

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Adilson Augusto de Lima

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA HÍBRIDO
DE ENERGIA PARA APLICAÇÃO EM OPERAÇÕES NO
SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES**

Taubaté – SP

2018

Adilson Augusto de Lima

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA
HÍBRIDO DE ENERGIA PARA APLICAÇÃO EM
OPERAÇÕES NO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté. Área de Concentração: Energia e Materiais
Orientador: Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia

Taubaté – SP

2018

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

L732e Lima, Adilson Augusto de
Estudo de viabilidade de um sistema híbrido de energia para aplicação em operações no setor de telecomunicações / Adilson Augusto de Lima. -- 2018.
104 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Efeito estufa. 2. Energia ininterrupta. 3. Proteus®. 4. Sistemas híbridos. 5. Telecomunicações. I. Título. II. Mestrado em Engenharia Mecânica.

CDD – 621.313

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

ADILSON AUGUSTO DE LIMA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA PARA
APLICAÇÃO EM OPERAÇÕES NO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Energia e Materiais
Orientador: Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia

Data: ____/____/____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia (Orientador) UNITAU

Assinatura _____

Prof. Dr. Ederaldo Godoy Junior UNITAU

Assinatura _____

Prof. Dr. José Rui Camargo APOSENTADO UNITAU

Assinatura _____

Dedico este trabalho a minha esposa e filhos:

Gislene Oliveira Augusto de Lima

Rebeca Oliveira Augusto de Lima

Gabriel Oliveira Augusto de Lima

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus “A Ele toda Glória”;

À minha família pela compreensão e aos meus pais pelos valores ensinados;

Ao professor Dr. Giacaglia pela dedicação e paciência em seu trabalho;

Ao engenheiro Ricardo Abe pelo incentivo;

Aos amigos da turma 40 pelos momentos que compartilhados durante o mestrado;

Ao André amigo e companheiro neste desafio;

Ao Hélio pela parceria que foi estabelecida;

Ao engenheiro Fabiano Galvão pela colaboração impar na ajuda no desenvolvimento do projeto eletrônico e ao Renan Cardoso pela ajuda na revisão do projeto;

Ao senhor Engenheiro Antonio Pereira parceria através da doação dos painéis solares e componentes (contadoras) que compões o comando do sistema híbrido;

Ao Sr. Pedro de Sá, por abrir as portas de sua empresa, e aos seus colaboradores Jorge Linhares e José Hildo que dispuseram todo recurso necessário para a montagem e testes dos dispositivos.

“Dá instrução ao sábio, e ele se fará mais sábio; ensina o justo e ele aumentará em entendimento”.

Provérbios 9:9

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo dos sistemas híbridos de energia com aplicação no setor de telecomunicações que dependem de energia elétrica ininterrupta. A partir de problemas causados pela queda de energia devido às falhas de concessionária associada com gerador diesel, foi realizado um estudo de caso com aplicação de um sistema híbrido de energia utilizando módulos fotovoltaicos nas instalações de uma empresa prestadora de serviços em telecomunicações. Devido às restrições operacionais consideradas pelas exigências e critérios da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – de acordo com a Resolução Normativa nº 482/12 e Resolução Normativa nº 687/15 para mini e microgeração e do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) para produtos homologados, o sistema híbrido foi analisado e testado em três cenários distintos, sendo inicialmente testado por meio de um simulador de circuitos conhecido por *Proteus®*, que permitiu a confecção de um hardware composto de módulo de gerenciamento e controle, mais comando elétrico para comutação das fontes na carga e sensores. O teste foi realizado posteriormente em uma bancada de laboratório, utilizando a geração fotovoltaica e as demais formas de energia, sendo simulado a partir da concessionária local e, por último nas dependências de uma empresa prestadora de serviços em telecomunicações, onde houve a montagem do sistema híbrido, sendo utilizado um grupo motor gerador, módulos fotovoltaicos de geração de energia, geração a gás natural simulada através da concessionária local. Por meio dos resultados obtidos foi demonstrado e concluído que é possível, através da aplicação de um sistema híbrido, utilizando mais de uma forma de geração de energia incluindo a fotovoltaica e a geração a gás natural, aumentar a autonomia e assegurar o fornecimento de energia elétrica ininterrupta, bem como reduzir a participação do grupo motor gerador diesel na geração, contribuindo assim com a redução dos gases do efeito estufa.

Palavras-chaves: Efeito estufa. Energia ininterrupta. Proteus®. Sistemas híbridos. Telecomunicações.

ABSTRACT

This work aims to study the hybrid energy systems with application in the telecommunications sector that depend on uninterrupted electricity. Based on problems caused by the power outage due to utility failures associated with diesel generator, a case study was carried out with the application of a hybrid energy system using photovoltaic modules at the facilities of a telecommunications services company. Due to the operational restrictions considered by the National Electric Energy Agency (ANEEL) requirements and criteria - according to Normative Resolution No. 482/12 and Normative Resolution No. 687/15 for mini and microgeneration and the National Institute of Metrology, Quality and Technology (INMETRO) for approved products, the hybrid system was analyzed and tested in three different scenarios, being initially tested through a circuit simulator known as Proteus®, which allowed the fabrication of a hardware composed of a management and control module, plus electrical control for switching the sources in charge and sensors. The test was carried out later in a laboratory bench, using photovoltaic and other forms of energy, being simulated from the local concessionaire and, finally, in the dependencies of a company that provided telecommunications services, where the system was installed hybrid, being used a motor generator group, photovoltaic modules of generation of energy, simulated natural gas generation through the local concessionaire. Through the results obtained it was demonstrated and concluded that it is possible, through the application of a hybrid system, using more than one form of energy generation including photovoltaic and natural gas generation, increasing autonomy and ensuring the supply of electric energy as well as reduce the participation of the diesel generator set in generation, thereby contributing to the reduction of greenhouse gases.

Keywords: Greenhouse effect. Hybrid systems. Proteus®. Telecommunications. Uninterrupted power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Geração de eletricidade por fonte - cenário mundial 2012.....	20
Figura 02	Matriz de capacidade instalada de geração elétrica do Brasil sem importação contratada – Dez.2016.....	25
Figura 03	Exemplo de processo de transesterificação para obtenção de biodiesel (incentivada pelo governo brasileiro).....	27
Figura 04	Localização do gás natural no subsolo terrestre.....	28
Figura 05	Resumo dos tipos de gás natural.....	29
Figura 06	Esquema da geologia dos recursos de gás natural.....	29
Figura 07	Evolução da matriz nacional entre 2000 e 2012.....	31
Figura 08	Perfil esquemático de produção de energia elétrica a partir do gás natural.....	32
Figura 09	Processo de radiação solar.....	33
Figura 10	Diagrama em bloco de um módulo fotovoltaico – sistema de bateria convencional.....	35
Figura 11	Projeção de custos futuros de produção em sistemas fotovoltaicos.....	35
Figura 12	Projeção de geração fotovoltaica distribuída.....	36
Figura 13	Representação de um sistema híbrido FV/Eólico.....	40
Figura 14	Esquema de um sistema integrado baseado eólica – solar – micro PCH.....	41
Figura 15	Arquitetura geral de sistema híbrido de energia.....	42
Figura 16	Restrições para otimização do sistema híbrido de energia renovável (SHER).....	43
Figura 17	Radiação solar global horizontal média anual (em kWh/m ²).....	44
Figura 18	Potencial eólico do Brasil – fluxo de potência e velocidade média anual (a 50 m de altura).....	45
Figura 19	Diagrama de Rangone para os dispositivos de conversão e armazenamento de energia. Gráfico de densidade de potência x densidade de energia.....	47
Figura 20	Exemplo de modelo e instalação de bateria ventilada.....	48
Figura 21	Exemplo de modelo e instalação de bateria selada.....	49
Figura 22	Exemplo de bateria Lítio íon de uso em notebooks.....	50
Figura 23	Esquema de funcionamento de bateria Lítio íon.....	51
Figura 24	Exemplo de bateria lítio íon.....	52
Figura 25	Esquema de operação de uma célula a combustível do tipo PEMFC.....	53
Figura 26	Detalhe do abrigo adequado para ambientes de telecomunicações.....	55
Figura 27	Detalhe da estrutura do sistema híbrido com as fontes conectadas e carga.....	57
Figura 28	Configuração da geração fotovoltaica.....	59
Figura 29	Diagrama do MGC do sistema híbrido.....	62

Figura 30	Bloco MGC-1- PIC 18F4550 e display de LCD	63
Figura 31	Bloco MGC-2 - sensores de tensão.....	65
Figura 32	Bloco MGC-3 - sensor de corrente	65
Figura 33	Bloco MGC-4 - circuito habilitador das fontes de energia.....	66
Figura 34	Detalhe do display com o nome do projeto, versão, mês e ano...	67
Figura 35	Detalhe do display com a sinalização das fontes conectadas e a fonte 1 conectada a carga.....	67
Figura 36	Detalhe do display com a sinalização das fontes 2 e 3 conectadas e a fonte 2 conectada a carga.....	68
Figura 37	Detalhe do display com a sinalização das fontes 3 conectadas e a fonte 3 conectada a carga.....	68
Figura 38	Detalhe do display com as fontes desligadas e sinalização de carga desligada.....	69
Figura 39	Detalhe do display com as fontes ligadas, porém o sistema está em manual.....	69
Figura 40	Diagrama de potência do sistema híbrido.....	71
Figura 41	Detalhe do Inter travamento elétrico das fontes.....	72
Figura 42	Placa do módulo de gerenciamento e controle.....	73
Figura 43	Módulo de relés utilizado.....	73
Figura 44	Detalhe do sensor de corrente e tensão.....	74
Figura 45	Quadro de comando desenvolvido para o protótipo de sistema híbrido.....	75
Figura 46	Montagem do sistema híbrido em área aberta para os primeiros testes do hardware.....	77
Figura 47	Montagem para teste do sistema híbrido de energia.....	78
Figura 48	Detalhe do controlador de carga/inversor e montagem dos módulos fotovoltaicos em cima do grupo motor gerador (GMG).	79
Figura 49	Gráfico de tensão de alimentação na carga a partir do <i>Proteus@</i>	81
Figura 50	Detalhe dos disjuntores para simulação das fontes de tensão....	83
Figura 51	Gráfico da tensão e potência consumida na carga.....	84
Figura 52	Condições climáticas do dia 11/06/18.....	87
Figura 53	Condições climáticas do dia 12/06/18.....	88
Figura 54	Condições climáticas do dia 13/06/18.....	89
Figura 55	Gráfico da tensão disponível das fontes geradoras e potência na carga.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Oferta interna de energia no Brasil e mundo (% e tep).....	21
Tabela 2	Oferta interna de energia no Brasil (% e tep)	25
Tabela 3	Perspectivas de redução de custos dos sistemas fotovoltaicos (R\$/Wp)	36
Tabela 4	Classificação do SHER baseado no tamanho.....	42
Tabela 5	Composição da estrutura do sistema híbrido proposto.....	58
Tabela 6	Principais características dos componentes da geração fotovoltaica	60
Tabela 7	Descrição dos blocos que compõe o sistema de controle de potência	76

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRACE	Associação Brasileira Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
EDLC	Capacitor de dupla camada elétrica
EEPROM	Memória apenas de leitura programável apagável eletricamente
CO ₂	Gás carbônico
CNI	Confederação Nacional da Indústria
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
FV/EÓLICO	Fotovoltaico/Eólico
FVLA	Bateria chumbo- ácido ventilação livre
FV/T	Fotovoltaico/ térmico
Gasbol	Gasoduto Bolívia – Brasil
GEE	Gases de efeito estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HOMER	Modelo de otimização híbrida para múltiplos recursos energéticos
LCD	Display de cristal líquido
MGC	Módulo de gerenciamento e controle
OCDE	Organização para cooperação e desenvolvimento econômico
PCH	Pequena central hidroelétrica
PEMFC	Célula de combustível de membrana de polímero-eletrólito
PIC	Controlador de Interface programável
RAM	Memória de acesso aleatório
RISC	Computador com conjunto de instruções reduzido
ROM	Memória apenas de leitura
R\$/Wp	Real por Watt pico
SHER	Sistema híbrido de energia renovável
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
TV	Televisor
VCA	Tensão alternada
VCC	Tensão contínua
VRLA	Bateria chumbo – ácido regulada à válvula

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Problematização	16
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	Objeto de Pesquisa	17
1.5	Delimitações	17
1.6	Limitação	17
1.7	Hipótese	18
1.8	Justificativa	18
1.9	Estrutura do Trabalho	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Contextos de Energia no Mundo	20
2.2	Contextos de Energia no Brasil	24
2.3	Fontes de Energia Aplicadas	26
2.3.1	Biocombustíveis: etanol e biodiesel	26
2.3.2	Gás Natural	28
2.3.3	Sistemas fotovoltaicos	32
2.4	Sistemas Híbridos	37
2.5	Modelos de um Sistema Híbrido	39
2.5.1	Restrições para a otimização do SHER	43
2.5.2	Dados meteorológicos	43
2.6	Dispositivos de Armazenamento de Energia	46
2.6.1	Baterias de Chumbo Ácido	47
2.6.2	Bateria FVLA	48
2.6.3	Bateria VRLA (Selada)	49
2.6.4	Baterias de Lítio Íon	50
2.6.5	Célula a Combustível	52
3	METODOLOGIA	54
4	ESTUDO DE CASO	55
4.1	Apresentação do Sistema Híbrido	56
4.2	O Sistema Híbrido de Energia	60
4.2.1	Descrição do PIC 18F4550 e Display de LCD - MGC-1	63
4.2.2	Descrição dos sensores de tensão e corrente – MGC-2 e MGC-3	64
4.2.3	Descrição do circuito habilitador das fontes de energia – MGC-4	66
4.3	Descrição de Operação e Funcionamento do Controlador	67
4.4	O Sistema de Comando Elétrico de Potência	69
4.5	Montagem e Instalação do Sistema Híbrido	72
4.6	Operação do Sistema Híbrido	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
5.1	Funcionamento do MGC	80
5.2	Funcionamento do Sistema Híbrido	82
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	93
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE – Tabela dos gráficos das figuras 51 e 55	102

1 INTRODUÇÃO

Problemas causados pela queda de energia, devido às falhas de concessionária podem causar danos e prejuízos em vários tipos de serviços. A aplicação de um sistema híbrido de energia, utilizando energia alternativa visa solucionar esse problema.

1.1 Contextualização

A política de gestão de mudança climática apresenta-se como um dos principais temas que estão sendo discutidos na agenda do século XXI (CARVALHO, 2014). Para Tiepolo *et al.* (2012), dentro desse cenário, o desenvolvimento sustentável e as fontes renováveis de energia são temas de repercussão no cenário global, contribuindo para uma maior consciência quanto aos recursos naturais do planeta e ao desenvolvimento em todos os setores da sociedade.

Dentre os setores de serviços, um dos que mais se destaca é o setor de telecomunicações que, segundo Amaral (2017), é totalmente dependente da energia elétrica na sua operação. Chagas (2007) afirma que não são mais toleradas falhas no fornecimento de energia elétrica que alimentam os sistemas vitais de empresas, hospitais, bancos e centrais telefônicas, que são compostos por grandes sistemas informatizados com roteadores, processadores, plataformas de protocolos IP e etc.

Na década de 70, com a criação da estatal Telebrás, o setor de telecomunicações do país passou por uma fase de vultosos investimentos. No entanto, é a partir de 1998, com a realização da privatização do sistema Telebrás, que este crescimento se acelera (SILVA, 2007).

Segundo Amaral (2017), os serviços de telecomunicações incluem: serviços de tecnologia da informação, serviços audiovisuais, edição integrada à impressão, agências de notícias e outros serviços de informação e, por esta razão, dependem da qualidade do fornecimento da energia (OGURA e GUERRA JUNIOR, 2004).

Ainda com Amaral (2017), as telecomunicações no Brasil, além dos aspectos econômicos diretos como receitas, volume de investimentos, impostos e empregos gerados, cumprem, através das obrigações regulatórias, o compromisso de integração nacional, a universalização dos serviços e inclusão digital.

Hoje não é possível debater a sociedade sem mencionar o papel da

informação e das telecomunicações, sejam nas relações de trabalho, negócios, vida cotidiana, política, ambiente ou mesmo na organização territorial e na produção de novas infraestruturas técnicas (JURADO da SILVA, 2014). Desta forma, podemos perceber a importância deste setor no desenvolvimento do país.

Dada a sua importância e a complexidade de suas instalações e equipamentos, o setor de telecomunicações depende de energia elétrica ininterrupta e de qualidade. Por tratar-se de serviço essencial a interrupção, mesmo que temporária, pode comprometer não somente a comunicação entre as pessoas, como também o trânsito comercial de informações, que vão desde transações econômicas de ordem nacional e internacional, controles, fluxo de informações, internet e até segurança nacional, entre outros.

Vive-se em um momento ímpar, no qual a sociedade é capaz de se conectar e se integrar em um verdadeiro movimento informacional, graças, obviamente, aos avanços da técnica no segmento das telecomunicações (JURADO da SILVA, 2014). Por esta razão, a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), por meio de regulamentação, prevê penalizações em caso da não prestação do serviço (AMARAL, 2017).

Não existe no marco regulatório qualquer cláusula que isente de alguma responsabilidade ou atenua a sanção à prestadora de serviços em função da falta ou insuficiência no fornecimento de energia (AMARAL, 2017). Portanto o fornecimento da energia elétrica para atendimento ao setor de telecomunicações deverá ser eficiente para mantê-lo em perfeita operação, sem o comprometimento de qualquer um dos serviços. Logo, é preciso pensar nesta energia, não apenas preocupados em sua geração indistintamente, mas focados na realidade que preocupa o mundo todo que é a sua escassez e a emissão de gases formadores do efeito estufa que traz impacto às questões climáticas.

Conforme Carvalho (2014), apesar de ser um dos pilares econômicos de grande importância para a competitividade dos países, o setor de energia é sensível aos impactos climáticos.

A obtenção de soluções de energias confiáveis e econômicas para a expansão mundial das telecomunicações em áreas rurais e remotas representa um grande desafio (NEMA e NEMA, 2010). Segundo Ogura e Guerra Junior (2004), a energia solar é a solução para levar a eletricidade a locais onde a rede convencional não chegou ou é fornecida de maneira precária, principalmente no meio rural, para

iluminação, televisor, telecomunicações, bombeamento de água e eletrificação em geral.

Para Fraidenraich (2004) as principais aplicações da tecnologia fotovoltaica no Brasil são relativas às telecomunicações, à eletrificação rural e ao bombeamento de água. De acordo com Ogura e Guerra Junior (2004), as telecomunicações, em particular as estações repetidoras de micro-ondas, constituem a aplicação mais antiga da tecnologia fotovoltaica no país (FRAIDENRAICH, 2004).

Os serviços de telecomunicações são muito vastos e englobam seis categorias: telefonia fixa, comunicação, comunicação multimídia, televisão por assinatura, radiodifusão e outros serviços de telecomunicações (AMARAL, 2017). Porém, a atenção à necessidade do fornecimento da energia elétrica para o setor de Telecomunicações estará em destaque neste trabalho e, devido ao nível de criticidade desse serviço, torna-se necessário empenhar esforços e estudos num sistema de energia elétrica capaz de aumentar a autonomia e disponibilidade de energia de forma ininterrupta e com qualidade.

Os sistemas híbridos de fornecimento energético podem ser considerados como uma solução razoável, já que são capazes de suportar sistemas que cobrem a energia consumidora independente e conectada à rede (DAGDOUGUI *et al.*, 2012).

Assegurar o fornecimento de energia elétrica de qualidade e ininterrupta, não somente ao setor de telecomunicações, mas também aos demais segmentos, é um dos objetivos do estudo do comportamento e utilização dos sistemas híbridos, porque permitem utilizar mais de uma forma de geração de energia e, simultaneamente, tendo um olhar sensível às questões que implicam no impacto ambiental, fazer a utilização das energias limpas ou renováveis, a saber: solar, eólica, hídrica, biomassa, entre outras, em detrimento da utilização de geradores movidos a combustíveis fósseis.

O objetivo deste trabalho é estudar os sistemas híbridos de energia com a utilização de fontes renováveis, mais especificamente módulos fotovoltaicos de energia solar, e sua aplicação nos setores de telecomunicações que dependem de energia ininterrupta, através de um estudo de caso num ambiente similar aos utilizados nesse setor.

O funcionamento do sistema híbrido de energia será realizado através do simulador de circuitos *Proteus*[®] e de um protótipo de controlador eletrônico

desenvolvido a partir do circuito testado no simulador, com a aplicação da energia elétrica gerada a partir dos módulos fotovoltaicos.

1.2 Problematização

Para garantir o fornecimento de energia elétrica de forma ininterrupta em serviços críticos do setor de telecomunicações é utilizada, via de regra, a energia elétrica fornecida pela concessionária local (fonte primária) e, complementarmente, um sistema gerador alimentado a diesel (fonte secundária). Num evento de interrupção de fornecimento de energia da concessionária, a fonte secundária é acionada automaticamente, ficando ativa até o reestabelecimento da fonte primária.

Por operar na condição de *stand by*, o gerador diesel, além de emitir gases que contribuem para ampliação do efeito estufa, pode apresentar falhas operacionais, comprometendo os serviços prestados, impactando de forma grave a operação da empresa e podendo resultar em sanções da Anatel, através de multas.

1.3 Objetivos

A seguir apresentam-se os objetivos geral e específicos que nortearam esta pesquisa.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é o estudar a viabilidade dos sistemas híbridos de energia elétrica com aplicação nos setores de telecomunicações que dependem da geração ininterrupta de energia.

1.3.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho

- Estudar os sistemas híbridos de energia elétrica e sua aplicação utilizando um software de simulação de circuitos eletrônicos;
- Estudar alternativas da geração fotovoltaica como fonte de energia suplementar utilizada em sistemas de suprimento ininterrupto;

- Projetar e desenvolver um protótipo de controlador eletrônico para gestão de um sistema híbrido de energia;
- Desenvolver protótipo para realização de estudos de gerenciamento de energia em sistemas híbridos de energia que possibilitem a redução da participação dos geradores a diesel como fontes suplementares de energia em sistemas ininterruptos, contribuindo para redução da emissão de gases formadores do efeito estufa.

1.4 Objeto de Pesquisa

Estudo dos sistemas híbridos de energia, utilizando energia renovável em ambientes de telecomunicações.

1.5 Delimitações

Devido à complexidade das disciplinas que compõem o setor de telecomunicações, tais como transmissão, recepção de dados/sinais, entre outros, esta pesquisa se limitará ao segmento de fornecimento de energia elétrica e seus componentes.

1.6 Limitação

Ao se utilizar a geração de energia fotovoltaica, deve-se atender às exigências e critérios estabelecidos pela ANEEL por meio da Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012 e da Resolução Normativa ANEEL nº 687, de 24 de novembro de 2015, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração.

Devido às restrições operacionais, a implantação e avaliação do sistema proposto serão realizadas utilizando-se um protótipo de sistema híbrido de baixa potência, conectado a uma rede de fornecimento energético local e composto por um sistema de geração fotovoltaica e por um sistema de geração à diesel.

O projeto e design do controlador eletrônico para o sistema híbrido serão realizados utilizando o software simulador de circuitos eletrônicos *Proteus*[®]; posteriormente, o controlador será implementado fisicamente e acoplado ao protótipo desenvolvido.

Em relação ao uso dos equipamentos, os mesmos deverão ser testados e

homologados pelo INMETRO.

1.7 Hipótese

Acredita-se que a utilização no setor de telecomunicações de sistema híbrido de energia composto por mais de uma fonte de energia elétrica (incluindo as fontes renováveis), possibilite assegurar a geração ininterrupta de energia.

1.8 Justificativa

Sendo a interrupção de fornecimento de energia elétrica um dos grandes ofensores à estabilidade dos sistemas de telecomunicações, a utilização dos sistemas híbridos de energia elétrica apresenta-se como uma proposta que se mostra adequada para assegurar o fornecimento ininterrupto de energia em sistemas de alto nível de criticidade, minimizando a utilização dos geradores a diesel e, conseqüentemente, contribuindo com a redução de emissão dos gases formadores do efeito estufa.

1.9 Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 deste trabalho trata da fase de planejamento da pesquisa, estabelecendo o contexto do trabalho, os objetivos, a delimitação e limitação do trabalho, as justificativas para esta pesquisa e as hipóteses que podem ser colocadas diante do problema de pesquisa.

O capítulo 2 consiste em uma revisão bibliográfica de maneira exploratória em relação à necessidade de revisão das matrizes energéticas e da manutenção desse fornecimento por meio da aplicação dos sistemas híbridos de energia renovável, bem como o estudo das fontes renováveis com destaque para o estudo da geração fotovoltaica, finalizando com o estudo dos modelos de sistemas híbridos de energia e dos dispositivos de armazenamento de energia.

O capítulo 3 trata da metodologia empregada neste trabalho, tendo como objetivo o estudo exploratório das fontes de energia existente numa aplicação de um sistema capaz de agregar diferentes fontes energéticas em especial as fontes de energia consideradas renováveis.

No capítulo 4 descreve-se e detalha-se o estudo de caso aplicado nas dependências de uma empresa que tem, em suas instalações, um abrigo com as mesmas características da área de telecomunicações para melhor avaliação do

sistema híbrido de energia em estudo foi utilizado um simulador de circuitos, onde foi possível testar e avaliar a operação desse sistema, bem como a montagem de hardware composto de módulo de controle e gerenciamento, um comando elétrico para comutação das fontes e carga, mais sensores. Após a montagem foram realizados testes numa bancada de laboratórios, assim como nas dependências da empresa parceira com a utilização do grupo motor gerador, módulos fotovoltaicos e da rede da concessionária local, incluindo a simulação da geração a gás natural.

No capítulo 5 apresentam-se os resultados obtidos na simulação durante o trabalho, bem como os resultados obtidos por meio de um dispositivo eletrônico desenvolvido para testes em escala real e as constatações durante o andamento da pesquisa.

No capítulo 6, finalmente, apresentam-se as considerações finais, concluindo de forma positiva, a viabilidade técnica do funcionamento do sistema híbrido de energia de maneira a assegurar o fornecimento ininterrupto de energia e a redução da participação do gerador a diesel, contribuindo com a redução dos gases formadores de efeito estufa, não levando em consideração questões relacionadas com o custo de implantação desse sistema, permitindo que outros trabalhos e pesquisas possam se aprofundar no assunto relacionado a melhor seleção da fonte geradora de energia que possa ser aplicada.

