

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

AMAURI DE FREITAS CASSIOLATO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICO APLICADO A UM
RELIGADOR AUTOMÁTICO DE PROTEÇÃO DE REDES DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM MÉDIA TENSÃO.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2018

AMAURI DE FREITAS CASSIOLATO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICO APLICADO A UM
RELIGADOR AUTOMÁTICO DE PROTEÇÃO DE REDES DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM MÉDIA TENSÃO.**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA
2018

TERMO DE APROVAÇÃO

AMAURI DE FREITAS CASSIOLATO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICO APLICADO A UM RELIGADOR AUTOMÁTICO DE PROTEÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM MÉDIA TENSÃO

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 04 de julho de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
Orientador - UTFPR

Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo
UTFPR

Prof. Esp. Carlos Henrique Karam Salata
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, pela compreensão nos momentos de desafio ao realizar este estudo e a Deus pela força em iluminar minha mente.

Gostaria de expressar minha imensa e eterna gratidão, ao meu orientador, pela compreensão, palavras de apoio e solicitude em todos os momentos que muito precisei, tornando-se para mim uma pessoa de inegável admiração pela sua virtude, extremo conhecimento e paciência.

Também meu agradecimento a todos os demais mestres que a mim me apresentaram cada um a luz de sua sabedoria em cada momento que juntos estivemos em nossos encontros.

Gratidão aos amigos de sala, os quais muito compartilhei noites quentes e momentos gelados, mas de intensos momentos de troca de conhecimento e aos meus colegas na empresa o qual trabalho, que muito me auxiliaram e me apoiaram profissionalmente.

Por fim, meu mais sincero agradecimento à banca avaliadora pela atenção, ponderação necessária aonde se fez presente a oportunidade de crescimento a mim permitido.

RESUMO

CASSIOLATO, Amauri de Freitas; **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO APLICADO A UM RELIGADOR AUTOMÁTICO DE PROTEÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM MÉDIA TENSÃO**. 2018. 106f. Trabalho de Conclusão de Curso da Especialização em Energias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Os modernos sistemas de distribuição de energia elétrica exigem equipamentos de proteção cada vez mais confiáveis, econômicos e flexíveis. Buscando atender estas condições, este trabalho de conclusão de curso inicialmente apresenta o histórico da energia renovável, discorre sobre o sistema de distribuição utilizado pelas concessionárias de energia, focando-se no equipamento de proteção do tipo religador automático, seu controle eletrônico e os equipamentos de distribuição que o provêm de eletricidade, bem como apresenta o sistema fotovoltaico isolado de geração de energia com seus principais componentes. Sequencialmente, este estudo realiza o projeto da aplicação do sistema fotovoltaico de geração de energia para a alimentação elétrica do comando eletrônico de um religador automático de proteção utilizado em redes de distribuição de energia em média tensão (13,8kV) da Companhia Paranaense de Energia - Copel, apresentando assim o objetivo de verificar a viabilidade técnica como alternativa ao usual emprego de um transformador de distribuição com rede de energia em baixa tensão (220/127V). Após verificam-se os custos dos materiais, fazendo uma breve comparação econômica entre os dois sistemas apresentados, sendo demonstrado como o de menor custo na implantação o do sistema fotovoltaico. Por fim, de acordo com as informações obtidas, é apresentado o resultado do trabalho, onde foi concluída a existência da viabilidade técnica e a vantagem econômica na implantação do sistema fotovoltaico em relação ao sistema convencional pela rede de distribuição de energia, sendo então apresentada na sequência sugestões a serem exploradas em novas pesquisas.

Palavras-chave: Viabilidade técnica. Religador automático de proteção. Posto de transformação de distribuição. Sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

CASSIOLATO, Amauri de Freitas; **TECHNICAL FEASIBILITY STUDY OF A PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEM APPLIED TO AN AUTOMATIC RELIGATOR OF PROTECTION OF POWER DISTRIBUTION NETWORKS IN AVERAGE VOLTAGE**. 2018. 106f. Monograph of Specialization in Renewable Energy – Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2018.

Modern power distribution systems require increasingly reliable, cost-effective and flexible protection equipment. Seeking to meet these conditions, this course completion paper initially presents the history of renewable energy, discusses the distribution system adopted by energy utilities, focusing on protection device called automatic recloser, its electronic control and distribution that provides supply, as well as presents the photovoltaic system isolated from power generation with its main components. Sequentially, this study performs the project of the application of the photovoltaic system of power generation for the electric power of the electronic control of an automatic recloser of protection used in distribution networks in medium voltage (13,8kV) of Companhia Paranaense de Energia - Copel, to verify the technical viability as an alternative to the usual use of a distribution transformer with low voltage power network (220 / 127V). After the costs of the materials were verified, a brief economic comparison was made between the two presented systems, being demonstrated as the least cost of the photovoltaic system. Finally, according to the information obtained, the result of the work is presented, where it was concluded the existence of the technical feasibility and the economic advantage in the implantation of the photovoltaic system in relation to the conventional system by the energy distribution network suggestions to be explored in new research.

Keywords: Technical feasibility. Automatic protection relay. Distribution transformation post. Photovoltaic system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Transversalidade da Energia.	27
Figura 2 - Religador automático de distribuição de trecho em poste.....	31
Figura 3 - Religador Automático com Controle Eletrônico.....	37
Figura 4 - Rede secundária convencional de baixa tensão.	40
Figura 5 - Posto de transformação de distribuição.	41
Figura 6 - Componentes da radiação solar.	43
Figura 7 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico.	44
Figura 8 - Síntese dos níveis de irradiação solar no Brasil.....	45
Figura 9 - Composição do Painel Solar.	47
Figura 10 - Modelo de uma célula de um painel fotovoltaico.....	47
Figura 11 - Sistema fotovoltaico isolado.....	49
Figura 12 - Controlador de carga em um sistema fotovoltaico isolado.	52
Figura 13 - Disposição de um inversor solar.	54
Figura 14 – Irradiação no estado do Paraná.	62
Figura 15 - Localização geográfica do estado do Paraná.	64
Figura 16 - Painel fotovoltaico com módulo de silício policristalino.	65
Figura 17 - Bateria estacionária marca Heliar, modelo Freedom DF2500.	69
Figura 18 - Cabo para Aplicação em Sistemas Fotovoltaicos.	71
Figura 19 - Cabo flexível em EPR para aplicação geral.	72
Figura 20 - Conectores para aplicação fotovoltaica tipo MC4.....	73
Figura 21 - Controlador de carga marca Xantrex, modelo C40.	75
Figura 22 - Inversor de tensão, marca MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.	76
Figura 23 - Esquema elétrico do sistema fotovoltaico.	77
Figura 24 - Posto de transformação de 45kVA trifásico, classe 15kV, padrão Copel.....	80
Figura 25 - Relação de materiais do posto de transformação de 45kVA trifásico com um vão de rede secundária de baixa tensão (220/127V), padrão Copel.	81

Figura 26 - Orçamentação do posto de transformação de 45kVA trifásico e um vão de rede secundária de baixa tensão (220/127V), padrão Copel.....	82
Figura 27 – Pesquisa de preço do módulo fotovoltaico Canadian CSI CS6K – 270P (270Wp).	84
Figura 28 – Pesquisa de preço da bateria Estacionária, marca Freedom, modelo DF2500.....	85
Figura 29 – Pesquisa de preço do Inversor marca MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.....	86
Figura 30 – Pesquisa de preço para o controlador de carga, marca Xantrex, modelo C40.	87
Figura 31 – Pesquisa de preço para o cabo solar 4mm ² , classe 1kV.....	88
Figura 32 - Pesquisa de preço do cabo flexível 10mm ² tipo convencional, classe 1kV.....	89
Figura 33 - Pesquisa de preço do cabo flexível 2,5mm ² , tipo convencional, classe 1kV.....	90
Figura 34 – Pesquisa de preço dos Conectores tipo MC4.	91

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Religador automático de distribuição em poste.....	32
Fotografia 2 - Imagem termográfica de conexões de chave com aquecimento excessivo.	33
Fotografia 3 - Isolador danificado.	34
Fotografia 4 - Árvore caída sobre a rede de energia.	34
Fotografia 5 - Colisão de carro em poste.	34
Fotografia 6 - Controle Eletrônico para Religador Automático	38
Fotografia 7 - Transformador trifásico de distribuição.	38
Fotografia 8 - Rede secundária isolada de baixa tensão.....	41
Fotografia 9 - Montagem dos equipamentos para testes em laboratório..	55
Fotografia 10 - Controle eletrônico e religador automático Arteche.....	56
Fotografia 11 - Conexões elétricas entre o controle eletrônico e o religador Arteche.	56
Fotografia 12 - Medição de grandeza elétrica em ampéres do controle...	57
Fotografia 13 - Pinça de corrente de precisão conectada a alimentação elétrica de potência do controle eletrônico.	59
Fotografia 14 - Medição de grandeza elétrica em ampéres do controle eletrônico do religador.	60
Fotografia 15 - Religador Automático instalado no Al. Passaúna, localizado no município de Curitiba - Pr.	78
Fotografia 16 - Posto de Transformação e Rede de Baixa Tensão instalados no Al. Passaúna, localizado em Curitiba-Pr.	79
Fotografia 17 - Cruzetas de madeira salvas de obras.	92
Fotografia 18 - Postes de madeira salvados de obras.	92
Fotografia 19 - Perfis de aço galvanizados salvados de obras.	93
Fotografia 20 - Caixas metálicas salvas de painéis de proteção.	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Espectro da radiação solar incluindo um detalhamento da faixa visível humana.....	42
Gráfico 2 - Potência das cargas consumidas individualmente e total.....	61
Gráfico 3 - Irradiação solar anual no plano inclinado na latitude no município de Guaratuba – Paraná.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística para os tipos de faltas e suas Composições.....	36
Tabela 2 - Classificação de sistemas fotovoltaicos isolados	50
Tabela 3 - Energia total consumida com o controle eletrônico em regime de funcionamento.....	57
Tabela 4 - Controle eletrônico em regime de funcionamento, lâmpada interna e resistência desligadas.	58
Tabela 5 - Controle eletrônico, lâmpada interna e resistência elétrica em regime de funcionamento, com o religador automático atuando durante 10min/dia.....	59
Tabela 6 - Controle eletrônico aguardando acionamento em período de 24 horas, lâmpada e resistência atuando 02 horas/dia e acionamento dos contatos de média tensão do religador automático por 10 minutos diários.	61
Tabela 7 - Tomada de preços dos módulos fotovoltaicos da marca Canadian.....	83
Tabela 8 - Tomada de preços da bateria estacionária marca Heliar.	84
Tabela 9 - Tomada de preços do inversor MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.	85
Tabela 10 - Tomada de preços do controlador de carga marca Xantrex, modelo C40.	86
Tabela 11 - Tomada de preços do cabo solar de bitola 4mm ²	87
Tabela 12 - Tomada de preços do cabo convencional de bitola 10mm ²	88
Tabela 13 - Tomada de preços do cabo solar de bitola 2,5mm ²	89
Tabela 14 - Tomada de preços do conector tipo MC4.....	91

