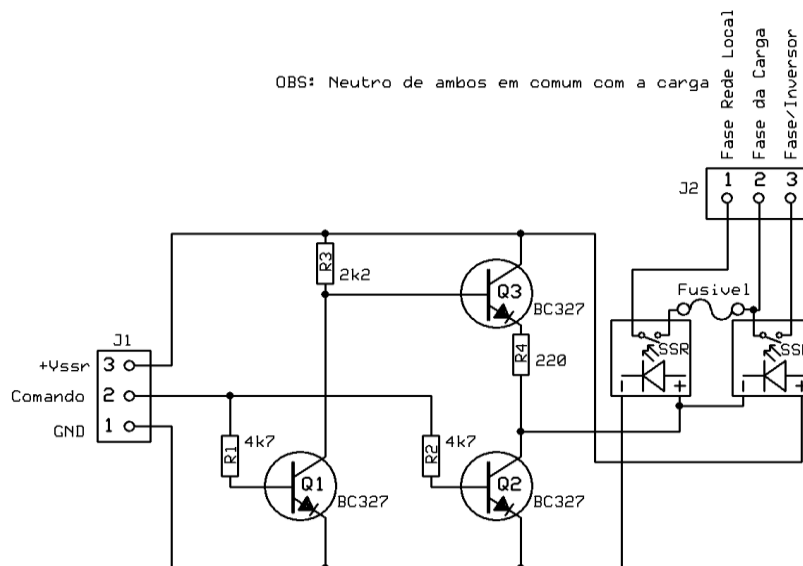


FONTE: O autor (2019).

Pela tabela, o atraso (*response time*) é indicado como em até 10 ms, pois depende do ponto de acionamento e desligamento em relação ao sinal senoidal da fonte CA. Observa-se, portanto, que é desejável que o sinal para a reversão seja um pouco antes da passagem por zero, para que os circuitos internos *zero-cross* dos SSRs atuem favoravelmente. Assim, cessando o sinal de acionamento no primeiro SSR um pouco antes fará com que ele espere chegar a zero para então interromper a corrente na carga. Ao mesmo tempo, esse sinal irá disparar o segundo SSR, porém o circuito *zero-cross* o fará esperar passar pelo zero para dispará-lo. Dessa forma garante-se que os dois não acionem ao mesmo tempo. Por fim, observa-se que esses SSRs já têm um filtro *snubber*¹¹ incorporado, o que ajudará em muito a evitar interferências e picos de corrente sobre a carga.

Usando dois SSRs, relés de estado sólido, nada precisou ser modificado no Gerenciador, apenas um pequeno detalhe em sua programação, porém foi preciso desenvolver um circuito eletrônico *driver*¹² para seu acionamento, pois se tem um sinal de 0 a 3,3 V vindo do microcontrolador e os SSRs precisam de um sinal com amplitude maior para seu comando, escolhido aqui uma tensão regulada de 12 V (+V_{ssr}). O circuito driver desenvolvido e testado está na Figura 40.

FIGURA 40 – DRIVER ELETRÔNICO DESENVOLVIDO PARA OS SSRs EM 12 ATÉ 30VCC



FONTE: O autor (2019).

¹¹ **FILTRO SNUBBER:** Normalmente é um circuito RC que controla taxas de variação de corrente ou tensão, atenua sobretensões e oscilações, dissipando potência sobre os elementos chaveadores.

¹² **DRIVER (Eletrônica):** Circuito eletrônico desenhado para comando ou acionamento de um periférico, que pode ser um LED, motor ou um transdutor, adaptando o sinal de controle aos parâmetros elétricos próprios deste periférico.

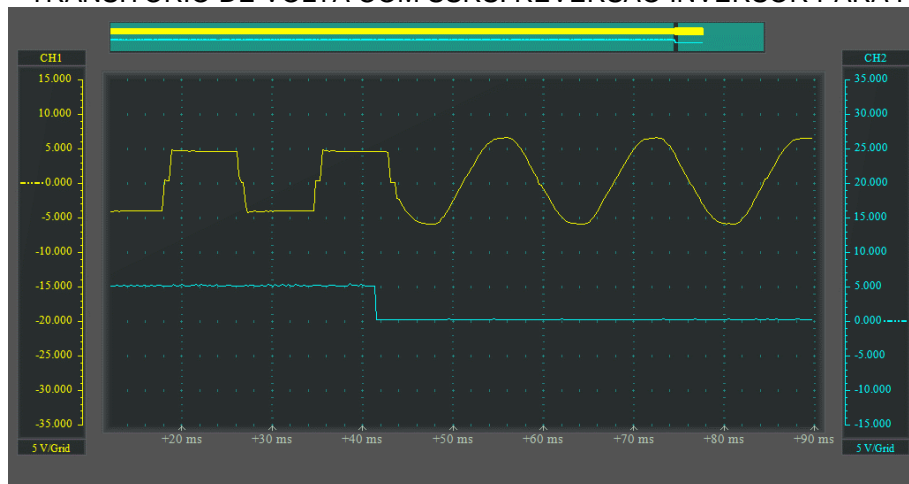
Assim, na reversão de ida da carga CA da fonte senoidal (rede local CA) para o inversor, tem-se essa transição mostrada na Figura 41 e a de volta na Figura 42. Observa-se que como há um pequeno atraso entre o comando e a efetiva reversão, esta pôde ser facilmente compensada fazendo com que o sinal fosse enviado no semiciclo subsequente ao detectado, com uma pequena antecipação de cerca de 1,8 ms, uma vez que, quando em sincronia, as fontes CA se manterão juntas por alguns ciclos.

FIGURA 41– TRANSITÓRIO DE IDA COM SSRs: REVERSÃO DA REDE LOCAL PARA INVERSOR



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 42 – TRANSITÓRIO DE VOLTA COM SSRs: REVERSÃO INVERSOR PARA REDE LOCAL



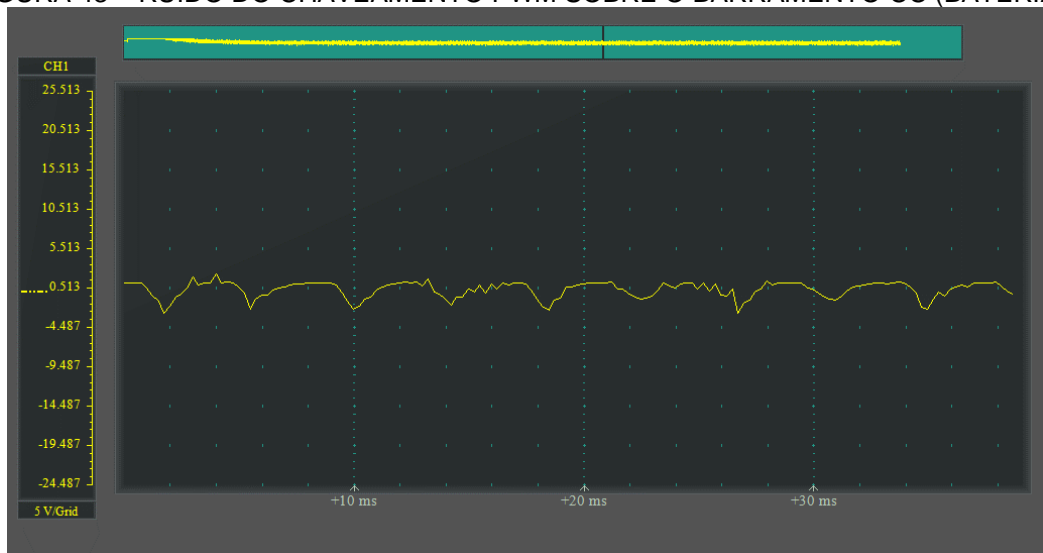
FONTE: O autor (2019).

Importante lembrar que foi escolhido um inversor de baixo custo, não senoidal e não sincronizado, justamente para colocar o sistema gerenciador a operar nas piores situações. Na versão compacta, com apenas duas baterias de 7,5 Ah e o mesmo inversor de 1000 W, pôde-se forçar o sistema a operar a demanda o tempo todo ora

colocando, ora retirando as cargas CA, também acionando e desligando o carregador a todo o tempo, pois o armazenamento é por demasiado pequeno para a demanda. Dessa forma foi possível testar o sistema para situações desfavoráveis, como um banco de baterias quase exaurido, por exemplo.

Como se tem diversas fontes intermitentes introduzindo correntes a este barramento, bem como dois inversores fazendo chaveamentos em PWM em altas correntes sobre ele, observou-se, na tentativa de se fazer a alimentação do sistema gerenciador a partir desse barramento através de um redutor de tensão (conversor CC/CC *step down*), que se trata de uma fonte muito ruidosa eletricamente. Com o osciloscópio digital foi possível visualizar esse ruído sobre o barramento CC, conforme medição feita e apresentada na Figura 43.

FIGURA 43 – RUÍDO DO CHAVEAMENTO PWM SOBRE O BARRAMENTO CC (BATERIAS)



FONTE: O autor (2019).

Observa-se nesta Figura o ruído resultante da operação simultânea do controlador de carga solar e dos dois inversores, o primeiro um ON-GRID, transferindo cerca de 600 W para a rede e o segundo um OFF-GRID, senoidal, não sincronizado, alimentando nessa situação uma carga de 320 W. No total, uma carga de 920 W era imposta ao barramento CC, resultando num ruído de quase 5 V de amplitude. Possivelmente isso poderia ser resolvido com a inserção de um conjunto de supercapacitores sobre este barramento, o que não foi possível testar nesta instalação.

Segundo C. M. T. Cruz ; R. P. T. Bascopé ; L. D. S. Bezerra ; J. M. De Sousa ; I. S. F. Gomes ; F. C. Sampaio ; F. A. Borges; R. L. Ramos (2015), quando a bateria é carregada com corrente pulsada, a corrente RMS é mais alta e está relacionada ao aumento das perdas internas de energia, $I^2.R$, que causam um aumento de temperatura e, como consequência, há perda de água do eletrólito. Assim, esse efeito também pode ser considerado aqui, com consequências como o encurtamento da vida útil das baterias, quando submetidas a altas correntes de carga e descarga, pulsantes, como ocorre tanto pelos carregadores MPPT quanto pelos inversores PWM a elas conectados. Normalmente agregam-se supercapacitores a esses bancos de baterias para realizar a filtragem dessas pulsações e assim prolongar a vida útil das baterias. No entanto, segundo Damith B. Wickramasinghe Abeywardana; Branislav Hredzak ; Vassilios G. Agelidis (2015), mesmo o componente de energia harmônica de segunda ordem e as flutuações rápidas de energia serem alocadas ao supercapacitor, o componente da corrente pulsante leva à degradação do supercapacitor devido ao seu aquecimento interno. Para isso os autores desenvolveram um método de redução de corrente pulsante com realimentação de corrente aplicado a um sistema com supercapacitor sobre a bateria, para aliviar o componente de corrente harmônico de segunda ordem.

Em algumas tentativas nesta montagem, observou-se uma certa instabilidade causada por este ruído ao redutor de tensão (conversor CC/CC *step-down*), o mesmo ocorrendo também com o CI (circuito integrado) regulador de tensão 7805 (circuito integrado em encapsulamento TO220), utilizado como uma das alternativas para essa redução de tensão.

Por fim, centralizado num banco de baterias estacionárias, com um total de 220Ah de capacidade de carga, operando numa tensão CC (corrente contínua) de 24 a 30V, todo o sistema possui inversores e controladores de carga fisicamente próximos, para o maior encurtamento possível do cabeamento entre esses elementos, pois são cabos de grandes bitolas devido às altas correntes em CC circulantes. Minimiza-se, assim, as perdas de energia na fiação por efeito Joule.