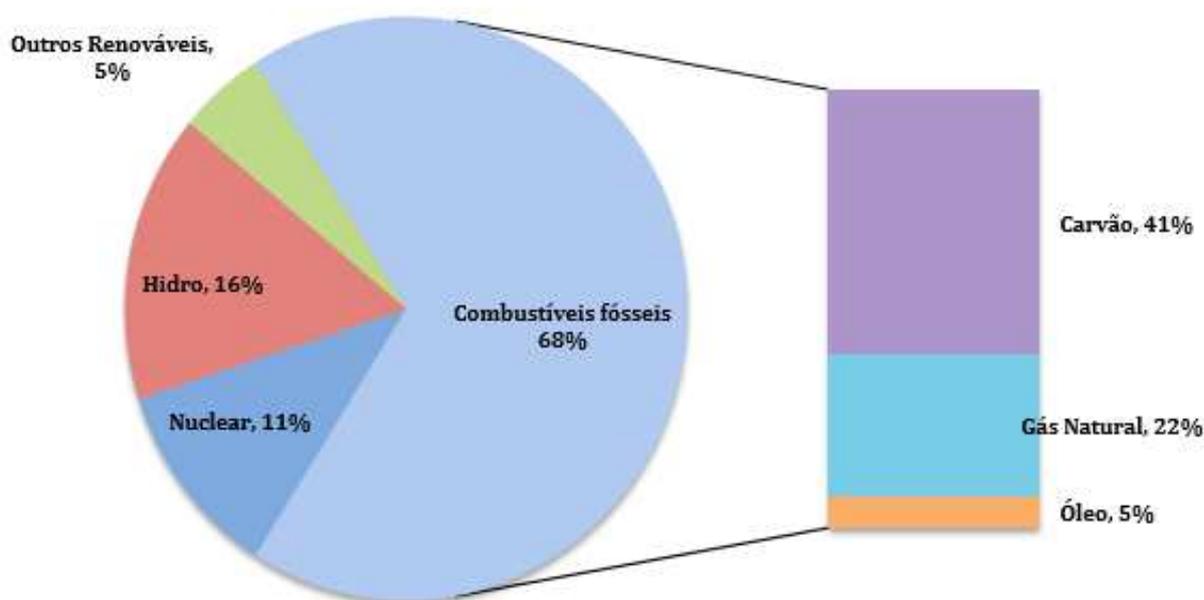
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta parte do trabalho, serão expostas, resumidamente, as principais ideias já discutidas por outros autores que trataram do problema desta pesquisa, levantando críticas e dúvidas, quando for o caso.

2.1 Contextos de Energia no Mundo

Com o aumento da população mundial e o contínuo desenvolvimento tecnológico e econômico, o homem precisa de mais energia para criar um ambiente de vida melhor (SAMPAIO e GONZÁLES, 2017). A energia é um elemento crítico e cada vez se torna mais importante para o crescimento econômico (KOUSSA, *et al.*, 2017). Segundo Amaral (2017), conforme ilustra a Figura 1, em dezembro de 2012, os combustíveis fósseis somavam 68% da geração de energia no mundo, enquanto apenas 16% eram oriundas de fontes hidroelétricas. Atualmente, um grande percentual da eletricidade mundial é fornecido por recursos de combustível fóssil (BAHRAMARA *et al.*, 2016).

Figura 1: Geração de eletricidade por fonte – cenário mundial 2012



Fonte: AMARAL (2017)

A multiplicação do consumo de energia no mundo provocou um aumento na exploração e uso de combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão), aumentando os problemas ambientais no planeta (ACUÑA *et al.* 2016), pois as fontes de energia convencionais causam mais impactos ao meio ambiente com o aumento do nível de CO₂ que leva ao aquecimento global (KRISHNA e KUMAR, 2015).

Segundo o balanço de 2016 da empresa de pesquisa energética (EPE), nos últimos 43 anos, as matrizes energéticas do Brasil e de outros blocos do mundo apresentaram significativas alterações estruturais, sendo que no bloco dos países integrantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e “Outros” países, o ponto comum é o incremento do gás natural, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Oferta Interna de Energia no Brasil e Mundo (% e tep)

Fonte	Brasil		OCDE		Outros		Mundo	
	1973	2016	1973	2016	1973	2016	1973	2016
Derivados de Petróleo	45,6	36,5	52,6	35,6	29,9	25,5	46,1	31,5
Gás Natural	0,4	12,3	18,9	25,6	12,9	21,2	16,0	22,1
Carvão Mineral	3,2	5,5	22,6	18,9	31,1	34,3	24,6	27,0
Urânio	0	1,5	1,3	9,9	0,2	2,0	0,9	4,9
Hidro	6,1	12,6	2,1	2,3	1,2	2,5	1,8	2,6
Outras não Renováveis	0	0,7	0	0,5	0	0,1	0	0,3
Outras Renováveis	44,8	30,9	2,5	7,1	24,7	14,5	10,6	11,7
<i>Biomassa Sólida</i>	44,3	23,8	2,4	4,2	24,7	13,1	10,5	9,6
<i>Biomassa Líquida</i>	0,5	6,1	0	0,94	0	0,13	0	0,55
<i>Eólica</i>	0	1,00	0	0,86	0	0,31	0	0,52
<i>Solar</i>	0	0,0008	0	0,46	0	0,41	0	0,41
<i>Geotérmica</i>	0	0	0,16	0,64	0	0,48	0,1	0,52
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>dos quais renováveis</i>	50,8	43,5	4,6	9,5	26,0	16,9	12,5	14,2
Total - Mtep	82,2	288,3	3.741	5.205	2.105	8.056	6.109	13.926
<i>% do mundo</i>	1,3	2,1	61,2	37,4	34,5	57,9		

Notas: a) estimativas N3E/MME para o último ano, a exceção do Brasil; b) somente o Mundo inclui bunker: 2,7% da OIE em 2016; c) carvão inclui gases da indústria siderúrgica; d) "outros" exclui OCDE e Brasil

Fonte: Resenha Energética Brasileira 2017 exercício 2016

Os recursos energéticos derivados do combustível fóssil estão se tornando cada vez mais escassos, especialmente devido ao aumento da demanda de energia no comércio, indústria, agricultura e no setor doméstico (SINHA e CHANDEL, 2015). Deparamo-nos com duas situações: uma é esgotamento dos recursos naturais e a

outra é o impacto ao meio ambiente, causado pela exploração destas fontes energéticas que destacam a fragilidade da matriz energética mundial (de SOUZA *et al.*, 2015).

Os recursos convencionais de combustível que estão em rápido esgotamento não parecem ser capazes de satisfazer o futuro aumento da demanda de carga, além de aumentar as preocupações ambientais devido à poluição causada (MAHESH e SANDHU, 2015)

Como essa demanda por energia aumenta dia a dia, devido ao aumento da população, à suburbanização e ao desenvolvimento industrial, o abastecimento de energia, muitas vezes, não é suficiente para atender à demanda, levando à falta de energia (KRISHNA e KUMAR, 2015).

Uma das questões importantes para o mundo atual é a questão dos recursos energéticos, visto sua importância econômica e política para todos os países, assim como avaliá-los e desenvolvê-los para subsidiar o desenvolvimento tecnológico. (TEZER *et al.*, 2017). O acesso seguro às fontes de energia modernas é fundamental para o emprego, a segurança, o combate às mudanças climáticas e a produção de alimentos, aumentando a competitividade e promovendo o crescimento econômico (KOUSSA *et al.*, 2017).

O uso de energia renovável é um tema de pesquisa prioritário e os esforços para ampliar as várias formas de energias renováveis e sustentáveis têm aumentado em todo o mundo (SHEZAN *et al.*, 2017).

Dessa forma, há uma necessidade de desenvolver tecnologias em energia renováveis, a fim de lidar com os desafios políticos, econômicos e ambientais envolvidos na geração de eletricidade (SAMPAIO e GONZÁLES, 2017).

Entretanto, o principal problema com as fontes de energia renováveis é a dependência de condições ambientais para viabilizar o seu fornecimento, não sendo consideradas totalmente aptas a fornecer alimentação contínua para uma carga (KRISHNA e KUMAR, 2015).

As fontes de energia renováveis são consideradas parte da solução para mitigar problemas ambientais causados pelo uso de fontes convencionais de energia (ACUÑA *et al.*, 2016). Conforme Khare *et al.* (2016), há diferentes tipos de fontes de energia convencional e não convencional usadas para geração de eletricidade e os sistemas de energia solar e eólico são os mais promissores. Para Mahesh e Sandhu (2015), em relação às fontes alternativas de energia disponíveis, os sistemas de

energia solar e eólica são amplamente utilizados. Podendo também se citadas a energia de biomassa, geotérmica, maré e onda (MAHESH e SANDHU, 2015).

Chauhan e Saini (2014) rechaçam que a energia renovável é a solução mais apropriada para suprir energia em diversas áreas.

É tempo para olhar para uma solução da crise energética, resultante da redução de disponibilidade dos combustíveis fósseis, sem alterações das condições climáticas (CHAUHAN e SAINI, 2014). A crescente taxa de consumo dos combustíveis nuclear e fóssil tem atraído à atenção mundial para as tecnologias alternativas de energia (BELUCO *et al.*, 2008). A falta de eletricidade em regiões isoladas ou proibitivamente de altos custos de conexão tem levado com frequência várias organizações a explorarem outras soluções alternativas de energia (DIAF *et al.*, 2008).

A humanidade encontra-se numa fase de transição entre o modelo econômico atual, baseado em fontes energéticas derivadas dos combustíveis fósseis, e outro modelo capaz de atender uma população crescente e que necessita de soluções energéticas (CRUZ, 2015).

Ressurge, então, a preocupação em concentrar estudos no intuito de oferecer suporte às limitações no setor energético, não apenas construindo novas usinas, mas principalmente, incentivando pesquisas para novas fontes, estimulando seu uso sustentável (de SOUZA *et al.*, 2015).

O mundo precisa de outra revolução industrial em que nossas fontes de energia sejam acessíveis e sustentáveis (CHU e MAJUMDAR, 2012). Os problemas ambientais, em razão dos recursos energéticos convencionais, tais como mudanças climáticas e aquecimento global, nos forçam para o desenvolvimento de fontes de energia alternativa (MEKHILEF *et al.*, 2011).

O fornecimento sustentável de energia para edifícios verdes leva os países desenvolvidos e em desenvolvimento a elaborar e programar novas políticas para melhorar a eficiência no consumo de energia e a adotar novas alternativas às fontes de energia renováveis (DAGDOUGUI *et al.*, 2012).

Países como a Alemanha, os Estados Unidos, a Espanha, a França, a Itália e o Japão desenvolvem mecanismos para reduzir a dependência em relação às fontes de energia fósseis, através da descentralização da geração de energia (CARVALHO, 2014).

Em algumas regiões dos Estados Unidos e União Europeia a energia eólica tem tido um crescimento rápido nas últimas décadas, graças ao aumento de atrativos econômicos, às vantagens para o meio ambiente e às políticas de apoio. (VALENCIOGA e PULESTON, 2005).

O sistema de energia solar e eólica funciona, normalmente, em modo autônomo ou conectado à rede, mas a eficiência dessas fontes é menor devido à natureza estocástica de recursos. (KHARE *et al.*, 2016). Devido à natureza da onipresença e facilidade de disponibilidade, os sistemas de energia solar e eólica são considerados os mais promissores de todo o sistema de energia alternativa (MAHESH e SANDHU, 2015).

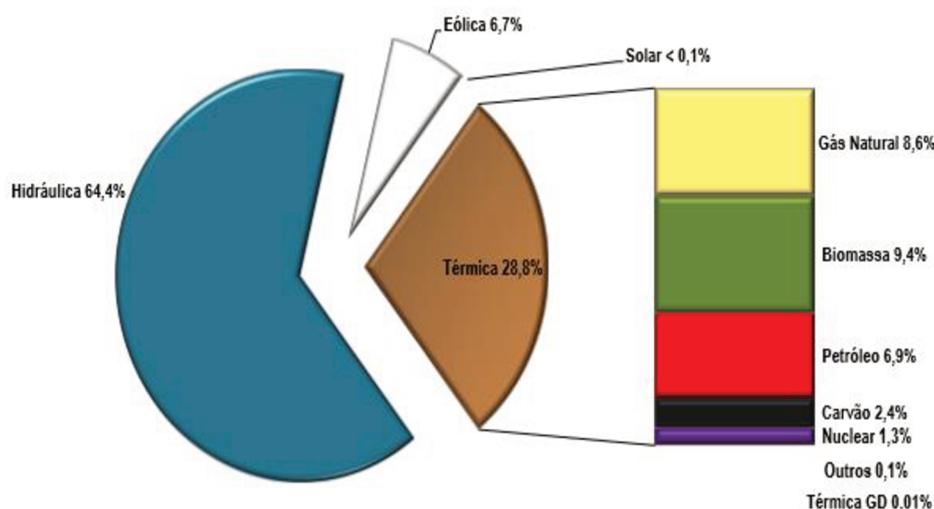
Nos países mais desenvolvidos existe uma tendência crescente quanto à utilização de energias conhecidas como “fontes limpas de energia”, cujos investimentos e incentivos para a sua implantação tem sido realizados maciçamente na última década (TIEPOLO *et al.*, 2012).

2.2 Contextos de Energia no Brasil

O novo modelo do setor elétrico estabelecido no Brasil no período 2003-2004 apresenta como pilares fundamentais a segurança do abastecimento, a modicidade tarifária e a universalização do atendimento (FERREIRA, 2017). No campo energético, o Brasil apresenta vantagens em relação a boa parte do mundo, uma vez que sua matriz energética é diversificada (de CARVALHO DIAS *et al.*, 2017). Conforme Tolmasquim (2012) o Brasil é citado como uma referência internacional, possuindo em seu território significativas reservas de petróleo, gás natural, carvão, urânio e fontes de energia renovável, com destaque para o vasto potencial hidrelétrico, eólico, solar e de biomassa de que o País dispõe para geração de energia elétrica (BANDEIRA, 2012).

Para Amaral (2017), o sistema de geração e transmissão de energia elétrica no Brasil é baseado num sistema hidrotérmico de grande porte, tendo 64% de participação das usinas hidroelétricas, porém a matriz energética vem se diversificando, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Matriz de capacidade instalada de geração elétrica do Brasil sem importação contratada – Dez 2016.



Fonte: AMARAL (2017)

Segundo o balanço de 2016 da empresa de pesquisa energética (EPE), nos últimos 43 anos as matrizes energéticas do Brasil e de outros blocos do mundo apresentaram significativas alterações estruturais, sendo que no Brasil, houve forte aumento na participação da energia hidráulica, da bioenergia líquida e do gás natural. Os detalhes são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Oferta Interna de Energia no Brasil (% e tep).

Fonte	Brasil	
	1973	2016
Derivados de Petróleo	45,6	36,5
Gás Natural	0,4	12,3
Carvão Mineral	3,2	5,5
Urânio	0	1,5
Hidro	6,1	12,6
Outras não Renováveis	0	0,7
Outras Renováveis	44,8	30,9
Biomassa Sólida	44,3	23,8
Biomassa Líquida	0,5	6,1
Eólica	0	1,00
Solar	0	0,0008
Geotérmica	0	0
Total (%)	100	100
<i>dos quais renováveis</i>	50,8	43,5
Total - Mtep	82,2	288,3
<i>% do mundo</i>	1,3	2,1

Fonte: Resenha Energética Brasileira 2017 exercício 2016

As principais fontes de energia renovável utilizadas no Brasil são: hídrica, biomassa, solar e eólica. Além destas, existem também a energia geotérmica e dos

oceanos (RANGEL *et al.*, 2016). A matriz de energia elétrica brasileira é considerada renovável, uma vez que cerca de 80% de toda energia gerada origina-se de hidrelétricas, eólicas ou biomassa, o restante, cerca de 20%, é produzido de fontes fósseis (CARVALHO, 2014).

Diante das mudanças ocorridas, a matriz energética brasileira vem ganhando nova formatação, tornando-se cada vez menos dependente de fontes energéticas não renováveis, sendo que as fontes de energia renovável aumentam sua presença (LIMA, 2014). É preciso mudar esses padrões estimulando as energias renováveis, e, nesse sentido, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

2.3 Fontes de Energia Aplicadas

Pode-se citar como principais fontes de energia aplicadas os biocombustíveis, etanol e biodiesel; gás natural e sistemas fotovoltaicos.

2.3.1 Biocombustíveis: etanol e biodiesel

Os biocombustíveis são combustíveis renováveis derivados de matéria-prima biológica e inclui o bioetanol, ou simplesmente etanol, o biodiesel e o biogás (VICHI e MANSOR, 2009).

Nos últimos anos, o mercado mundial do milho vem se reestruturando visando a atender à crescente demanda por combustíveis renováveis, além da produção de álcool para bebidas e fins industriais (de PAIVA *et al.*, 2010).

O biodiesel é fonte de energia alternativa e renovável além de substituto principalmente do óleo Diesel, combustível com origem não renovável (SILVA *et al.*, 2012).

Os principais materiais utilizados para a produção do biodiesel são óleos vegetais (óleo de soja, girassol, canola, mamona, dendê) e gorduras animais, como sebo bovino e gordura de frango e ainda o óleo residual de frituras (SILVA *et al.*, 2012). É obtido por diferentes processos, como craqueamento, esterificação ou transesterificação (SILVA e FREITAS, 2008).

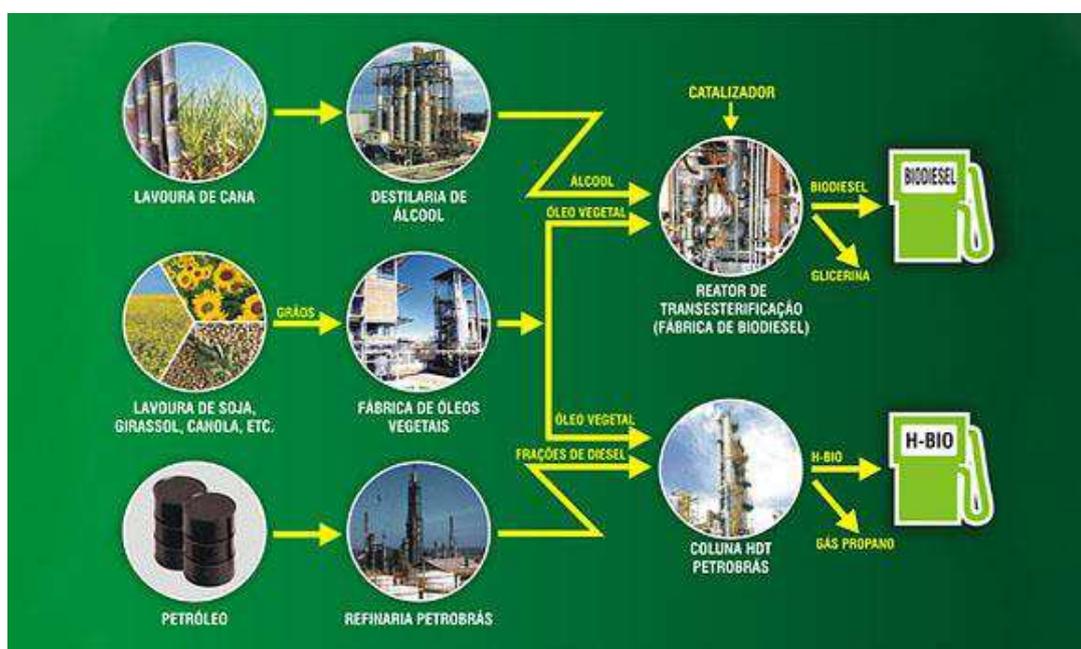
A transesterificação consiste na reação química de triglicerídeos com álcoois (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (ácido, básico ou enzimático),

resultando na substituição do grupo éster do glicerol pelo grupo etanol ou metanol (SILVA e FREITAS, 2008). Como pode visto na Figura 3.

O biodiesel produzido a partir da gordura de frango também pode trazer benefícios para o meio-ambiente, pela transformação do subproduto da agroindústria em biocombustível, caracterizado como fonte de energia renovável (SILVA *et al.*, 2012). Ele representa um ganho ambiental significativo no que se refere à redução das emissões, parte do gás carbônico emitido na queima do combustível é absorvida durante o crescimento da cultura da matéria-prima utilizada na sua produção (BERMANN, 2008).

Quando o combustível provém da mistura dos dois óleos, recebe o nome da porcentagem de participação do biodiesel, sendo B2 quando possui 2% de biodiesel, B20 quando possui 20%, até chegar a B100, que é o biodiesel puro (SILVA e FREITAS, 2008).

Figura 3: Exemplo de processo de transesterificação para obtenção de biodiesel (incentivada pelo governo brasileiro).

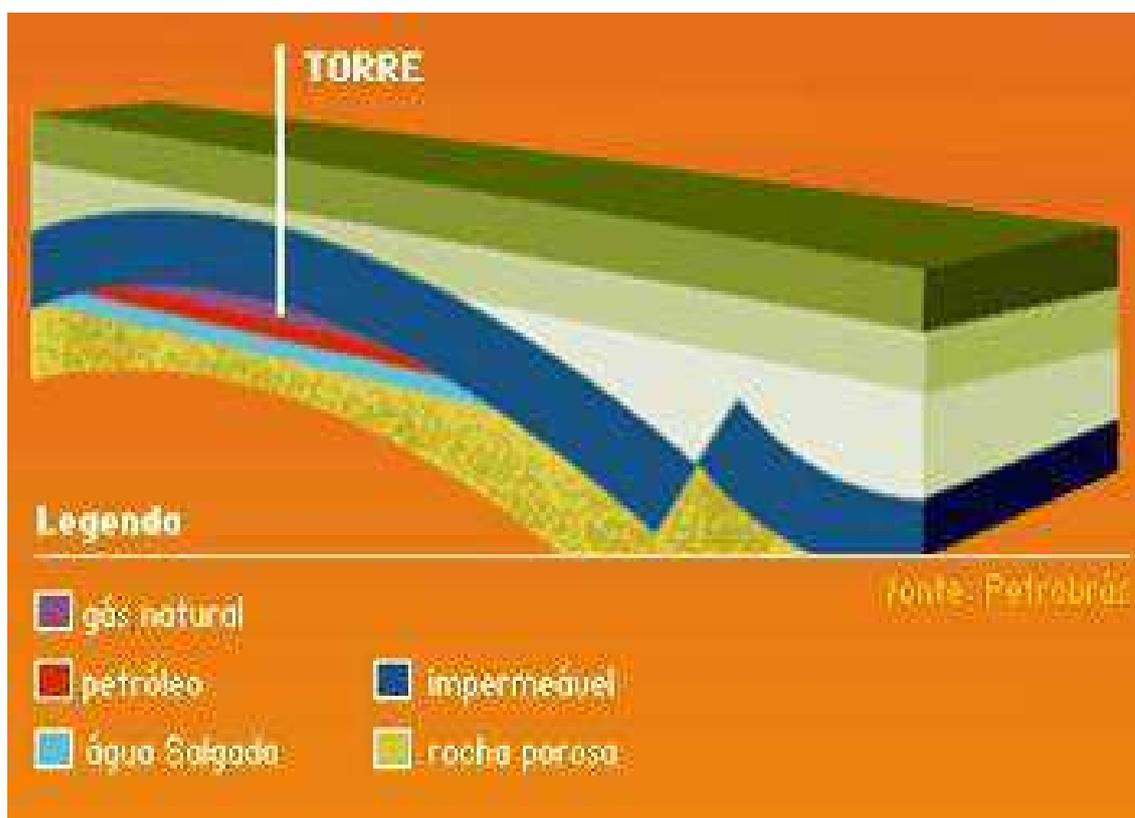


Fonte: notícias do trecho (2017)

2.3.2 Gás Natural

Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP) gás natural é todo hidrocarboneto que permanece em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, cuja composição poderá conter gases úmidos, secos e residuais. De acordo com a ABRACE (Associação Brasileira Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres) o gás natural é encontrado no subsolo, por acumulação de gás que ocorre em rochas porosas, isoladas do exterior por rochas impermeáveis, associados ou não a depósito petrolífero. A Figura 4 destaca a localização do gás natural no subsolo terrestre.

Figura 4: Localização do gás natural no subsolo terrestre.



Fonte: KELMAN *et al.*, (2005).

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo (ANP), o gás natural pode ser classificado em duas categorias: associado e não associado. A Figura 5 apresenta um resumo dos tipos de gás natural (ANP).

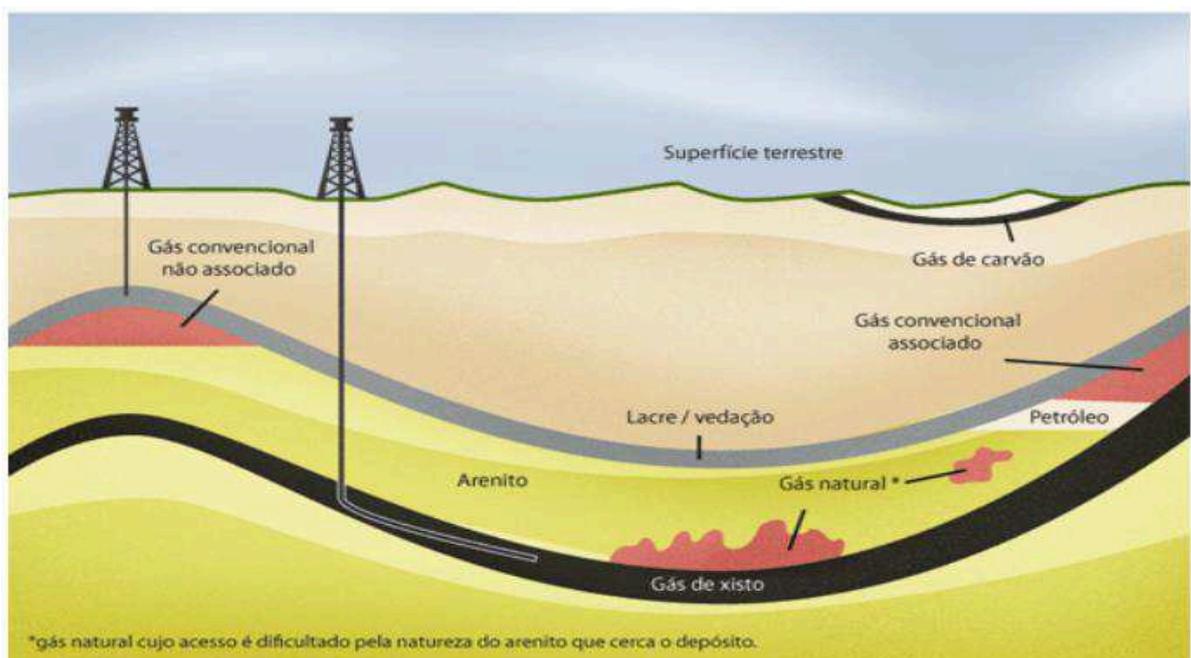
Figura 5 : Resumo dos tipos de gás natural



Fonte: ABRACE

De acordo com a ABRACE (Associação Brasileira Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres), uma vez que o depósito potencial de gás natural é localizado por geólogos e geofísicos, cabe à equipe de perfuração cavar onde houver a maior probabilidade de existência de gás (ver detalhe da Figura 6).

Figura 6 : Esquema da geologia dos recursos de gás natural



Fonte: ABRACE

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2014) o gás natural tornou-se um recurso estratégico para países que investem no desenvolvimento de uma economia competitiva e no melhor aproveitamento de suas reservas energéticas. Embora seja uma indústria muito antiga, a concorrência com outros energéticos e os elevados custos de transporte retarda o uso extensivo de gás natural no mundo (PERLOTTI *et al.*, 2016).