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BM	Banco Mundial
BT	Baixa Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DEC	Duração Equivalente por Consumidor
FEC	Frequência Equivalente por Consumidor
FMI	Fundo Monetário Internacional
UICN	União Internacional para Conservação da Natureza
MT	Média Tensão
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NTC	Norma Técnica Copel
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento
Econômico	
ONU	Organizações das Nações Unidas
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
RA	Religador Automático
SEED-PR	Secretária da Educação do Estado do Paraná
TMAE	Tempo Médio de Atendimento a Emergências
UTFPR	Universidade Tecnológica do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	TEMA	16
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	19
1.3	OBJETIVOS.....	20
1.3.1	Objetivo Geral	20
1.3.2	Objetivos específicos.....	21
1.4	JUSTIFICATIVA.....	22
1.5	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	22
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	BREVE HISTÓRICO E JUSTIFICATIVAS QUANTO AO EMPREGO DAS FONTES RENOVÁVEIS.....	25
2.2	SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	29
2.2.1	Religadores automáticos de distribuição	30
2.2.2	Transformadores de distribuição	38
2.2.3	Rede secundária de baixa tensão	40
2.2.4	Postos de transformação de distribuição	41
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA.....	42
2.3.1	Sistemas fotovoltaicos isolados de geração de energia	49
3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO	55
3.1	DIMENSIONAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA DO CONJUNTO DO CONTROLE ELETRÔNICO	55
3.2	DETERMINAÇÃO DA IRRADIAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	62
3.3	DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA DO PAINEL FOTOVOLTAICO	64

3.4 DETERMINAÇÃO DA ÁREA A SER OCUPADA PELO PAINEL FOTOVOLTAICO	66
3.5 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS A SER EMPREGADO.....	66
3.6 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES	69
3.6.1 Dimensionamento dos condutores para o emprego de corrente contínua (CC) entre os painéis fotovoltaicos e o controlador de carga	70
3.6.2 Dimensionamento dos condutores para emprego de corrente contínua (CC) entre as baterias e o controlador de carga e entre o controlador de carga e o inversor de tensão.....	71
3.6.3 Dimensionamento dos condutores para emprego de corrente alternada (CA) entre o inversor de tensão e a entrada de alimentação de tensão do conjunto do controlador eletrônico.....	72
3.7 DETERMINAÇÃO DO CONTROLADOR DE CARGA	73
3.8 DETERMINAÇÃO DO INVERSOR DE TENSÃO	75
3.9 ESQUEMA ELÉTRICO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA.....	77
4 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE CUSTOS DOS SISTEMAS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA AO CONJUNTO DO CONTROLE ELETRÔNICO	78
4.1 CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO COM UM VÃO DE REDE DE BAIXA TENSÃO	79
4.2 CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO	83
4.2.1 Tomada de preços unitários dos Módulos dos Painéis Fotovoltaicos da Marca Canadian, modelo CSI CSK – 270P (270Wp).....	83
4.2.2 Tomada de preços da Bateria estacionária Heliar Freedom DF2500.....	84
4.2.3 Tomada de preços do inversor da marca MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.....	85
4.2.4 Tomada de preços do controlador de carga da marca Xantrex, modelo C40.	86
4.2.5 Tomada de preços (em metros) dos cabos solar e convencionais.....	87
4.2.6 Tomada de preços dos conectores do tipo MC4.....	90

4.2.7	Estruturas de sustentação e proteção dos equipamentos fotovoltaicos.	91
4.2.8	Custo total orçado do sistema fotovoltaico.	94
4.3	Avaliação dos custos totais do dois sistemas empregados e cotados.....	94
5	CONCLUSÃO.....	95
	REFERÊNCIAS.....	97

1 INTRODUÇÃO

Constam neste capítulo o tema, o problema e as premissas, os objetivos, as justificativas, o procedimento metodológico e a estrutura do trabalho do objeto de estudo.

1.1 TEMA

Foi escolhido como objeto de estudo a verificação da viabilidade técnica do emprego de um sistema fotovoltaico de geração de energia para a alimentação elétrica do conjunto de um comando eletrônico de operação de um religador automático de proteção, utilizado em redes de distribuição de energia em média tensão (13,8kV) e que não possui transformador de potencial interno no lugar do habitual emprego de um transformador de distribuição e rede de baixa tensão.

Apesar de abundante em nosso planeta, a energia solar para produção de energia elétrica ainda é pouco utilizada quando comparada a outras fontes, como exemplo, hidráulicas e térmicas a petróleo e carvão.

De acordo com o Portal Solar (2016), empresa que comercializa materiais e instalação de sistemas fotovoltaicos, o termo "fotovoltaico" deriva de duas palavras: foto (do grego phos = photo = foto = luz) e volta (de Alessandro Volta, físico italiano, inventor da pilha) que originou o termo volt, que significa unidade de medida de tensão elétrica. Portanto, a expressão fotovoltaica indica a produção de energia elétrica pela incidência dos raios solares (luz solar). Este termo tem sido usado em inglês desde 1849 (PORTAL SOLAR, 2016).

A energia solar fotovoltaica trata-se da transformação direta da luz (fundamentalmente á do sol) em eletricidade, criando assim o chamado efeito fotovoltaico, sendo um dispositivo composto de material semicondutor, também conhecido como célula fotovoltaica, o material responsável por tal conversão (PINHO e GALDINO *et al.*, 2014).

Ao longo da evolução tecnológica se percebe que os diversos estágios do conhecimento científico permitiram que diferentes fontes energéticas fossem desenvolvidas a todo o tempo, igualmente existindo a busca contínua por sistemas mais eficientes, de menores custos, seguros, e sempre que possível, adaptáveis as mais diversas aplicações.

Possuindo abundantes e disponíveis recursos de fontes renováveis para geração de energia, o Brasil desponta como um dos países do mundo mais viáveis a utilização provinda desta forma de matriz energética. De acordo com Tiepolo *et al.* (2014), a geração fotovoltaica vem ser uma delas, em razão da abundante irradiação solar que incide sobre o país, beneficiado principalmente por sua extensão e posição geográfica favorável.

Confirma Tolmasquim (2016), que no caso da energia solar, o Brasil é favorecido por uma abundante incidência da irradiação solar, em decorrência de sua posição geográfica ser mais favorável aos raios solares, justamente por virem a incidir de forma mais vertical sobre grande extensão territorial do país.

A quantidade de energia gerada, deve ser fundamental para o estudo de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico, assim como basicamente é em todo sistema de geração de energia.

Como exemplo a ser citado, está a Alemanha, sendo este um país que notadamente investe muito em geração de energia fotovoltaica, mesmo possuindo em seu território menor incidência solar que o Brasil, de acordo com a média entre os valores mínimo e máximo encontrados. A produtividade média encontrada por exemplo, no estado do Paraná (local deste estudo), é aproximadamente 43% superior ao da Alemanha, conforme apresentado no Atlas Solar do Estado do Paraná (Tiepolo *et al.*, 2017), servindo assim como inspiração para o maior desenvolvimento e aplicação desta tecnologia no país.

Da mesma forma, com a existência de políticas públicas de expansão dos sistemas de distribuição de energia, especialmente para o campo, é natural o avanço de maneira capilar dos mesmos para os mais diversos lugares e rincões, havendo como consequência um forte desafio quanto à manutenção da continuidade destes sistemas, conforme estabelece os requisitos gerais dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST (ANEEL, 2016), exigindo que sejam criados sistemas mais robustos, de maior confiabilidade e segurança, porém não menos econômicos.

A Agência Nacional de Eletricidade – ANEEL, impõe rigorosos indicadores de continuidade do fornecimento de energia às companhias distribuidoras, visando especialmente em situações de contingência, reduzir ao menor número de vezes e a menor quantidade possível, a duração da falta de energia aos consumidores em geral. A avaliação da qualidade do fornecimento através destes indicadores é realizada de maneira vinculada aos conjuntos de distribuição de energia das unidades consumidoras, sendo estes basicamente os de Duração Equivalente por Consumidor (DEC), o qual verifica o tempo de interrupção ocorrido em minutos e o de Frequência Equivalente por Consumidor – FEC, que verifica o número de vezes de interrupções. Mensalmente esses indicadores são apurados pelas distribuidoras.

As definições aplicáveis dos conjuntos de unidades consumidoras, indicadores, ocorrências emergenciais e demais termos aplicáveis se encontram delineados no Módulo 1 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST.

Segundo Gastaldello *et al.* (2011), para que a confiabilidade no sistema de distribuição de energia seja garantida, deve-se existir um método eficiente para a localização de uma falta.