Foi possível vislumbrar algumas das possibilidades viáveis de geração para o armazenamento, porém cada local onde se encontra instalado poderá dispor de fontes diversas, umas certamente mais viáveis do que outras, incluindo a própria acumulação, onde até mesmo uma pequena represa de água pode substituir o banco de baterias, por exemplo.

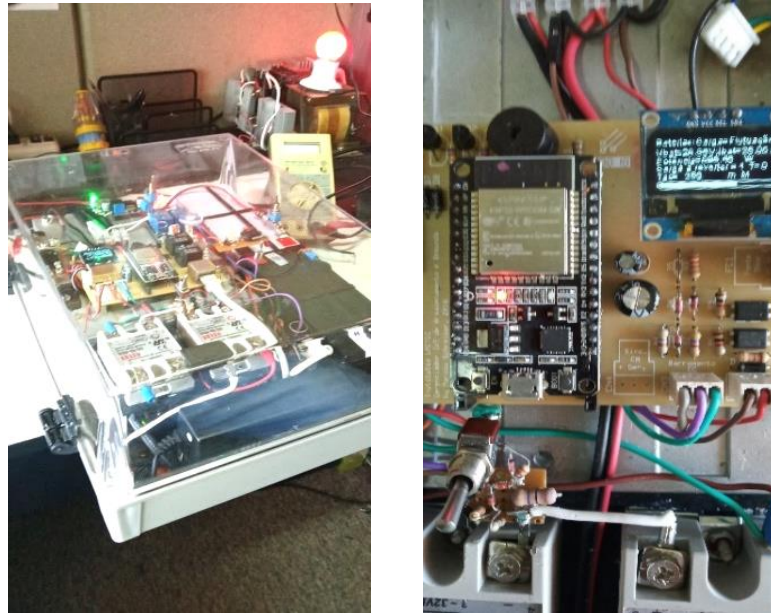
O gerenciamento proposto é exercido por um microcontrolador programável, com hardware WiFi embutido, incluindo suas bibliotecas correspondentes e interpretador para linguagem C++ adaptado, sob a plataforma IDE *Arduíno*. A linguagem nativa residente neste circuito integrado é o *LUA*, que é automaticamente substituída ao se usar o IDE *Arduíno*, em C++, onde através de um compilador escrito em *Python* essa programação é compilada e enviada para uma porta serial *USB* e desta para a memória flash do microcontrolador.

O monitoramento e controle será realizado através de um servidor local (bloco amarelo), do tipo *Apache*, instalado num computador com IP (*internet protocol*) fixo, conectado à rede intranet na mesma camada da rede de dados do microcontrolador lot por um roteador WiFi, sob criptografia WPA, protocolo 802.11n. Esse mesmo microcontrolador executará o serviço mDNS (*multicast domain name system*) que o permite ser encontrado na mesma camada IP pelo seu nome atribuído na rede de dados. Assim, não é necessário saber o seu IP para acessá-lo em sua camada. Isso permitirá que outros dispositivos IoT, dentro dessa mesma camada de rede possam terceirizar leituras e comandos como, por exemplo, a leitura do consumo de energia vinda da rede elétrica local.

5.3 VERSÃO COMPACTA (CASO 3)

Adicionalmente, foi construída e testada, também, uma terceira versão, esta compacta, para ser transportada para demonstrações em sala de aula, exposições e, em especial, para submeter a atualizações de software, testar algumas implementações, como reversão de cargas CA com SSRs, uso de baterias de íons de lítio e de conectividade sem fio com um medidor de energia (REGICON) pelo protocolo ESPNow. Nela testou-se um pequeno banco de baterias de 24 a 29 Vcc, 7,5 Ah e logo depois um banco de baterias de íons de lítio de 25 a 31 Vcc, 9 Ah, com células cilíndricas modelo 18650, agrupadas na formação 7S 3P (7 unidades em série, agrupadas 3 a 3 em paralelo), com um BMS 7S (Battery Manager System) acoplado. Possui um inversor CC/CA simples, não senoidal, de 1000W, com apenas 5W de consumo a vazio, um módulo Chaveador CA com dois relés reversíveis para os dois primeiros canais e dois SSRs para o chaveamento em reversão para o terceiro canal (3 canais de comutação CA no total), Carregador CA/CC (fonte chaveada ajustada em 29 V) de 80W, além do sistema GERALDO. Na Figura 44 é apresentada a montagem dessa versão.

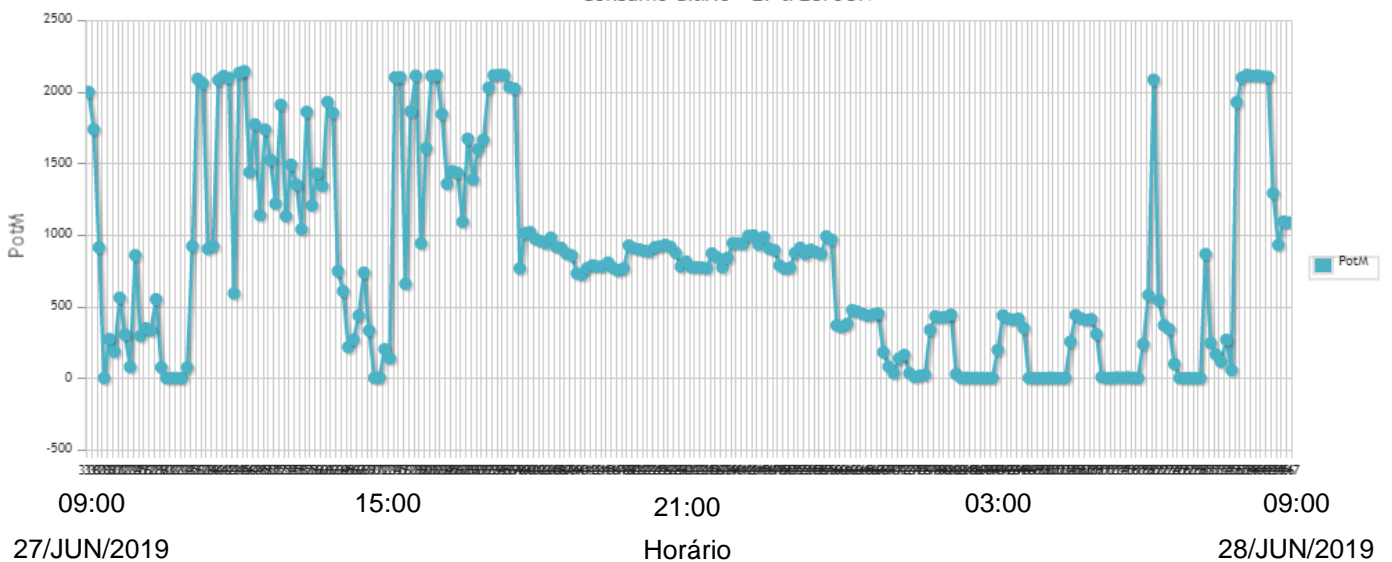
FIGURA 44 – MONTAGEM DO SISTEMA GERALDO NA VERSÃO COMPACTA



FONTE: O autor (2018).

Com esta versão foi possível integrar o REGICON (Registrador de Consumo) em conexão sem fio sob o protocolo ESPNow e, acessando o servidor de rede de dados, fez-se um levantamento do consumo a cada 5 minutos em uma residência no período das 9 horas da manhã até as 9 horas da manhã do dia seguinte. O gráfico obtido é apresentado na Figura 45.

FIGURA 45 – REGICON: REGISTRO DE CONSUMO EM 24 HORAS
Consumo diário - 27 a 28/JUN



FONTE: O autor (2018).

Um comportamento de consumo pode ser formado e, assim, novos parâmetros de gestão da demanda atualizam o banco de dados do servidor de rede, personalizando essa gestão a esse perfil de consumo.

6 CONCLUSÕES

Pela semelhança das curvas de energia gerada e armazenada, comparada com a energia consumida, observa-se a efetividade do gerenciamento da demanda, estendendo ao máximo a operação em forma ilhada ou autônoma, com o excedente direcionado à rede elétrica local de forma esperada. Em relação ao total de energia gerada no período, 60,38% se refletiu em economia efetivada na fatura de energia, incluindo, além dos fatores de perdas de conversões já citados na Aplicação do Método – Caso 1, um saldo de energia armazenada ao fim do período de 2,13 kWh.

Conclui-se ainda que é preciso balancear entre o investimento num banco de baterias (e sua manutenção) de porte maior, minimizando ou até eliminando o uso do inversor ON-GRID (além de conversores de energia mais eficientes) e os respectivos créditos de energia dados pelo excedente injetado na rede concessionária. Um veículo elétrico, com suas baterias carregadas por este excedente poderia ser uma alternativa vantajosa, por exemplo.

No entanto, esses valores apresentados não refletem diretamente a eficiência da gestão, uma vez que estão relacionados a perdas dos elementos conversores CC/CC e CC/CA utilizados. O que de fato reflete a eficiência do processo de gestão de energia, apresentado aqui pelo sistema GERALDO, foram as respostas da demanda frente ao disponibilizado no armazenamento, resultante da geração produzida em cada situação. Um saldo próximo de zero de energia armazenada ao final de cada ciclo de geração e consumo indica uma gestão mais eficiente, especialmente quando o Carregador CA/CC não é utilizado.

O uso de inversores como o utilizado na Aplicação do Método - Caso 2, com um consumo a vazio pequeno em relação à capacidade de potência, possibilita um projeto de maior eficiência energética. A implementação de baterias de íons de lítio na Aplicação do Método – Caso 3, mostrou-se promissora, pois as perdas dadas pela corrente de flutuação não se apresentam e a profundidade de descarga permitida é maior.

O compartilhamento de dados com um servidor de rede abre um espaço importante para a integração desse sistema ao ambiente *Smart Grid*. A escolha de um dispositivo microcontrolador com funcionalidades IoT permitiu este tipo de acesso, fazendo uso de infraestrutura Wi-Fi local. Em um cenário constituído de diversos consumidores com armazenamento local e um sistema gerenciador com

conectividade via internet como o proposto aqui, um agente supervisor pode, ao dispor dos parâmetros do banco de dados:

- Redirecionar fluxos de energia entre redes, aliviando a demanda em redes sobrecarregadas;
- Prevenir falhas de fornecimento de energia em redes sujeitas a intempéries climáticas;
- Planejar a manutenção de redes elétricas sem que esses consumidores sofram falta de energia;
- Configurar consumidores especiais, como hospitais e delegacias;
- Construir um mapa em tempo real de toda a microgeração existente, fazer a leitura de consumo de energia, da microgeração local, da situação do armazenamento, da temperatura ambiente, entre outros;
- Redirecionar cargas específicas ao armazenamento local em momentos críticos de demanda na rede elétrica;
- Conectar microgeradores a consumidores comuns próximos em redes isoladas, entre outras funcionalidades;
- Planejar a recarga do armazenamento de cada cliente em horários distribuídos, dentro da faixa de menor custo, evitando picos de consumo na rede elétrica;
- Prever a troca de baterias de acordo com o comportamento relatado pelo Gerenciador local.

Os processos de gerenciamento de energia armazenada podem se estender ao armazenamento dos veículos elétricos, integrando-os. Fluxos de carga, tanto no sentido do armazenamento local para o veículo elétrico como do veículo elétrico para o armazenamento local se tornam importantes ações de gestão, ampliando as possibilidades disponibilizadas ao ambiente *Smart Grid*.

7 TRABALHOS FUTUROS

Uma vez que este projeto estabelece bases de gestão de energia, cuja inteligência e algoritmos podem ser implementados em um servidor de rede de dados, o primeiro trabalho futuro seria justamente o estudo e a aplicação dessa gestão sobre esse servidor, inserindo de forma ampla o armazenamento distribuído no ambiente *Smart Grid*. Até o momento, o presente projeto se finaliza fazendo apenas os registros dos parâmetros de gerenciamento como permite alterá-los para atuar nesta gestão.