No século XIX, nos Estados Unidos, o gás natural era considerado como um problema ao ser encontrado junto com o petróleo, pois obrigava as empresas a uma série de medidas de segurança que encareciam e complicavam as atividades de prospecção (KELMAN *et al.*, 2005).

De acordo com a CNI (2014), até os anos 2000, países produtores de petróleo com amplos recursos de gás associados, eram *players* predominantes no mercado do gás natural.

Ainda de acordo com a CNI (2014), os avanços tecnológicos e novas políticas energéticas e ambientais resultaram em uma mudança no panorama do mercado quando viabilizaram a exploração de reservas de gás natural não convencional, sendo que essas reservas, localizadas principalmente na América do Norte, se caracterizam pela elevada complexidade em sua exploração, pois incluíam o gás xisto, gás de carvão e *tight gas* (gás comprimido) (KELMAN, 2005).

A sua crescente participação na matriz energética mundial, o boom da produção norte-americana de gás não convencional, novas reservas descobertas na Argentina, Brasil e Austrália, o pré-sal brasileiro e a costa leste africana impulsionam um cenário de crescimento para o gás natural nos próximos anos (ERNST e YOUNG, 2014).

O grande norteador para o aumento da demanda global continuará sendo o uso do gás na geração de energia, seja para climatização, seja para energia elétrica (ERNST e YOUNG, 2014)

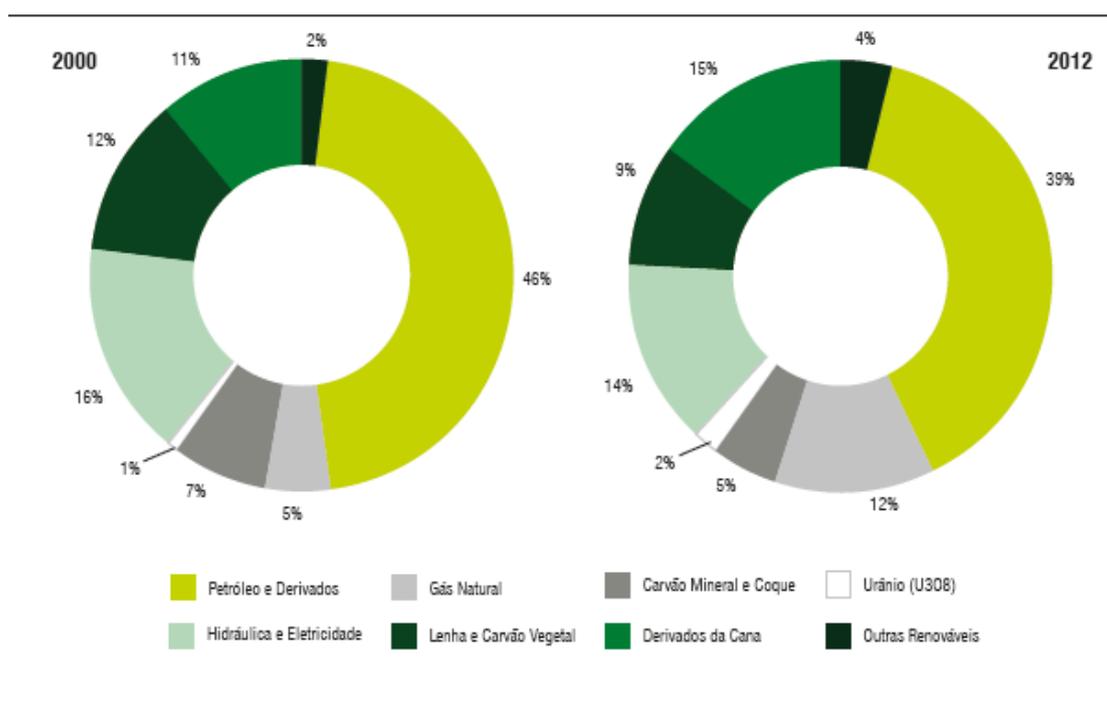
O uso do gás natural no Brasil teve seu início na década de 1940, com as descobertas de gás e óleo no Recôncavo Baiano (PERLOTTI *et al.*, 2016).

A indústria de gás natural foi marcada, na década de 1990, pela construção do Gasoduto Bolívia-Brasil, o Gasbol (PERLOTTI *et al.*, 2016). De fato, insere-se nesse contexto, a entrada em operação do Gasoduto Bolívia – Brasil (Gasbol), o aumento do volume de reservas nacionais de gás natural e sua produção (citam-se

as reservas situadas nas bacias de Campos e Santos e de Urucu) (SOARES, 2004). Em 1999, o Gasbol entrou em operação, levando a um aumento significativo da oferta de gás natural disponível (PERLOTTI *et al.*, 2016).

Desde 2000, a fatia do gás natural na matriz energética mais que dobrou, saindo de um percentual de 5,4% para 11,5%, como pode ser verificado na Figura 7 que ilustra a evolução da matriz nacional entre 2000 e 2012 (CNI, 2014).

Figura 7: Evolução da matriz nacional entre 2000 e 2012



Fonte: CNI (2014)

Segundo Tolmasquim (2012), em relação ao gás natural, projeta-se uma ampliação da oferta de gás nacional, elevando-se de um patamar de 58,3 milhões de m³/dia em 2011 para 142 milhões de m³/dia em 2020.

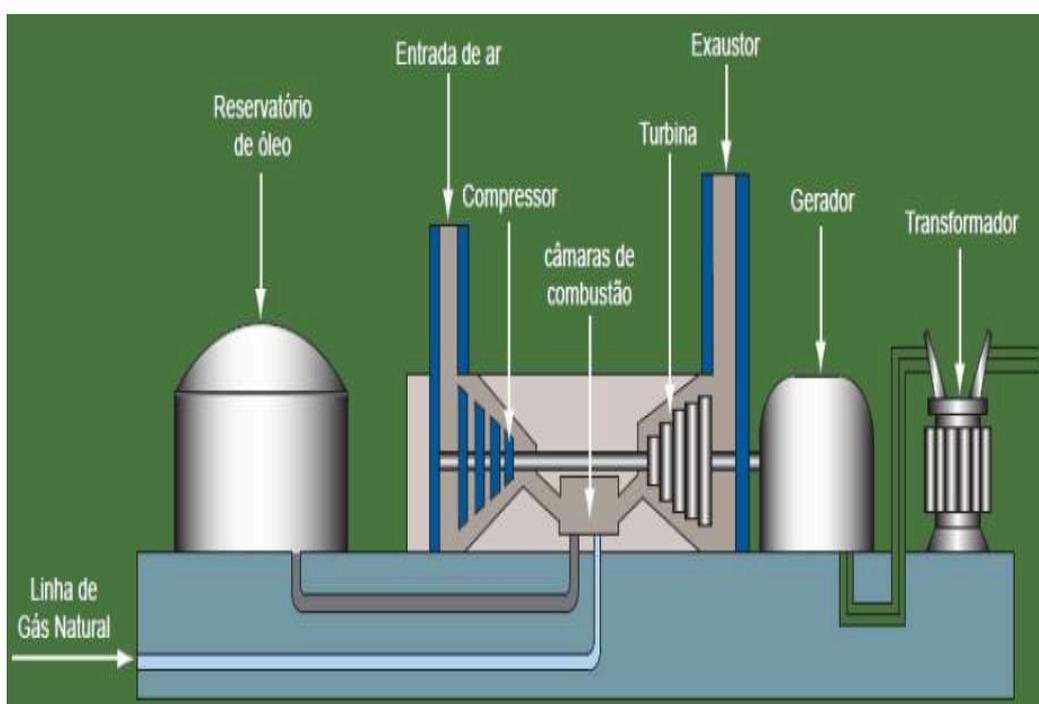
Esse energético pode ser utilizado tanto na geração de energia elétrica, quanto em motores de combustão do setor de transportes, na produção de chamas (como substituto ao gás liquefeito de petróleo, GLP), calor e vapor (KELMAN *et al.*, 2005).

A aplicação do gás natural, na produção de energia elétrica, pode ser dividida em duas modalidades: geração exclusiva de energia elétrica e a cogeração, da qual se extrai, também, o calor e o vapor utilizados em processos industriais (KELMAN *et al.*, 2005).

Mais recentemente, a cogeração a gás natural avançou para o setor de serviços, principalmente em shopping centers, hotéis, hospitais e aeroportos, gerando concomitantemente eletricidade e frio (PRATES *et al.*, 2006). A cogeração pode ser realizada com todos os combustíveis usados em usinas termelétricas – por exemplo, óleos, biomassa e carvão, além do gás natural (KELMAN *et al.*, 2005).

A Figura 8 apresenta um perfil esquemático da produção de energia elétrica a partir do gás natural.

Figura 8: Perfil esquemático de produção de energia elétrica a partir do gás natural



Fonte: KELMAN *et al.*, 2005

2.3.3 Sistema Fotovoltaico

As células fotovoltaicas (FV) são conhecidas pela sua capacidade de converter a radiação solar diretamente em energia elétrica, porém, ainda que absorvam a maior parte da radiação solar, apenas uma pequena parte dela pode ser convertida em energia elétrica por efeito fotovoltaico (LI *et al.*, 2017).

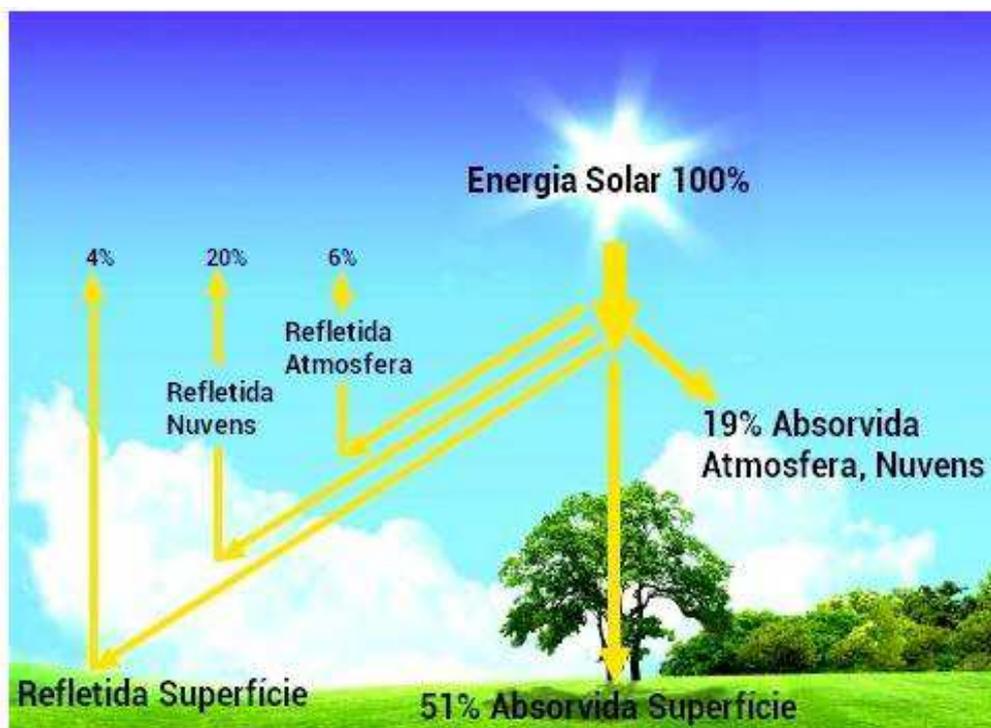
O efeito fotovoltaico foi descoberto no decorrer do ano de 1839 por Edmond Becquerel, verificando que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (SÁ, 2017). Os sistemas fotovoltaicos fornecem energia elétrica e a variedade de usos

para a eletricidade e as situações em que é empregada são relevantes (KUMAR, 2015).

A radiação solar é uma fonte que pode ser utilizada diretamente como energia térmica, aquecendo fluidos e ambientes ou para geração de potência mecânica ou elétrica (RANGEL *et al.*, 2016). O Sol é a nossa principal fonte de energia que se manifesta na forma de luz e calor, liberando tanta energia quanto à combustão de 2,5 milhões de litros de gasolina (ALMONDES, 2014), sendo a energia solar incidente sobre a superfície da terra superior a cerca de 10.000 vezes a demanda bruta de energia atual da humanidade. (GALDINO *et al.*, 2000).

A energia solar fotovoltaica apresenta diversas vantagens por se tratar de uma fonte de energia limpa, já que não gera nenhum tipo de poluição (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Segundo a empresa SOLAR COMMIT (2018), a radiação solar é a energia recebida pela Terra, na forma de ondas eletromagnéticas, provenientes do Sol, sendo a fonte de energia limpa cuja utilização mais tem crescido no mundo, há décadas (ver detalhe na Figura 9).

Figura 9: Processo de Radiação Solar.



Fonte: SOLARCOMMIT (2018)

Em alguns países da Europa, como na Alemanha, Espanha e Itália, o cenário tem favorecido para a geração distribuída, onde os consumidores acabam por gerar parte ou toda energia necessária para suprir suas necessidades, principalmente através de células fotovoltaicas (TIEPOLO *et al.*, 2012).

A eficiência das células solares depende de fatores como a temperatura, insolação e característica espectral da luz solar e assim por diante (MEKHILEF *et al.*, 2011).

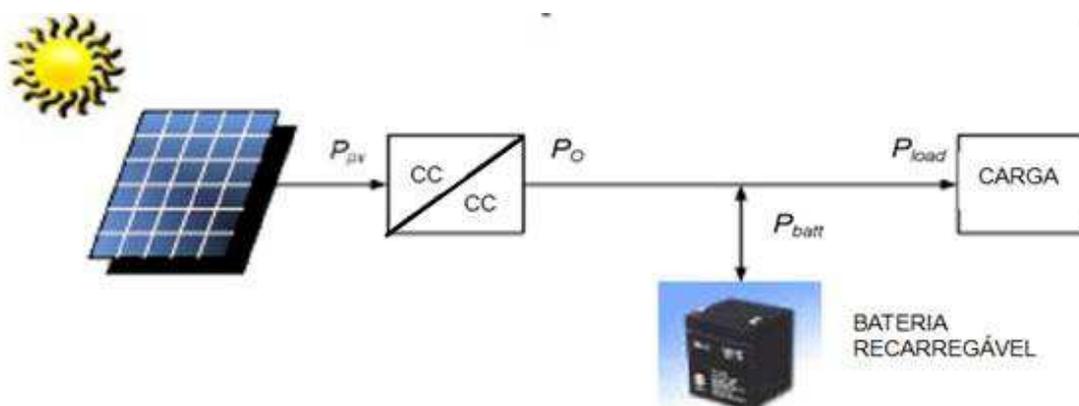
É constituído de um elemento conversor, formado pela interligação elétrica de vários módulos (painel fotovoltaico), e por outros aparatos relativamente convencionais que transformam ou armazenam a energia elétrica para que possa ser utilizada pelo usuário (CANEPPELE, 2007).

Conhecimento confiável e entendimento do desempenho dos módulos fotovoltaicos sob diferentes condições de operação são indispensáveis para seleção correta da produção e previsão acertada de seu desempenho de energia (ZHOU *et al.*, 2010).

A energia elétrica, gerada pelos sistemas fotovoltaicos, está diretamente relacionada com a energia solar, recebida pelo painel solar. A fim de otimizar esse processo, os painéis podem ser colocados em uma determinada orientação e em determinado ângulo de inclinação que melhor favoreçam o relacionamento de ambas as energias. (YANG *et al.*, 2007).

Um sistema fotovoltaico isolado, como ilustrado na Figura 10, é composto pelo painel solar, regulador DC/DC e por bateria para armazenamento de energia e carga (FADAEE, RADZI, 2012). De acordo com Furlan (2008) as instalações de painéis fotovoltaicos utilizados para o atendimento de comunidades isoladas necessitam de bancos de baterias para o fornecimento de energia elétrica no período noturno ou de baixa incidência de luz solar.

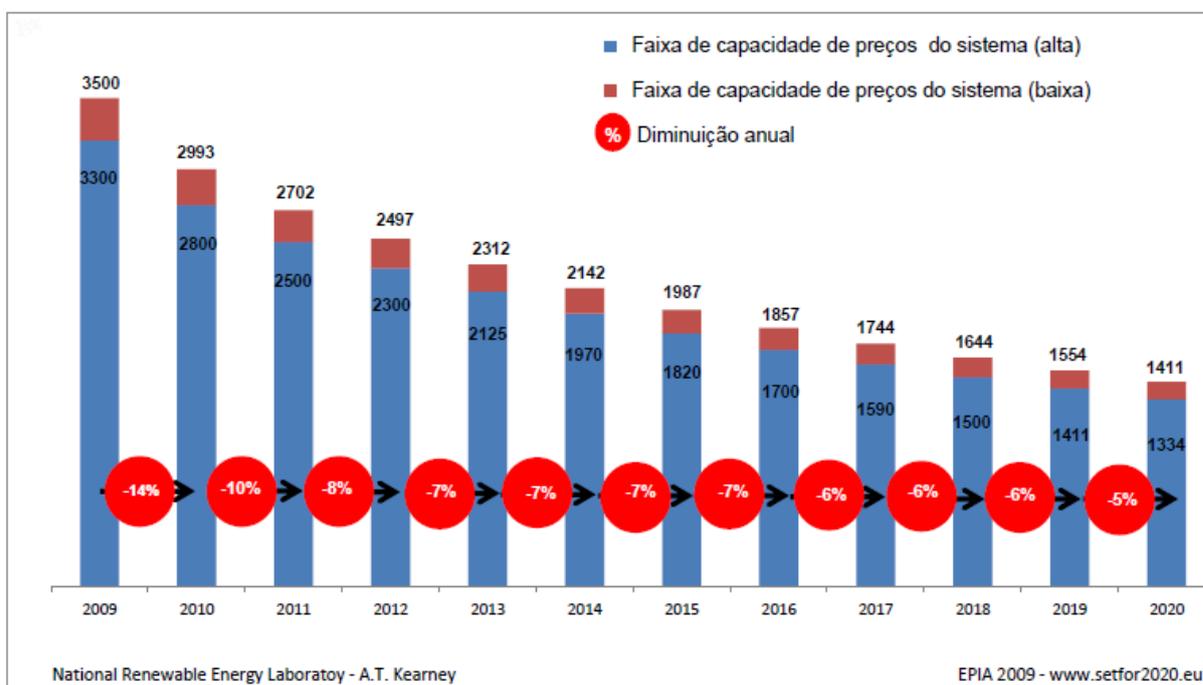
Figura 10: Diagrama em bloco de um Módulo Fotovoltaico – Sistema de bateria convencional.



Fonte: FADAEE, RADZI, 2012.

Desde sua implantação, os painéis solares têm potencializado sua eficiência e seu custo de produção vem diminuindo, tornando cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável, o gráfico da Figura 11 mostra a projeção de custos de produção do painel solar (DANTAS, 2013).

Figura 11 : Projeção de custos futuros de produção em sistemas fotovoltaicos.



Fonte: DANTAS, 2013

Conforme Furlan (2008), a geração de energia elétrica, a partir do uso de fontes renováveis de energia, entre elas a solar, desperta grande interesse,

especialmente no que se relaciona às exigências de preservação do meio ambiente e à diminuição dos custos de implementação e geração observadas nos últimos anos.

Considerando as projeções promissoras apresentadas pela empresa de pesquisa energética (EPE), no estudo demanda de energia para 2050 que compõe o plano nacional de energia (PNE), as projeções apontam para redução de custos na instalação desses sistemas para os setores comercial, público e industrial conforme é apresentado na Tabela 3.

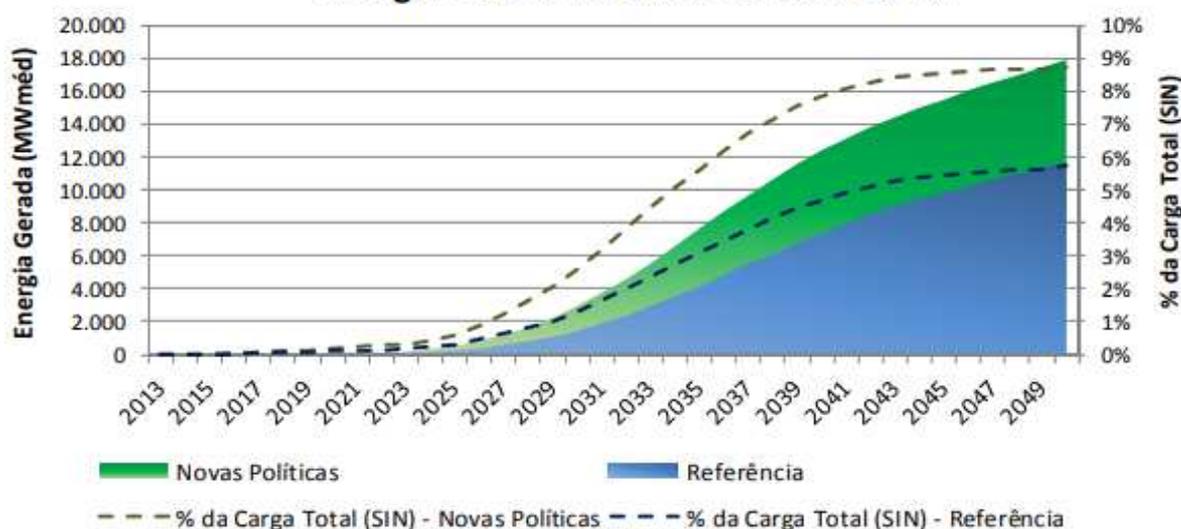
Tabela 3: Perspectivas de redução de custos dos sistemas fotovoltaicos (R\$/Wp)

	2013	2020	2030	2040	2050
Residencial	7,0	4,4	3,2	2,7	2,3
Comercial	6,5	4,2	3,0	2,5	2,1
Industrial	6,0	3,4	2,7	2,3	2,0

Fonte: EPE (2012)

De acordo com as projeções do EPE, a partir de 2030 prevê que a geração fotovoltaica esteja consolidada no mercado, com baixos custos e acessível ao grande público, através dos diferentes modelos de negócio, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12: Projeção de geração fotovoltaica distribuída
Energia Gerada Fotovoltaica Distribuída



Fonte: EPE (2012)

2.4 Sistemas Híbridos

O sistema híbrido de energia renovável (SHER) é uma combinação de fontes de energia renovável e convencional, associada a um sistema de armazenamento de energia para atender cargas locais, tanto nos modos conectados à rede, quanto nos autônomos (BAHRAMARA *et al.*, 2016).

O termo SHER, por um lado, descreve um sistema tendo diferentes fontes de energia integradas para atender à demanda do usuário (FATHIMA e PALANISAMY, 2015; SINHA e CHANDEL, 2015). Por outro lado, o termo é empregado para descrever qualquer sistema de energia com mais de um tipo de geração: uma convencional, por diesel, e outra renovável, tal como fotovoltaica, eólica e fotovoltaico-eólica (DESHMUKH e DESHMUKH, 2006).

O Sistema híbrido pode também combinar duas ou mais fontes de energia para trabalhar de maneira autônoma ou conectada à rede (KHARE *et al.*, 2016). Nesse caso, é composto por duas ou mais fontes de energia renováveis utilizadas em conjunto, o que atenua a natureza intermitente dos recursos de energia renovável, melhora a eficiência do sistema e proporciona um maior saldo global para o fornecimento de energia (JUNG e VILLARAN, 2016).

Em várias aplicações, visando melhor desempenho técnico e econômico em longo prazo, pode ser vantajoso utilizar mais de uma fonte de energia (BELUCO *et al.*, 2008).

A tecnologia emergente está contribuindo para a combinação de diferentes recursos de energia elétrica eficiente e de qualidade, em especial as de fontes renováveis, mudando de sistemas singelos para as tecnologias híbridas de energia (MOHAMMED *et al.*, 2014). Um sistema híbrido baseado em energia renovável oferece melhor opção do que aqueles baseados em uma fonte única, considerando as questões de custo, confiança e eficiência (SINHA e CHANDEL, 2015).

Esse sistema apresenta algumas vantagens em relação aos sistemas convencionais tais como: aumento do uso dos recursos renováveis, redução do custo total da energia, redução da emissão dos gases do efeito estufa e facilidade de acesso à energia para pessoas em áreas remotas ou rural (BAHRAMARA *et al.*, 2016).

Sistemas híbridos de geração independentes são geralmente usados para suprir áreas ou interligar locais com redes precárias (VALENCIOGA e PULESTON, 2005).

Complementarmente, estes sistemas estão se tornando populares em aplicações de geração de energia em áreas isoladas, devido aos avanços e barateamento das tecnologias empregadas em sistemas de geração de recursos energéticos renováveis e ao simultâneo aumento dos preços dos produtos derivados do petróleo (DAGDOUGUI *et al.*, 2012).

No sistema híbrido fotovoltaico/térmico (FV/T), os coletores solares constituem-se numa tecnologia renovável interessante a ser implementado em construções urbanas, desde que produza ambas as energias, elétrica e térmica, integradas num só componente (DEL AMO *et al.*, 2017). Outra utilização possível de um sistema híbrido seria alternando o uso da energia solar com a energia eólica, através de uma combinação, onde o uso de um tipo de energia complementaria o uso de outro tipo, considerando alterações climáticas e de relevo de cada região (de SOUZA *et al.*, 2015).

Muitos sistemas híbridos de energia frequentemente combinam fontes de energia solar e eólica (naturezas complementares), com a aplicação de banco de bateria ácida (para suprir os momentos escassez de geração de energia) (VALENCIOGA e PULESTON, 2005). A aplicação desta topologia híbrida reduz a probabilidade da escassez de energia, com a incorporação de energia armazenada que permite a eliminação do gerador a diesel (aplicado em sistemas de uma única fonte de energia renovável) (SINHA e CHANDEL, 2015).

Nema e Nema (2010) observam que a disponibilidade dos recursos energéticos renováveis para os terrenos das estações de bases móveis é um fator importante para o desenvolvimento de um sistema híbrido.

Para verificação de viabilidade técnica para implantação e otimização do processo deve-se efetuar a análise das características meteorológicas do local. (SINHA e CHANDEL, 2015), visto que a capacidade para o sistema híbrido de energia satisfazer às demandas de energia depende diretamente das condições atmosféricas na região de implantação do sistema (VALENCIOGA e PULESTON, 2005). O dimensionamento e a definição de operação para sistemas híbridos mostram-se mais complexos que para sistemas não híbridos (BELUCO *et al.*, 2008).

Em virtude da complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, cada projeto é específico para atender uma determinada aplicação (GALDINO *et al.* 2000).

A análise técnica e econômica de um sistema híbrido é essencial para a utilização eficiente dos recursos energéticos renováveis (SINHA e CHANDEL, 2014). A configuração do sistema híbrido ideal procura uma combinação de tipos e tamanhos de geradores que resultem no menor custo de vida útil (ERDINC e UZUNOGLU, 2012) e na maior eficiência.