Desta forma, um dos muitos equipamentos utilizados nas redes de distribuição de energia das concessionárias distribuidoras, são os religadores automáticos de proteção em média tensão, que normalmente são instalados em postes, e que possuem como principal função, como o próprio nome diz, se auto operar, desligando e religando trechos das redes, assim protegendo e restaurando a continuidade do fornecimento de energia a jusante do equipamento quando das ocorrências de faltas de natureza transitória, ou mesmo vindo a interromper de maneira permanente, mediante a ocorrência de falta contínua. Este equipamento também tem a função de interromper o fornecimento de energia em situações de desligamentos programados para melhorias da rede de distribuição, ou por atuação voluntária quando da necessidade de correção de defeitos que ocasionam a baixa confiabilidade da continuidade do fornecimento de eletricidade aos consumidores atendidos pelo trecho protegido por este equipamento.

A aplicação de um religador automático de proteção em rede de distribuição, sem transformador de potencial interno, necessita que seu comando possua uma alimentação externa em baixa tensão (220/127V), o que exige a

existência em um ponto próximo na rede de um transformador de distribuição de energia, bem como, de uma rede de baixa tensão normalmente aérea, também em postes, muitas vezes assim aumentando o valor do seu custo de implantação devido a necessidade de se agregar adicionalmente estes equipamentos, principalmente e em especial no caso de redes rurais de distribuição, o que muitas vezes vem a se impor desafios logísticos e de montagem das estruturas nestes locais.

Dessa forma, o intuito deste estudo, é o de avaliar como alternativa, a viabilidade do emprego de um sistema fotovoltaico, visando assim a possibilidade de chegar a definição de melhores resultados técnicos, menores custos, assim como de redução do excessivo emprego de equipamentos adicionais de grande porte nas redes de distribuição de energia, conseqüentemente aprimorando, facilitando e agilizando a montagem e manutenção dos sistemas de energia utilizados para alimentar eletricamente o conjunto do controle eletrônico e acessórios elétricos de um religador automático de distribuição, especialmente quando empregados em locais distantes e de difícil acesso.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2023 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014), o Brasil, no período compreendido entre 2019 a 2023, deverá novamente possuir o crescimento da economia a uma taxa média de 4,3% a.a. Para que o país possa vir a atender a sua demanda por energia elétrica, tornando-se economicamente mais competitivo, é natural que ocorra a busca por redução de custos, aliado igualmente a maior qualidade e confiabilidade no fornecimento, sendo então fundamental o emprego de novas tecnologias, inclusive fotovoltaica, para que assim possa vir a ser garantido a maior disponibilidade do sistema. A viabilidade técnica e econômica é a premissa a ser considerada neste estudo, em razão dos seguintes desafios identificados:

- aprimorar a geração de energia pelos sistemas fotovoltaicos;
- maior agilidade na implantação dos equipamentos em campo;

- prover maior disponibilidade operacional aos religadores automáticos de distribuição;
- redução dos custos com equipamentos.

O maior desafio para a indústria do segmento fotovoltaico e para a ampla disseminação mercadológica dos sistemas deste tipo de geração de energia renovável ainda é o elevado custo das células. Entretanto, a tecnologia fotovoltaica continuamente está evoluindo, vindo a se tornar mais competitiva, com custos decrescentes, levando vantagem em relação aos custos cada vez maiores das demais formas de geração de energia, inclusive em razão de fatores antes subestimados ou mesmo ignorados, como os de impacto e conservação ambiental (PINHO e GALDINO *et al.*, 2014).

1.3 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e objetivos específicos desse estudo.

1.3.1 Objetivo Geral

Verificar a viabilidade técnica da aplicação de um sistema de geração de energia fotovoltaica para alimentação elétrica do comando eletrônico de um religador automático de proteção, que não possui transformador de potencial interno e que tem o seu emprego em redes de distribuição de energia em média tensão (13,8kV) em substituição ao usual emprego de transformador de distribuição e rede de baixa tensão.

1.3.2 Objetivos específicos

Para alcançar a proposta do objetivo geral, os objetivos específicos planejados são:

- a) realizar uma pesquisa bibliográfica sobre a viabilidade das energias renováveis, buscando se deter com maior atenção a matriz por geração fotovoltaica;
- b) efetuar uma pesquisa bibliográfica exploratória e ensaios em laboratório referente às características de um religador automático de proteção de redes de distribuição de eletricidade com comando eletrônico, da mesma forma as características de fornecimento de energia elétrica em baixa tensão por posto de transformação de distribuição (13,8kV/220-127V), assim como de um sistema de geração de energia fotovoltaica;
- c) efetuar o projeto técnico de implantação do sistema fotovoltaico proposto para atendimento ao comando do religador automático de proteção em média tensão;
- d) comparar os custos dos equipamentos, utilizando o exemplo de um caso real de fornecimento de energia elétrica para o conjunto do comando eletrônico de um religador automático de proteção em média tensão atendido através de um posto de transformação de distribuição e rede de baixa tensão (220/127V) e o sistema fotovoltaico projetado;
- e) elaborar a conclusão conforme resultados, avaliando a viabilidade de implantação e propondo novos e mais aprofundados estudos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Considerando a recente crise energética e os incentivos governamentais para a diversificação da matriz energética brasileira a partir de fontes menos poluentes, surge um grande destaque para as fontes eólicas e solares (ORTIZ, 2014).

Reforça Tiepolo *et al.* (2014), que de acordo com a preocupação cada vez mais relevante em se buscar o desenvolvimento sustentável, realizar um planejamento energético de maneira eficiente torna-se muito importante para que a continuidade do abastecimento de energia seja assegurada de maneira eficaz, continuamente seguro, com custos menores e também com reduzidos impactos ambientais e socioeconômicos.

Complementa Tolmasquim (2016), que o Brasil para fazer frente ao crescimento do país, de maneira segura, racionalmente econômica e respeitando as leis ambientais, deve aproveitar o grande potencial energético disponível, sobre a qual se destaca as fontes renováveis de energia (hidráulica, eólica, biomassa e solar).

1.5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Produzir conhecimento novo, de relevância teórica e/ou social é pesquisar. A atividade científica possui caráter social e o conteúdo produzido pelo pesquisador deve passar pela avaliação de seus pares, devendo estes confirmar ou não a respostas oferecidas, baseados na qualidade do conteúdo apresentado (LUNA, 1997).

Pesquisar como definido também por Gray apud Sekaran (2012) é “um esforço sistemático e organizado para investigar um problema específico que precisa de solução”.

Baseado nas definições de Luna (1997) e Gray (2012), a natureza deste trabalho é exploratória e será aplicada com o propósito prático de mensurar os resultados “para o aprimoramento de idéias ou a descoberta de intuições”, como definido por Gil (2002).

De acordo com Gil (2002), sendo esta pesquisa realizada através de material já elaborado (normas, artigos científicos, livros e teses), a mesma possui caráter bibliográfico, buscando justificar o propósito do estudo de viabilidade econômica no emprego de um sistema fotovoltaico de geração de energia na alimentação do comando eletrônico de um religador de proteção automático para redes de distribuição de energia em média tensão.

A partir dessas informações será realizado sequencialmente o estudo da viabilidade técnica para a proposta de emprego de um sistema fotovoltaico, estando os dados dos equipamentos e demais materiais empregados dimensionados de acordo as informações fornecidas pelos fabricantes através da internet.

No capítulo 2 destina-se a introdução teórica, abordando-se as fontes de energia renováveis e a apresentação dos sistemas de distribuição de energia e seus equipamentos e da mesma forma os sistemas fotovoltaicos.

Os dados elétricos coletados em laboratório durante a medição da alimentação de energia do conjunto do controle eletrônico conectado ao religador automático de proteção da rede de distribuição, o levantamento das condições solarimétricas da região a ser aplicada o sistema de energia fotovoltaico proposto, o dimensionamento e principais características técnicas dos equipamentos e componentes fotovoltaicos a serem empregados constam no capítulo 3. O capítulo 4, realiza uma breve comparação dos custos financeiros dos equipamentos e componentes dos sistemas de fornecimento de energia elétrica apresentados neste estudo para o atendimento ao conjunto do controle eletrônico conectado ao religador automático de proteção da rede de distribuição, desta forma podendo ser verificado qual a melhor viabilidade econômica entre os mesmos. Os dados do conjunto do posto de transformação de energia e rede de distribuição em baixa tensão (220/127V) empregados no Capítulo 4 são os normatizados e disponibilizados através da internet pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho contém cinco capítulos, sendo eles:

O Capítulo 1, o qual é composto pela introdução, assim como a apresentação da proposta, delimitação do tema, os objetivos, a justificativa e os procedimentos metodológicos definidos para o desenvolvimento do estudo.

O Capítulo 2 destina-se a apresentação da introdução teórica, discorrendo-se sobre o desenvolvimento e as justificativas do emprego das fontes de energias renováveis, com especial atenção ao Brasil. Será abordada igualmente as características do equipamento religador automático de proteção de redes de distribuição empregado neste estudo, bem como dos principais equipamentos dos sistemas de alimentação elétrica do seu conjunto do comando eletrônico de operação pela rede de baixa tensão de distribuição da concessionária através do posto de transformação de distribuição em média tensão, assim como o proposto por geração fotovoltaica.

No Capítulo 3 estará o desenvolvimento do projeto técnico de dimensionamento do sistema fotovoltaico de geração de energia aplicado a alimentação elétrica do comando do religador automático de proteção de distribuição em média tensão.

O Capítulo 4 destina-se a comparação financeira do custo dos equipamentos e materiais empregados em um posto de transformação existente na Companhia Paranaense de Energia - COPEL e o sistema fotovoltaico projetado neste estudo, verificando-se assim a viabilidade econômica, sem que seja considerado os custos de mão-de-obra.