Na aplicação do método fez-se a instalação do sistema GERALDO sobre um armazenamento baseado em baterias estacionárias do tipo chumbo-ácido. Um algoritmo de contabilização diária dos ciclos de carga e descarga pode ser implementado para se planejar o máximo prolongamento da vida útil dessas baterias.

Outro tópico em estudo seria o uso de um banco de baterias de íons de lítio, projeto já em andamento na versão compacta. Nesse caso, um BMS (*battery manager system*) seria integrado à programação do microcontrolador, pois ele é que tomaria as decisões de desmobilização de cargas a partir da detecção de alguma anormalidade sobre as unidades acumuladoras.

Adoção do protocolo MQTT, *Message Queuing Telemetry Transport*, mais apropriado a sistemas de telemetria atuantes sobre redes TCP/IP. Fundamentado no modelo Publicador-Subscritor, ele é simples e dá confiabilidade maior ao sistema.

Com a possível disseminação de baterias de maior densidade energética como, por exemplo, as *Powerwall* (<https://www.tesla.com/powerwall>), baterias de íons de lítio da fabricante americana Tesla para uso residencial ou comercial, um importante trabalho futuro se vislumbra na integração dos sistemas de armazenamento dos veículos elétricos ao armazenamento gerenciado pelo GERALDO, permitindo ciclos de carga e descarga daquelas sobre o próprio barramento CC. Com períodos muito mais curtos para tais eventos, pode-se assim dar uma resposta a um dos principais entraves para a disseminação desse tipo de veículo, que é o tempo de recarga. A programação do GERALDO incluiria alguns protocolos para o *handshake*¹³ entre a estação de recarga e o veículo. Esse trabalho poderia ser de especial interesse das empresas distribuidoras de energia elétrica, uma vez que pode representar uma distribuição temporal dos picos de consumo de energia, atenuando-os.

¹³ **Handshake:** Processo pelo qual dois ou mais dispositivos confirmam reconhecerem uns aos outros, deixando-os prontos para iniciar uma fase de troca de informações.

REFERÊNCIAS

ADAFRUIT INDUSTRIES - Open-Source Hardware (2019). Imagem disponível em <<https://www.adafruit.com/product/326>>. Acesso em 06 jun. 2019

ANURAG K. SRIVASTAVA, AARTHI A. KUMAR E NOEL N. SCHULZ. Impact of Distributed Generations with Energy Storage Devices on the Electric Grid. **IEEE Systems Journal**, (2012),

AJAO, ADETOKUNBO; LUO, JINGWEI; LIANG, ZHEMING; ALSAFASFEH, QAIS H.; SU, WENCONG. Intelligent home energy management system for distributed renewable generators, dispatchable residential loads and distributed energy storage devices. **8th International Renewable Energy Congress (IREC)**, 2018.

BARSALI, S. M CERAOLO, R GIGLIOLI, D POLI. Storage applications for Smartgrids. **Electric Power Systems Research**, v. 120, p. 109–117, 2015.

CHOI, J. YOUNGMEE SHIN ; MOONOK CHOI ; WAN-KI PARK ; IL-WOO LEE. Robust Control of a Microgrid Energy Storage System using Various Approaches. **IEEE Transactions on Smart Grid**, p. 1–1, 2018.

C. M. T. CRUZ ; R. P. T. BASCOPE´ ; L. D. S. BEZERRA ; J. M. DE SOUSA ; I. S. F. GOMES ; F. C. SAMPAIO ; F. A. BORGES; R. L. RAMOS. Comparison of VRLA-AGM batteries lifetime charging with different currents waveforms for use on low power UPS. **2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)**, 2015.

CODEMO, C. G.; ERSEGHE, T.; ZANELLA, A. **Energy storage optimization strategies for smart grids**. IEEE International Conference on Communications. **Anais...2013**

COLLIER, S. E. **The Emerging Enernet: Convergence of the Smart Grid with the Internet of Things** **IEEE Industry Applications Magazine**, mar. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7792610/>>. Acesso em: 9 jun. 2018

DAMITH B. WICKRAMASINGHE ABEYWARDANA ; BRANISLAV HREDZAK ; VASSILIOS G. AGELIDIS. Battery-supercapacitor hybrid energy storage system with reduced low frequency input current ripple. **2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)**, 2015

DIO REAL SKILLS - Learn and share real skills and knowledge. Car battery 12V lead acid flooded, mai. 2012. Disponível em

<https://diorealskills.files.wordpress.com/2012/05/battery_problems.jpg>.

Acesso em 1 jul. 2019

DOBRESCU, R.; STEFAN MOCANU; MIHAI CRACIUNESCU e ANGHEL, M. Using IoT communication infrastructure for improving performance of power microgrids. **2018 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)**, p. 482–487, abr. 2018.

E. GEORGES; J. E. BRAUN e V. LEMORT. A general methodology for optimal load management with distributed renewable energy generation and storage in residential housing. **Journal of Building Performance Simulation**, 2016.

FOTEK - Hong Kong - SSRs

Figura disponível em <<http://www.fotek.com.hk/page1e.htm>>.

Acesso em 7 jan. 2019

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. DOS. **Energia e meio ambiente**. Tradução d ed. New York: Cengage Learning, 2017.

IOAKIMIDIS, C. S. et al. Design, architecture and implementation of a residential energy box management tool in a SmartGrid. **Energy**, v. 75, p. 167–181, 2014.

J. SKEA ; D. ANDERSON ; T. GREEN ; R. GROSS ; P. HEPTONSTALL ; M. LEACH. Intermittent renewable generation and maintaining power system reliability. **IET Generation, Transmission & Distribution**, 2008.

MACAMP - Campismo. Uma aula sobre baterias, (2018). Disponível em

<https://macamp.com.br/uma_aula_sobre_baterias/>, acesso em 5 mai. 2018

M. KARTHIK ; S. YEGAOPAN ; S. DHANUSH ; S. SRINITH ; K. VISHNURAM. A Novel Approach of Power Generation from Fitness Equipment's. **International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT)**. (2018)

MICROCONTROLLERS LAB - Project Services (2018), Disponível em
<<https://c.76.my/Malaysia/node-mcu-iot-doit-esp32-esp-32-wifi-bluetooth-development-board-kwecommerce-1801-07-KWEcommerce@5.jpg>>
Acesso em 6 jan. 2018

MIN WEY, SEUNG HO HONG e MUSHARRAF ALAM. IoT-based energy-management platform for industrial facilities. **National Industrial IoT Int'l S&T Cooperation Base, Chongqing University of Posts and Telecommunications, China**. (2015)

MPPT SOLAR. Ligações das baterias em série e paralelo, 2019. Disponível em
<<https://www.mpptsolar.com/pt/baterias-serie-paralelo.html>>. Acesso em 1 jul. 2019

NARIMANI, MOHAMMAD RASOUL; ASGHARI, BABAK e SHARMA RATNESH. Energy storage control methods for demand charge reduction and PV utilization improvement. **IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)**. (2017)

NEXTION - ITEAD STUDIO (2018). Site: <<https://nextion.itead.cc/>>
Imagem disponível em <https://http2.mlstatic.com/display-nextion-35-hmi-tft-lcd-p-hotspot-raspberry-mmdvm-D_NQ_NP_660075-MLB29607072179_032019-F.jpg>.
Acesso em 3 jun. 2019

SCHREIBER, M.; CANETTA, A.; FROSSARD, A. Controle de demanda para Microgeração Semiautônoma, com fontes de energias intermitentes e renováveis (M. Schreiber, A. T. Canetta, A. Frossard, Eds.). Curitiba, Paraná, Brazil: Universidade Positivo, 2017.

KHAN, S; DEVASHISH, P; MOMTAHAN, P e ALOQAILY, M. Artificial Intelligence

Framework for Smart City Microgrids: State of the art, Challenges, and Opportunities. **Third International Conference on Fog and Mobile Edge Computing**. (2018)

WEN-ZHAN SONG ; DEBRAJ DE ; SONG TAN ; SAJAL K. DAS ; LANG TONG. A wireless smart grid testbed in lab. **IEEE Wireless Communications**, v. 19, n. 3, p. 58–64, jun. 2012.

STEPHEN'S STUFF - A blog about stuff that interest me, (2013). Disponível em <<https://stephenstuff.wordpress.com/2013/04/20/understanding-solar-panel-performance/>>. Acesso em 5 mai. 2018

SUNFOUNDER - Stem Education (2018). Imagem disponível em <http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=4_Channel_5V_Relay_Module> Acesso em 4 jan. 2019

TUDOR BATERIAS - Baterias automotivas: defeitos comuns, (2017). Disponível em <http://tudor.com.br/pt_br/produtos/automotiva-leve/defeitos-comuns>. Acessado em 09/05/2017.

VICTRON ENERGY - BLUE POWER, Blue solar PWM, (2018). Imagens disponíveis em <<https://www.victronenergy.pt/solar-charge-controllers/bluesolar-pwm>>. Acesso em 5 mai. 2018

YIXING XU; CHANAN SINGH. Power System Reliability Impact of Energy Storage Integration With Intelligent Operation Strategy. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Volume 5, Issue 2. (2015)

ZANELLA, A. BUI, N ; CASTELLANI, A ; VANGELISTA, L ; ZORZI, M. Internet of things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 1, p. 22–32, fev. 2014.

ZHENG, M.; MEINRENKEN, C. J.; LACKNER, K. S. Agent-based model for electricity consumption and storage to evaluate economic viability of tariff arbitrage for residential sector demand response. **Applied Energy**, v. 126, p. 297–306, 2014.

APÊNDICE 1 – Integração de interface HMI (display touch screen)

Os valores dos parâmetros para as tomadas de decisões do Gerenciador são definidos na programação do microcontrolador e podendo ser alterados a cada consulta feita ao servidor de rede, a qualquer tempo, modificando os valores colocados na tabela SQL denominada *setup*, como se verá a seguir. Além disso, as leituras realizadas pelo Gerenciador também são armazenadas nesse mesmo servidor, através da tabela denominada *teste2_gerdem*. No entanto, todas essas funcionalidades poderiam ser monitoradas e alteradas através de uma interface local, sem depender de rede de dados WiFi e servidor. O primeiro desafio seria escolher uma interface do tipo *touch screen display*, ou seja, um display do tipo ¹⁴LCD, sensível ao toque sobre sua tela, que não ocupasse muitos pinos (GPIOs) do microcontrolador, de preferência o mínimo possível. A escolha se deu para a nova linha de displays coloridos *touch screen* da Nextion, pelo baixo custo, processador (ARM) embutido e interface serial simples, do tipo TX/RX, operando no modo *default* em 9.600 bauds/s. Disponibiliza também seu *Nextion Editor software*, um programa para se executar em qualquer computador onde todos os gráficos, botões, apresentações são montados e compilados para uma pequena memória micro SD que, quando introduzida no display este a lê copiando para a sua memória interna. Isso é muito importante, pois além de se fazer uso de apenas dois pinos (TX e RX) do microcontrolador, também o poupa de gastar sua memória e processamento para a apresentação dos textos e gráficos bem como fazer toda uma varredura constante para processar o toque na tela. Dessa forma, habilitou-se uma segunda UART serial interna do microcontrolador, para este trocar informações com essa interface HMI¹⁵.

Esta plataforma exclusiva de programação para a interface HMI possui os seguintes elementos (objetos) gráficos/*touch screen*:

<i>Text</i>	<i>Gauge</i>
<i>Scrolling text</i>	<i>Waveform</i>
<i>Number</i>	<i>QR code</i>
<i>Button</i>	<i>Slider</i>

¹⁴ **Display LCD:** *Liquid Crystal Display*, display de cristal líquido, usado para apresentação de textos, gráficos e imagens em painel composto de finas camadas, monocromático ou colorido.