O software HOMER[®] é uma ferramenta poderosa para projetar e planejar SHER, a fim de determinar o melhor dimensionamento de seus componentes através da realização da análise tecnoeconômica (BAHRAMARA *et al.*, 2016). Conforme Olatomiwa *et al* (2016), muitas pesquisas em todo o mundo usaram o modelo de otimização híbrida para energia renovável elétrica (HOMER) na otimização de sistemas híbridos propostos. Há vários softwares que foram desenvolvidos para avaliar o potencial técnico e econômico do uso de tecnologias renováveis híbridas, a fim de simplificar o projeto do sistema híbrido e maximizar o uso dos recursos renováveis (SINHA e CHANDEL, 2014). Os programas de simulação são as ferramentas mais comuns para avaliar o desempenho dos sistemas híbridos de energia renovável (ERDINC e UZUNOGLU, 2012).

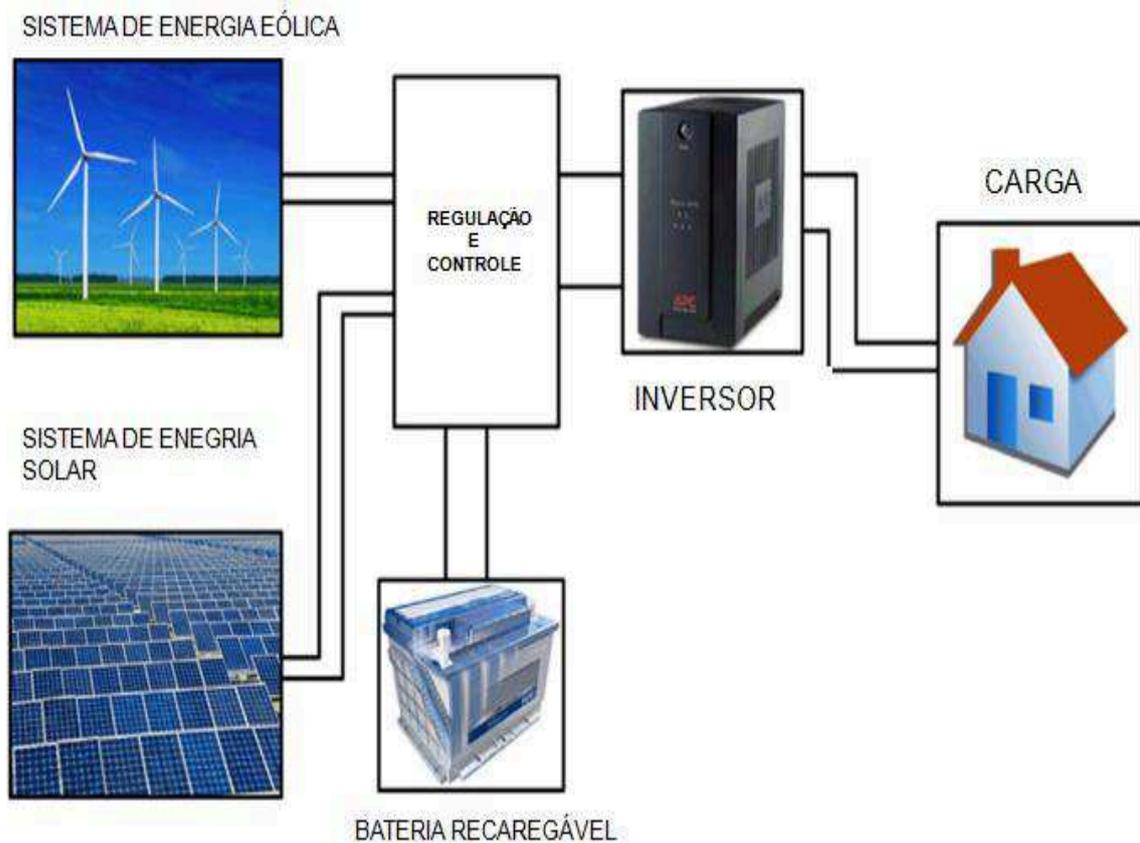
Muitos recursos associados a sistemas híbridos, como turbinas eólicas, matrizes fotovoltaicas, pequenas usinas de geração baseadas em fontes renováveis, conversores, baterias e mesmo geradores convencionais são modelados e dimensionados em HOMER[®] (BAHRAMARA *et al.*, 2016). O HOMER[®] é um modelo de software que pode avaliar várias opções de design para sistemas de energia autônomos e conectados à rede (OLATOMIWA *et al.*, 2016), sendo uma das ferramentas de otimização utilizada para decidir a configuração do sistema descentralizado (SEN e BHATTACHARYYA, 2014).

2.5 Modelos de um Sistema Híbrido

O sistema híbrido de energia renovável (SHER) tem o potencial de agregar benefícios, tais como eficiência energética e conservação de energia, resultantes da combinação das fontes de energias renováveis (CHAUHAN e SAINI, 2014).

Um sistema híbrido FV/Eólico consiste na associação de um sistema de energia eólica/solar, controladores eletrônicos, bateria e um inversor eletrônico para conexão à carga ou para integrar o sistema à rede elétrica, como mostrado na Figura 13 (MAHESH e SANDHU, 2015). Já um sistema híbrido solar/eólica consiste na associação de um módulo fotovoltaico, turbinas eólicas, banco de bateria, inversor e controlador eletrônico (ZHOU *et al.*, 2010).

Figura 13: Representação de um sistema híbrido FV/Eólico.

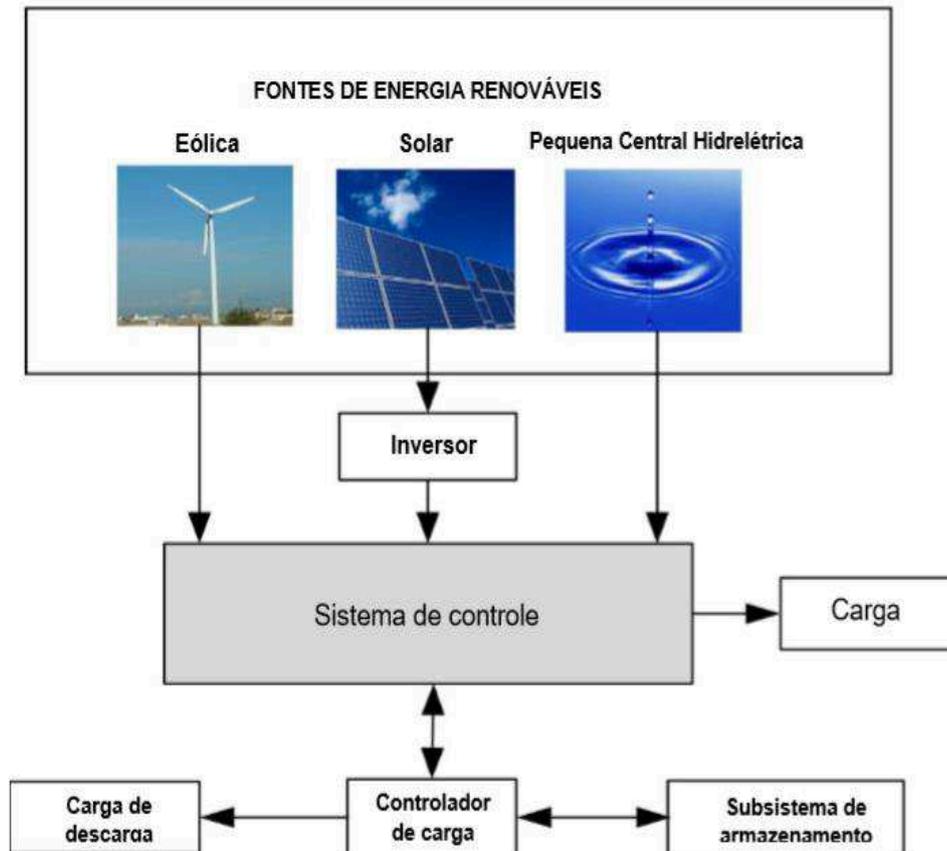


Fonte: MAHESH e SANDHU, 2015.

Os sistemas híbridos que combinam a geração de unidade solar e eólica com bateria de *backup* podem reduzir suas flutuações individuais e reduzir significativamente os requisitos de armazenamento de energia (YANG *et al.*, 2008). O suprimento de energia dos módulos fotovoltaicos e turbinas eólicas para estabelecimento da demanda obedecem a seguinte ordem: primeiro a carga de demanda, segundo banco de bateria (YANG *et al.* 2007).

Para aplicações isoladas, esses sistemas utilizam dispositivos de armazenamento de energia, para gerenciar o comportamento estocástico das fontes de energia renováveis como solar, eólica e hidrodinâmicas de pequeno porte (PCH), como ilustrado na Figura 14 (CHAUHAN e SAINI, 2014).

Figura14: Esquema de um Sistema integrado baseado Eólica – Solar – PCH¹



Fonte: CHAUHAN e SAINI, 2014.

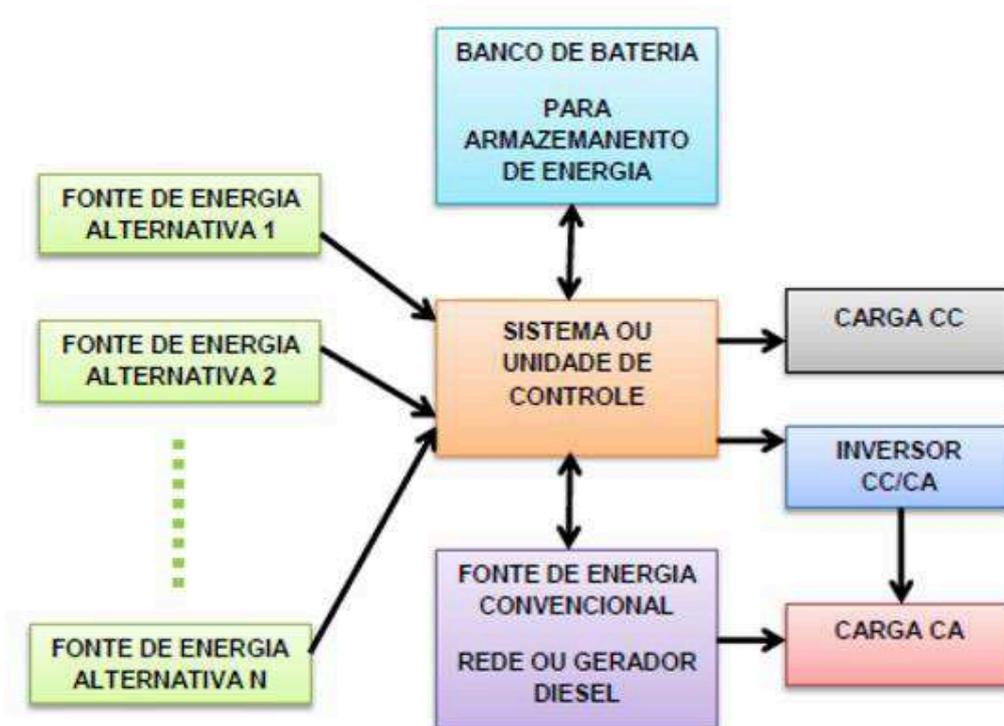
Um sistema de energia é conhecido como híbrido quando possui mais de uma fonte de energia de maneira a assegurar o fornecimento de eletricidade para uma determinada carga como esquematizado na Figura 15 (RUBIA *et al.*, 2012).

O sistema de controle é o coração do SHER, pois provê a informação e comunicação entre os vários componentes do sistema (CHAUHAN e SAINI, 2014). O desempenho da geração elétrica de um sistema híbrido ainda depende da

¹ Tradução livre pelo autor

existência de um controle capaz de administrar as diversas energias renováveis envolvidas (VALENCIOGA e PULESTON, 2005).

Figura 15: Arquitetura Geral de Sistema Híbrido de Energia²



Fonte: RUBIO *et.al.*, 2012.

Normalmente, o tamanho do SHER varia de alguns a centenas de kW, dependendo da carga que o sistema está servindo, podendo ser resumido conforme a Tabela 4 (MAHESH e SANDHU, 2015).

Tabela 4: Classificação do SHER baseado no tamanho³

Tipo	Tamanho	Tipo de carga
Pequena	Menor que 5 kW	Residência isolada ou um sistema de telecomunicação
Média	5 kW até 100 kW	Comunidade remotamente localizada
Grande	Maior que 100 kW	Cargas regionais

Fonte: MAHESH e SANDHU, 2015.

³ Tradução livre pelo autor

2.5.1 Restrições para a otimização do SHER

As restrições sempre serão a parte fundamental na determinação da solução otimizada e cada conclusão especifica um parâmetro. Há várias restrições a serem observadas no dimensionamento de SHER, como ilustrado na Figura 16 (MAHESH e SANDHU, 2015).

Figura 16: Restrições para otimização do sistema híbrido de energia renovável (SHER)⁴



Fonte: MAHESH e SANDHU, 2015.

2.5.2 Dados meteorológicos

A condição climática é a principal variável para a realização da análise de preferência, as Figuras 17 e 18 ilustram mapas, no Brasil, de energia solar e energia eólica (KHARE *et al*, 2016). Tais energias renováveis dependem diretamente das condições climáticas (FATHIMA e PALANISAMY, 2015). Nos estudos de viabilidade ou de dimensionamento ótimo dos sistemas híbridos, os dados meteorológicos são uma das ferramentas mais importantes para analisar as condições climáticas

⁴ Tradução livre feita pelo autor

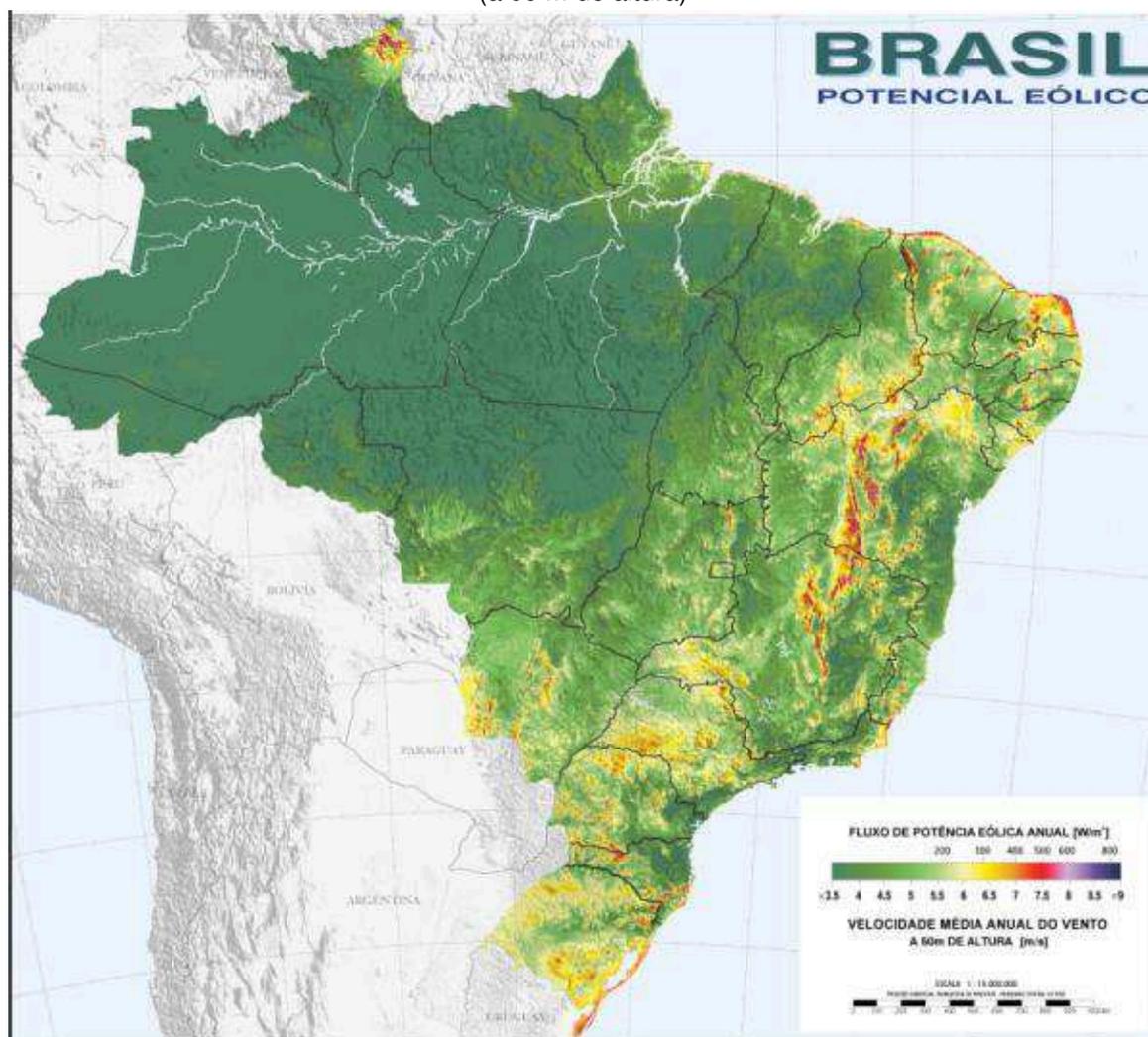
completamente, antes de projetar, dimensionar e instalar uma planta (MAHESH e SANDHU, 2015).

Figura 17: Radiação solar global horizontal média anual (em kWh/m²).



Fonte: AMARANTE *et al.* 2001.

Figura 18: Potencial eólico do Brasil-fluxo de potência e velocidade média anual (a 50 m de altura)



Fonte: PEREIRA, *et al.* 2006.

Dados meteorológicos como a velocidade do vento, a irradiação solar, a temperatura e o fluxo de correntes marítimas alimentam alguns softwares sob a forma de médias mensais ou a partir de séries temporais (BAHRAMARA *et al.*, 2016). Esses dados estão, principalmente, disponíveis nas estações meteorológicas locais, em alguns sites de agências climáticas e nas agências de pesquisa espacial, que disponibilizam os dados, muitas vezes, por meio dos recursos da web (MAHESH e SANDHU, 2015).

2.6 Dispositivos de Armazenamento de Energia

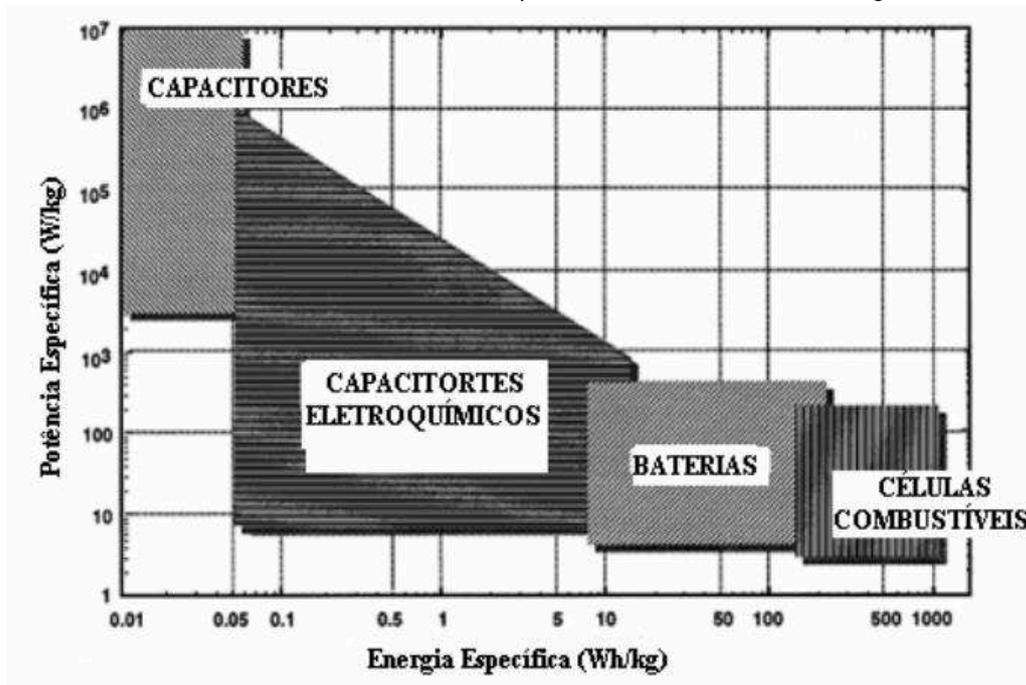
Uma bateria, ou acumulador, permite acumular energia, conservá-la e restituí-la mais tarde, representando uma fonte autônoma de energia (CHAGAS, 2007). As baterias e os capacitores eletroquímicos são as mais eficazes tecnologias para armazenamento e conversão de energia eletroquímica em energia elétrica (JEZINI, 2015). Para Benedetti (2011), um dispositivo eletroquímico de armazenamento e conversão é aquele capaz de converter a energia de uma reação química em energia elétrica.

Um sistema eletroquímico simples é constituído de dois eletrodos, chamados de condutores eletrônicos e um eletrólito (condutor iônico) e recebe a denominação de célula unitária (JEZINI, 2015). A energia resultante de transferência de elétrons para ser utilizada, os processos de oxidação e redução são separados por compartimentos, forçando os elétrons a passarem por um condutor eletrônico, que permite a utilização da corrente elétrica gerada (BENEDETTI, 2011).

O gráfico de Ragone da Figura 19 apresenta a relação de densidade de potência x densidade de energia dos principais dispositivos de armazenamento de energia (JEZINI, 2015).

Ele mostra que o capacitor convencional possui alta potência, mas armazena uma densidade de energia baixa, o contrário acontece para as baterias e as células combustíveis (JEZINI, 2015). De acordo com o gráfico, os supercapacitores preenchem o espaço entre as baterias e capacitores, podendo melhorar o desempenho dos dois dispositivos quando acoplados a esses (BENEDETTI, 2011) e ganha destaque devido à sua alta densidade de potência, longo ciclo de vida e porque o seu *gap* de energia e potência se encontra entre os tradicionais capacitores dielétricos e as baterias (JEZINI, 2015).

Figura 19: Diagrama de Rangone para os dispositivos de conversão e armazenamento de energia.
Gráfico de densidade de potência x densidade de energia.



Fonte: JEZINI (2015)

2.6.1 Baterias de Chumbo Ácido

Convencionalmente, as baterias eletroquímicas de chumbo-ácido são aplicadas a veículos e sistemas de emergência mostrando-se versáteis, confiáveis e apresentando uma boa relação custo-eficiência para estas aplicações (COPETTI e MACAGNAN, 2007). As baterias de chumbo-ácido possuem um grande mercado: mais de 90% dos veículos automotivos as utilizam, principalmente devido ao seu baixo custo (FURLAN, 2008).

Na sua construção, o anodo é de chumbo e o catodo de óxido de chumbo (PbO_2), arranjados em placas retangulares planas, dispostas e interligadas alternadamente com separadores de material poroso não condutor, para evitar contato elétrico direto (FURLAN, 2008).

2.6.2 Bateria FVLA

As baterias com placas imersas em meio líquido (FVLA) possuem válvulas que podem ou não ser removidas (FURLAN, 2008). A bateria FVLA é a forma mais comum de bateria chumbo ácida e tem como desvantagem ser necessário o enchimento com água em intervalos regulares (CHAGAS, 2007).

O conjunto fica no interior de uma cuba, submerso no eletrólito de ácido sulfúrico (FURLAN, 2008) e, devido à emissão de gases perigosos, devem ser instaladas em salas exclusivas, com sistemas especiais de controle do ar ambiente e instalação elétrica da iluminação à prova de explosão (CHAGAS, 2007). A Figura 20 ilustra um exemplo de bateria ventilada.

Figura 20: Exemplos de modelo e instalação de bateria ventilada.



Fonte: Mexcom, 2018

2.6.3 Bateria VRLA (Selada)

Nas baterias seladas ou livres de manutenção, as válvulas (citadas na tecnologia FVLA) não podem ser removidas, porque servem para regularizar a pressão interna, à medida que haja formação de gases no processo de carga (FURLAN, 2008). As baterias VRLA são usadas principalmente em aplicações estacionárias e são projetadas para operarem em condições de baixa tensão, de forma a evitar a formação excessiva de gases durante a carga (CHAGAS, 2007). A Figura 21 ilustra um modelo de bateria selada.

Figura 21: Exemplo de modelo e instalação de bateria selada.



Fonte: Mexcom, 2018

2.6.4 Baterias de Lítio Íon

O avanço tecnológico de baterias está intrinsecamente ligado ao desenvolvimento econômico de várias cadeias produtivas (eletrônicos portáteis, transportes, robótica, smartgrids, etc.), e as baterias íons lítio atraem enorme interesse devido às suas características (FREITAS NETO, 2018). De acordo com Jezini (2015), as baterias de íon lítio são as mais utilizadas atualmente em equipamentos eletrônicos portáteis como celulares e laptops (ver exemplo da Figura 22). O Lítio é um material mais eletropositivo e mais leve, por isso, o melhor candidato como material para anodo na bateria, proporcionando, em conjunto com óxidos de materiais de transição, ótimas densidades de energia (BENEDETTI, 2011).

Figura 22: Exemplo de bateria Lítio Íon de uso em notebooks.

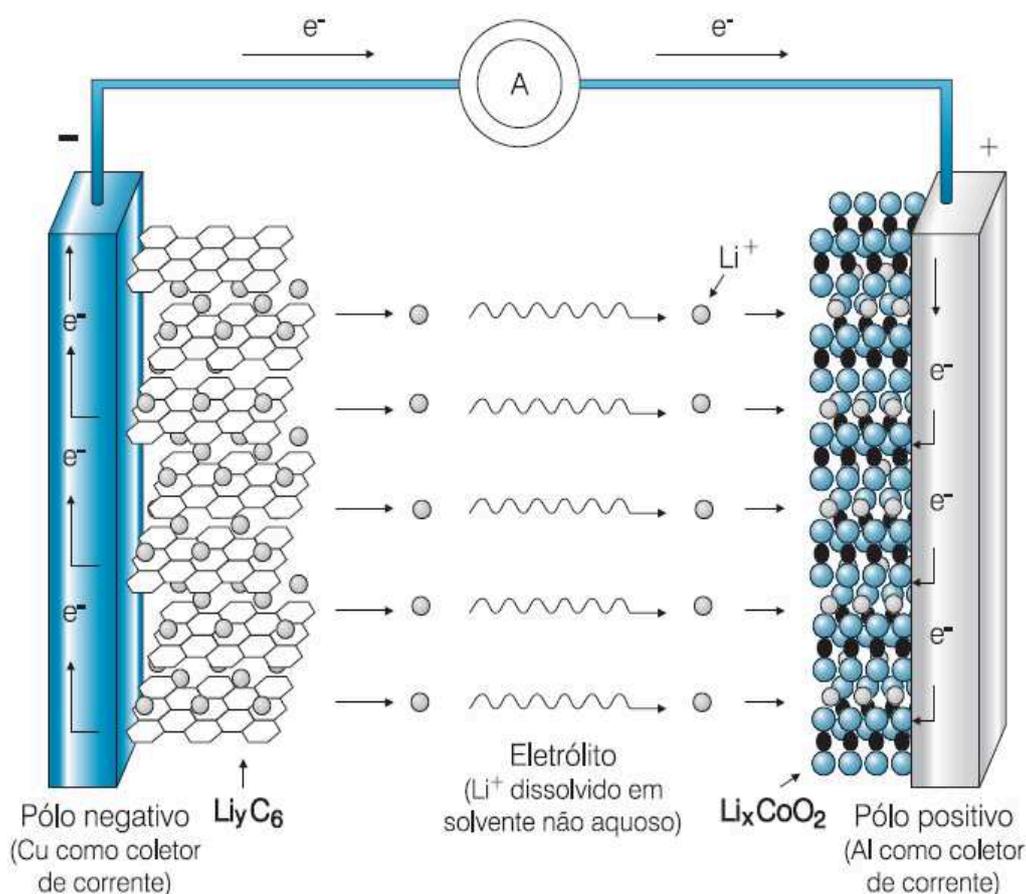


Fonte: DELL.COM

O funcionamento desse tipo de bateria é descrito pela difusão de íons de lítio, através da rede cristalina do catodo e do anodo, realizando o processo chamado de intercalação iônica (JEZINI, 2015). O processo de descarga se dá pela intercalação de Li^+ presente no eletrólito na estrutura do catodo e a recarga se dá pela intercalação de Li^+ na estrutura do anodo (BENEDETTI, 2011).