O Capítulo 5 é destinado às considerações finais do estudo realizado, assim como, de novas sugestões a serem exploradas em novas pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir é apresentada a revisão bibliográfica, a qual busca identificar e analisar os trabalhos relacionados ao tema proposto, buscando identificar abordagens para a aplicação no desenvolvimento deste estudo. Ressalta-se que a busca pelo estado da arte deste estudo encontrou vários artigos relacionados de maneira isolada as fontes renováveis de energia, aos sistemas de geração de energia fotovoltaica, aos equipamentos religadores automáticos de redes de distribuição de energia, bem como aos sistemas de distribuição de energia em baixa tensão que são empregados pelas redes das concessionárias distribuidoras, sendo estes então os objetos de abordagem.

2.1 BREVE HISTÓRICO E JUSTIFICATIVAS QUANTO AO EMPREGO DAS FONTES RENOVÁVEIS.

De acordo com Kalogirou (2016), praticamente todas as formas de energia conhecidas em nosso planeta tem origem a partir do Sol. Através do processo de fotossíntese pela vegetação e mesmo as forças das marés e dos ventos, em decorrência das alterações de temperatura do planeta, possuem origem solar.

As transformações ocorridas perante o desenvolvimento da humanidade a nível global após a metade do século XX tem como um de suas responsáveis o meio ambiente, e suas crescentes dúvidas quanto à necessidade de sustentabilidade. Esta interação entre a sociedade e o meio ambiente trata-se de um longo processo, e a avaliação desta relação e repensar contínuo da mesma vem a gerar o conceito de desenvolvimento sustentável. Existem as mais diversas abordagens que buscam continuamente explicar esta interação, sendo este um conceito evolutivo perante a humanidade. O conceito de desenvolvimento sustentável foi debatido inicialmente na União Internacional para Conservação da Natureza - UICN, tendo sido publicado no documento cujo nome traduzido é Estratégia de Conservação do Mundo. Este documento considerou as esferas sociais e ecológicas envolvidas, bem como os fatores econômicos de maneira ampla, tanto dos bens vivos, como dos não vivos,

avaliando as vantagens em processos alternativos considerados em períodos de curto e longo prazo. Na sequência, quando do então Relatório Brundtland, divulgou-se o conceito de desenvolvimento sustentável, tendo assim formalmente sido definido, buscando econômica, social e ambientalmente gerar o equilíbrio necessário entre estas dimensões (VAN BELLEN, 2006).

Sendo a energia elétrica fundamental ao desenvolvimento sócio econômico, desta forma está o setor energético diretamente associado ao desenvolvimento de maneira sustentável. Tendo os sistemas de energia como fontes primárias de insumo, os recursos naturais, estes mesmos sistemas acabam vindo a provocar consideráveis impactos ao meio ambiente, conforme a característica de intensidade que possui esta exploração. Ressalta-se então a importância em relação ao setor de energia de poder aplicar práticas sustentáveis, podendo assim vir a garantir às gerações futuras uma boa qualidade de vida, da mesma forma que para a atual, também é fundamental para a prevenção e combate às desigualdades econômicas e sociais (PEREIRA *et al.*, 2013).

Desigualdades econômicas e sociais são um grande desafio a humanidade, em razão do avanço populacional de maneira rápida, onde a taxa de crescimento tem sido de 1,4% ano, possuindo já o planeta mais de 7 bilhões de habitantes (ROSA, 2015).

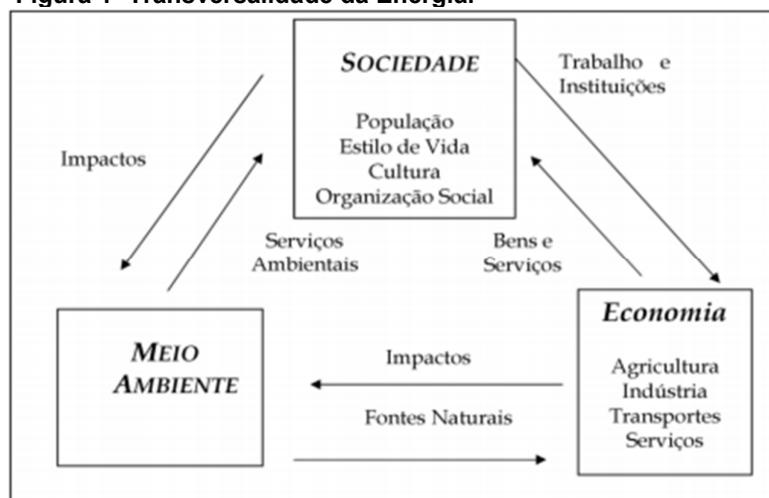
Pormenoriza Pereira *et al.* (2013), que no conceito de desenvolvimento sustentável, é extremamente importante pensar-se também em planejamento do setor energético, buscando-se assim garantir através de menores custos, o fornecimento de energia aos consumidores sem que se menospreze a busca contínua por maior confiabilidade, evitando-se aumentar o risco de desabastecimento e prezando-se perante a sociedade, melhores condições socioambientais. O planejamento do setor energético também permite a formulação de melhores políticas públicas, sendo para tal fim um importante apoio através da área de energia.

“Por energia limpa se entende uma forma de energia que para sua produção não leve a emissão de gases ou outros resíduos nocivos, ou que contribuam para o chamado efeito estufa”, como explica Pomilio (2017), complementando que as energias renováveis são aquelas que são absorvidas do sol e produzidas de maneira contínua na natureza, sendo que para a humanidade em princípio são infinitas em sua duração, podendo também se entender como energia renovável, além da oriunda

diretamente do sol (fotovoltaica), as originárias do movimento das águas em geral (hidráulica, marés), do vento (eólica) e dos rejeitos de matéria orgânica (biomassa).

Discorre Pereira *et al.*, (2013), que para o progresso sócio econômico do mundo contemporâneo a energia é um fundamental insumo. Porém, isoladamente é algo que não tem função em si própria. Conforme demonstrado na Figura 1, sendo o sistema de energia transversal, nas diversas esferas sociais, ambientais e econômicas, o setor energético demonstra assim toda a sua complexidade.

Figura 1 -Transversalidade da Energia.



Fonte: Pereira *et al.* (2013).

A geração de energia, seja qual for a sua fonte, possui como característica de custo a capacidade instalada de seu parque gerador e receita quanto a capacidade gerada desta energia por este mesmo parque gerador (ROSA, 2015).

Ainda de acordo com Pereira *et al.* (2013), tem sido recomendada a substituição das fontes de energia originárias de hidrocarbonetos (fósseis) por novas políticas energéticas de fontes mais sustentáveis. Tais instituições, entre outras, que promovem tal recomendação e que são internacionalmente reconhecidas estão à Organização das Nações Unidas (ONU), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Banco Mundial, o Fundo Monetário Internacional (FMI) e a Agência Internacional de Energia (AIE). Os países da OCDE, como exemplo específico, estão buscando diversificar e elevar o percentual das fontes

de energia renováveis em suas matrizes e promovendo estratégicas alterações em suas cadeias de produção, visando racionalizar as formas como utilizam energia.

Complementa Pomilio (2017), que a forma de energia que pode vir a substituir outra, entende-se como energia alternativa, em geral empregada perante a fontes as quais a produção de energia não tem garantia permanente ou que estejam escasseando-se.

Formas de energias renováveis ainda são muito caras para competir com combustíveis fósseis, avalia Rosa (2015), tornando desafiador a busca por novas tecnologias através de intensas pesquisas.

Apesar de não serem ainda perfeitas ou livres de intervenções governamentais, como recente exemplo ocorrido em 2013, através da lei 12.783, o avanço dos investimentos não foi totalmente paralisado, especialmente na área de energias renováveis e só se faz crescer.

De acordo com Pereira *et al.* (2013), uma política energética bem planejada e eficiente deve constar de três estratégicos objetivos claramente delineados:

- Segurança do suprimento;
- Competitividade da oferta;
- Sustentabilidade ambiental.

Reforça Kalogirou (2016), que as vantagens da utilização de sistemas de energia renovável podem ser delimitadas em três partes: economia energética, criação de novos empregos e redução da poluição no meio ambiente.

As fontes de energia renováveis abrem novas possibilidades para um novo modelo econômico de produção, sendo de menor impacto ao meio ambiente e uma nova fronteira de desenvolvimento para o país. Tornou-se evidente que fontes como a solar, eólica e biomassa passaram a ser destaque na busca pela substituição dos combustíveis de origem fóssil. Da mesma forma, investir em fontes renováveis de energia, como fotovoltaica e eólica, está permitindo a constante evolução tecnológica destas fontes, buscando-se reduzir gradativamente os custos de implantação, tornando-se assim destaque perante a sociedade (PEREIRA *et al.*, 2013).

A geração de energia, seja ela renovável ou não, para chegada ao consumidor final em média ou baixa tensão necessita do emprego dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

2.2 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A potência elétrica recebida dos sistemas de transmissão e destinada aos consumidores finais através do rebaixamento da mesma em tensões inferiores pode ser definida como o sistema de distribuição de energia elétrica.

O setor de distribuição elétrico brasileiro possui um conjunto de regras intitulado Procedimentos de Distribuição - PRODIST (ANEEL, Resolução Normativa nº 395, de 15 de dezembro de 2009), que são as quais regulam este setor especificamente. Os Procedimentos de Distribuição – PRODIST são formados por nove módulos, as quais as atividades técnicas do setor de distribuição elétrica são normatizadas e padronizadas em sua aplicação, tanto quanto ao funcionamento, quanto ao desempenho realizado, estabelecendo critérios e aferindo através de indicadores a qualidade da energia distribuída. O módulo 8 do Procedimentos de Distribuição – PRODIST, estabelece os parâmetros, caracteriza os fenômenos e parametriza os valores de referência para a conformidade das tensões em regime permanente e às distorções na forma de onda de tensão, permitindo assim que a Agência Nacional de Energia - ANEEL fixe os padrões para os indicadores de qualidade da energia elétrica. Desta forma são considerados por este órgão regulador os seguintes aspectos quanto à qualidade da energia elétrica distribuída em regime permanente, ou mesmo de maneira transitória:

- a) tensão em regime permanente;
- b) fator de potência;
- c) harmônicos;
- d) desequilíbrio de tensão;
- e) flutuação de tensão;
- f) variações de tensão de curta duração;

g) variação de frequência.