¹⁵ **HMI:** *Human-Machine Interface*, interface homem-máquina, estabelece uma comunicação entre uma parte de uma programação computacional com o usuário, criando assim uma interação entre ambos. O dispositivo mais utilizado é um *display touch screen*, como nos *smartphones*.

Progress bar

Picture

Crop

Hotspot

Variable

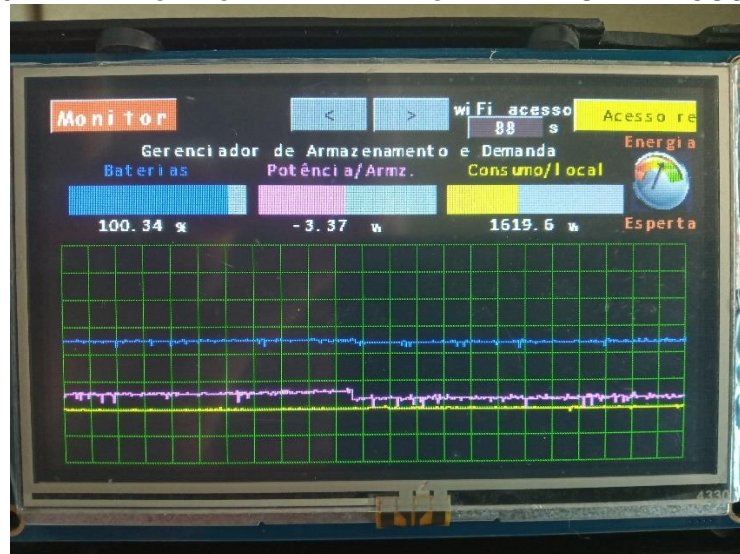
Dual-state button

Radio

Cada objeto gráfico cria seu *id* quando é usado e dependendo do tipo desse objeto, ele também terá uma ou mais variáveis de controle. Esses parâmetros podem ser manipulados tanto pelo microcontrolador como pelo toque sobre eles na tela, onde uma pequena rotina pode ser disparada quando se toca o objeto e/ou quando o solta. Isso permite uma programação simples, mas poderosa como, por exemplo, fazer um intertravamento de botões ou um simples toque sobre uma imagem ou detalhe dela desencadear uma série de comandos ao microcontrolador, recebidos pela conexão serial.

Criou-se três telas para essa interface HMI, a primeira chamada de MONITOR, apresentada conforme a Figura 45.

FIGURA 46 – TELA “MONITOR” DA INTERFACE HMI – DISPLAY TOUCH SCREEN



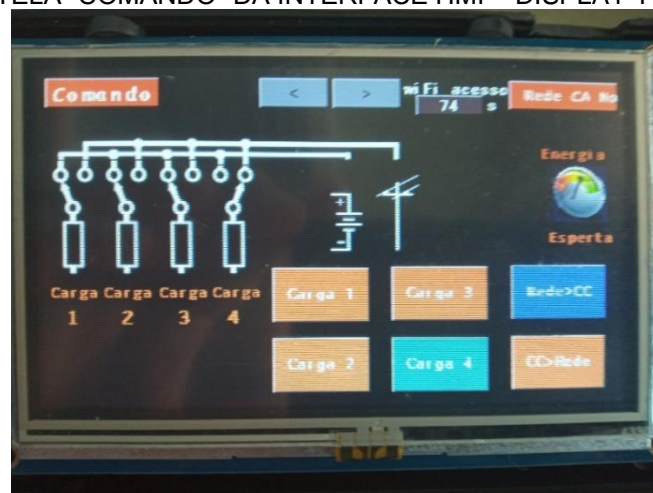
FONTE: O autor (2019).

Nesta tela, tem-se três objetos gráficos *Progress bar* e um objeto *Waveform*, que apresentam as leituras de carga percentual das baterias (em azul, tanto na barra como no gráfico), fluxo de potência sobre as baterias (valores positivos carregamento e negativo para descarga) e o consumo (em amarelo) em Watts, através das leituras de tensão e corrente CA da rede elétrica local, seu tratamento e conversões, além dos botões de ida e volta às demais telas, um *Scrolling text* que apresenta diversos avisos

vindos do Gerenciador e ainda um *Number*, que mostra a contagem regressiva, em segundos, do tempo para o novo acesso ao servidor de rede de dados.

A segunda tela, mostrada na Figura 46, é chamada de COMANDO apresenta, para o sistema de 4 canais (ramais de cargas em CA), a situação dos contatos reversores de cada canal e os botões para alterar a situação de comutação de cada um. Além disso há mais dois botões, um acionando o carregador CA/CC, que traz energia da rede local para o banco de baterias e outro acionando o inversor ON-GRID, que faz o trajeto inverso, com energia acumulada no banco de baterias sendo injetada na rede elétrica local. Esses dois últimos botões atuam com intertravamento pelo próprio software escrito para o display. Permanecem os avisos em *Scrolling bar* e a contagem do tempo de acesso ao servidor de rede.

FIGURA 47 – TELA “COMANDO” DA INTERFACE HMI – DISPLAY TOUCH SCREEN

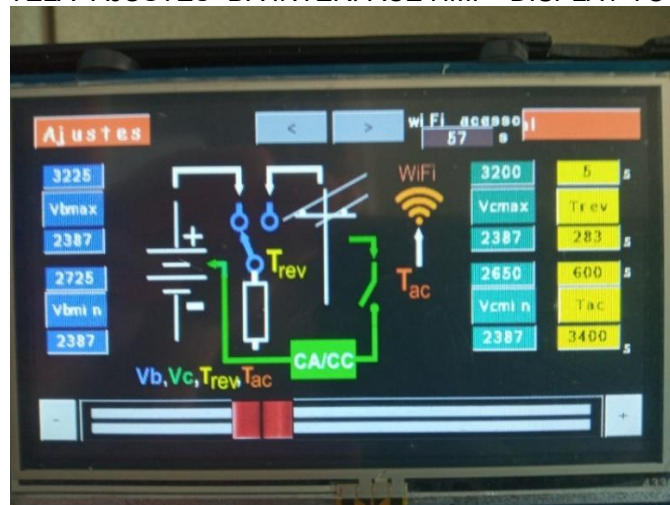


FONTE: O autor (2019).

A terceira tela é apresentada na Figura 47, chamada de AJUSTES, permite alterar todos os valores dos parâmetros de gerenciamento, como os pontos máximo e mínimo de carga das baterias para efetuar as reversões e tempo de acesso ao servidor de rede, entre outros. Permite também interromper qualquer nova reversão, congelando no momento que é acionado.

Pode-se também interromper novos acessos ao servidor. Os valores numéricos a serem inseridos são ajustados no objeto *slider* e nos botões + e – para um ajuste acurado. Cada botão de parâmetro possui acima o valor atual e abaixo o valor designado pelo *slider*. Ao tocar o botão, o valor ajustado é transferido para indicação acima e enviada para o Gerenciador.

FIGURA 48– TELA “AJUSTES” DA INTERFACE HMI – DISPLAY TOUCH SCREEN



FONTE: O autor (2019).

Dessa forma, pode-se alterar a qualquer os valores a todos os parâmetros necessários ao gerenciamento do armazenamento e demanda, dentro das faixas delimitadas de cada um.

Correção de erro de firmware do HMI

Como se trata de um produto relativamente novo, alguns pequenos problemas, possivelmente devido à falta de revisão do firmware desenvolvido para interface HMI (display *touch screen*), tiveram de ser contornados. Provavelmente por algum lapso na tabela de conversão decimal/hexadecimal, exclusivamente na parte de formação da palavra serial (bufferização) a ser enviada para a UART, o terceiro dígito mais significativo não sofreu a conversão do número “10”, em decimal, para “A” em hexadecimal. Assim, o objeto *slider*, usado na programação do display HMI, que poderia fornecer valores decimais de 0 a 4095 (12 bits, de 0 a FFF em hexadecimal) teve que se restringir a duas faixas, de 0 a 2559 (0 a 9FF em hexadecimal) e de 2816 a 4095 (B00 a FFF), pois o número seguinte, o A00, era transmitido erroneamente pela serial como 000 e, quando se chegava ao valor a partir de B00 em diante, tudo era enviado normalmente de forma correta. Portanto, a faixa de valores entre 2560 a 2815 ficou inutilizada. Isso foi corrigido na programação do microcontrolador do Gerenciador através de transposição de faixas, criando uma função de transferência numérica, recuperando desse modo a faixa desejada de 0 a 4095.

APÊNDICE 2 – Compêndio de medições realizadas em estabelecimento comercial (Caso 1), com implementação do sistema GERALDO

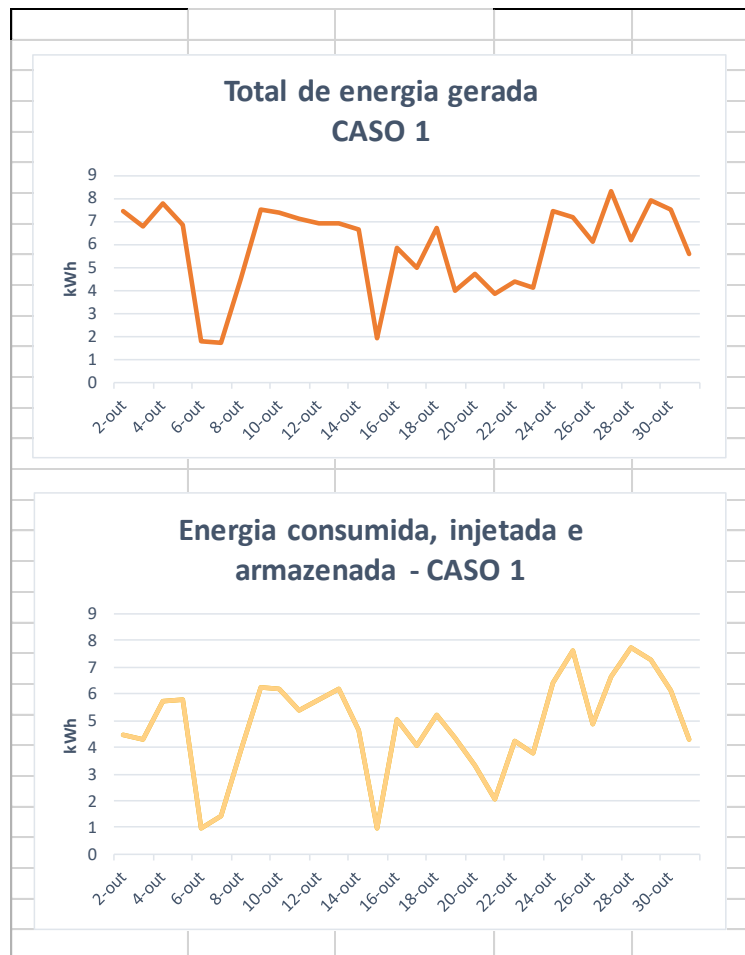
Primeiramente apresentam-se as totalizações das medições realizadas durante o mês de outubro de 2019 para a Aplicação do Método - Caso 1.

Os gráficos de geração e consumo diário apresentam similaridades, indicando um gerenciamento efetivo do sistema GERALDO. As poucas diferenças representam acúmulos ou déficits de cargas no banco de baterias deixados no final de cada dia, quando a geração local de energia cessa.