Durante o seu processo de descarga, migram desde o interior do material que compõe o anodo até dentro do material do catodo e os elétrons movem-se através do circuito externo, como ilustrado na Figura 23 (JEZINI, 2015).

Figura 23: Esquema de funcionamento de bateria Lítio Íon.



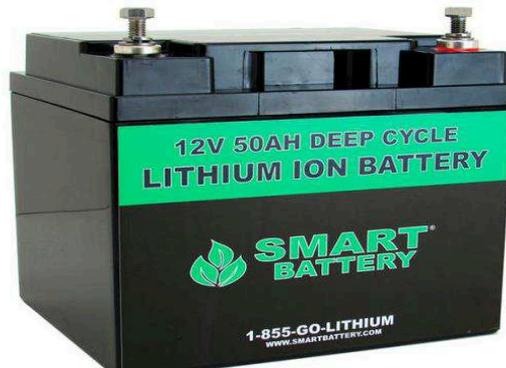
Fonte: BOCCHI *et. al.*, 2000

Essas baterias possuem alta densidade de energia e ciclabilidade, no entanto, são limitadas a aplicações portáteis, devido ao baixo limite de densidade de corrente inerente no material do catodo e à presença de solventes inflamáveis e voláteis como eletrólito (BENEDETTI, 2011). As principais características das baterias de íons lítio são o bom desempenho e a segurança aos usuários.

Além disso, o fato de empregarem materiais de baixa densidade permite que sejam projetadas para terem menor massa, tamanho e custo (BOCCHI *et al.*, 2000). Na Figura 24 podemos ver outro modelo de bateria de íon lítio.

Figura 24: Exemplo de bateria Lítio íon.

BATERIA DE CICLO PROFUNDO 12V / DE LÍTIO / ÍONS
SB50



Fonte: NAUTICEXPO.COM

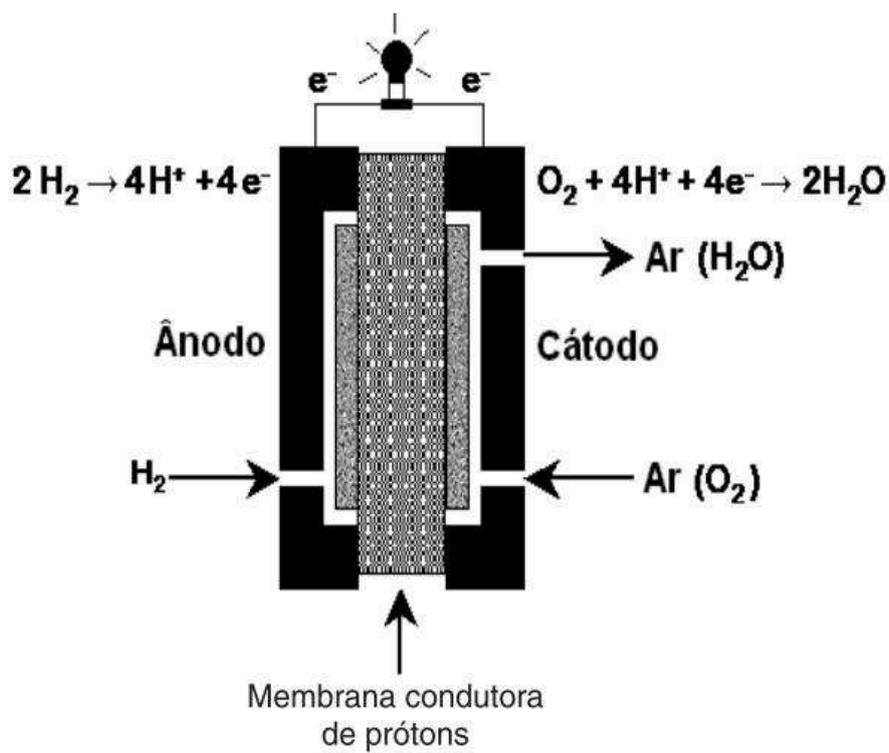
2.6.5 Célula a Combustível

Atualmente, uma das alternativas mais promissoras para aplicação como fonte de energia elétrica em sistemas estacionários, portáteis e móveis (veículos) são as células a combustível, em especial aquelas que são alimentadas por hidrogênio/ar (TICIANELLI *et al.*, 2005). Elas têm três compartimentos: em um está o primeiro gás, de hidrogênio (H_2); no segundo, gás oxigênio (O_2); e eles ficam separados por um terceiro compartimento, que consiste em um ambiente apropriado, no qual os dois gases irão se difundir, passando pelos eletrodos para, por fim, reagirem (MUNDO EDUCAÇÃO, 2018).

A Célula a Combustível é um dispositivo de conversão direta de energia química em energia elétrica e térmica, possuindo uma operação contínua em função da alimentação constante de reagentes (ANDRADE, 2008).

Ticianelli *et al.* (2005) afirmam que a Célula a Combustível converte energia química armazenada nos reagentes em energia elétrica e calor, através de um par de reações eletroquímicas acopladas, de maneira mais ecológica e eficiente, sendo apresentado na Figura 25 um esquema que representa seus princípios de operação.

Figura 25: Esquema de operação de uma célula a combustível do tipo PEMFC.



Fonte: TICIANELLI, 2005.

3 METODOLOGIA

Para desenvolvimento deste trabalho, foi aplicada uma metodologia de natureza experimental e investigativa, considerando os fatores que comprometem os serviços prestados pelo setor de telecomunicações quanto à sua indisponibilidade, causados pela queda de energia elétrica, devido a falhas provocadas pela concessionária local e/ou pelo gerador a diesel.

Como objetivos, foram explorado os recursos energéticos existentes (em especial os recursos renováveis) capazes de satisfazer às necessidades do setor de telecomunicações quanto ao fornecimento de energia ininterrupta por meio de uma abordagem qualitativa, utilizando dispositivos de gerenciamento de energia que apresentam mais de uma fonte de energia e, em alguns casos, combinando suas características intermitentes de geração que, além de melhorar o fornecimento de energia, atendem aos requisitos de qualidade e ininterrupção de energia.

Por meio de um estudo de caso como método aplicado, foi possível avaliar qualitativamente os benefícios da aplicação de um sistema híbrido para assegurar o fornecimento de energia elétrica, com a utilização de uma fonte renovável, no caso, a fotovoltaica e da geração a gás natural, reduzindo tanto a participação do gerador a diesel, como os gases formadores de efeito estufa.

4 ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento e acompanhamento deste trabalho, foi realizada uma parceria com a empresa X prestadora de serviços em telecomunicações, situada em Arujá, na grande São Paulo, que possui em suas dependências um abrigo construído que possuem as mesmas condições exigidas num ambiente de telecomunicações, conforme figura 26 onde está instalado o departamento de TI da empresa.

Esse abrigo possui uma infraestrutura de instalação adequada para ambientes de *data center* ou de centrais de telecomunicações em geral. Todos os equipamentos integrantes desse ambiente são dimensionados para garantir o pleno e perfeito funcionamento dos servidores, transmissores e receptores de dados e sinais. Entre esses equipamentos destacam-se os *No breaks*, sistemas de climatização de ar, centrais de detecção e combate a incêndio e iluminação.

Figura 26: Detalhe do abrigo adequado para ambientes de telecomunicações.



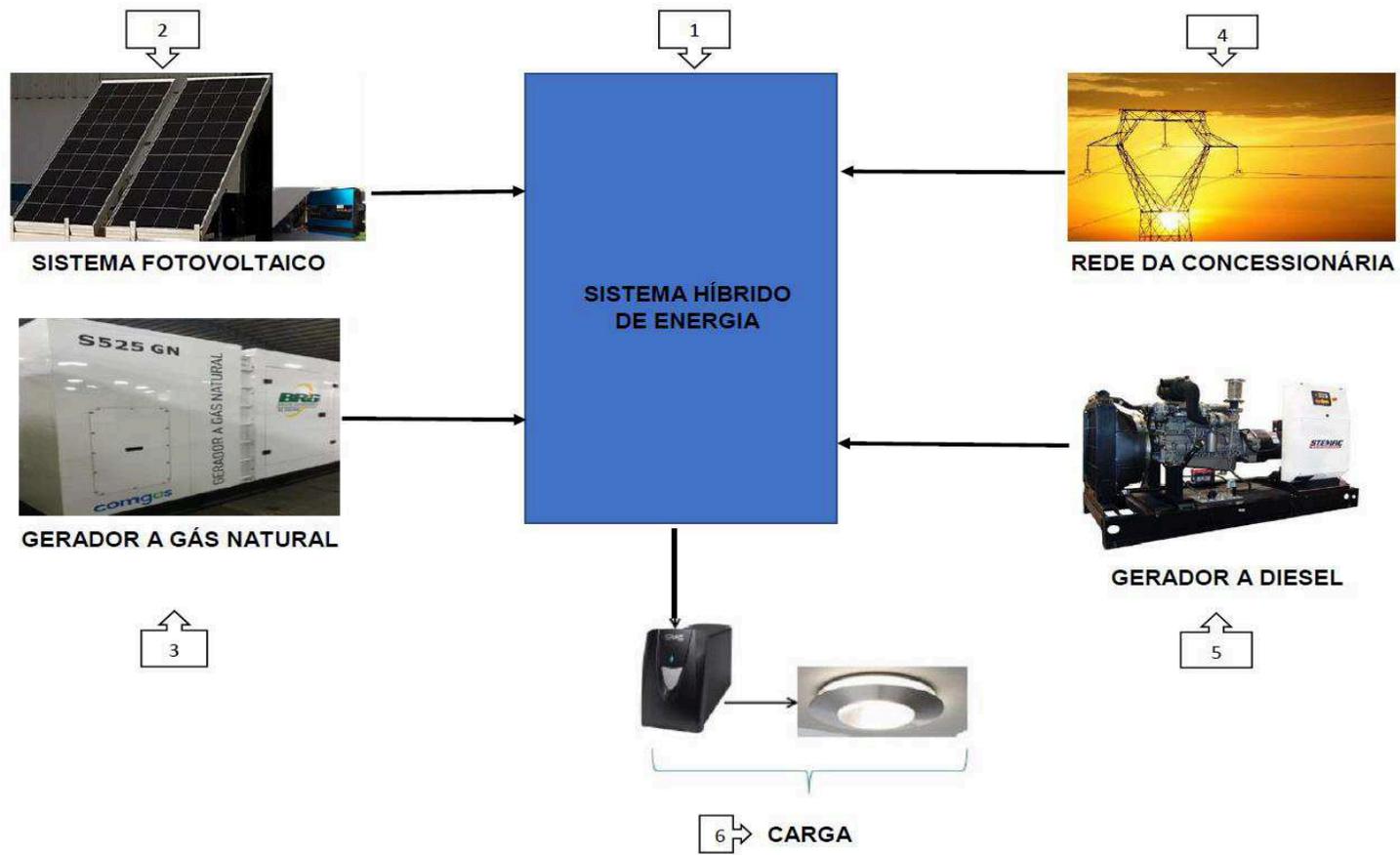
Fonte: o autor.

4.1 Apresentação do Sistema Híbrido

O consumo de energia elétrica de ambientes como esse varia de acordo com a capacidade e potência dos equipamentos instalados para a operação de determinados tipos de serviços. Por esta razão, o sistema híbrido proposto neste trabalho será limitado à potência de 200 W. Conforme já exposto, este trabalho, além do estudo da aplicação de geração de energia através dos módulos fotovoltaicos, também possibilitou o estudo do funcionamento detalhado de um sistema híbrido.

O sistema híbrido proposto tem capacidade para controle de até 4 fontes de energia elétrica e alimentação ininterrupta de uma carga a ser especificada. Para o melhor detalhamento do funcionamento deste trabalho, será utilizada a configuração conforme a Figura 27.

Figura 27: Detalhe da estrutura do Sistema Híbrido com as fontes conectadas e carga.



Fonte: o autor

A Tabela 5 apresenta os principais componentes que integram a configuração do sistema híbrido a ser estudado.

Tabela 5: Composição da estrutura do sistema híbrido proposto

Item	Descrição
1	Sistema Híbrido
2	Sistema Fotovoltaico
3	Gerador a Gás Natural
4	Rede da Concessionária
5	Gerador a Diesel
6	Carga

Fonte: o autor.

O item 1 da Tabela 5 é referente ao sistema híbrido de energia que representa a unidade responsável pelo controle e gerenciamento das fontes de energia, sensores de tensão e corrente e por manter a carga em constante operação. Esse item será mais bem estudado e detalhado na seção 4.2.

O item 2 da Tabela 5 corresponde à geração de energia através dos módulos fotovoltaicos, que será obtida a partir da configuração conforme figura 28, sendo que os componentes que são partes desta configuração, são destacados na Tabela 6.

O item 3 da Tabela 5 refere-se ao sistema de fornecimento de energia elétrica através da geração de energia a gás natural o qual, apesar de não ser uma fonte renovável, é menos poluente do que o gerador a diesel, tendo como vantagem ser uma fonte permanente não dependente das condições climáticas ou de outros fatores para sua geração.

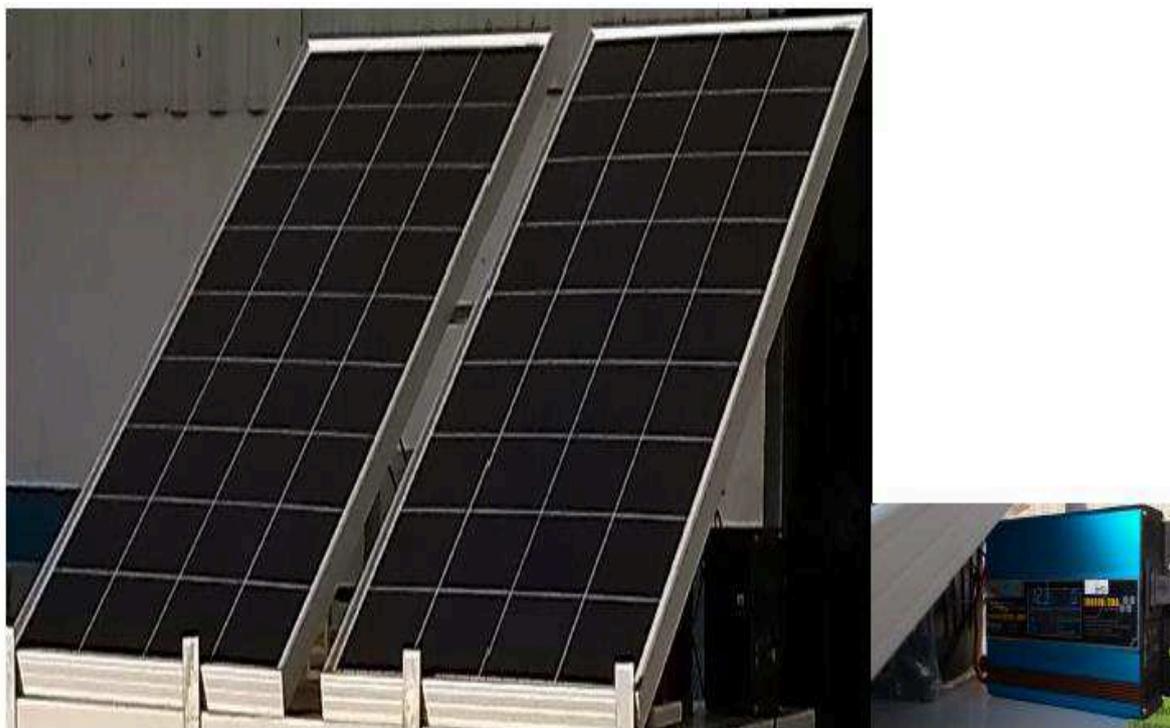
Outro aspecto importante é o interesse cada vez maior pela utilização do gás natural, contribuindo com a redução dos combustíveis fósseis.

Os itens 4 e 5 da Tabela 5 referem-se aos sistemas de fornecimento de energia elétrica respectivamente pela concessionária local e pela geração a diesel, que não serão objetos de maiores detalhamentos.

O item 6 do Tabela 5 é referente à carga a ser alimentada cuja carga máxima, conforme já exposto, para efeito deste estudo, será limitada em 200 W.

Outro ponto importante a destacar em relação à alimentação da carga é a utilização de um *No break* para assegurar que, nas manobras a serem realizadas pelo sistema – tanto em modo automático através do módulo de gerenciamento e controle (MGC), quanto na operação em manual – a alimentação da carga pelas diferentes fontes de energia, mantenha sua operação contínua e ininterrupta.

Figura 28: Configuração da geração fotovoltaica



Fonte: o autor.

Tabela 6: Principais características dos componentes da geração fotovoltaica

Descrição do componente	Especificação			Modelo	Marca	
	Tensão (V)		Corrente (A)			Potência (W)
	CC	CA				
Módulo Fotovoltaico	18,5		8,12	150	YL150P-17b Yingli solar	
Solar charger inverter	12	220	20	1000	SUS 1000A SUOER	
Bateria	12		7		UP1270 SEG UNIPOWER	
Bateria	12		50		DF 700 HELIAR/ FREEDOM	

Fonte: o autor.

Como é possível notar na Tabela 6, são apresentados dois tipos de bateria de capacidades diferentes, uma de 12V/7Ah e a outra de 12V/50Ah. A bateria de 12V/7Ah foi utilizada nos primeiros testes do sistema híbrido realizados numa bancada de laboratório, em conjunto com o sistema de geração de energia a partir dos módulos fotovoltaicos. A bateria de 12V/7Ah foi substituída pela bateria de 12V/50Ah, nos testes que foram realizados nas dependências da empresa parceira prestadora de serviços no setor de telecomunicações. Além de disponibilizar as dependências da empresa, foram eles que forneceram a bateria de 12V/50Ah.

4.2 O Sistema Híbrido de Energia

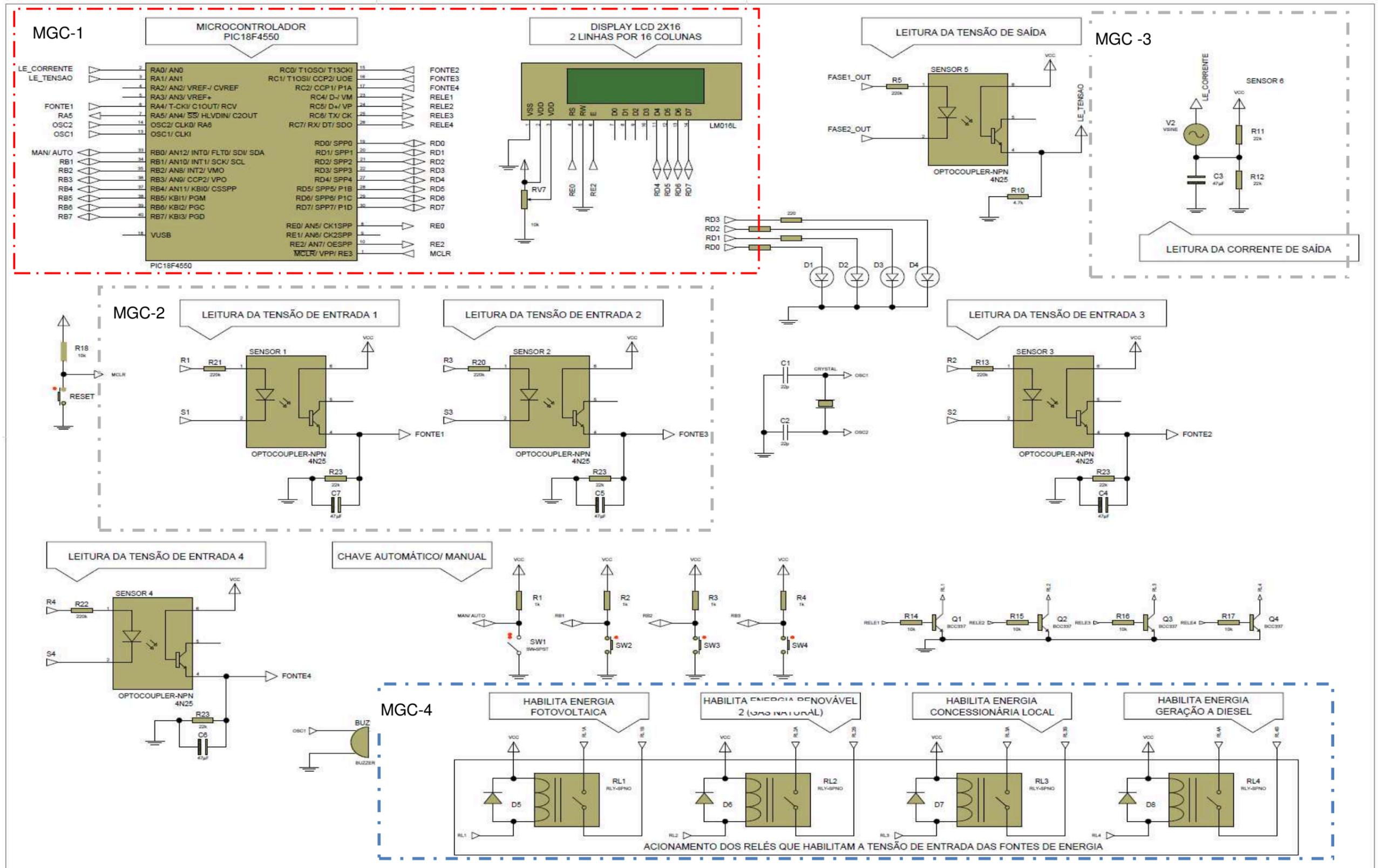
Conforme exposto na seção anterior, o item 1 da Tabela 5 corresponde ao dispositivo definido como o sistema híbrido de energia, que é composto pelo módulo de gerenciamento e controle e de um sistema de controle e potência.

Com o objetivo de explorar os detalhes dos componentes que integram este sistema híbrido, bem como o seu funcionamento, serão analisados, separadamente, o módulo de gerenciamento e controle e o sistema de controle e potência.

Para um melhor desenvolvimento, iniciaremos o estudo do módulo de gerenciamento e controle, o qual será identificado pela sigla MGC. A Figura 29 apresenta o diagrama elétrico do MGC.

É possível observar que esse diagrama elétrico, está dividido em 4 blocos que tem com objetivo o estudo separado de cada um deles, o que permite aprofundar-se mais nos detalhes desse dispositivo. Dessa forma, temos as seguintes divisões dos blocos: MGC-1 que corresponde ao microcontrolador, modelo PIC 18F4550 e o display de LCD; MGC-2 corresponde aos sensores de tensão; o MGC-3 que corresponde ao sensor de corrente e por último, o MGC-4 que corresponde aos relés comandados pelo PIC 18F4550.

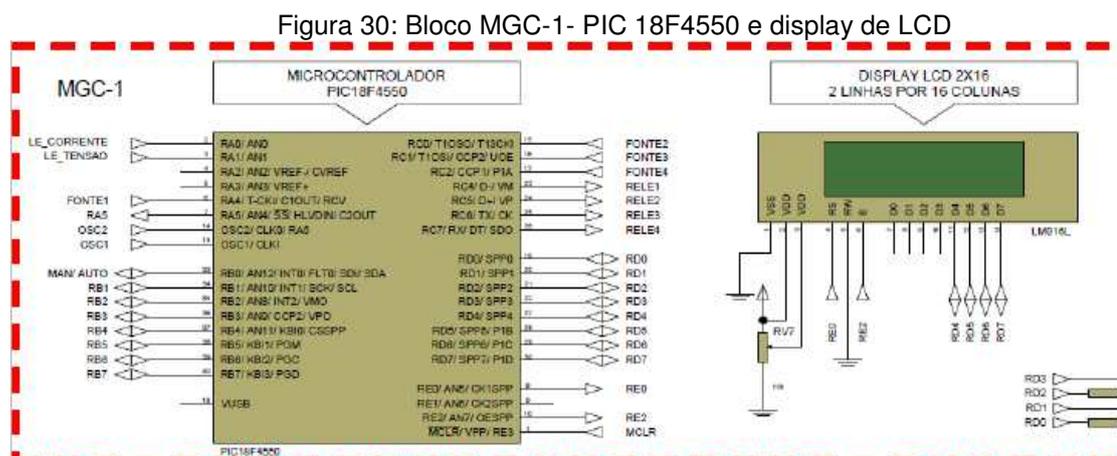
Figura 29: Diagrama do MGC do Sistema Híbrido.



Fonte: o autor.

4.2.1 Descrição do PIC 18F4550 e Display de LCD - MGC-01

Para facilitar o estudo dos diversos componentes que integram o sistema híbrido de energia do diagrama da Figura 29, o diagrama elétrico foi dividido em 4 blocos denominados MGC-1, MGC-2, MGC-3 e MGC-4. A Figura 30 apresenta o microcontrolador PIC P18F4550 e o display de LCD do MGC-01.



Fonte: o autor

Microcontrolador é um componente que, no mesmo encapsulamento, abriga um processador, memórias RAM, EEPROM, circuitos digitais e analógicos de entrada e/ou saída, *timers* entre outros para o seu perfeito funcionamento.

A arquitetura do microcontrolador escolhido é do tipo RISC (*reduced instruction set computer*) que em livre tradução significa computador com conjunto de instruções reduzido. Nesse tipo de arquitetura, há uma lista reduzida de instruções, mas que podem ser combinadas para criar diversas outras instruções na implementação de seus programas.

Podemos destacar a instrução para configuração dos terminais de entrada e saída, em digital ou analógica. Como exemplo é possível destacar um termostato ajustado para uma temperatura num valor de 30°C, que possui um contato que pode ser aberto ou fechado quando a temperatura atingir esse valor (entrada digital). Caso esteja sendo usado um sensor de temperatura, esse sensor vai apresentar um determinado valor de tensão ou corrente, de acordo com a variação da temperatura do ambiente em análise. Na aplicação do sistema híbrido, o programa permitirá que seja feita a leitura da presença ou não da tensão nos sensores de tensão 1 a 4 e

fará a leitura da variação da tensão de alimentação na carga no sensor 5.