Dentre os componentes que fazem parte de um sistema de distribuição de energia elétrica, estão os equipamentos de proteção (disjuntores, religadores automáticos, relés e chaves de proteção), os transformadores de distribuição em média tensão, que são os responsáveis por rebaixar a tensão para os níveis considerados de baixa tensão (BT), as redes de média tensão, classe 15 e 34,5kV e as de baixa tensão, também chamadas de secundárias (380/220/127V), sendo esta classe de tensão a mais utilizada quanto ao espectro da quantidade de consumidores (Busatto, 2015).

2.2.1 Religadores automáticos de distribuição

A Companhia Paranaense de Energia – Copel (2013), define em seu manual de instrução técnica de Operação de Equipamentos Especiais na Rede de Distribuição (2013), que um religador automático (RA) de distribuição, conforme demonstrado na Figura 2, é um “equipamento instalado na rede de distribuição destinado a proteger o trecho de rede a jusante, com capacidade de restabelecer a continuidade de fornecimento sem o recurso do operador, quando os defeitos são de natureza momentânea”.

8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (ANEEL, 2009), beneficia-se também a concessionária distribuidora de energia, da melhoria de sua imagem perante ao público consumidor, de ganhos de produtividade, diminuição de perdas, redução no dispêndio para localização do defeito e restabelecimento do fornecimento de energia, otimizando sua mão de obra, reduzindo-se assim seus custos operacionais. Vindo poder a atender o maior número possível de clientes, um sistema de reconfiguração automática, traz benefícios perceptíveis aos consumidores durante a ocorrência de uma falta ou mesmo da realização de desligamentos programados (MARTINS *et al.*, 2014).

Assim sendo, os equipamentos conhecidos como religadores automáticos atualmente estão sendo cada vez mais empregados pelas concessionárias distribuidoras de energia elétrica do país, sendo estes equipamentos moderno e eficientes, apesar do custo significativo perante os equipamentos manuais de atuação mecânica (chaves fusíveis interruptoras). Possuindo os religadores variados recursos de parametrização quanto aos estudos de proteção, medição e controle, estão se tornando os equipamentos mais avançados, vitais a automação através das redes inteligentes.

Predominantemente os religadores encontram-se instalados ao longo dos trechos principais dos alimentadores das redes de distribuição aérea, conforme exemplificado na Fotografia 1, porém também são encontrados nas subestações, podendo também serem utilizados na função de disjuntor.

Fotografia 1 - Religador automático de distribuição em poste.

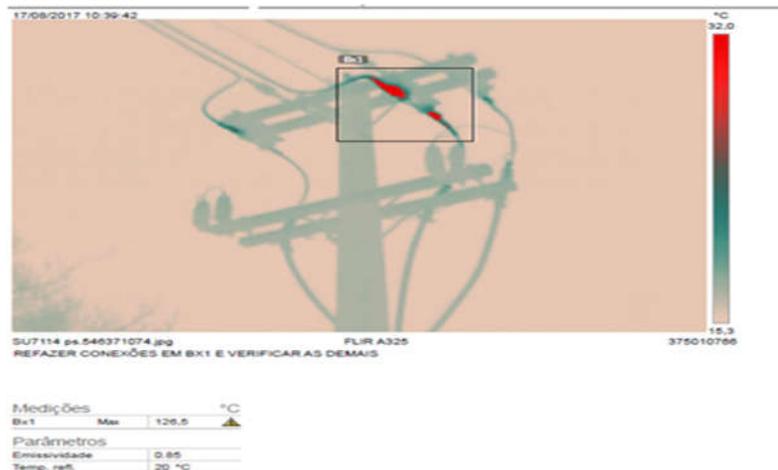


Fonte: Cooperativa de eletrificação rural da região de Tupã (2017).

Os religadores automáticos de distribuição podem ser monofásicos ou trifásicos. Os equipamentos monofásicos, como a própria nomenclatura explica, são empregados na proteção de redes de energia monofásicas ou mesmo em ramais trifásicos que derivam da rede principal, sendo um para cada fase, ao qual ocorrendo uma falha transitória ou mesmo permanente, será acionado individualmente apenas este equipamento, enquanto são mantidas energizadas as demais fases, permitindo assim a continuidade do fornecimento aos demais consumidores. Os religadores trifásicos podem ser constituídos por operação monofásica (três religadores acoplados em um único tanque) ou trifásica (único equipamento), sendo empregados onde o bloqueio das três fases deve ocorrer simultaneamente, mitigando-se assim que cargas trifásicas fiquem subalimentadas (SILVEIRA; GALVANI; SOUZA, 2011).

Normalmente baseadas em equipamentos de proteção eficientes, parametrizados em atuação por sobrecorrentes elétricas, originárias de sobrecargas ou curtos-circuitos ao longo do sistema, as redes de distribuição de energia elétrica buscam desta forma preservar o maior tempo possível sua confiabilidade. Os curtos-circuitos, de acordo com Mamede (2011), são as falhas de maior intensidade em um sistema de distribuição de energia elétrica. Os defeitos vêm a ocorrer normalmente por falhas na isolação ou má conexões em algum equipamento da rede, conforme Fotografias 2 e 3, ou mesmo providas de ação involuntária (vegetação lançada sobre a rede, toques acidentais, descargas atmosféricas, acidentes com veículos, entre outros), exemplificadas nas Fotografias 4 e 5.

Fotografia 2 - Imagem termográfica de conexões de chave com aquecimento excessivo.



Fonte: Autoria própria (2017).

Fotografia 3 - Isolador danificado.



Fonte: HSEnergia (2017).

Fotografia 4 - Árvore caída sobre a rede de energia.



Fonte: Gazeta do Povo (2017).

Fotografia 5 - Colisão de carro em poste.



Fonte: Autoria própria (2017).

O emprego de estudos de proteção através de curvas rápidas ou instantâneas nos religadores de proteção reduzem os efeitos das falhas transitórias, não somente nas redes de distribuição de energia diretamente protegidas por este equipamento, mas também nos segmentos de rede de energia protegidos a jusante por chaves fusíveis. Por gerarem muitas interrupções de curtíssima duração, as curvas rápidas têm sido pouco empregadas pelas concessionárias distribuidoras de energia em suas redes aéreas (que são as que predominam), em decorrência da grande quantidade de defeitos transitórios que ocorrem e que acabam gerando muitas reclamações por parte dos consumidores.

Confirma-se assim através de Mamede (2011), que os religadores possuem funcionamento automático para desligar e religar os circuitos de distribuição de energia protegidos pelo mesmo, possuindo a característica de repetição destas operações, de acordo com os estudos de proteção que podem ser implantados. Em redes aéreas rurais de distribuição de energia, que tem como característica serem mais longas e de difícil acesso, os religadores tem sido bastante utilizados devido à grande quantidade de falhas causadas pela vegetação densa e alta, que normalmente convivem ao longo de diversos trechos do traçado da rede, aumentando assim a possibilidade de faltas transitórias, justificando assim o emprego de religadores, os quais se tornam essenciais para minimizar e filtrar este tipo de acontecimento, facilitando assim a operação e manutenção do sistema.

Resumindo, o religador trata-se de um dispositivo automático de interrupção, que uma vez solicitado, especialmente na ocorrência de defeitos transitórios na rede de distribuição de energia, pode acionar seus contatos repetidas vezes, abrindo-os e fechando-os, até que venha a ocorrer o bloqueio, sendo então caracterizada a falha como permanente. Ao considerar-se que as faltas transitórias correspondem a 80 a 95% dos problemas de interrupção de energia das redes, percebe-se a importância do emprego dos religadores (COMASSETTO, 2004).

De acordo com Leão (2009), os tipos de faltas nas redes de distribuição de energia possuem a seguinte distribuição apresentada na tabela 1:

Tabela 1 - Estatística para os tipos de faltas e suas Composições.

Tipo	% de Ocorrência	Permanentes (%)	Transitórias (%)
Trifásicas	2	95	5
Bifásicas	11	70	30
Fase-terra	79	20	80
Outros	8	-	-

Fonte: Leão (2017a).

Ainda segundo Leão (2009), usualmente os religadores automáticos de distribuição possuem como característica de projeto possuírem a sequência de religamento de uma há quatro operações, ao qual ao fim da última abertura dos contatos, não mais fechará. Estando ajustado para quatro operações, sendo três religamentos, a sequência poderá ocorrer da seguinte forma:

- Uma rápida (1I) e três temporizadas (3T);
- Duas rápidas (2I) e duas temporizadas (2T);
- Três rápidas (3I) e uma temporizada (1T);
- Todas rápidas (4I);
- Todas retardadas (4T).

Quanto aos sistemas de controle, os religadores automáticos de redes de distribuição de energia classificam-se em:

- Controle por ação eletromagnética;
- Controle eletrônico;
- Controle microprocessado.

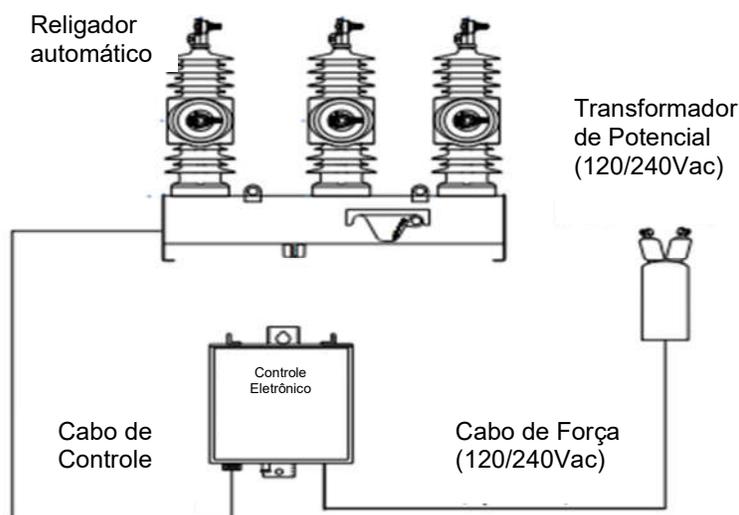
A Companhia Paranaense de Energia – Copel (2013), define o controle eletrônico de religadores de distribuição como sendo um “dispositivo do equipamento especial dotado de comandos que possibilitam a operação local e à distância”.