TOTALIZAÇÕES:

Em kWh

BALANÇO (kWh):	
Geração	166,31
Economizado	100,42 60,38%
Perdas:	
MPPT+CC/CA	9,85 5,92%
Inversor a vazio	48,24 29,01%
Carreg. CA/CC	9,75 5,86%
Total de perdas	67,84 40,79%

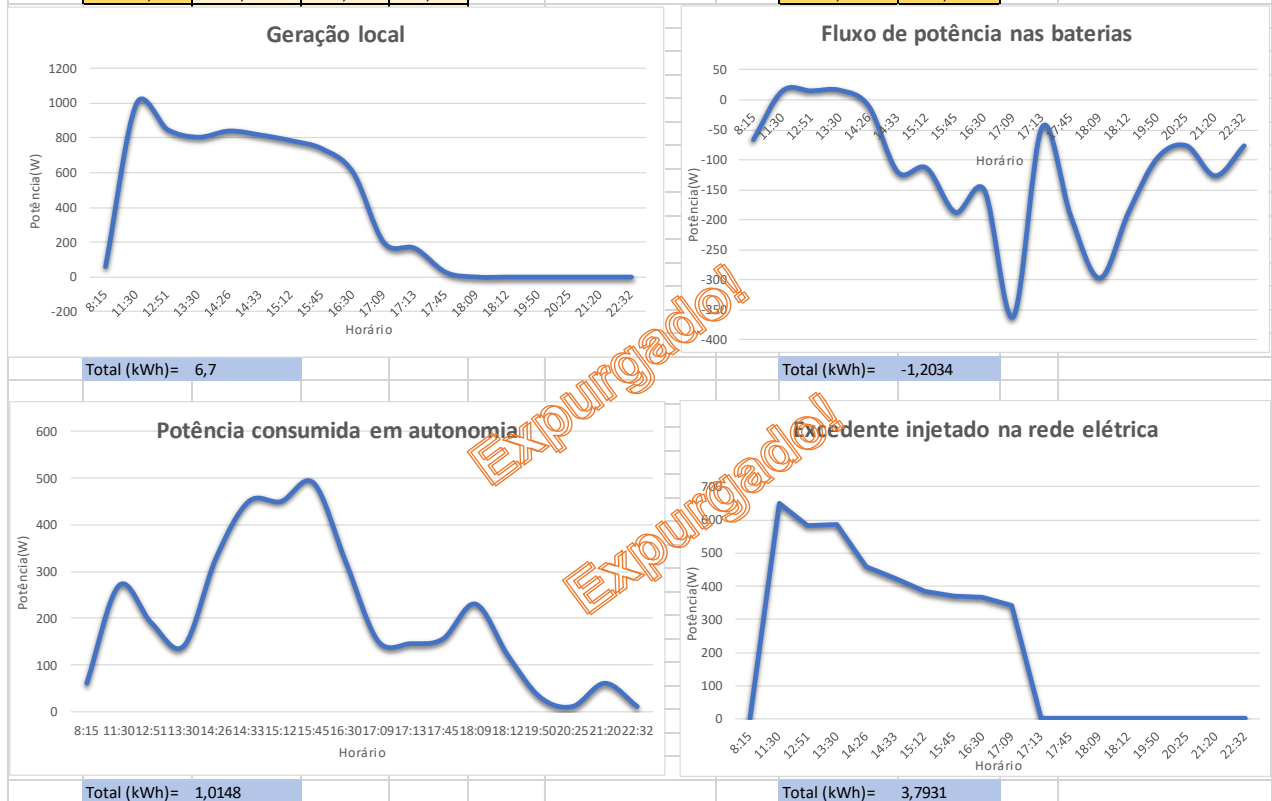


Nas páginas seguintes temos o compêndio de todas as leituras realizadas em cada dia, seus gráficos de potência resultantes das medições para o cálculo de energia totalizada ao fim do dia. Além disso são descritas observações sucintas do dia, comportamento climático, resposta operacional na demanda e eventuais simulações.

Dados coletados – dia 01/OUT/2019

Horário:	Carga das baterias (%):	Pot. nas Baterias (W)	Pot.ON-GRID (W) injetada	Pot. OFF-GRID(W) autônomo	Pot. Gerada painéis	Energia gerada Bike + Gerador a Combustão + Carregador (kWh)	Saldo de Pot.(W)	Energia FV gerada med.(kWh)	Energia gerada FV (kWh)	Temperatura	Situação de carga demandada
8:15	98	-67	0	60	60	0	0	1416,1	0	19	C1+C2+C3
11:30	100	14	650	270	1001	0	81	1417,8	1,7	25	C1+C2+C3+OnGrid
12:51	99	14,2	580,8	189	851	0	81,2	1419,6	3,5	28	C1+C2+C3+OnGrid
13:30	100	15,2	584,8	140	807	0	82,2	1420,1	4	29	C1+C2+C3+OnGrid
14:26	95	-11,7	457,7	330	843	0	55,3	1420,9	4,8	29	C1+C2+C3+OnGrid
14:33	93	-120,8	423,8	450	820	0	-53,8	1421	4,9	31	C1+C2+C3+OnGrid
15:12	91	-114,2	384,2	450	787	0	-47,2	1421,6	5,5	30	C1+C2+C3+OnGrid
15:45	90	-187,8	370,8	490	740	0	-120,8	1422	5,9	29	C1+C2+C3+OnGrid
16:30	89	-150,8	367,8	320	604	0	-83,8	1422,5	6,4	29	C1+C2+C3+OnGrid
17:09	87	-361,2	342,2	150	198	0	-294,2	1422,8	6,7	28	C1+C2+C3+OnGrid
17:13	90	-46	0	145	166	0	21	1422,8	6,7	28	C1+C2+C3
17:45	88	-195	0	155	27	0	-128	1422,8	6,7	27	C1+C2
18:09	87	-297	0	230	0	0	-230	1422,8	6,7	26	C1+C2
18:12	87	-187	0	120	0	0	-120	1422,8	6,7	26	C1
19:50	88	-97	0	30	0	0	-30	1422,8	6,7	24	
20:25	88	-77	0	10	0	0	-10	1422,8	6,7	23	
21:20	87	-127	0	60	0	0	-60	1422,8	6,7	22	
22:32	87	-77	0	10	0	0	-10	1422,8	6,7	21	

Medição energia FV inicial(kWh)	Hora inicial (decimal)	Hora final (decimal)	Total de horas (decimal)	Energia gerada medida (kWh) FV+Bike+Carregador	Energia consumida e armazenada (kWh)
1416,1	8,25	22,53	14,28	6,7	3,60



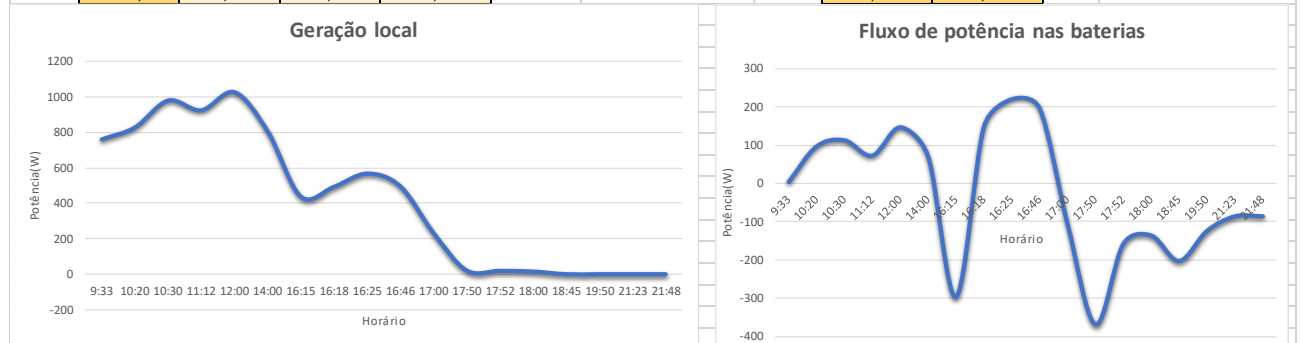
Observações:

- A leitura incorreta dos valores do fluxo de potência nas baterias (3ª coluna, destacada em rosa) ocasionou o expurgo dos dados para a sua validação;
- Geração exclusivamente solar fotovoltaica, dia com pouca nebulosidade;
- Baterias novas (2X400 Ah, em 24 Vcc) recém instaladas, do tipo chumbo-ácido, para som automotivo/solar;
- O consumo em autonomia se realizou de forma associada à produção solar fotovoltaica, ao longo de todo o dia;
- A injeção do excedente de energia começa um pouco antes do meio-dia e se estende até cerca de 20% da insolação máxima captada pelos painéis fotovoltaicos.

Dados coletados – dia 02/OUT/2019

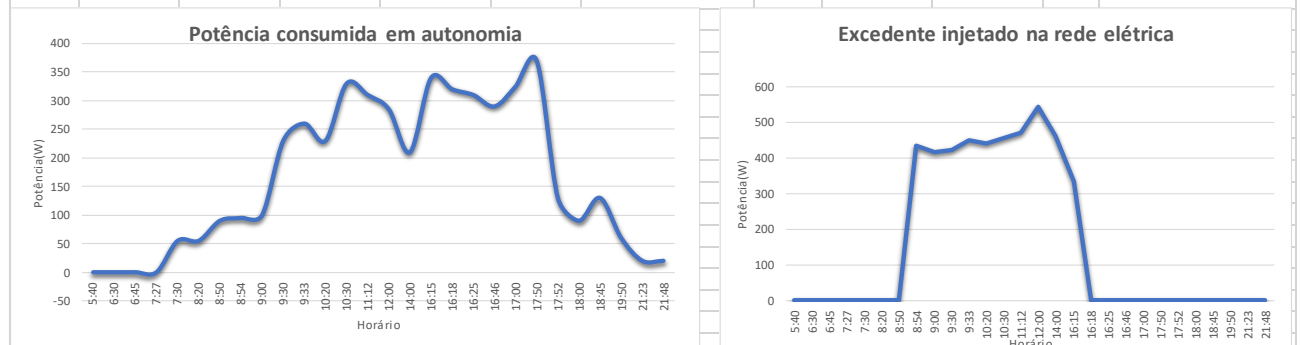
Horário:	Carga das baterias (%)	Potência nas baterias (W)	Pot.ON-GRID injetada (W)	Pot. OFF-GRID autônoma (W)	Pot. Gerada painéis FV	Energia gerada Bike + Gerador a Combustão + Carregador (kWh)	Saldo de Pot. (W)	Energia FV acumulada (kWh)	Energia FV gerada (kWh)	Temperatura	Situação de carga demandada
5:40	87	-66,9	0	0	0	0	0	1422,8	0	17	
6:30	89	47,9	0	0	115	0	115	1422,9	0,1	17	
6:45	90	63,5	0	0	151	0	151	1422,9	0,1	17	
7:27	96	284,6	0	0	353	0	353	1423,1	0,3	18	
7:30	96	258,7	0	55	365	0	310	1423,1	0,3	18	C1
8:20	98	318,6	0	55	421	0	366	1423,4	0,6	20	C1+C2
8:50	100	402,9	0	90	540	0	450	1423,7	0,9	21	C1+C2+C3
8:54	95	-68,6	434,9	95	539	0	9,1	1423,7	0,9	21	C1+C2+C3+OnGrid
9:00	93	-39	416	100	528	0	12	1423,8	1	22	C1+C2+C3+OnGrid
9:30	93	7,8	421,8	230	724	0	72,2	1424,1	1,3	23	C1+C2+C3+OnGrid
9:33	93	3	449	260	761	0	52	1424,1	1,3	23	C1+C2+C3+OnGrid
10:20	95	95,76	440,8	230	828	0	157,2	1424,8	2	25	C1+C2+C3+OnGrid
10:30	96	111,7	457	330	980	0	193	1424,9	2,1	25	C1+C2+C3+OnGrid
11:12	96	71,8	470,8	310	925	0	144,2	1425,6	2,1	27	C1+C2+C3+OnGrid
12:00	99	145,8	544	285	1027	0	198	1426,5	2,8	28	C1+C2+C3+OnGrid
14:00	95	69,2	462,8	210	807	0	134,2	1428,2	3,7	30	C1+C2+C3+OnGrid
16:15	88	-297	335	340	438	0	-237	1429,8	5,4	31	C1+C2+C3+OnGrid
16:18	93	147	0	320	493	0	173	1429,8	7	32	C1+C2+C3
16:25	96	219,1	0	310	568	0	258	1429,9	7	32	C1+C2+C3
16:46	98	194,4	0	290	496	0	206	1430,1	7,1	30	C1+C2+C3
17:00	91	-107,5	0	325	233	0	-92	1430,2	7,3	30	C1+C2+C3
17:50	86	-369	0	370	21	0	-349	1430,2	7,4	29	C1+C2+C3
17:52	87	-158,7	0	130	19	0	-111	1430,2	7,4	29	C1+C2
18:00	88	-137	0	90	15	0	-75	1430,2	7,4	29	C1+C2
18:45	87	-203,3	0	130	0	0	-130	1430,2	7,4	28	C1+C2
19:50	87	-124,8	0	60	0	0	-60	1430,2	7,4	27	C1
21:23	87	-86,8	0	20	0	0,015	-20	1430,2	7,4	25	
21:48	87	-86,8	0	20	0	0,015	-20	1430,2	7,4	25	