O funcionamento das saídas digitais terá como principal função o acionamento ou não de um relé para ligar ou desligar um determinado equipamento, por exemplo, ligar ou desligar a iluminação de um ambiente. Em relação à saída analógica, pode ser usada para o controle do fluxo de água de uma instalação hidráulica, através do fechamento ou abertura gradual de uma válvula. Na aplicação do sistema híbrido, será utilizada para ligar e desligar um relé e conseqüentemente ligar uma das fontes selecionadas para alimentação da carga.

A CPU do microcontrolador é o cérebro do sistema híbrido, e através de um programa desenvolvido, ele executa o monitoramento dos sensores de tensão das fontes, e como filosofia de funcionamento, ele prioriza o fornecimento da fonte renovável proveniente da geração fotovoltaica e da fonte da geração a gás natural.

Havendo a falta da fonte renovável e da geração a gás natural o microcontrolador seleciona a geração da rede da concessionária e na falta desta, aciona o gerador a diesel. Uma vez selecionada a fonte de energia, a carga é alimentada, sendo monitorada pelos sensores de tensão e corrente.

É importante ressaltar que o software pode ser elaborado de acordo com a disponibilidade e necessidade do local em relação às fontes de energia disponíveis, ou mesmo, de acordo com a necessidade ou não de utilizar dispositivos de armazenamento e fazer o controle de carga e recarga desses dispositivos.

Em relação ao display LCD, sua principal função é permitir a visualização dos eventos de entrada e saída, bem como, das funções que estão sendo executadas, por exemplo, tensão da carga.

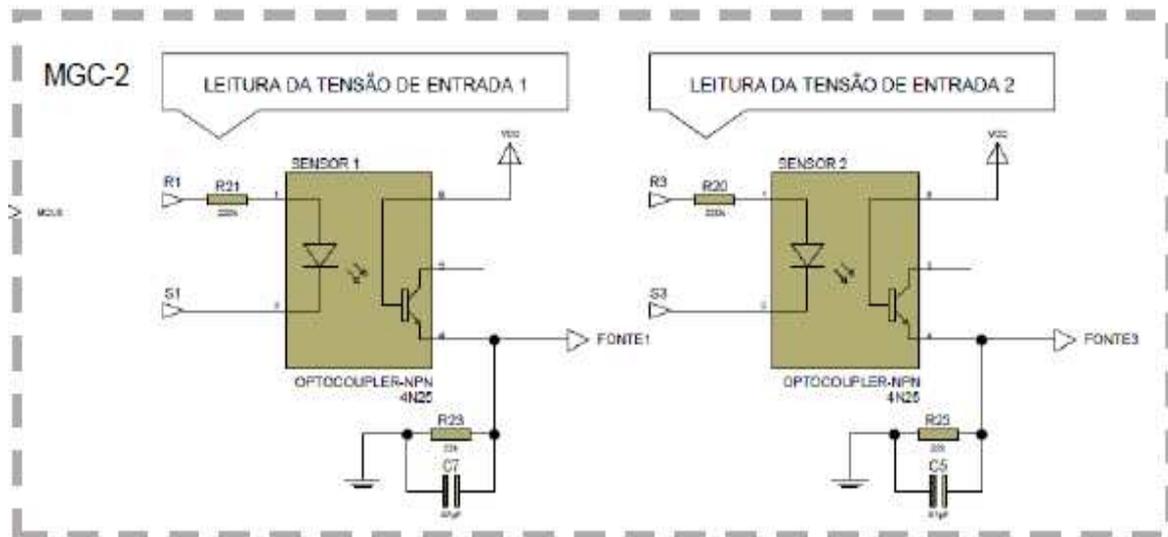
Outro ponto importante a ser comentado, é que o display não interfere no funcionamento do microcontrolador, ou seja, caso haja uma falha nesse dispositivo, apenas é perdido a visualização dos dados de entrada e saída.

4.2.2 Descrição dos sensores de tensão e corrente – MGC-2 e MGC-3

O MGC-2, figura 31, apresenta os sensores de tensão 1 a 4 que fazem o monitoramento da presença ou não da tensão (sensores digitais) das diferentes fontes de energia. Em relação ao sensor de tensão 5 (sensor analógico), sua configuração é usada para verificar a variação da tensão da carga. Através do

sensor de tensão 5, é possível monitorar as possíveis oscilações que podem ocorrer na tensão de alimentação da carga.

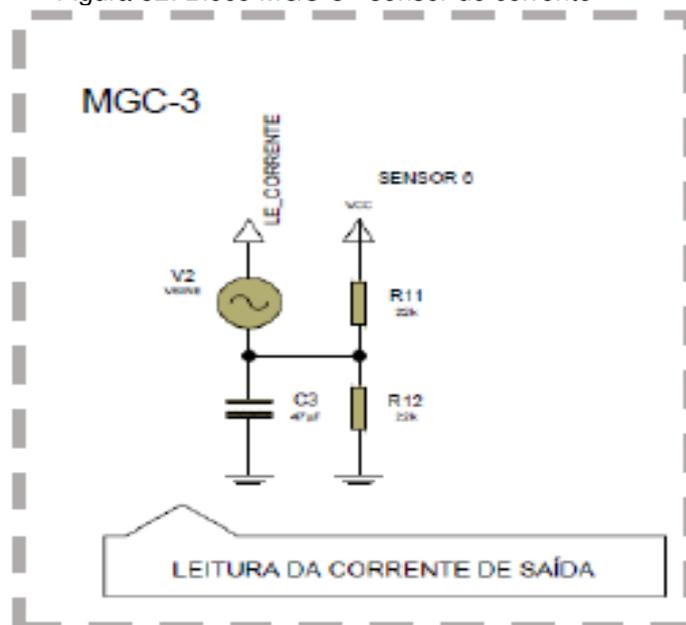
Figura 31: Bloco MGC-2 - sensores de tensão



Fonte: o autor

Em relação ao MGC-3, Figura 32, a sua aplicação é especificamente para leitura da variação da corrente elétrica na carga e, da mesma forma que o sensor de tensão 5, seu sensor de corrente é analógico. No caso do sensor de corrente, eles podem trabalhar com variações de "0" a 50 mA e, por meio do software elaborado, configurar para os valores que correspondem ao consumo da carga.

Figura 32: Bloco MGC-3 - sensor de corrente



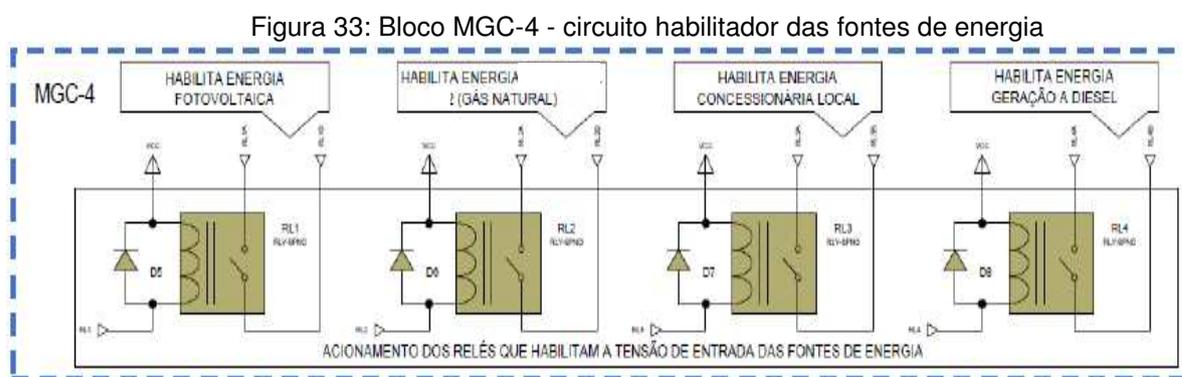
Fonte: o autor

4.2.3 Descrição do circuito habilitador das fontes de energia – MGC-4

No caso do MGC-4 da Figura 33, o dispositivo é um módulo de relés que serão acionados através das informações processadas pelo microcontrolador, que nesse caso irá acionar um dos quatro relés a partir da leitura dos sensores de tensão de 1 a 4. Caso seja identificada a tensão gerada pelo sistema fotovoltaico, o relé 1 é acionado pelo microcontrolador. Se não houver identificação da tensão do sensor de tensão 1, será analisada a condição do sensor de tensão 2. Caso o gerador a gás natural estiver gerando energia, então o relé 2 é acionado e assim sucessivamente com as demais fontes de tensão.

Havendo a identificação em todos os sensores de tensão de 1 a 4, o microcontrolador irá selecionar qual o relé será acionado, através do software, priorizando a geração da energia renovável e a gás natural.

Outro ponto a destacar em relação a esse módulo é a interface que é realizada entre o módulo de gerenciamento e controle e o sistema de controle e potência. Os relés desse módulo são usados para acionar as contadoras para habilitação das fontes para alimentação da carga.



Fonte: o autor

Após a descrição dos diferentes blocos do diagrama elétrico do MCG, todos os testes iniciais foram realizados no *Proteus@* e, posteriormente, foi realizada a sua implementação física. Para melhor entendimento da operação e funcionamento deste sistema híbrido, o procedimento será descrito na próxima seção.

4.3 Descrição de Operação e Funcionamento do Controlador

Ao ser inicializado, o programa indicará o nome do projeto, versão, mês/ano do projeto, conforme é possível ser visualizado na Figura 34.

Figura 34: Detalhe do Display com o nome do projeto, versão, mês e ano.



Fonte: o autor.

Em condições normais de operação, esse dispositivo irá monitorar as fontes de energia conectadas à sua entrada e, através do display, haverá a sinalização das mesmas, sendo: "0" para sinalização de ausência da tensão e "1" para sinalização da presença da tensão. Identificadas às fontes, o dispositivo irá selecionar a geração fotovoltaica como fonte prioritária para alimentação da carga. Na imagem da figura 35, exemplifica-se como ocorrerá a sinalização de fonte 1 ligada (em relação a carga).

Figura 35: Detalhe do Display com a sinalização das fontes conectadas e a fonte 1 conectada a carga.



Fonte: o autor.

O sistema híbrido sempre irá operar através de uma única fonte fornecendo energia para a carga. A filosofia do sistema é utilizar, na maior parte do tempo, o fornecimento de energia elétrica para carga através da geração das fontes renováveis (em especial pela geração através dos módulos fotovoltaicos) e da geração a gás natural.

O módulo de gerenciamento e controle irá atuar no comando elétrico do sistema, de maneira a garantir o intertravamento das fontes, ou seja, a saída disponível para a carga só será alimentada por uma única fonte de cada vez.

Como o sistema prioriza a fonte através dos painéis fotovoltaicos, quando esta geração não for suficiente para suprir a carga, automaticamente, o módulo de gerenciamento e controle irá alimentar a carga na sequência com a próxima fonte disponível, nesse caso a geração a gás natural, conforme ilustrado na Figura 36.

Figura 36: Detalhe do Display com a sinalização das fontes 2 e 3 conectadas e a fonte 2 conectada a carga.



Fonte: o autor.

Caso haja indisponibilidade da energia gerada pelo gerador a gás natural, o módulo de gerenciamento e controle irá conectar a energia da concessionária local para alimentação da carga, a Figura 37 ilustra esta situação. É possível observar no display que as fontes 1, 2 e 4 estão em "0" e somente a 3 está em "1". Em último caso, se ocorrer algum problema com geração da concessionária local, então será acionada a geração a diesel.

Figura 37: Detalhe do Display com a sinalização das fontes 3 conectadas e a fonte 3 conectada a carga.



Fonte: o autor.

Caso haja uma situação em que todas as fontes estejam indisponíveis, o MGC irá informar no display que as fontes estão desligadas, conforme ilustrado na Figura 38, e nesta condição não haverá alimentação para a carga.

Figura 38: Detalhe do Display com as fontes desligadas e sinalização de carga desligada



Fonte: o autor.

4.4 O Sistema de Comando Elétrico de Potência

O sistema de comando elétrico é outra parte integrante do sistema híbrido e tem como principal função assegurar, de maneira segura, o acionamento das fontes à carga. Para que não haja risco de um curto-circuito na saída à conexão da fonte, a carga é realizada de forma independente e intertravada, ou seja, somente uma fonte de energia poderá ser conectada à saída, estando as demais bloqueadas por meio de bloqueios elétricos realizados no comando.

Portanto, na condição de automático, o MGC do sistema híbrido irá selecionar a fonte que estiver em operação e conectar a alimentação à carga.

A outra condição de funcionamento do sistema híbrido é a operação em emergência/manual. Esse recurso permite operar o sistema numa eventual falha do comando de gerenciamento e controle ou qualquer situação que possa comprometer a alimentação da carga (ver Figura 39).

Figura 39: Detalhe do Display com as fontes ligadas, porém o sistema está em manual.



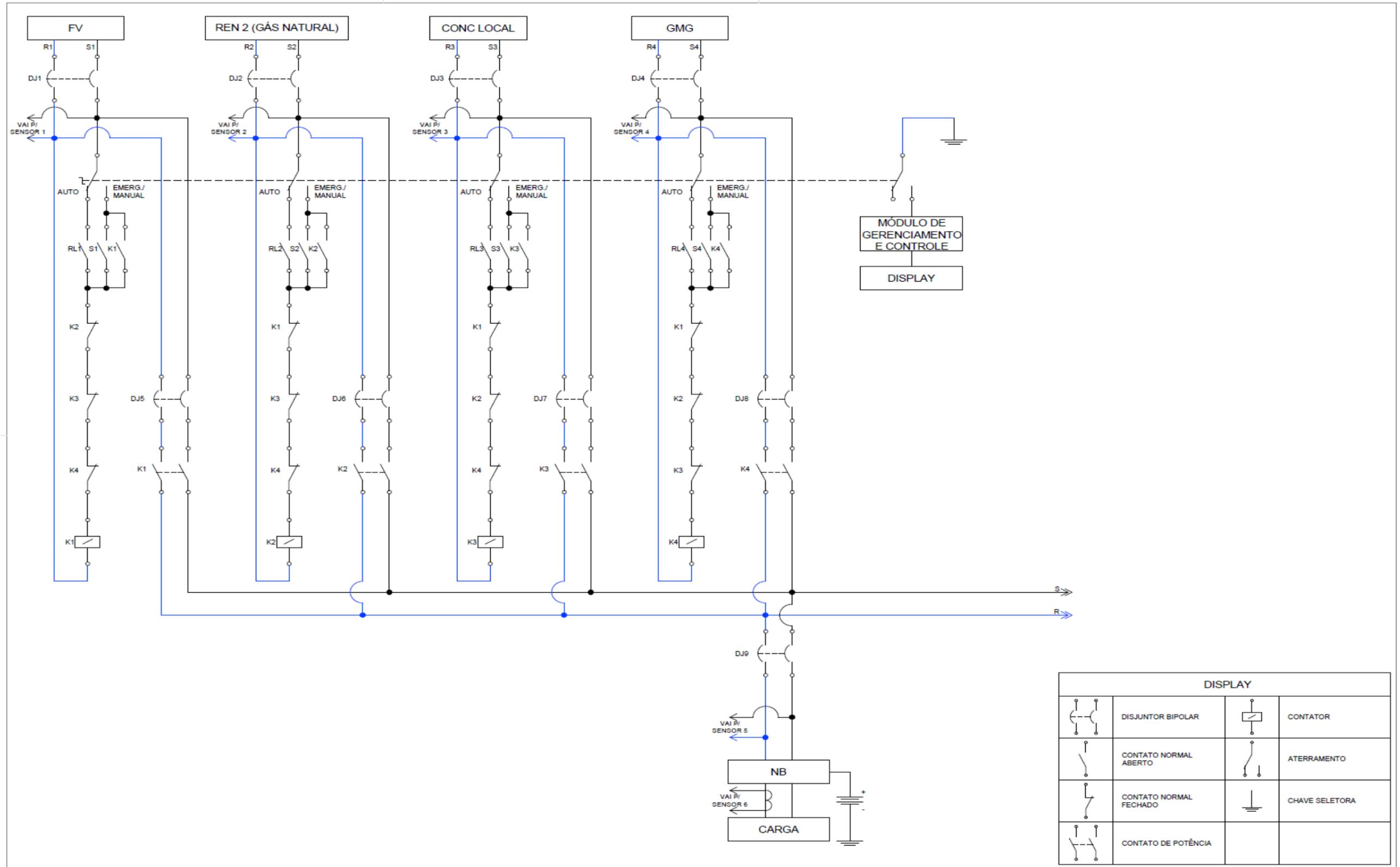
Fonte: o autor.

O que efetivamente conecta a entrada das fontes à saída para a carga é o sistema de comando elétrico de potência do sistema, representado pelo seu diagrama na Figura 40. Conforme se pode visualizar no diagrama da Figura 40, as fontes são conectadas aos seus respectivos disjuntores e, cada um deste, possui

uma contatora ligada em série com os contatos das contadoras das outras fontes (intertravamento elétrico) o que pode ser mais bem observado no detalhe na Figura 41. Este tipo de conexão elétrica impede que duas ou mais fontes de energia, mesmo que em funcionamento, alimentem a carga do sistema, ao mesmo tempo.

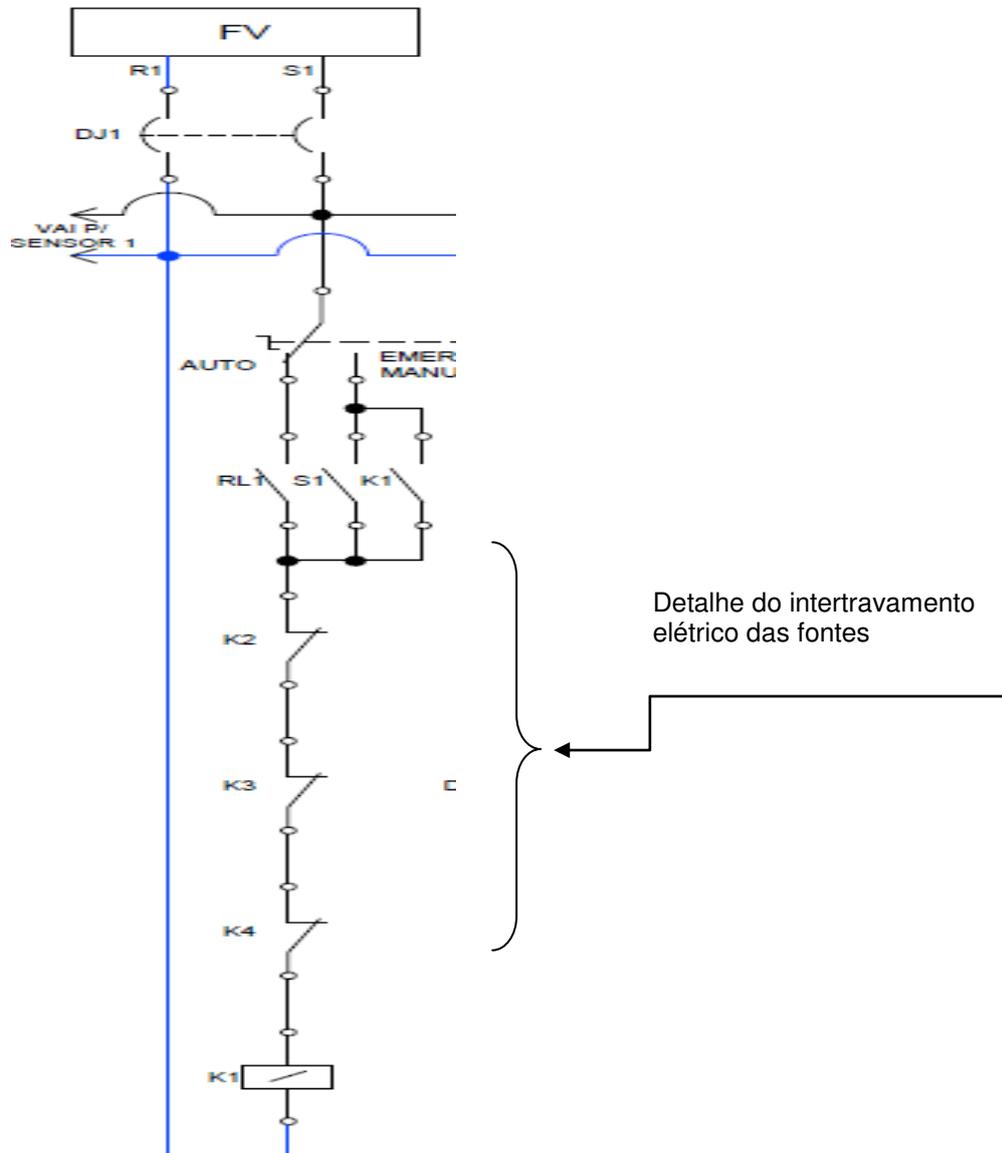
Além de garantir segurança ao técnico ou operador, garante ainda que não haverá riscos de um curto-circuito, que, além dos riscos aos operadores, também comprometeria a carga ligada, gerando, ainda transtornos, custos e impactos nos serviços prestados, bem como na imagem dessa operadora.

Figura 40: Diagrama de potência do sistema híbrido.



Fonte: o autor

Figura 41: Detalhe do intertravamento elétrico das fontes.



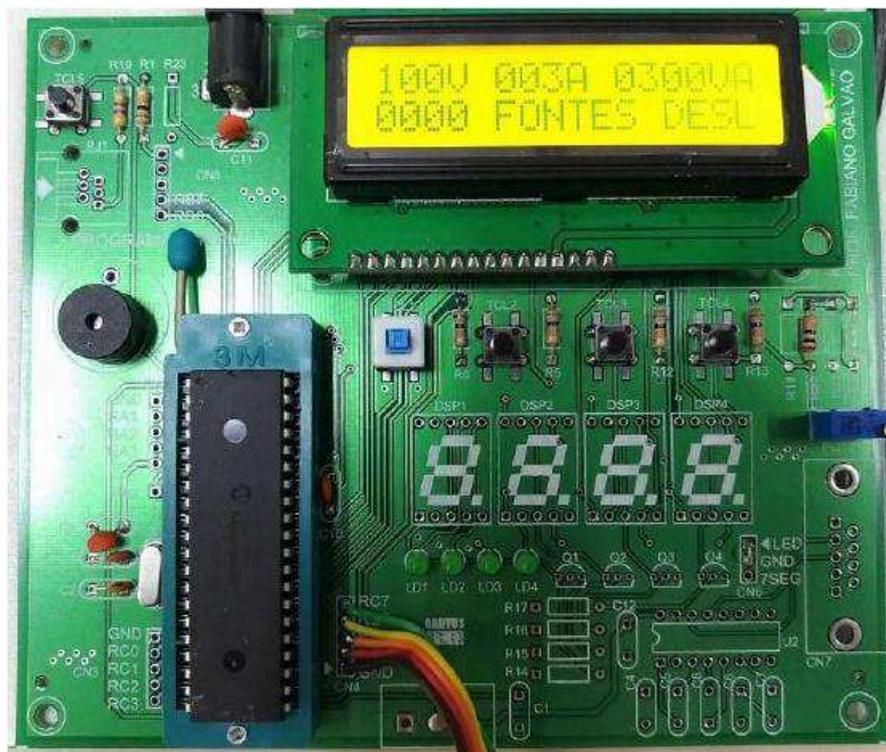
Fonte: o autor

4.5 Montagem e Instalação do Sistema Híbrido

Após serem apresentadas as partes integrantes do sistema híbrido, por meio do diagrama do MGC e testes realizados através do *Proteus*[®], sendo obtidos resultados satisfatórios, estabeleceu-se a implementação, montagem e instalação do sistema. A Figura 42 apresenta o hardware desenvolvido para o controlador. Esse hardware é composto pelo módulo principal (sendo o PIC 18F4550 o

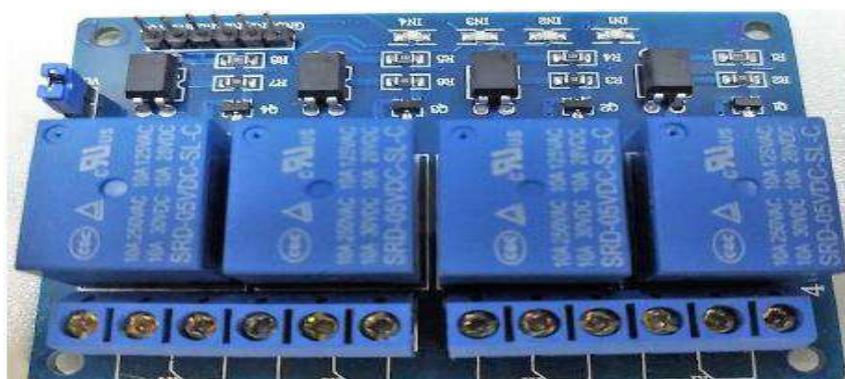
microcontrolador), os módulos de relés (destacados na Figura 43) e os módulos de leitura de tensão e corrente (destacados na Figura 44).

Figura 42: Placa do módulo de gerenciamento e controle.



Fonte: o autor.

Figura 43: Módulo de relés utilizado.



Fonte: o autor.

Figura 44: Detalhe do sensor de corrente e tensão.



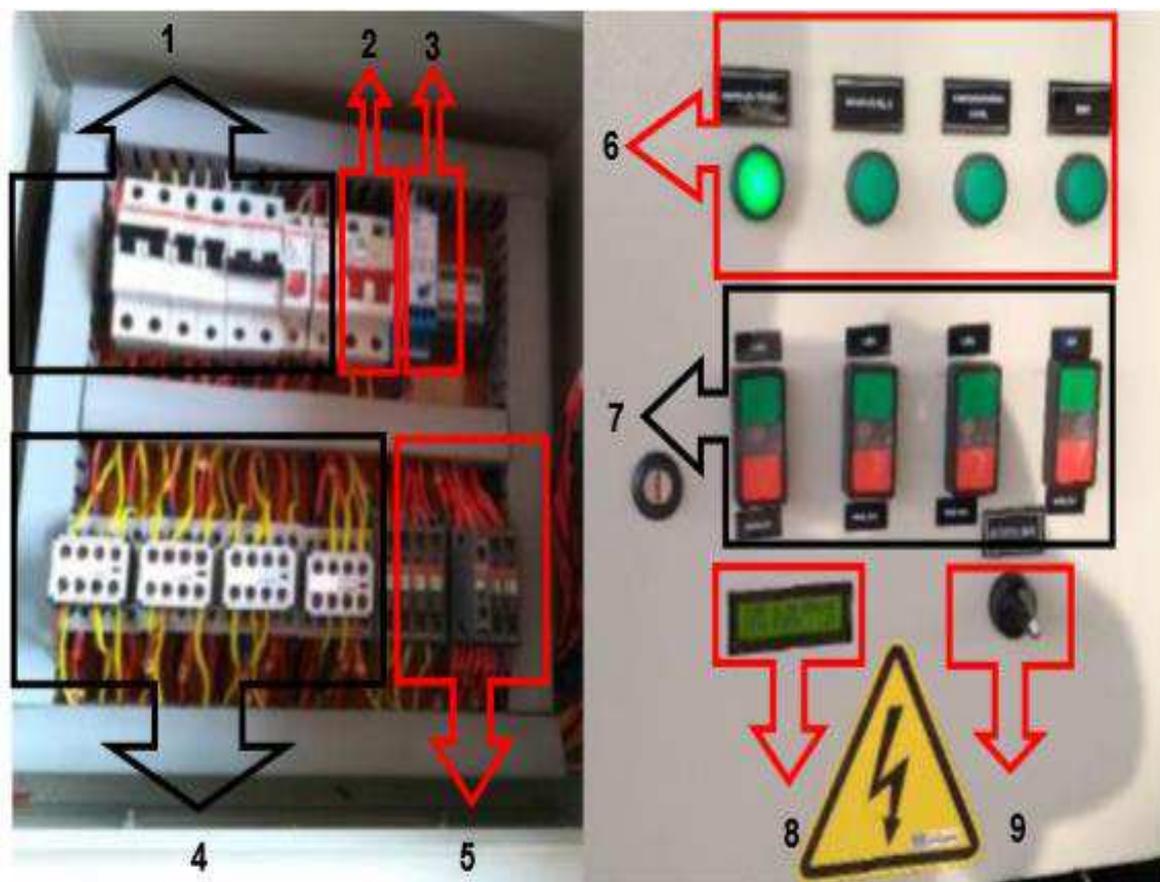
Fonte: o autor.