Limitará este estudo ao equipamento provido de controle eletrônico, ao qual é necessária a existência de alimentação em baixa tensão por fonte externa de energia, e que Silva e Goudard (2012), definem como sendo equipamentos capazes de registrarem e memorizarem os ajustes definidos para a execução das operações

de religamento, sendo o mesmo um sistema em estado sólido. O religador automático de distribuição com controle eletrônico, representado através da figura 3, possibilita uma maior flexibilidade, tornando-se mais fácil os ajustes e ensaios, assim como possuir maior precisão em relação ao modelo de equipamento com atuação por ação eletromagnética. O controle eletrônico, conforme exemplificado através da Fotografia 6, caracteriza-se por seu armazenamento em uma caixa separada do tanque do religador, mas normalmente estando localizado no mesmo poste ou pórtico. Neste tipo de controle são possíveis os seguintes ajustes:

- Valor da corrente de acionamento;
- Número de disparos;
- Curva de atuação.

Figura 3 - Religador Automático com Controle Eletrônico



Fonte: Eaton (2017).

Fotografia 6 - Controle Eletrônico para Religador Automático de Distribuição.

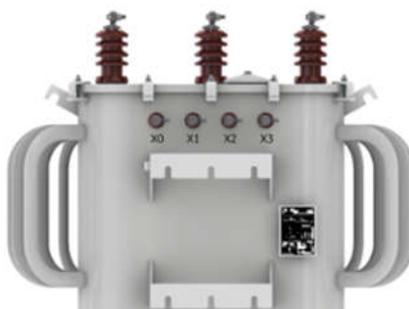


Fonte: SEL (2017).

2.2.2 Transformadores de distribuição

Essenciais às redes de distribuição de energia, os transformadores de distribuição, como exemplificado através da Fotografia 7, são os que realizam as conversões de diferentes níveis de tensão, promovendo desta forma a interligação entre os sistemas de distribuição de média tensão (MT) das concessionárias de energia aos grupos de consumidores conectados as redes secundárias de energia.

Fotografia 7 - Transformador trifásico de distribuição.



Fonte: Romagnole (2017).

A fabricante de transformadores Siemens (2017) cita:

Transformadores de distribuição imerso em líquidos isolantes podem ser monofásicos ou trifásicos. Durante sua operação são expostos a fatores externos tais como alto stress dielétrico, causados por descargas atmosféricas, assim como a grandes esforços mecânicos decorrentes de curtos-circuitos. Por isso seu núcleo magnético e enrolamentos – estes fabricados com fios ou chapas de cobre e/ou alumínio - devem ter projeto adequado para oferecer baixas perdas, alto rendimento e confiabilidade.

De acordo com Busatto (2015), os transformadores de distribuição em sua imensa maioria são instalados em estruturas compostas em postes. São estes equipamentos que efetivamente suprem as redes secundárias de distribuição de energia ou como são de maneira comum chamadas, baixa tensão.

O funcionamento dos transformadores de distribuição basicamente compõe-se em transformar a energia recebida em média tensão (MT) para baixa tensão (BT), sendo a níveis de Brasil as tensões usuais de distribuição em média tensão (MT) são 34,5kV e 13,8kV, e as de baixa tensão em 127/2201V ou 220/380V (ANEEL, 2016).

A vida útil de um transformador de distribuição, de acordo com estudos de confiabilidade, está diretamente vinculada as condições de sua utilização no sistema de distribuição de energia elétrica. A perda da vida útil do equipamento pode ser atribuída a fatores externos, perfazendo uma variada de causas, assim como ao fator natural de desgaste, especialmente dos elementos isolantes internos em razão da temperatura ao qual é submetido o seu regime de trabalho (BUSATTO, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997), a durabilidade de um transformador de distribuição é atribuída em aproximadamente 20 anos, desde que respeitada a condição de operação com carga nominal e os critérios de temperatura ambiente abaixo da recomendada.

2.2.3 Rede secundária de baixa tensão

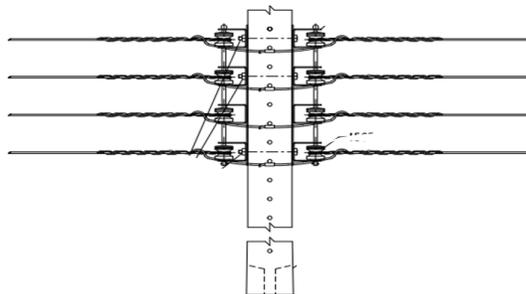
A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2016), define o sistema de distribuição de baixa tensão como o “Conjunto de linhas de distribuição e de equipamentos associados em tensões nominais inferiores ou iguais a 1 kV”.

Baseada na definição da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADEE (2017) adota como explicação:

As redes de baixa tensão, com tensão elétrica que pode variar entre 110 e 440 V, são aquelas que, também afixadas nos mesmos postes de concreto que sustentam as redes de média tensão, localizam-se a uma altura inferior. As redes de baixa tensão levam energia elétrica até as residências e pequenos comércios/indústrias por meio dos chamados ramais de ligação. Os supermercados, comércios e indústrias de médio porte adquirem energia elétrica diretamente das redes de média tensão, devendo transformá-la internamente para níveis de tensão menores, sob sua responsabilidade.

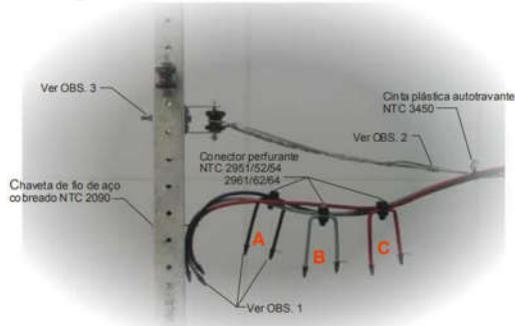
Os sistemas de distribuição secundários no Brasil são compostos por circuitos elétricos monofásicos, bifásicos e trifásicos (três fases e neutro), sendo este último o mais empregado pelas concessionárias, assim demonstrado na figura 4 e Fotografia 8. As redes secundárias podem ser radiais ou em malhas, prevalecendo em nosso país as redes radiais. Os níveis de tensão padronizados para as redes públicas brasileiras são as de tensões 220/127V e 380/220V para os sistemas trifásicos e para os sistemas monofásicos 440/220 e 254/127V (ANEEL, 2016).

Figura 4 - Rede secundária convencional de baixa tensão.



Fonte: Copel (2017a).

Fotografia 8 - Rede secundária isolada de baixa tensão.

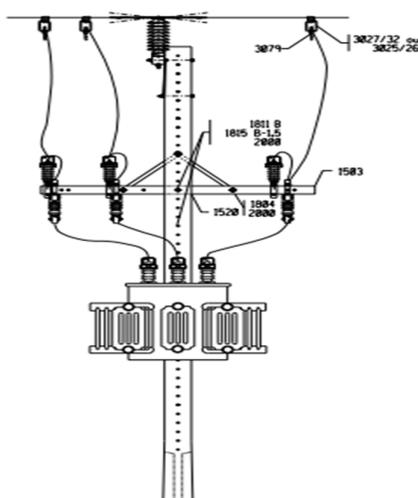


Fonte: Copel (2011).

2.2.4 Postos de transformação de distribuição

Desta forma, combinando-se a rede secundária aérea de distribuição de energia em baixa tensão (BT), estando esta conectada às buchas de tensão secundárias de um transformador de distribuição em poste (o qual deve possuir as características adequadas ao esforço mecânico) e estando este transformador alimentado por uma rede de Média Tensão (MT) em 34,5kV ou 13,8kV em suas buchas primárias e convencionalmente possuindo dispositivos de operação, proteção e isolamento teremos assim caracterizado um posto de transformação de distribuição de energia elétrica com rede secundária, como exemplificado na figura 5.

Figura 5 - Posto de transformação de distribuição.



Fonte: Copel (2017b).

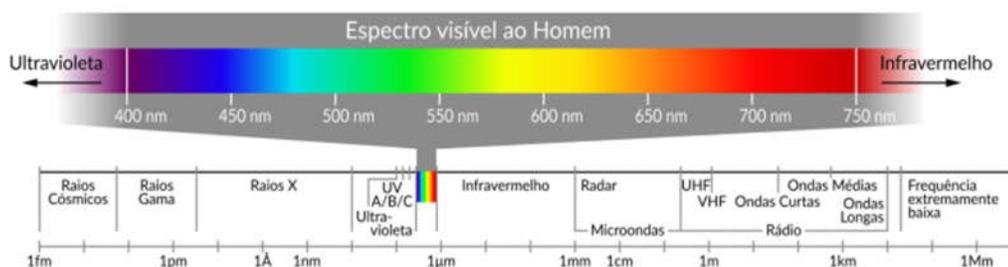
2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Conforme discorre Villalva (2015), o Sol é detentor de uma grande quantidade de energia, sendo que esta energia é transmitida através do espaço pela radiação eletromagnética, compondo-se então por aproximadamente 50% de luz visível, 45% por radiação infravermelha e 5% por radiação ultravioleta, sendo estas duas últimas invisíveis.

“A transformação da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica é um fenômeno físico, conhecido como efeito fotovoltaico”, conforme descreve Zilles *et al.* (2012).