Medição energia FV inicial(kWh)	Hora inicial (decimal)	Hora final (decimal)	Período das leituras (decimal)	Total de energia gerada(kWh)	Energia consumida e armazenada (kWh)
1422,8	5,67	21,80	16,13	7,43	4,45



Total (kWh)= 7,43

Total (kWh)= 0,0941



Total (kWh)= 1,0020

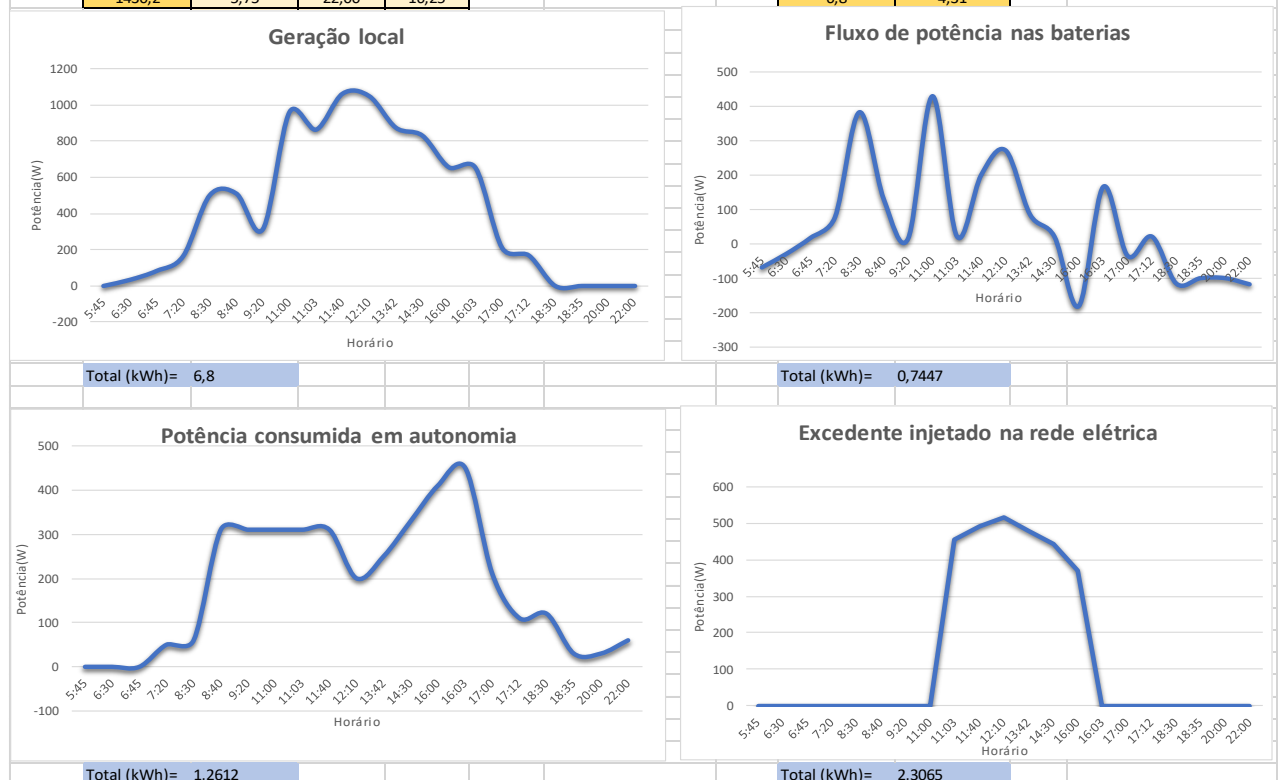
Total (kWh)= 3,3549

Observações:

- Dia com pouca nebulosidade, alta insolação;
- Geração com bicicleta ergométrica associada a gerador CC no final do dia. Uma hora de pedalada consumindo 650 calorias e gerando 30 Wh de energia elétrica injetada no banco de baterias;
- Observa-se alguma nebulosidade em torno das 16:15 horas, porém não se chega ao ponto de reversões das cargas consumidoras ou mesmo do desligamento do inversor ON-GRID;

Dados coletados – dia 03/OUT/2019

Horário:	Carga das baterias (%):	Pot. nas Baterias (W)	Pot. ON-GRID (W) injetada	Pot. OFF-GRID (W) autônoma	Pot. Gerada painéis	Energia gerada Bike + Gerador a Combustão - Carregador (kWh)	Saldo de Pot. (W)	Energia FV gerada med. (kWh)	Energia gerada FV (kWh)	Temperatura	Situação de carga demandada
5:45	86	-68,8	0	0	0	0	0	1430,2	0	20	
6:30	86	-29,5	0	0	34	0	34	1430,2	0	20	
6:45	87	17,4	0	0	83	0	83	1430,3	0,1	20	
7:20	93	77,4	0	50	165	0	115	1430,4	0,2	20	C1
8:30	98	383,4	0	60	501	0	441	1430,7	0,5	21	C1
8:40	94	130	0	310	510	0	200	1430,8	0,6	21	C1+C2
9:20	91	15,4	0	310	314	0	4	1431,2	1	23	C1+C2
11:00	100	430,2	0	310	960	0	650	1432	1,8	23	C1+C2+C3
11:03	95	22	454,9	310	863	0	98,1	1432	1,8	24	C1+C2+C3+OnGrid
11:40	98	201	490,4	310	1062	0	261,6	1432,7	2,5	25	C1+C2+C3+OnGrid
12:10	99	272	516,8	200	1048	0	331,2	1433,1	2,9	26	C1+C2+C3+OnGrid
13:42	96	85,1	478,8	250	874	0	145,2	1434,5	4,3	27	C1+C2+C3+OnGrid
14:30	94	20,9	443,5	330	830	0	56,5	1435,2	5	26	C1+C2+C3+OnGrid
16:00	89	-181,4	370,4	410	655	0	-125,4	1436,4	6,2	25	C1+C2+C3+OnGrid
16:03	94	166	0	450	652	0	202	1436,5	6,3	25	C1+C2+C3
17:00	91	-35,1	0	210	210	0	0	1437	6,8	23	C1+C2+C3
17:12	94	20,9	0	110	169	0	59	1437	6,8	23	C1+C2
18:30	87	-116	0	120	0	0	-120	1437	6,8	21	C1+C2
18:35	88	-100	0	30	0	0	-30	1437	6,8	21	C1
20:00	87	-100	0	30	0	0	-30	1437	6,8	20	C1
22:00	86	-118	0	60	0	0	-60	1437	6,8	19	C1
	Medição energia FV inicial (kWh)	Hora inicial (decimal)	Hora final (decimal)	Total de horas (decimal)				Total de energia gerada (kWh)	Energia consumida e armazenada (kWh)		
	1430,2	5,75	22,00	16,25				6,8	4,31		

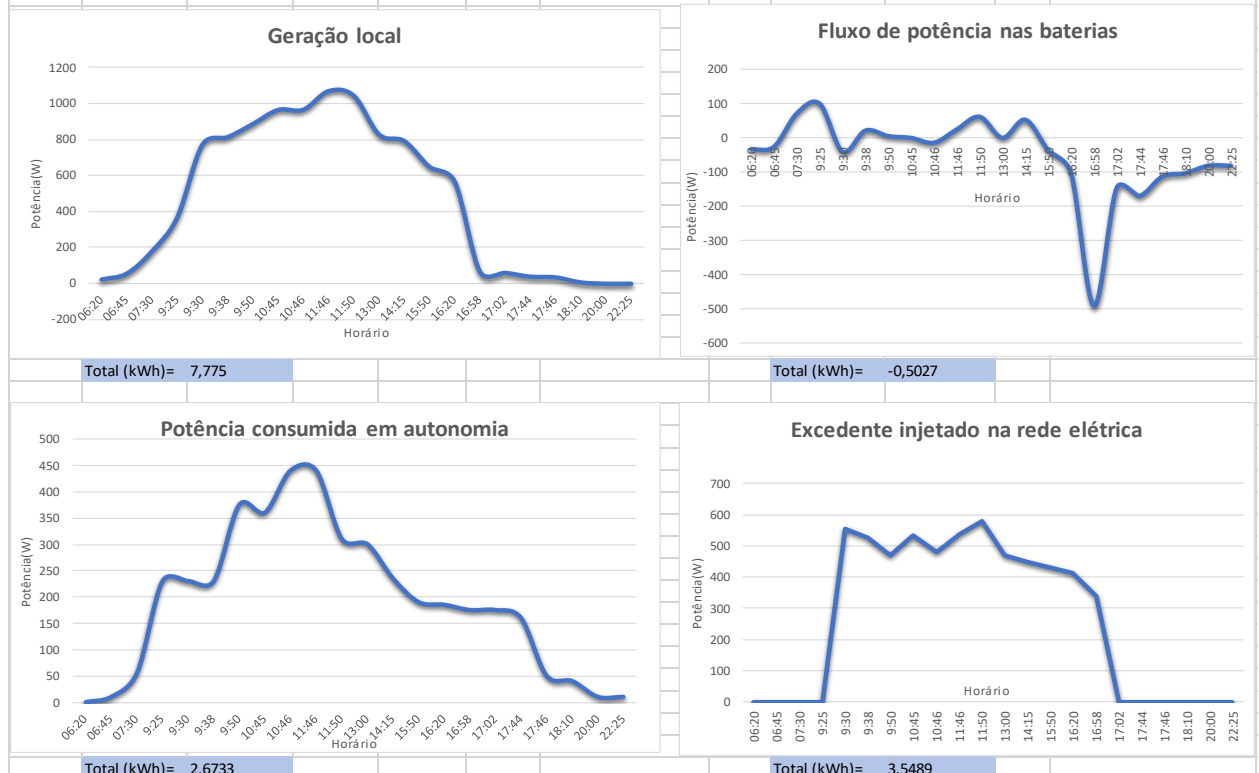


Observações:

- O dia amanhece nublado, porém aos poucos se desfaz ao longo da manhã, alta insolação em seguida;
- Observa-se grandes variações do fluxo de potência sobre as baterias, devido a alterações recorrentes de nebulosidades no período da manhã, depois permanece estável até as 16 horas, com nova interposição de nuvens neste horário, provocando o desligamento da injeção de energia à rede elétrica, ao se desativar o inversor ON-GRID;
- As cargas demandadas em seguida vão paulatinamente sendo revertidas à rede elétrica local, permanecendo somente C1 mantida pelo inversor OFF-GRID, de forma autônoma, mantida pelas baterias, até às 22 horas, com um ligeiro aumento de potência dessa carga.