É importante salientar que, no módulo principal, tem-se conectado o display de duas linhas e dezesseis colunas para visualizar as informações que serão disponibilizadas ao longo da operação do sistema. Esse display irá facilitar a visualização tanto da operação quanto obtenção das informações da operação em cada estágio do sistema.

Na Figura 45 são ilustrados os componentes que compõem o sistema de potência, bem como os dispositivos de sinalização utilizados para identificar qual fonte estará em operação para alimentação da carga. Toda a montagem foi realizada numa chapa disponível em quadros elétricos que permitem diferentes maneiras de realizar as disposições dos componentes e demais acessórios. É importante ressaltar que todos os demais componentes apresentados tais como: o módulo de gerenciamento, módulo de relés e os sensores, também estão montados nesse painel.

Tal disposição da montagem, realizada no painel elétrico, permite que o operador acesse todos os comandos, sinalizações e operações necessárias para assegurar o funcionamento adequado do sistema híbrido, bem como, obter as informações de tensão, corrente e potência disponíveis na carga.

Figura 45: Quadro de comando desenvolvido para o protótipo de sistema híbrido.



Fonte: o autor.

Para facilitar a visualização dos componentes da Figura 45 e a função de cada bloco que compõe esse quadro de comando, os blocos foram enumerados para melhor descrição de suas partes e de suas funções, conforme é destacado na Tabela 7.

Tabela 7: Descrição dos blocos que compõe o sistema de controle de potência

Bloco	Descrição	Função
01	Disjuntores de entrada de alimentação das Fontes de geração	Proteção das fontes de alimentação
02	Disjuntor de saída para carga	Proteção de saída da carga
03	Fonte de alimentação de 220VCA/24VCC	Alimentação das lâmpadas dos sinalizadores;
04	Contadoras para interligação tensão da fonte	Conecta a fonte selecionada a carga
05	Contadoras para comando	Conecta o sistema em automática e manual/automático
06	Lâmpadas de sinalização	Sinalização da fonte em operação
07	Chaves para operação	Liga e desliga fonte selecionada na operação em manual
08	Display	Visualização das informações de entrada e saída do MGC
09	Chave 3 posições	Seleção da operação de automática e manual/emergência

Fonte: o autor.

Após a apresentação do sistema de maneira detalhada e completa, foi possível avaliar a sua operação em dois momentos a serem destacados:

A primeira avaliação foi realizada numa bancada de laboratório, na qual foram feitas as adequações e adaptações físicas necessárias ao sistema híbrido, incluindo

a montagem de um módulo de geração fotovoltaica disposto num telhado e conectado ao dispositivo controlador de carga/inversor de tensão, conforme pode ser visto na Figura 46.

Figura 46: Montagem do Sistema Híbrido em área aberta para os primeiros testes do Hardware



Fonte: o autor

Na segunda avaliação foi realizada a montagem em campo, conforme a apresentação detalhada da Figura 47. Como pode ser visualizado, o sistema montado em campo é composto por:

- Sistema híbrido de energia;
- 2 módulos fotovoltaicos de 18V/150 W;
- 1 Grupo motor gerador de 40 kVA;
- 1 Ponto de energia elétrica através do fornecimento da concessionária local.

Figura 47: Montagem para teste do Sistema Híbrido de Energia.



Fonte: o autor.

4.6 Operação do Sistema Híbrido

Concluída a instalação do sistema híbrido e com as fontes de energia devidamente conectadas, o painel que compõe o sistema foi ligado e, após a energização do painel, o módulo de gerenciamento e controle (MGC) realizou, através da rotina de seu software, a monitoração das fontes conectadas e, considerando que se os módulos de energia fotovoltaicos estão gerando energia elétrica suficiente para suprir a alimentação da carga, o MGC conecta a geração fotovoltaica para alimentação da carga.

Conforme se destacou anteriormente, o MGC prioriza a alimentação da carga através dos módulos de geração fotovoltaicos (energia renovável) ou mesmo pela geração a gás natural, sempre com o objetivo de trabalhar com as fontes de energia limpas ou as que menos contribuam com a formação dos gases de efeito estufa.

Tal priorização possibilita levar esse tipo de sistema para locais de difícil acesso e mesmo aqueles não atendidos por uma concessionária de energia.

É importante informar que a geração a gás natural será simulada utilizando a própria rede da concessionária local, uma vez que esta pesquisa se limita à utilização da geração de energia limpa, utilizando os módulos fotovoltaicos de geração de energia.

Com uma disposição bem arrojada, os módulos de energia fotovoltaicos foram instalados no grupo motor gerador, também conhecido pela sigla GMG, conforme a Figura 48.

Foram instalados suportes de sustentação para as placas com inclinação necessária para a captação da energia solar e conversão em energia elétrica. Outro ponto importante é o módulo controlador de carga/inversor responsável pela conversão da tensão em corrente contínua para tensão alternada, destacado no detalhe da Figura 48.

Figura 48: Detalhe do controlador de carga/inversor e montagem dos módulos fotovoltaicos em cima do grupo motor gerador (GMG).



Fonte: o autor.

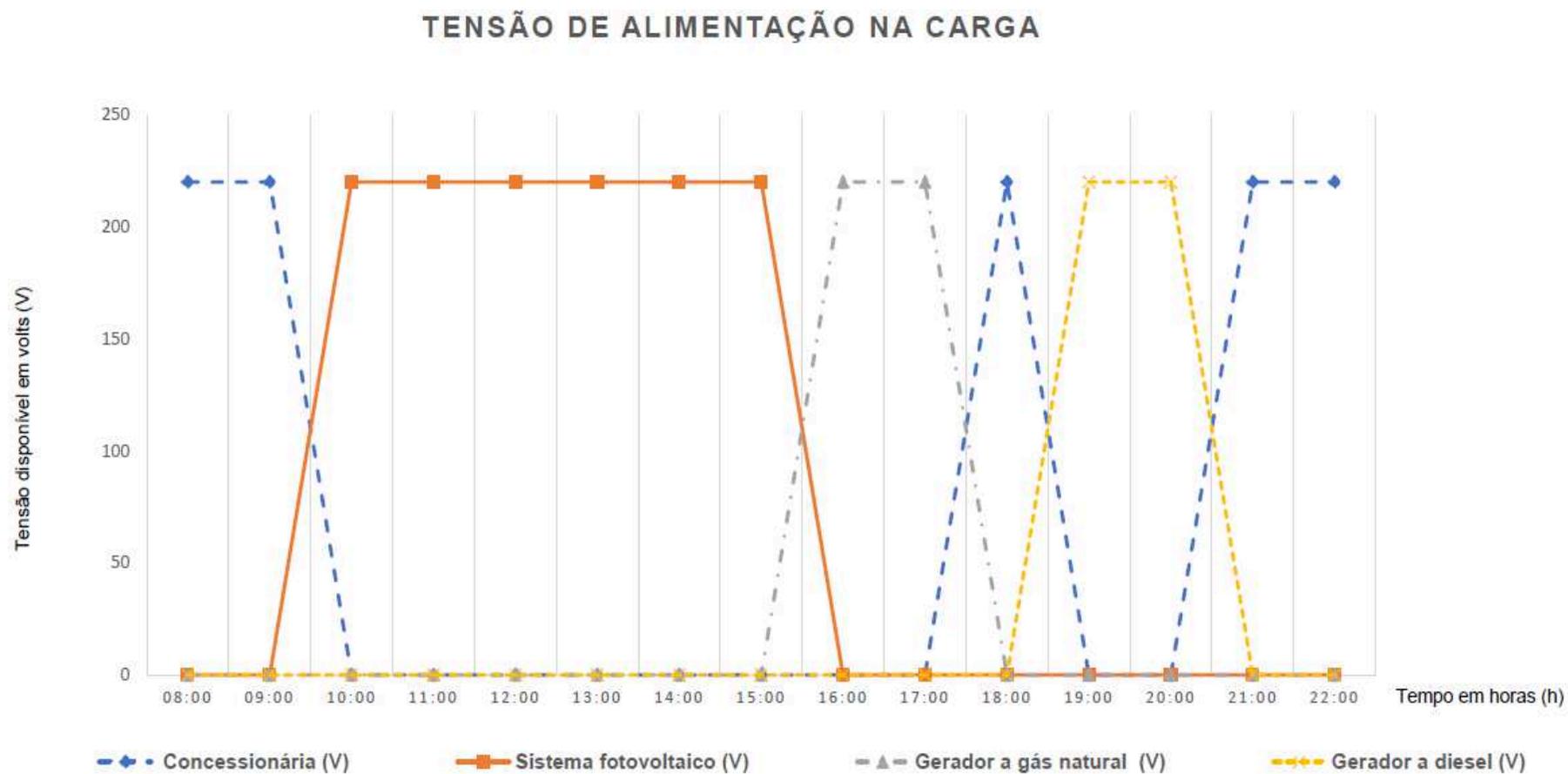
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois de efetuados testes e efetuada uma avaliação qualitativa dos benefícios da aplicação de um sistema híbrido para assegurar o fornecimento de energia elétrica, com a utilização de fontes fotovoltaica e gás natural, reduzindo tanto a participação do gerador a diesel, como os gases formadores de efeito estufa, chegou-se aos resultados satisfatórios que serão apresentados a seguir.

5.1 Funcionamento do MGC

Os primeiros resultados do sistema híbrido foram obtidos através da simulação do módulo de controle eletrônico, proposto através do simulador *Proteus*[®], no qual foi possível observar a viabilidade desse dispositivo. A geração de energia pelos módulos fotovoltaicos foi simulada através da existência ou não desta geração, levando-se em consideração os horários com maior probabilidade de insolação solar, compreendido entre as 10 horas da manhã e às 15 horas. Na simulação, os horários que não correspondem aos períodos de fornecimento energético dos módulos fotovoltaicos são atendidos pela geração de uma segunda fonte de energia renovável e, uma vez que esta também não seja capaz de fornecimento, a concessionária local irá assumir de maneira imediata a geração e alimentação da carga. O gráfico da Figura 49 apresenta os resultados obtidos através da simulação realizada no simulador de circuitos.

Figura 49: Gráfico de tensão de alimentação na Carga a partir do *Proteus@*



Fonte: autor

Como se pode verificar, através dos resultados obtidos pela simulação, a carga permanece alimentada, é importante ressaltar, porém, a necessidade da instalação de um *No break* nos instantes de comutação da tensão das diferentes fontes na carga.

À medida que os testes foram sendo realizados no *Proteus*[®], verificou-se a necessidade de se criar condições de emergência/manual, uma vez que o MGC do sistema híbrido, por ser composto de componentes semicondutores, pode apresentar, inesperadamente, ao longo de sua utilização, algum tipo de falha na operação, capaz de estabelecer uma condição de anormalidade, afetando diretamente o fornecimento de energia a carga.

Por esta razão, a condição de emergência/manual permite ao técnico avaliar a condição do conjunto e, uma vez confirmada à anormalidade do MGC, deverão ser conferidos quais fontes de energia estão disponíveis e selecionar, dentre elas, as melhores opções, em geral a geração de energia mais confiável para alimentação da carga, garantindo sua operação. Desta forma o operador poderá promover o reparo necessário, regularizando a operação em automático do sistema.

O aprofundamento do conhecimento dos detalhes de funcionamento e operação do sistema estabelece o maior grau de confiabilidade do funcionamento do MGC, assim, a utilização do simulador *Proteus*[®] permitiu executar os testes de diversas maneiras, contribuindo para a confecção de um hardware para o sistema. Esse hardware foi implementado levando-se em consideração as modificações e adequações necessárias para atendimento das condições de automático e emergência/manual.

5.2 Funcionamento do Sistema Híbrido

Com a montagem do hardware do MGC e demais componentes e dispositivos, os testes do sistema híbrido foram realizados em dias e locais diferentes.

Os primeiros testes foram feitos em uma bancada de laboratório para realizar as adequações e adaptações físicas necessárias ao sistema híbrido, de acordo como a Figura 50.

Nas condições apresentadas na Figura 50, o dispositivo operou alimentando a carga, utilizando a energia gerada pelo módulo fotovoltaico e as demais fontes foram

simuladas através da rede da concessionária local, ou seja, através de disjuntores conectados em paralelo, em conjunto com o fornecimento da concessionária, de tal forma que a simulação foi executada com o desligamento do respectivo disjuntor de cada uma das entradas, conforme detalhe da Figura 50.

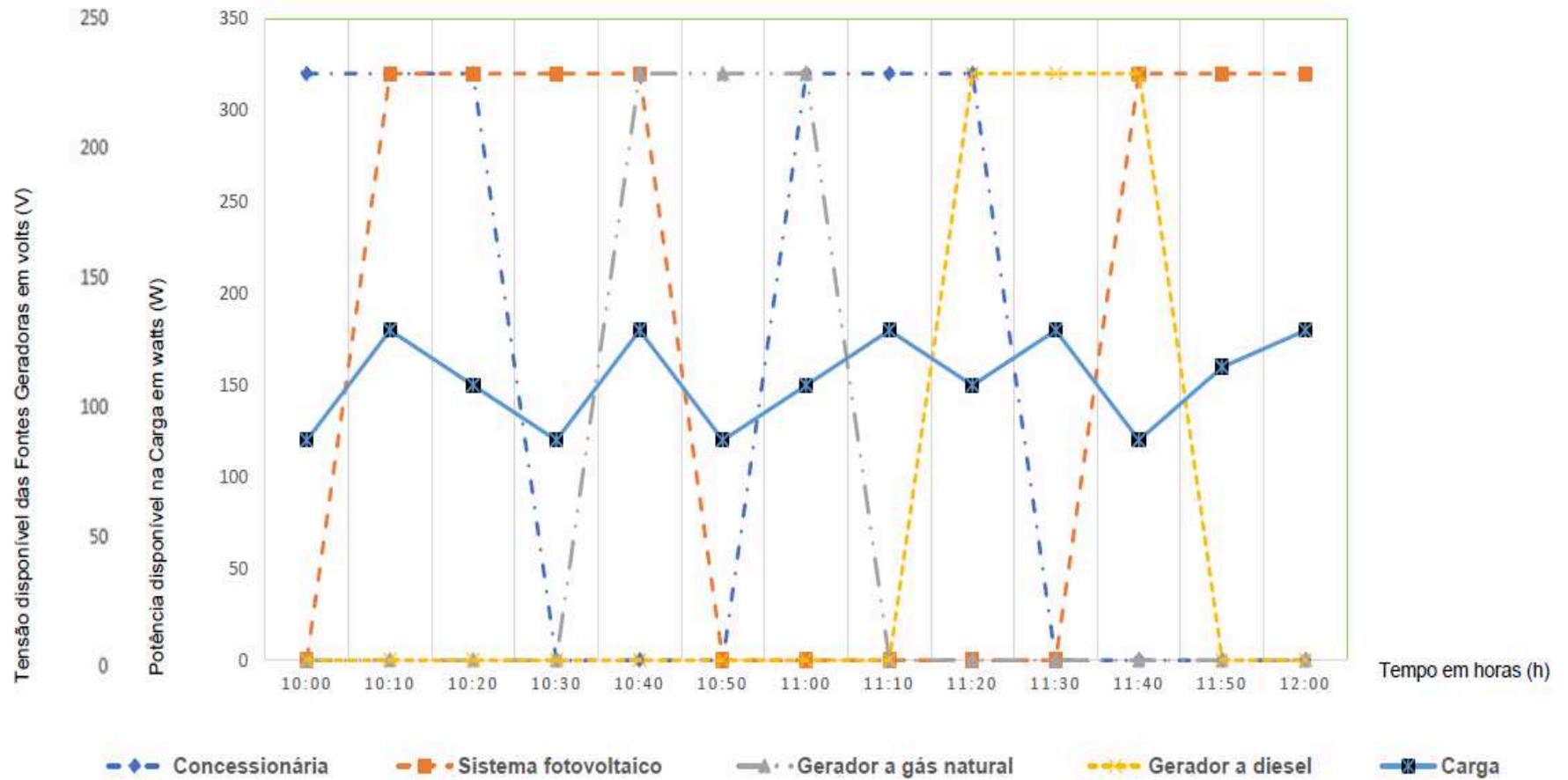
Figura 50: Detalhe dos disjuntores para simulação das fontes de tensão



Fonte: o autor

Figura 51: Gráfico da Tensão e Potência consumida na Carga.

Tensão e potência consumida na carga



Fonte: o autor

O gráfico da Figura 51 apresenta os valores de tensão e potência consumida pela carga durante as medições realizadas no período compreendido entre as 10 e as 12 horas.

Conforme podemos perceber, nos resultados apresentados no gráfico, a rede da concessionária e a geração fotovoltaica são as únicas fontes geradoras de tensão, porém, para avaliar o funcionamento do sistema híbrido, as tensões da geração a gás natural e do gerador a diesel foram simuladas a partir da tensão disponibilizada pela concessionária local, garantindo nos testes a alimentação da carga, mesmo com uma suposta falha da rede da concessionária. Nota-se que os testes apontam para operação eficiente do dispositivo.

Outro local de montagem foi nas dependências da empresa prestadora de serviços em telecomunicações e, após a finalização da montagem em campo e com as diferentes fontes geradoras de energia devidamente conectadas ao sistema híbrido, esse foi energizado. Uma vez o sistema híbrido em operação, através das informações recebidas pelos sensores de presença de tensão, a carga conectada ao sistema foi alimentada pelos módulos fotovoltaicos de energia.

Durante o período de geração fotovoltaica, a carga permaneceu alimentada pelos módulos fotovoltaicos, a partir do momento em que esta geração se tornava insuficiente de alimentar a carga do sistema, o dispositivo selecionava a melhor fonte para substituir à fotovoltaica.

É importante ressaltar que, mesmo com as melhorias elaboradas através da utilização do simulador, outros detalhes e pontos de atenção foram mais bem percebidos nos testes realizados na operação física do sistema híbrido. Entre eles, destaca-se o funcionamento dos sensores de monitoramento de presença de tensão, que, devido às suas características de operação, podem promover uma ciclagem em relação à fonte que estiver fornecendo a tensão à carga.

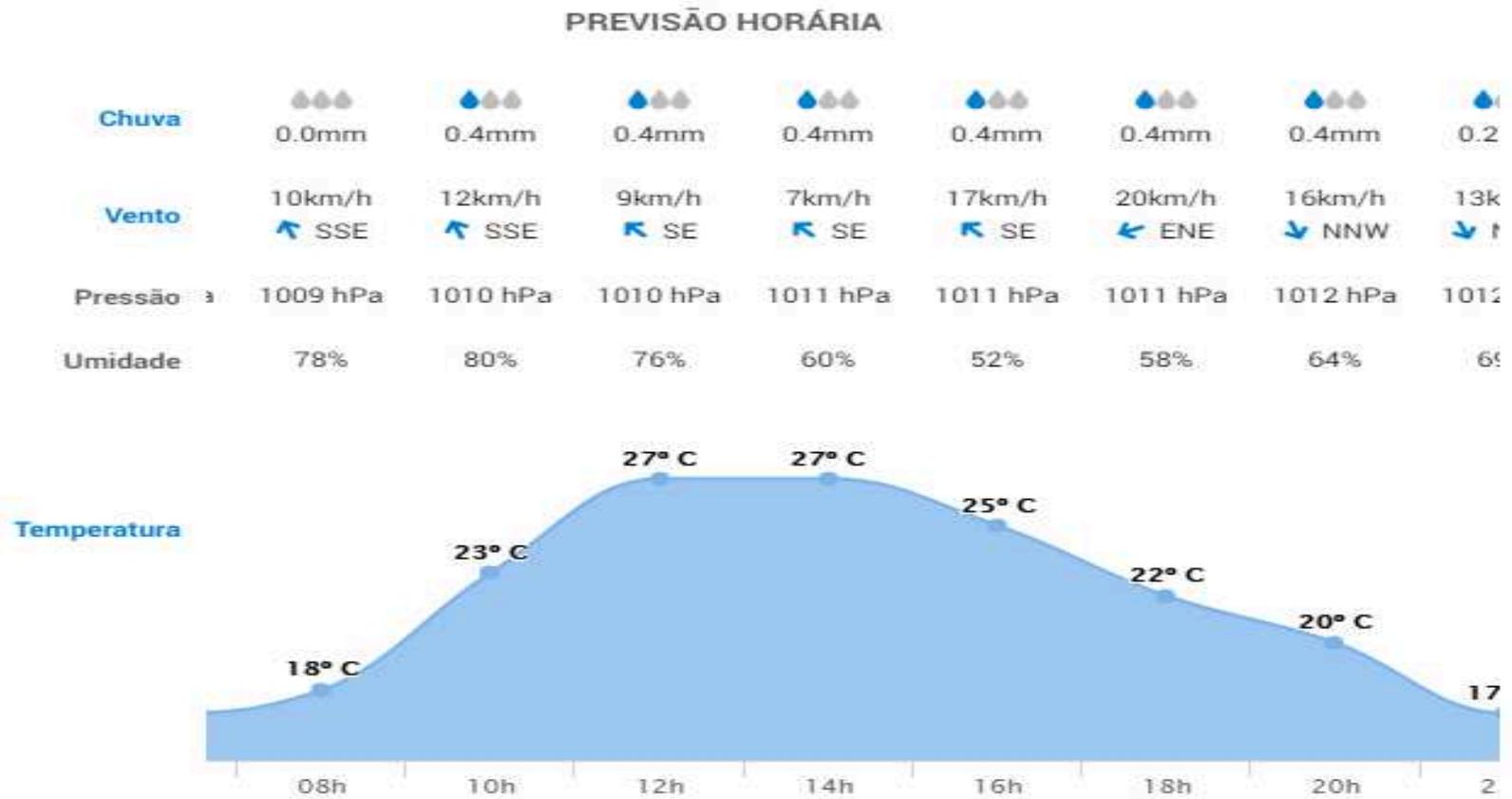
Se, por exemplo, a geração a partir dos módulos fotovoltaicos (módulos fotovoltaicos + controlador de carga/inversor) for surpreendida por uma sobrecarga, automaticamente as proteções do dispositivo vão atuar, deixando de fornecer a tensão à carga e, ao remanejar-se a carga para outra fonte de energia, a tensão do conjunto fotovoltaico poderá, automaticamente, se normalizar. O MGC ao reconhecer a presença da tensão da fonte fotovoltaica disponível, irá fazer com que

o sistema opte, mais uma vez, pelo gerador fotovoltaico e, caso a sobrecarga prevaleça, irá ocorrer novamente a desconexão.

Desta forma, o conhecimento de tais condições permite buscar novas alternativas, tanto em nível de hardware quanto de software para atenuar esse tipo de condição que, em caso de ocorrência repetitiva, poderia promover a queima de componentes ou mesmo falhas na alimentação da carga.

Toda montagem e testes foram realizados nos dias 11, 12 e 13 de junho de 2018, sendo que as condições climáticas foram consideradas favoráveis, conforme se apresenta nos respectivos relatórios das Figuras 52, 53 e 54, obtidos pela Climatempo, com o melhor aproveitamento dos módulos fotovoltaicos no horário entre às dez horas da manhã e quatro horas da tarde.

Figura 52: Condições climáticas do dia 11/06/18



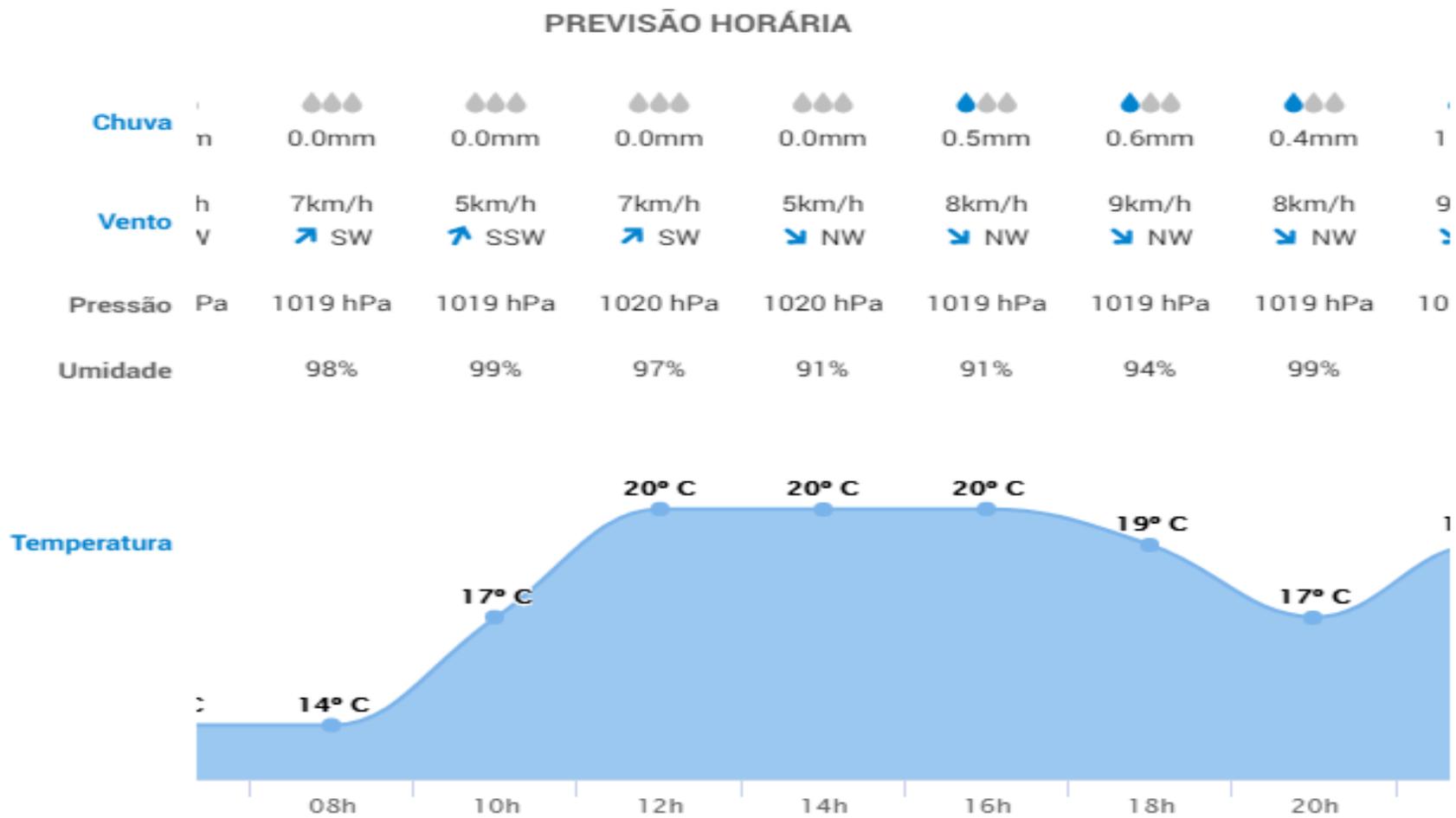
Fonte: CLIMATEMPO (2018).