Detalha Pereira *et al.* (2017), que a energia proveniente do Sol ocupa de maneira ampla o espectro eletromagnético, conforme gráfico 1, sendo que 81% desta energia estão em comprimentos de ondas que vão do visível ao infravermelho ao atingir à Terra/Atmosfera, sendo que todos os processos naturais ou artificialmente desenvolvidos pelo homem no planeta sejam eles, térmicos, dinâmicos ou químicos são alimentados por esta energia. Como exemplos desta interação, a fotossíntese, o ciclo dos ventos e correntes oceânicas e o processo de evaporação e condensação dos fluidos na natureza são alguns dos principais que podem ser citados.

Gráfico 1 - Espectro da radiação solar incluindo um detalhamento da faixa visível humana.



Fonte: Pereira *et al.* (2017a).

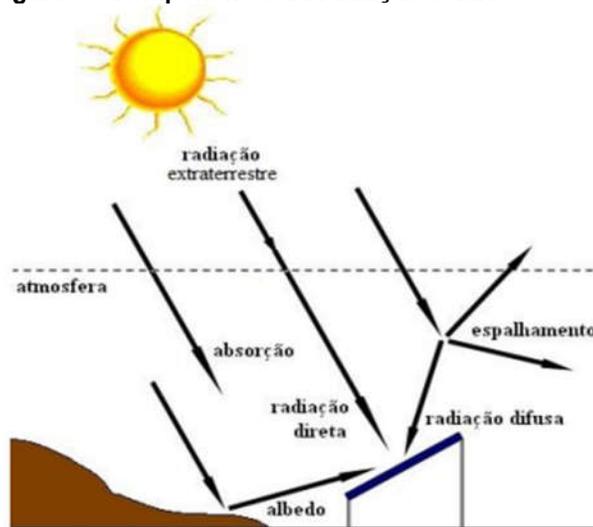
Desta forma, observa Pinho e Galdino *et al.* (2014), que a radiação solar percebida através do fluxo médio anual de sua densidade e que incide sobre o topo da atmosfera terrestre, medida através da propagação dos raios solares em um plano

perpendicular, corresponde ao valor de 1.367W/m^2 , convencionando-se esta então a ser chamada de “constante solar”.

Descreve Barreto *et al.* (2008) que a radiação solar global incidente sobre uma superfície receptora é a soma das parcelas das radiações direta, difusa e por albedo (quando a superfície é inclinada), conforme explica através da figura 6.

Confirma Pereira *et al.* (2017), que a irradiância solar (W/m^2) incidente em uma superfície compõe-se ao menos de duas vertentes, que são a direta e a difusa. A componente que não passou pelas fases de absorção e espalhamento na atmosfera representada entre a linha imaginária da superfície terrestre e o Sol denomina-se como irradiância solar direta. A irradiância difusa caracteriza-se pela radiação vinda de todas as demais direções, tendo como origem os processos de dispersão ocasionados pelos particulados e gases existentes na atmosfera terrestre.

Figura 6 - Componentes da radiação solar.



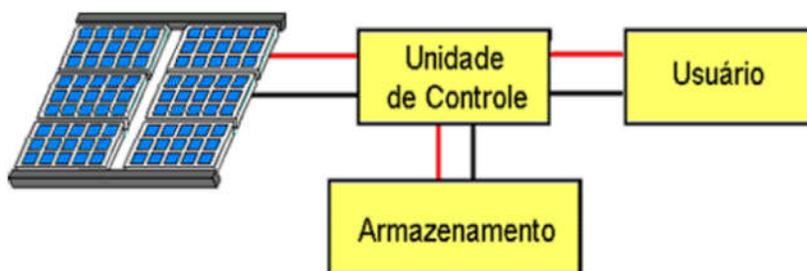
Fonte: Barreto *et al.* (2008).

Mostrando-se como uma fonte alternativa viável de geração complementar de energia elétrica, a energia solar fotovoltaica vem ganhando cada vez maior destaque. Em razão da redução contínua dos equipamentos relacionados, em especial dos painéis, o aproveitamento da energia solar antes limitado a locais remotos e a poucas soluções, começa a ser difundida de maneira mais abrangente e aplicada nos mais diversos segmentos (BRITO *et al.*, 2016).

A radiação solar incidente no local de instalação de um módulo de sistema de geração de energia fotovoltaica é o que caracteriza a geração de energia produzida, sendo que neste quesito o Brasil é extremamente privilegiado quando comparado com outros países, especialmente da Europa (VILLALVA, 2015).

Explicou anteriormente Benedito (2009), que “os sistemas fotovoltaicos formam um conjunto de equipamentos cuja finalidade é converter a energia radiante do Sol em energia elétrica e disponibilizá-la para uso instantâneo ou armazená-la para uso posterior”, assim exemplificado na figura 7.

Figura 7 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico.



Fonte: Pinho e Galdino et al (2017).

Confirmam Machado e Miranda (2014), que o Brasil é um país que apresenta elevados níveis de radiação solar, sendo assim privilegiado pela viabilidade para o emprego de sistemas fotovoltaicos de geração de energia, sendo assim demonstrado por Pereira *et al.* (2017) através da figura 8. No Brasil a irradiação média anual segundo Machado e Miranda (2014), oscila entre 1200 e 2400kWh/m²/ano, ao passo que num dos países de maior emprego deste tipo de tecnologia, que é a Alemanha, a irradiação média anual situa-se entre os valores de 900 a 1250KWh/m²/ano. Além disso, comenta este mesmo autor, o Brasil é detentor de uma das maiores reservas de quartzo do mundo, possuindo a mesma alta qualidade, além de ocupar o quarto lugar mundial como produtor de silício grau metalúrgico, que é a fase inicial da etapa de produção de silício grau solar.

Se adequando de maneira fácil e podendo ser instalados em praticamente todos os espaços disponíveis, os módulos fotovoltaicos rapidamente podem começar à geração de energia elétrica. Telhado, postes, solo, fachadas e qualquer local onde ocorra incidência de insolação são bons exemplos de quão vasto é o potencial de

emprego dessa tecnologia. Reforça Villalva (2015), que o amplo território brasileiro e as condições climáticas favorecem o país como promissor no desenvolvimento e emprego da energia solar fotovoltaica.

Mesmo o país apresentando tantas vantagens, a geração de energia por sistemas fotovoltaicos foi estimada por Machado e Miranda (2014) em poucos sistemas instalados e referiam-se ao atendimento a áreas remotas onde a rede de distribuição de energia das concessionárias não conseguiam chegar, porém, dados atualizados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, através do Balanço Energético Nacional 2018 – BEN já divulga uma produção de 832GWh, mostrando o rápido avanço que está ocorrendo no emprego desta matriz energética.



Fonte: Pereira et al. (2017).

Descreve o portal NeoSolar (2017), que um sistema fotovoltaico isolado é constituído pelos seguintes equipamentos: módulo fotovoltaico, inversor de tensão, controlador/regulador e baterias, sendo reforçado por Moreira, Bueno e Tessaro (2017) esta composição, podendo-se descrever resumidamente a função de cada um destes equipamentos:

a) Módulo fotovoltaico: Considerado o componente do sistema de maior relevância, são estruturas formadas pelo agrupamento de células fotovoltaicas, sendo estes os componentes responsáveis pelo recebimento da radiação solar e sua conversão em energia elétrica;

b) Inversores: equipamento responsável pela conversão em energia alternada da energia gerada em corrente contínua pelas células fotovoltaicas;

c) Controlador: Tem o objetivo de proteger as baterias, efetuando o controle do fluxo de energia;

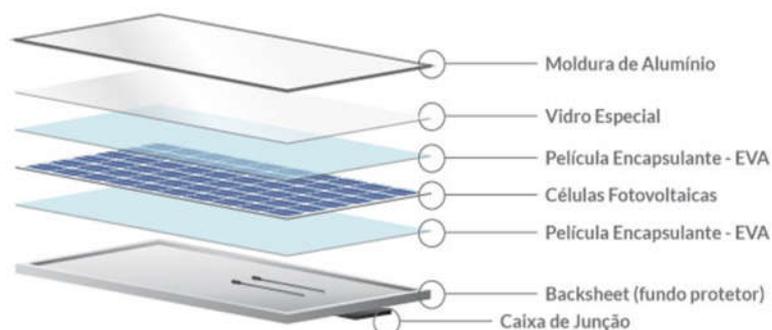
d) Bateria: Acumular a energia gerada, suportando frequentes cargas e descargas.

Confirma Benedito (2009), que um sistema de geração de energia fotovoltaica é composto por células solares, inversor, baterias, regulador de carga e dispositivo de proteção, frisando que os sistemas de geração de energia fotovoltaica isolados são empregados em locais onde as redes de distribuição de energia convencionais não alcançam, seja por motivos técnicos, comerciais ou ambientais.

De acordo com o portal BlueSol (2017), a vida útil de um sistema de geração de energia fotovoltaica em razão de possuir uma ampla gama de componentes, vem a ser também bastante variada, mas caracteriza-se especialmente pelos módulos fotovoltaicos, que vem a serem os componentes mais caros do sistema e possuem em média de 20 a 25 anos de durabilidade, estando demonstrada suas características construtivas na figura 9.

Explica Balestero *et al.* (2016), que as células fotovoltaicas que formam os módulos, quando expostas à luz solar, geram tensão contínua, sendo que a potência máxima irá depender da irradiação solar e da temperatura dos painéis.

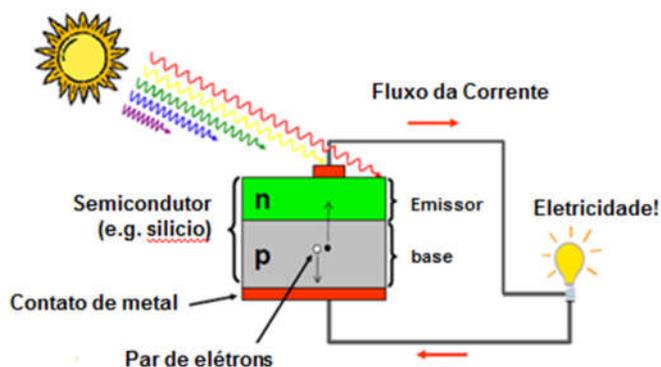
Figura 9 - Composição do Painel Solar.