Dados coletados – dia 04/OUT/2019

Horário:	Carga das baterias (%):	Pot. nas Baterias (W)	Pot. ON-GRID (W) injetada	Pot. OFF-GRID (W) autônoma	Pot. Gerada painéis	Energia gerada Bike + Gerador a Combustão + Carregador (kWh)	Saldo de Pot.(W)	Energia FV gerada med.(kWh)	Energia gerada FV (kWh)	Temperatura	Situação de carga demandada
06:20	92	-33,5	0	0	23	0,975	23,975	1437	0	17	Carregador desligado
06:45	92	-25,8	0	10	56	0	46	1437	0	17	C1
07:30	100	71,76	0	55	180	0	125	1437,1	0,1	17	C1+C2
9:25	100	100,1	0	230	367	0	137	1437,8	0,8	19	C1+C2+C3
9:30	98	-40,5	553,5	230	771	0	-12,5	1437,8	0,8	20	C1+C2+C3+OnGrid
9:38	98	21,6	526,5	230	812	0	55,5	1437,8	0,8	20	C1+C2+C3+OnGrid
9:50	96	5,3	470,8	375	885	0	39,2	1438	1	20	C1+C2+C3+OnGrid
10:45	98	0	533,1	360	963	0	69,9	1438,8	1,8	22	C1+C2+C3+OnGrid
10:46	96	-14	478,8	440	964	0	45,2	1438,8	1,8	22	C1+C2+C3+OnGrid
11:46	98	25	537,3	440	1067	0	89,7	1439,9	2,9	24	C1+C2+C3+OnGrid
11:50	100	62	579,6	310	1041	0	151,4	1440	3	24	C1+C2+C3+OnGrid
13:00	96	0	468,2	300	826	0	57,8	1441	4	26	C1+C2+C3+OnGrid
14:15	96	53,2	449,5	235	790	0	105,5	1442	5	28	C1+C2+C3+OnGrid
15:50	94	-36,4	429	190	647	0	28	1443,1	6,1	28	C1+C2+C3+OnGrid
16:20	92	-103,8	412,8	185	565	0	-32,8	1443,4	6,4	28	C1+C2+C3+OnGrid
16:58	87	-492	339,5	175	66	0	-448,5	1443,7	6,7	27	C1+C2+C3+OnGrid
17:02	90	-146,1	0	175	60	0	-115	1443,7	6,7	27	C1+C2+C3
17:44	88	-170	0	160	39	0	-121	1443,8	6,8	25	C1+C2
17:46	89	-113	0	50	35	0	-15	1443,8	6,8	25	C1
18:10	89	-103,3	0	40	7	0	-33	1443,8	6,8	25	C1
20:00	87	-81,4	0	10	0	0	-10	1443,8	6,8	22	
22:25	87	-81,4	0	10	0	0	-10	1443,8	6,8	20	
	Medição energia FV inicial(kWh)	Hora inicial (decimal)	Hora final (decimal)	Total de horas (decimal)				Total de energia gerada(kWh)	Energia consumida e armazenada (kWh)		
	1437	6,33	22,42	16,08				7,775	5,72		

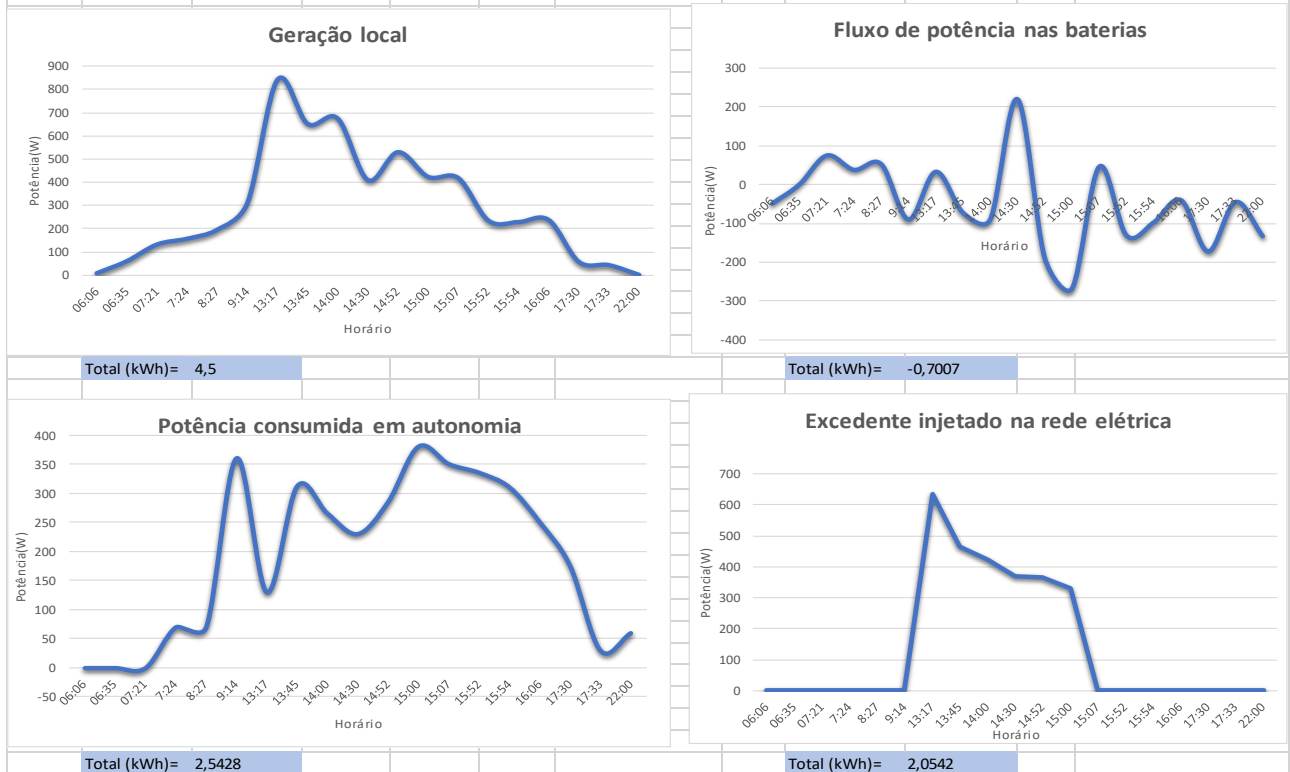


Observações:

- Dia de boa insolação, pouca nebulosidade, temperatura amena;
- A carga C1 mantida pelas baterias durante a madrugada ocasionou o acionamento do Carregador CA/CC, gastando no total 0,975 kWh de energia para a sua recarga, enquanto C1 permanecia revertido para a rede elétrica local. Após essa recarga, com a presença de alguma geração fotovoltaica, C1 volta novamente a ser mantido pelo inversor OFF-GRID, em autonomia;
- Dessa forma, as reversões das cargas restantes (C2 e C3), bem como o acionamento do inversor ON-GRID para a injeção de energia excedente à rede elétrica, são antecipadas pela situação de carga das baterias no início do dia.

Dados coletados – dia 08/OUT/2019

Horário:	Carga das baterias (%):	Pot. nas Baterias (W)	Pot. ON-GRID (W) injetada	Pot. OFF-GRID(W) autônoma	Pot. Gerada painéis	Energia gerada Bike + Gerador a Combustão + Carregador (kWh)	Saldo de Pot.(W)	Energia FV gerada med.(kWh)	Energia gerada FV (kWh)	Temperatura	Situação de carga demandada
06:06	92	-49	0	0	7	0,975	7,975	1453	0	14	Carregador desligado
06:35	93	0	0	0	59	0	59	1453	0	15	
07:21	100	74,5	0	0	131	0	131	1453,1	0,1	15	
7:24	97	37,5	0	70	156	0	86	1453,1	0,1	15	C1
8:27	100	52,2	0	70	195	0	125	1453,3	0,3	15	C1
9:14	93	-90,3	0	360	310	0	-50	1453,5	0,5	16	C1+C2
13:17	100	32,6	635,6	130	843	0	77,4	1455,8	2,8	21	C1+C2+C3+OnGrid
13:45	93	-72,8	465,4	312	652	0	-125,4	1456,2	3,2	22	C1+C2+C3+OnGrid
14:00	92	-90,3	423,1	265	675	0	-13,1	1456,3	3,3	22	C1+C2+C3+OnGrid
14:30	90	219,2	370,4	230	409	0	-191,4	1456,6	3,6	23	C1+C2+C3+OnGrid
14:52	88	-189	365,4	285	530	0	-120,4	1456,9	3,9	23	C1+C2+C3+OnGrid
15:00	87	-267,8	332,1	380	423	0	-289,1	1456,9	3,9	23	C1+C2+C3+OnGrid
15:07	90	45,7	0	350	418	0	68	1456,9	3,9	23	C1+C2+C3
15:52	87	-131,2	0	335	234	0	-101	1457,2	4,2	22	C1+C2+C3
15:54	88	-97,5	0	310	228	0	-82	1457,2	4,2	22	C1+C2
16:06	89	-40,3	0	250	237	0	-13	1457,3	4,3	22	C1
17:30	86	-172,2	0	175	56	0	-119	1457,5	4,5	21	C1
17:33	88	-45	0	30	42	0	12	1457,5	4,5	21	
22:00	84	-133,1	0	60	0	0	-60	1457,5	4,5	18	
	Medição energia FV inicial(kWh)	Hora inicial (decimal)	Hora final (decimal)	Total de horas (decimal)				Total de energia gerada(kWh)	Energia consumida e armazenada (kWh)		
	1453	6,10	22,00	15,90				4,5	3,90		

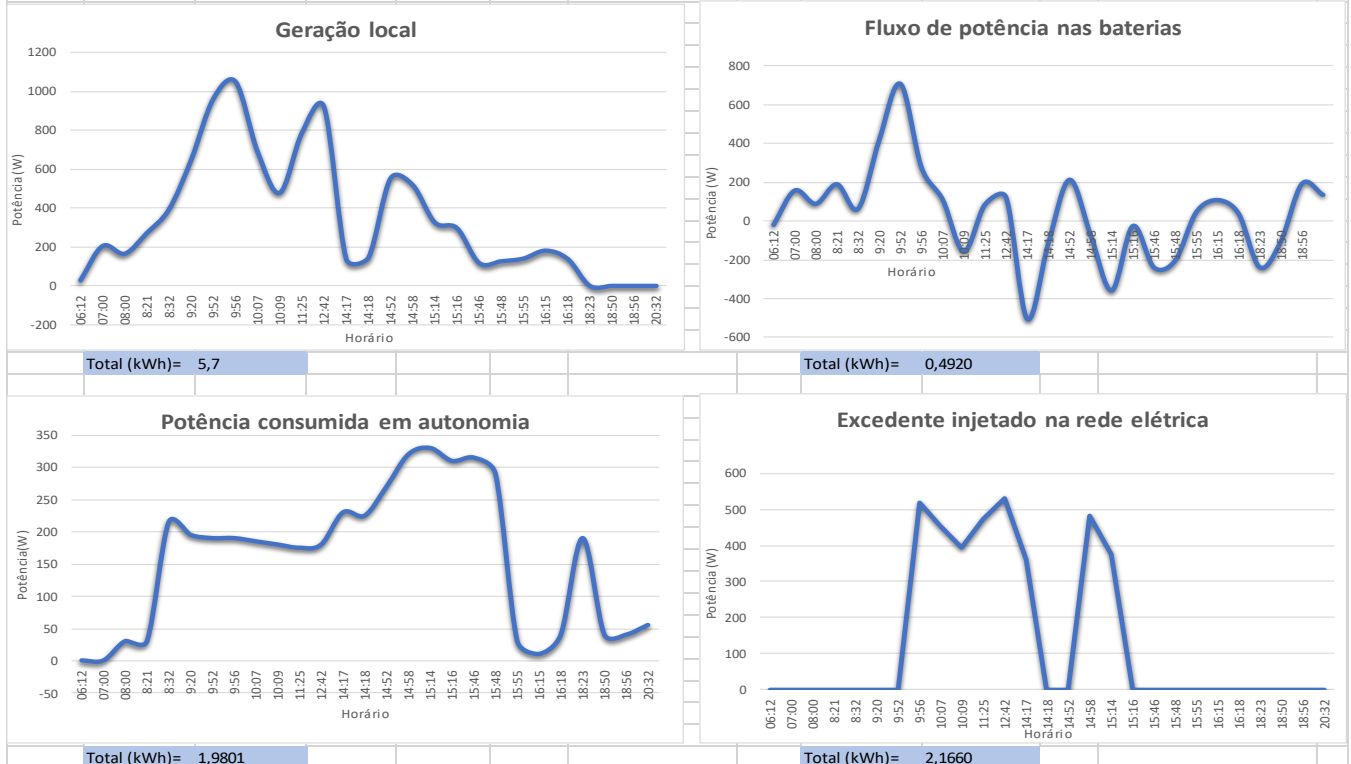


Observações:

- Dia de nebulosidade muito variável. Média produção solar fotovoltaica;
- Carregador CA/CC desligado no início do dia. Contabilização da energia gasta para esta recarga;
- As intensas flutuações de produção solar fotovoltaica se refletem no fluxo de potência no banco de baterias, com sucessivas descargas e recargas de considerável amplitude. Mesmo assim não acontecem chaveamentos reversíveis ao longo dessas flutuações, indicando suficiência de carga das baterias para a demanda autônoma;
- Observa-se o bom sincronismo do acionamento do inversor ON-GRID aos momentos das maiores insolações, fazendo a correta injeção do excedente de energia gerado para a rede elétrica local.