Figura 53: Condições climáticas do dia 12/06/18



Fonte: CLIMATEMPO (2018).

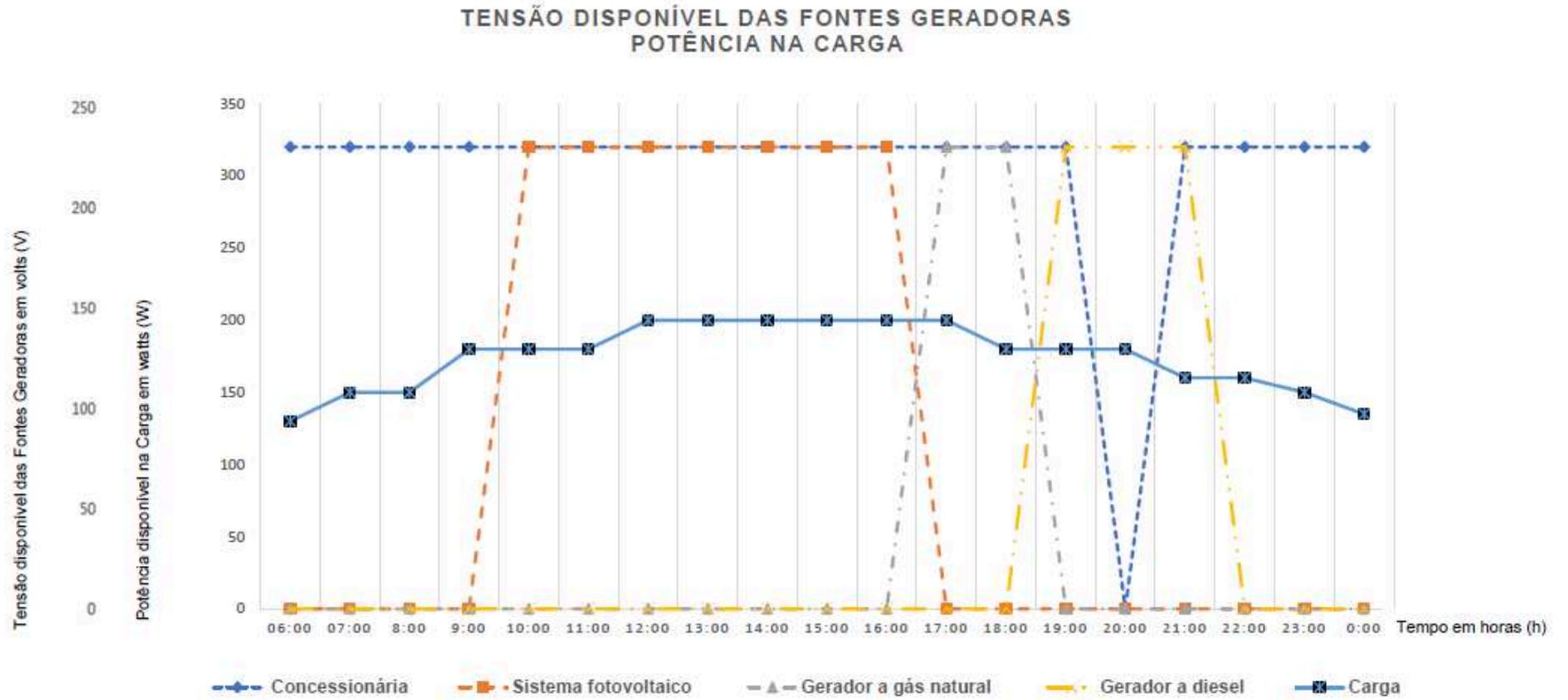
Figura 54: Condições climáticas do dia 13/06/18



Fonte: CLIMATEMPO (2018).

Nessas condições meteorológicas, pode-se melhor avaliar o desempenho do sistema híbrido, sendo apresentados através do gráfico da Figura 55 os resultados do funcionamento do sistema. É possível verificar através deste gráfico a monitoração das diferentes fontes de tensão e a potência consumida na carga.

Figura 55: Gráfico da Tensão disponível das Fontes Geradoras e Potência na Carga



Fonte: o autor

Nota-se que a tensão gerada pela concessionária está presente ao longo do tempo (geração permanente) no período do monitoramento. A partir do momento em que os módulos fotovoltaicos passam a gerar energia elétrica o MGC substitui a alimentação da carga por esta geração. Quando a tensão gerada não é suficiente para atender a carga, a concessionária volta a assumir a alimentação. Foi, também, efetuada simulação em que a geração a gás natural assume a alimentação da carga.

Para percebermos a viabilidade do MGC entre as 20 e 22 horas foi simulada uma falta de energia pela concessionária. Nesse caso, o gerador a diesel foi acionado, assumindo a alimentação da carga.

Portanto, os resultados obtidos nos cenários apresentados foram considerados satisfatórios, permitindo avaliar a viabilidade do sistema híbrido em estudo na contribuição de utilização de fontes de energia com características diferentes, em especial com a geração de energia limpa, mais especificamente com a geração de energia através dos módulos fotovoltaicos e da geração a gás natural.

O sistema, ao promover a substituição da fonte, desabilitará uma fonte para habilitação da outra; nesse momento de comutação das fontes, contamos com equipamentos conectados a um sistema de *No break*, que permite que a carga continue energizada mesmo no momento de transição, através do uso de baterias.

O resultado obtido para o setor de telecomunicações representa eficiência e alta disponibilidade dos serviços prestados, que garantem a qualidade e satisfação de seus clientes.

Não foram considerados os custos de implantação do sistema fotovoltaico e sim, o ganho obtido com a sua aplicação para melhoria na qualidade da energia necessária para o sistema de telecomunicações.

Em relação ao gerador a diesel, ele continuará a ser importante no fornecimento de energia.

O gerador a diesel terá sua participação, principalmente nas situações em que a geração de energia da concessionária local (geração permanente), geração fotovoltaica (principalmente as intermitentes) e a geração a gás natural não estiverem em condições de alimentar as cargas dos consumidores. Porém, à medida que reduzirmos a sua participação, estaremos contribuindo para redução dos gases formadores do efeito estufa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Os problemas de indisponibilidade da energia elétrica causados pela falha da concessionária de energia e do gerador diesel, que podem provocar a indisponibilidade dos serviços prestados e, conseqüentemente, transtornos para o setor de telecomunicações que necessitam de energia elétrica ininterrupta, permitiu focar a atenção para a importância da aplicação de um sistema capaz de integrar diferentes tipos de energia e, em particular, as fontes de energia renováveis e as fontes menos poluentes.

Através do estudo de caso realizado nas dependências de uma empresa prestadora de serviços em telecomunicações, que possui um ambiente que reproduz as mesmas condições de um setor de telecomunicações, foram realizados os testes de um sistema híbrido de energia que utiliza mais de uma fonte de geração de energia, nesse caso em particular a geração fotovoltaica e a geração a gás natural.

Os estudos e os testes do sistema híbrido de energia foram realizados em três cenários distintos. Inicialmente, através de um simulador de circuitos *Proteus*[®], sendo possível simular o gerenciamento das fontes de energia, por meio do módulo de controle que priorizou a geração fotovoltaica para a alimentação da carga aplicada e, posteriormente, percebeu-se a necessidade de ser incrementada no dispositivo uma operação em manual.

Posteriormente, utilizando-se um hardware implementado do sistema híbrido, agrupado a um comando elétrico para acionamento das fontes, carga e dos sensores, os testes foram realizados numa bancada de laboratório. É importante destacar que os módulos de energia fotovoltaicos foram instalados provisoriamente num telhado para captação solar e as demais fontes foram simuladas com a rede da concessionária local.

Assim, foi possível testar o funcionamento do dispositivo e verificar se havia necessidade de realizarem-se mais ajustes. É importante destacar, também, que os resultados foram considerados satisfatórios em relação ao desempenho do sistema híbrido.

Por último, a montagem foi realizada nas dependências de uma empresa parceira, prestadora de serviços em telecomunicação, que incluiu um grupo motor gerador, módulos fotovoltaicos de geração de energia e a rede da concessionária local, além da geração a gás natural simulado através da concessionária.

Considerando os resultados obtidos em relação à funcionalidade do SHE e conforme a hipótese apresentada, conclui-se que a aplicação desse sistema híbrido, utilizando mais de uma forma de geração de energia, pode assegurar mais confiança no fornecimento de energia elétrica ininterrupta para o setor de telecomunicações.

Além da operação do dispositivo implementado, foi possível estudar a geração de energia elétrica a partir dos módulos fotovoltaicos como uma geração suplementar de energia que, apesar de suas características intermitentes, tem aumentando sua participação, devido às políticas públicas de incentivos à utilização de fontes de energia consideradas limpas e à aplicação do gerador a gás natural, contribuindo com as mudanças na nossa matriz energética.

Outro aspecto importante da operação do sistema híbrido foi a possibilidade de reduzir a participação do gerador diesel. Porém foi destacado que há situações em que o funcionamento do gerador a diesel será de fundamental importância para assegurar a operação dos equipamentos de telecomunicações.

À medida que os testes foram realizados, foi possível observar diferentes formas de aplicação do sistema híbrido que, considerando a utilização de dispositivos de armazenamento, podem ser configurados para manter a energia necessária para o carregamento dos dispositivos.

Portanto, se conclui, de forma positiva, a viabilidade técnica do funcionamento do sistema híbrido de energia de maneira a assegurar o fornecimento ininterrupto de energia, incluindo a redução da participação do gerador a diesel, contribuindo com a redução dos gases formadores de efeito estufa, não levando em consideração questões relacionadas ao custo de implantação do sistema.

São questões, entretanto, que poderão nortear outras pesquisas que incluam estudos de viabilidade financeira, utilização de outras formas de energia renováveis, além da fotovoltaica, para composição do sistema híbrido e dos dispositivos de armazenamento que, certamente, deverão receber uma atenção especial futuramente.

REFERÊNCIAS

ABRACE.org

http://abrace.org.br/wp-content/uploads/2015/12/capdftrilha_gas. acesso 02/01/2019

ACUÑA, Luceny Guzmán; PADILLA, Ricardo Vasquez; MERCADO, Alcides Santander. Measuring reliability of hybrid photovoltaic-wind energy systems: A new indicator. **Renewable energy**, v. 106, p. 68-77, 2017.

ALMONDES, José Israel de et al. Energia Solar Fotovoltaica para fins de Iluminação em Trechos Ferroviários: Estudo e Aplicação. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Maranhão

AMARAL, Agnes Bess D.'Alcantara. O impacto da insuficiência no fornecimento de energia elétrica nas empresas brasileiras do setor de telecomunicações. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AMARANTE, Odilon A. et al. Atlas do potencial eólico brasileiro. In: **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Ministério de Minas e Energia Eletrobrás, 2001.

ANDRADE, Alexandre Bodart de. **Desenvolvimento de conjuntos eletrodo-membrana-eletrodo para células a combustível a membrana trocadora de prótons (PEMFC) por impressão à tela**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANEEL.com.br-Caderno-temático-micro-minigeração-distribuição-2edição:2106- acesso em 10/04/2017.

ANP.gov.br

<http://anp.gov.br> acesso 02/01/2019

BAHRAMARA, S.; MOGHADDAM, M. Parsa; HAGHIFAM, M. R. Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 609-620, 2016.

BANDEIRA, Fausto de Paula Menezes. O aproveitamento da energia solar no Brasil- Situação e perspectivas. 2012. **Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados** Centro de Documentação e Informação Coordenação de Biblioteca <http://bd.camara.gov.br>

BELUCO, Alexandre; SOUZA, Paulo Kroeff; KRENZINGER, Arno. PV hydro hybrid systems. **IEEE Latin America Transactions**, v. 6, n. 7, 2008.

BENEDETTI, Tânia Machado. **Caracterização eletroquímica de filmes nanoestruturados de óxido de manganês e de vanádio em líquidos iônicos: aplicação em baterias de lítio e supercapacitores**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BERMANN, Célio. Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciência e Cultura**, v. 60, n. 3, p. 20-29, 2008.

BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, v. 11, n. 3, 2000.

CANEPPELE, Fernando de Lima. Desenvolvimento de um modelo fuzzy para otimização da energia gerada por um sistema híbrido (solar-fotovoltaico e eólico). 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007.

CARVALHO, Francisco Ivanhoel Aguiar de. **Uma avaliação de viabilidade financeira no uso da energia solar fotovoltaica apoiada pela resolução ANEEL 482/2012 sobre geração distribuída no setor elétrico do Brasil**. 2014. Tese de Doutorado

CHAGAS, Marcos Wilson Pereira. **Novas tecnologias para avaliação de baterias**. Mestrado Profissionalizante, IEP/LACTEC, 2007.

CHAUHAN, Anurag; SAINI, R. P. A review on integrated renewable energy system based power generation for stand-alone applications: configurations, storage options, sizing methodologies and control. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 99-120, 2014.

CHIGUERU, Tiba *et. al.* Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados solarimetricos. Universitária da UFPE, 2000.

CHU, Steven; MAJUMDAR, Arun. Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature*, v. 488, n. 7411, p. 294, 2012.

CNI, 2014

<http://portaldaindustria.com.br/publicacoes/2014/07/propostas-da-industria-para-as-eleicoes-2014-sumarios-executivos> - CNI acesso 03/01/2019

COPETTI, Jacqueline Biancon; MACAGNAN, Mario Henrique. Baterias em sistemas solares fotovoltaicos. In: **I CBENS-I Congresso Brasileiro de Energia Solar**. 2007.

CRUZ, Daniel Tavares. **Micro e minigeração eólica e solar no Brasil: propostas para desenvolvimento do setor**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DAGDOUGUI, Hanane *et. al.* Modeling and optimization of a hybrid system for the energy supply of a “Green” building. *Energy Conversion and Management*, v. 64, p. 351-363, 2012.

DA SILVA, Guilherme Jonas Costa; FORTUNATO, Wanderson Luiz Lopes. Infra-estrutura e crescimento: uma avaliação do caso brasileiro no período 1985-1998. 2007.

DANTAS, José Mascena. **Sistema fotovoltaico para comunidades isoladas utilizando ultracapacitores para armazenamento de energia**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento

de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2012.

DEL AMO, Alejandro *et. al.* An innovative urban energy system constituted by a photovoltaic/thermal hybrid solar installation: Design, simulation and monitoring. **Applied Energy**, v. 186, p. 140-151, 2017.

DESHMUKH, M. K.; DESHMUKH, S. S. Modeling of hybrid renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 1, p. 235-249, 2008.

DIAF, Said *et. al.* Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica island. **Energy policy**, v. 36, n. 2, p. 743-754, 2008.

DIAS, Camila Teixeira de Carvalho et al. Energia solar no Brasil. **Revista InterScientia**, v. 5, n. 1, p. 153-165, 2017.

ERDINC, O.; UZUNOGLU, M. Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 3, p. 1412-1425, 2012.

ERSNT e YOUNG,
[https://ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_Desenvolvimento_do_gas_natural_no_Brasil/\\$FILE/Estudo_Gas_Web.pdf](https://ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_Desenvolvimento_do_gas_natural_no_Brasil/$FILE/Estudo_Gas_Web.pdf) acesso 03/01/2019

EPE.gov.br
[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/publicacoesarquivos/publicacao-227/topico-202/dea13-15-demanda-de-energia-2050.pdf/](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/publicacoesarquivos/publicacao-227/topico-202/dea13-15-demanda-de-energia-2050.pdf) acesso 28/01/2018

FADAAE, M.; RADZI, M. A. M. Multi-objective optimization of a stand-alone hybrid renewable energy system by using evolutionary algorithms: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 3364-3369, 2012.

FATHIMA, A. Hina; PALANISAMY, K. Optimization in microgrids with hybrid energy systems – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 431-446, 2015.

FERREIRA, Welinton Conte. A Energia Eólica e a Mudança Estrutural do Setor Elétrico Brasileiro. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 4, 2017.

FRAIDENRAICH, Naum. Tecnologia solar no Brasil. Os próximos 20 anos. In: **Conferência sobre Sustentabilidade na geração e uso da energia no Brasil: os próximos**. 2004.

FREITAS NETO, Décio Batista de. **Desenvolvimento e estudo eletroquímico de eletrodos híbridos do tipo nonwoven de nanotubos de carbono e MnO₂ para bateria de íons lítio e supercapacitor**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FURLAN, André Luís *et. al.* Análise comparativa de sistemas de armazenamento de energia elétrica fotovoltaica por meio de baterias e hidrogênio em localidades isoladas da região Amazônica. 2008. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

GALDINO, Marco AE *et. al.* O contexto das energias renováveis no Brasil. **Revista da DIRENG**, p. 17-25, 2000.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/pilha-combustivel.htm>
acesso 02/02/2018

<http://noticiasdotrecho.com.br/2017/01/africa-e-crucial-para-o-brasil-exercer.html> -
acesso 05/01/9 as 20horas

JEZINI, Valeska Santana *et. al.* Síntese e caracterização de Óxido de ferro e do compósito Óxido de ferro/Óxido de grafeno reduzido para aplicação em supercapacitores. 2015. Dissertação (mestrado em ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Amazonas

JUNG, Jaesung; VILLARAN, Michael. Optimal planning and design of hybrid renewable energy systems for microgrids. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 180-191, 2017.

JURADO DA SILVA, Paulo Fernando. **Nas ondas da informação: interfaces entre o pensamento geográfico e a geografia econômica para o estudo das telecomunicações no Brasil**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista - Campus de Presidente Prudente.

KELMAN, J. *et. al.* **Atlas de Energia Elétrica do Brasil/Agência Nacional de Energia Elétrica**. Technical report, Brasília: ANEEL, 2005.

KOUSSA, Djohra Saheb et al. Hybrid diesel-wind system with battery storage operating in standalone mode: Control and energy management—Experimental investigation. **Energy**, v. 130, p. 38-47, 2017.

KUMAR, Deepak. Economic assessment of photovoltaic energy production prospects in India. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 11, p. 425-436, 2015.

KHARE, Vikas; NEMA, Savita; BAREDAR, Prashant. Solar–wind hybrid renewable energy system: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 23-33, 2016.

KRISHNA, K. Shivarama; KUMAR, K. Sathish. A review on hybrid renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 907-916, 2015.

LI, Dianhong *et. al.* Exergy and energy analysis of photovoltaic-thermoelectric hybrid systems. **Energy**, v. 126, p. 343-351, 2017.

LIMA, Raquel Araújo. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. **Revista Direito Energia**, v. 5, 2014.

LUNA-RUBIO, R. *et. al.* Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies. **Solar Energy**, v. 86, n. 4, p. 1077-1088, 2012.

MAHESH, Aeidapu; SANDHU, Kanwarjit Singh. Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: Critical review and findings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1135-1147, 2015.

MEKHILEF, Saidur; SAIDUR, Rahman; SAFARI, Azadeh. A review on solar energy use in industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 1777-1790, 2011.

MOHAMMED, Y. S.; MUSTAFA, M. W.; BASHIR, Naomi. Hybrid renewable energy systems for off-grid electric power: Review of substantial issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 527-539, 2014.

MME.gov.br/documents/Resenha Energética Brasileira 2017ano ref.2016PDF
<https://www.passeidireto.com/arquivo/42226777/02---resenha-energetica-brasileira-2017---ano-ref-2016-pdf-1>

NEMA, Pragma; NEMA, R. K.; RANGNEKAR, Saroj. PV-solar/wind hybrid energy system for GSM/CDMA type mobile telephony base station. **international journal of energy and environment**, v. 1, n. 2, p. 359-366, 2010.

OGURA, Marcelo I.; JUNIOR, Paulo Guerra. Alimentação de sistemas de Telecomunicações através da energia solar. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, p. 19, 2004.
<https://docplayer.com.br/2868392-Alimentacao-de-sistemas-de-telecomunicacoes-atraves-da-energia-solar.html>

OLATOMIWA, Lanre *et. al.* Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 821-835, 2016.

OLIVEIRA, Othon Garcia; OLIVEIRA, Rafael Henrique; GOMES, Renato Oliveira. Energia solar: um passo para o crescimento. **REGRAD-Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM-ISSN 1984-7866**, v. 10, n. 01, p. 377-389, 2017.

PEREIRA, Enio Bueno *et. al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Inpe, 2006.

PAIVA, Diones Assis Sallal Fernanda de et al. Estudo energético da produção de biocombustível a partir do milho. **Ciência Rural**, v. 40, n. 9, 2010.

PERLOTTI, EDGAR ANTONIO; SANTOS, EDMILSON MOUTINHO DOS; COSTA, HIRDAN KATARINA DE MEDEIROS. Concentração espacial da indústria de São

Paulo: evidências sobre o papel da disponibilidade de gás natural. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 87, p. 143-164, 2016.

PRATES, Cláudia Pimentel Trindade et al. Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil. 2006. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 35-68, set. 2006.

RANGEL, Mariana Salles; BORGES, Pedro Baptista; DOS SANTOS, Ivan Felipe Silva. Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 3, p. 267-277, 2016.

SAMPAIO, Priscila Gonçalves Vasconcelos; GONZÁLEZ, Mario Orestes Aguirre. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 590-601, 2017.

SÁ, Nuno Rafael da Silva. **Sistema de conversão de energia solar fotovoltaica para carregamento de um veículo elétrico**. 2017. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

SEN, Rohit; BHATTACHARYYA, Subhes C. Off-grid electricity generation with renewable energy technologies in India: An application of HOMER. **Renewable Energy**, v. 62, p. 388-398, 2014.

SILVA, Marcelo J. da *et. al.* Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2012.

SILVA, Paulo Regis Ferreira da; FREITAS, Thais Fernanda Stella de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência rural, Santa Maria**. Vol. 38, n. 3 (maio/jun. 2008), p. 843-851, 2008.

SINHA, Sunanda; CHANDEL, S. S. Review of software tools for hybrid renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 192-205, 2014.

SINHA, Sunanda; CHANDEL, S. S. Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic–wind based hybrid energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 755-769, 2015.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, MAG de; CAMARGO, IM de T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE)**. Brasília. 2006. p. 60.

SHEZAN, S. K. A.; DAS, Narottam; MAHMUDUL, Hasan. Techno-economic analysis of a smart-grid hybrid renewable energy system for Brisbane of Australia. **Energy Procedia**, v. 110, p. 340-345, 2017.

SOARES, Jeferson Borghetti. **Formação do mercado de gás natural no Brasil: impacto de incentivos econômicos na substituição inter-energéticos e na cogeração em regime topping**. 2004. Tese de Doutorado., Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

SOLARCOMMIT

[http:// solarcommit.com.br/energia-solar /aceso 28/01/2018](http://solarcommit.com.br/energia-solar/aceso/28/01/2018)

SOUZA, Enio Pereira et al. Avaliação da sustentabilidade na geração híbrida solar e eólica. **Revista ESPACIOS**| Vol. 36 (Nº 15) Año 2015, 2015.

TEZER, Tuba; YAMAN, Ramazan; YAMAN, Gülşen. Evaluation of approaches used for optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 840-853, 2017.

TICIANELLI, Edson A. *et. al.* Electrocatalise das Reações de Oxidação de Hidrogênio e de Redução de Oxigênio. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 664, 2005.

TIEPOLO, G. *et. al.* Fontes renováveis de energia e a influência no planejamento energético emergente no Brasil. In: **VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético–CBPE**. 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos avançados**, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

VALENCIAGA, Fernando; PULESTON, Paul F. Supervisor control for a stand-alone hybrid generation system using wind and photovoltaic energy. **IEEE transactions on energy conversion**, v. 20, n. 2, p. 398-405, 2005.

VICHI, Flavio Maron et al. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

YANG, Hongxing; LU, Lin; ZHOU, Wei. A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system. **Solar energy**, v. 81, n. 1, p. 76-84, 2007.

YANG, Hongxing *et. al.* Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar–wind system with LPSP technology by using genetic algorithm. **Solar energy**, v. 82, n. 4, p. 354-367, 2008.

ZHOU, Wei et al. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. **Applied Energy**, v. 87, n. 2, p. 380-389, 2010.

APÊNDICE 1 – Tabela dos gráficos das figuras 51 e 55

Tabela do gráfico da figura 51

Tensão e Potência consumida na Carga					
Tempo em horas	Tensão gerada em Volts (V)				Potência da carga (W)
	Concessionária	Sistema fotovoltaico	Gerador a gás natural	Gerador a diesel	
10:00	220	0	0		120
10:10	220	0	0	0	180
10:20	0	220	0	0	150
10:30	0	220	0	0	120
10:40	0	220	0	0	180
10:50	0	0	220	0	120
11:00	0	0	220	0	150
11:10	220	0	0	0	180
11:20	220	0	0	0	150
11:30	0	0	0	220	180
11:40	0	0	0	220	120
11:50	0	220	0	0	160
12:00	0	220	0	0	180

Tabela do gráfico da figura 55

Tensão disponível das Fontes Geradoras e Potência na Carga					
Tempo em horas	Tensão gerada em Volts (V)				Potência da carga (W)
	Concessionária	Sistema fotovoltaico	Gerador a gás natural	Gerador a diesel	
6:00	220	0	0		130
7:00	220	0	0	0	150
8:00	220	0	0	0	150
9:00	220	0	0	0	180
10:00	220	220	0	0	180
11:00	220	220	0	0	180
12:00	220	220	0	0	200
13:00	220	220	0	0	200
14:00	220	220	0	0	200
15:00	220	220	0	0	200
16:00	220	220	0	0	200
17:00	220	0	220	0	200
18:00	220	0	220	0	180
19:00	220	0	0	0	180
20:00	0	0	0	220	180
21:00	0	0	0	220	160
22:00	220	0	0	0	160
23:00	220	0	0	0	150
0:00	220	0	0	0	135

Autorizo a reprodução total ou parcial desta obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo, desde que citada à fonte.

Adilson Augusto de Lima

Taubaté, Janeiro de 2019.