Dados coletados – dia 14/OUT/2019

Horário:	Carga das baterias (%):	Pot. nas Baterias (W)	Pot.ON-GRID (W) injetada	Pot. OFF-GRID(W) autônoma	Pot. Gerada painéis	Energia gerada Bike + Gerador a Combustão - Carregador (kWh)	Saldo de Pot.(W)	Energia FV gerada med.(kWh)	Energia gerada FV (kWh)	Temperatura	Situação de carga demandada
06:12	84	-19,4	0	0	29	0	29	1493,3	0	21	Segunda-feira nublada
07:00	92	157,4	0	0	206	0	206	1493,4	0,1	22	
08:00	90	88,9	0	30	166	0	136	1493,5	0,2	22	C1
8:21	93	189,8	0	30	273	0	243	1493,6	0,3	23	C1
8:32	89	63,5	0	215	395	0	180	1493,7	0,4	22	C1+C2
9:20	98	418,5	0	195	650	0	455	1494,1	0,8	24	C1+C2+C3
9:52	100	707,2	0	190	965	0	775	1494,6	1,3	25	C1+C2+C3
9:56	98	275,4	518,4	190	1053	0	344,6	1494,6	1,3	26	C1+C2+C3+OnGrid
10:07	95	110,8	454	185	691	0	52	1494,7	1,4	26	C1+C2+C3+OnGrid
10:09	91	-156,3	393,7	180	480	0	-93,7	1494,8	1,5	27	C1+C2+C3+OnGrid
11:25	96	85,1	473,5	175	789	0	140,5	1495,9	2,6	28	C1+C2+C3+OnGrid
12:42	100	122,4	530,4	180	922	0	211,6	1497,1	3,8	31	C1+C2+C3+OnGrid
14:17	87	-503,4	359,6	230	139	0	-450,6	1498,2	4,9	29	C1+C2+C3+OnGrid
14:18	88	-115	0	225	145	0	-80	1498,2	4,9	29	C1+C2+C3
14:52	100	213	0	270	554	0	284	1498,6	5,3	27	C1+C2+C3
14:58	95	-70,7	481	320	520	0	-281	1498,6	5,3	28	C1+C2+C3+OnGrid
15:14	89	-357,8	375	330	327	0	-378	1498,7	5,4	27	C1+C2+C3+OnGrid
15:16	90	-25	0	310	298	0	-12	1498,7	5,4	27	C1+C2+C3
15:46	86	-239,3	0	315	118	0	-197	1498,8	5,5	26	C1+C2+C3
15:48	87	-203,4	0	290	127	0	-163	1498,8	5,5	26	C1+C2
15:55	90	45,7	0	30	141	0	111	1498,8	5,5	26	C1
16:15	95	108,24	0	10	182	0	172	1498,9	5,6	25	C1
16:18	93	39	0	40	139	0	99	1498,9	5,6	25	C1
18:23	84	-237,6	0	190	0	0	-190	1499	5,7	22	C1
18:50	85	-105,3	0	40	0	0	-40	1499	5,7	22	C1
18:56	90	192	0	40	0	0	-40	1499	5,7	22	
20:32	98	135	0	55	0	0,975	-54,025	1499	5,7	21	Carregador acionado
	Medição energia FV inicial(kWh)	Hora inicial (decimal)	Hora final (decimal)	Total de horas (decimal)				Total de energia gerada(kWh)	Energia consumida e armazenada (kWh)		
	1493,3	6,20	20,53	14,33				6,675	4,64		

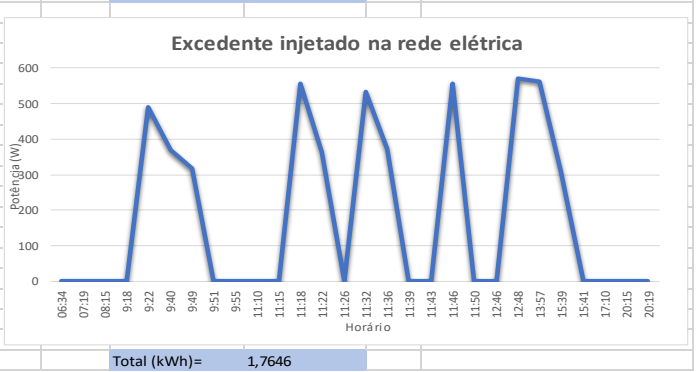
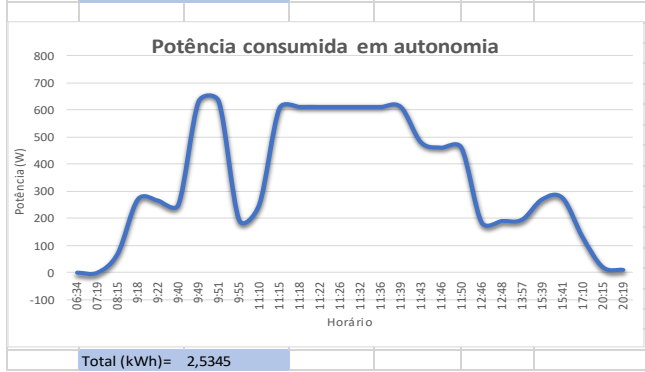
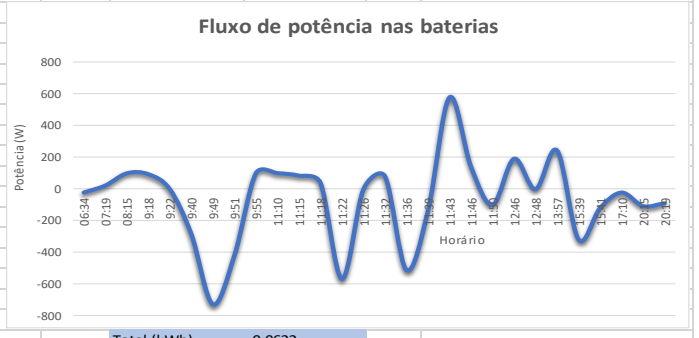


Observações:

- Dia com nebulosidades. Média produção solar fotovoltaica;
- Banco de baterias usado de forma simétrica, com carregamentos e descarregamentos de intensidade semelhante e saldo de uma leve carga ao fim do dia;
- Carregador CA/CC acionado no início da noite, energia contabilizada ainda neste mesmo dia.

Dados coletados – dia 22/OUT/2019

Horário:	Carga das baterias (%):	Pot. nas Baterias (W)	Pot.ON-GRID (W) injetada	Pot.OFF-GRID(W) autônoma	Pot. Gerada painéis	Energia gerada Bike + Gerador a Combustão Carregador (kWh)	Saldo de Pot.(W)	Energia FV gerada med.(kWh)	Energia gerada FV (kWh)	Temperatura	Situação de carga demandada
06:34	92	-20,6	0	0	28	0	28	1526	0	15	Carregador desligado-Dia nublado
07:19	93	23,6	0	0	77	0	77	1526	0	15	
08:15	100	100,8	0	70	244	0	174	1526,2	0,2	16	C1
9:18	100	95	0	270	414	0	144	1526,5	0,5	17	C1+C2+C3
9:22	96	0	489,4	265	942	0	187,6	1526,5	0,5	17	C1+C2+C3+OnGrid
9:40	89	-284,8	370,4	250	387	0	-233,4	1526,7	0,7	18	C1+C2+C3+OnGrid
9:49	85	-726	317	630	296	0	-651	1526,7	0,7	18	C1+C2+C3+OnGrid
9:51	85	-418,2	0	630	307	0	-323	1526,7	0,7	18	C1+C2+C3
9:55	92	100,6	0	195	348	0	153	1526,8	0,8	18	C1+C2
11:10	100	101,5	0	250	364	0	114	1527,3	1,3	19	C1+C2
11:15	100	85,8	0	605	758	0	153	1527,3	1,3	19	C1+C2+C3
11:18	97	40,5	557,6	610	1240	0	72,4	1527,4	1,4	19	C1+C2+C3+OnGrid
11:22	89	-565	365	610	478	0	-497	1527,4	1,4	20	C1+C2+C3+OnGrid
11:26	91	0	0	610	510	0	-100	1527,4	1,4	20	C1+C2+C3
11:32	100	81	534,6	610	1241	0	96,4	1527,4	1,4	20	C1+C2+C3+OnGrid
11:36	88	-510	372	610	685	0	-297	1527,5	1,5	20	C1+C2+C3+OnGrid
11:39	90	-136	0	610	516	0	-94	1527,5	1,5	20	C1+C2+C3
11:43	100	580	0	480	828	0	348	1527,6	1,6	21	C1+C2+C3
11:46	99	141,4	557,6	460	1262	0	244,4	1527,7	1,7	21	C1+C2+C3+OnGrid
11:50	90	-99,5	0	460	450	0	-10	1527,7	1,7	21	C1+C2+C3
12:46	100	192,7	0	185	390	0	205	1528	2	21	C1+C2+C3
12:48	98	0	571,2	190	867	0	105,8	1528	2	21	C1+C2+C3+OnGrid
13:57	100	244,8	561,7	195	1086	0	329,3	1528,7	2,7	23	C1+C2+C3+OnGrid
15:39	84	-317,2	309,8	270	192	0	-387,8	1529,8	3,8	24	C1+C2+C3+OnGrid
15:41	86	-119	0	275	201	0	-74	1529,8	3,8	24	C1+C2+C3
17:10	95	-21	0	130	158	0	28	1530,4	4,4	22	C1+C2
20:15	86	-106,3	0	20	0	0	-20	1530,4	4,4	18	C1
20:19	86	-88,6	0	10	0	0	-10	1530,4	4,4	18	
	Medição energia FV inicial(kWh)	Hora inicial (decimal)	Hora final (decimal)	Total de horas (decimal)				Energia gerada medida FV+Bike-Carregador (kWh)	Energia consumida e armazenada (kWh)		
	1526	6,57	20,32	13,75				4,4	4,24		



Observações:

- Dia muito nublado com intensas variações de insolação. Média produção solar fotovoltaica;
- Carregador acionado na madrugada;
- Controle de demanda bastante solicitado, com algumas reversões do ramal de cargas C3 e sucessivos acionamentos e desligamentos do inversor ON-GRID. Observa-se que o gerenciamento da demanda correspondeu à alta flutuação da geração local de energia;
- Fluxo de potência sobre as baterias com flutuação alinhada à produção fotovoltaica, deixadas levemente descarregadas ao fim do dia.