Fonte: BlueSol (2017).

Segundo Teixeira (2014), cada célula de um painel fotovoltaico constitui-se de duas camadas de semicondutores, conforme figura 10, o qual seus elétrons veem a mover-se quando incididos de irradiação solar, gerando assim corrente contínua.

Figura 10 - Modelo de uma célula de um painel fotovoltaico.



Fonte: Teixeira (2014).

Os materiais semicondutores possuem a propriedade de gerarem o efeito fotovoltaico, possuindo como característica o comportamento de alternarem-se entre condutores e isolantes. Os semicondutores são extremamente utilizados em aparelhos eletrônicos e de informática, como o silício, germânico e cádmio (BAUER; WESTFALL; DIAS, 2012).

O silício é o semicondutor mais difundido em termos de utilização pelo mercado, possuindo número atômico 14, possuindo seu núcleo três orbitas ao redor, sendo respectivamente compostas por 2 elétrons, 8 elétrons e 4 elétrons. Para

alcançar a estabilidade, formando estruturas sólidas, o silício faz quatro ligações covalentes, onde cada átomo liga-se quatro vezes com átomos vizinhos (Shayani, 2006).

Explica Zilles *et al.* (2012) que em razão das limitações tecnológicas e das perdas inerentes ao processo, não possuem as células fotovoltaicas capacidade para transformar toda a energia recebida da luz em eletricidade. A eficiência do processo de conversão de energia é o mais importante e fundamental parâmetro das células fotovoltaicas, sendo definida como a razão entre a geração de potência elétrica máxima pelo equipamento e a potência incidente nele através do espectro de luz, sendo algebricamente representado pela equação E1:

$$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{Incidente}} = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{incidente}} \quad \text{Eq. E1}$$

Onde:

η = Eficiência do processo de conversão de energia

P_{gerada} = Potência elétrica gerada máxima

$P_{incidente}$ = Potência incidente pelo espectro de luz,

FF = Fator de forma, razão entre a potência máxima e o produto da corrente de curto-circuito e da tensão de circuito aberto,

V_{oc} = Tensão de circuito aberto

I_{sc} = Corrente de curto circuito

As células fotovoltaicas para utilização comercial são associadas em série e/ou paralelo, formando assim a concepção dos módulos fotovoltaicos. Os arranjos fotovoltaicos são formados pela associação dos módulos ou mesmo somente de células, sendo que a elevação da tensão é realizada através da conexão série e a da corrente pela conexão em paralelo.

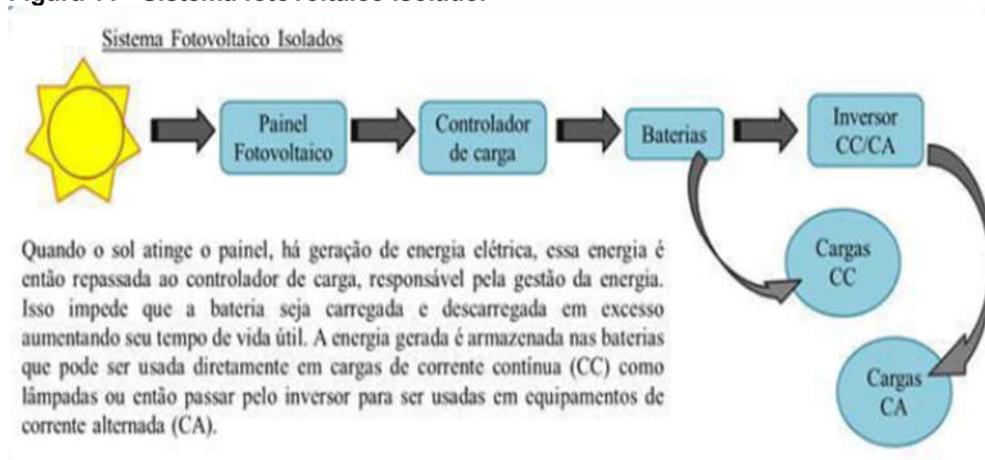
Ciamponi (2015) classifica os sistemas fotovoltaicos de geração de energia em três categorias: isolados, híbridos e conectados à rede. Para efeito deste estudo

econômico será considerado apenas o sistema isolado, em razão do estudo visar a substituição do sistema convencional de distribuição de energia através de transformador e rede de distribuição.

2.3.1 Sistemas fotovoltaicos isolados de geração de energia

De acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11704 (2008) os sistemas fotovoltaicos isolados podem ser classificados como “aqueles que não possuem qualquer conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica”, estando exemplificado por Machado e Miranda (2014) através da figura 11.

Figura 11 - Sistema fotovoltaico isolado.



Fonte: Machado e Miranda (2014).

Confirma Rezende e Suzuki (2013) que um sistema fotovoltaico isolado de geração de energia define-se como o não conectado à rede de distribuição de energia elétrica, sendo normalmente empregado em lugares remotos.

Reforça Pinho e Galdino (2014), que é muito importante considerar durante o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado sua robustez e facilidade de manutenção devido a sua usual aplicação em lugares remotos e inóspitos.

Exemplifica Padilha (2011) que os sistemas isolados de geração de energia fotovoltaica podem ser empregados entre outras, nas seguintes situações:

- Comunidades em áreas rurais ou ilhadas;
- Estações repetidoras de micro-ondas;
- Sistemas de iluminação de sinalização rodoviária;
- Postos de saúde em áreas remotas.

Quanto as configurações, quando este apresentar-se como a única fonte geradora de energia, pode ser definido o sistema isolado fotovoltaico como um sistema puro, e híbrido quando estiver associado a algum outro tipo de fonte geradora de energia, conforme descreve a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11704, estando exibida através da tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de sistemas fotovoltaicos isolados.

Tipo de sistema	Alimentação dos Consumidores	Acumulação de Energia Elétrica	Componentes básicos	Aplicações típicas
Sistemas Isolados	Puros	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio, etc.
		Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica, etc.
	Tensão Alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial, etc.
		Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação, etc.
Híbridos	Tensão Contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária, etc.
	Tensão Alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial, etc.

Fonte: NBR 11704 (2008).

Conforme descrevem Pinho e Galdino (2014), o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado deve considerar a geração de energia elétrica maior do que aquela estabelecida para consumo, ou seja, a energia gerada deve ser maior que a demanda elétrica de acordo com um período de tempo pré-estabelecido, e assim sucessivamente realizado. Enumeram ainda estes autores que um sistema fotovoltaico isolado deve conter as seguintes etapas no projeto:

1. Verificação dos dados solares do local de aplicação;
2. Estabelecimento da localização e configuração do sistema;
3. Estabelecimento do consumo e demanda de energia elétrica das cargas;
4. Dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica (painéis);
5. Dimensionamento dos equipamentos de controle de potência;
6. Dimensionamento dos sistemas de bateria (armazenamento)

Neste estudo será considerado o dimensionamento do sistema fotovoltaico de geração de energia através do método do mês crítico para o estado do Paraná de acordo com os dados contidos no Atlas Solar do Paraná (2017).

O método do mês crítico consiste em verificar e estabelecer em qual período do ano ocorre as piores médias de geração de energia por um sistema fotovoltaico isolado. Supõe-se que ao estabelecer o pior período, dimensionando-se o sistema fotovoltaico isolado para que funcione adequadamente durante este, nos demais períodos o mesmo produzirá mais energia em razão das melhores condições de insolação (Pinho e Galdino, 2014).

Nos sistemas fotovoltaicos isolados utilizam-se baterias para o armazenamento de energia, devendo ser verificado o correto dimensionamento para o eficaz emprego das mesmas.

De acordo com Borges (2013), a eficiência, a máxima profundidade de descarga e a autonomia do sistema são os mais importantes critérios a serem considerados para um banco de baterias. Observa ainda este autor que ao contrário do sistema fotovoltaico de geração de energia conectado à rede elétrica que usualmente não emprega acumuladores, no sistema fotovoltaico isolado em razão do emprego de baterias às mesmas poderão vir a sofrer várias vezes ao dia o processo de carregamento e descarregamento da energia acumulada, o que estabelece assim que durante os períodos de maior produção de eletricidade em relação a demanda consumida a energia será acumulada, então vindo a ser utilizada quando à produção for inferior a geração, notadamente em períodos noturnos e de baixíssima insolação.

Para que haja a otimização da vida útil das baterias é imprescindível a utilização do equipamento controlador de carga.

Conforme descreve a NBR 11704, o controlador de carga é um equipamento que tem por objetivo controlar e monitorar a carga e/ou descarga das

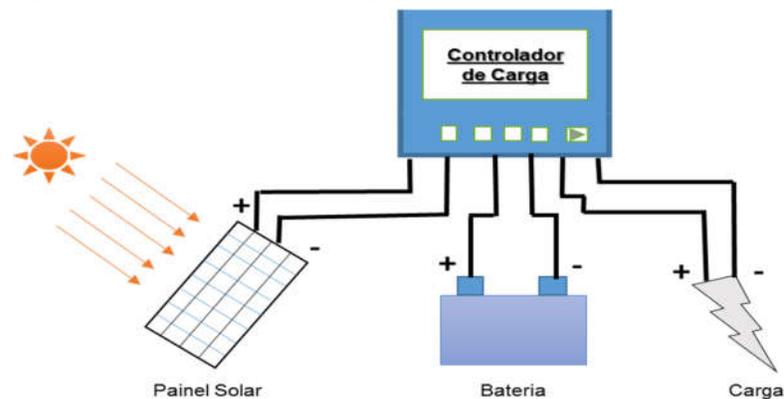
baterias de um sistema fotovoltaico de geração de energia, assim exemplificado através da figura 12.

Afirma Rezende e Suzuki (2013), que o objetivo do controlador de carga é evitar a sobrecarga ou a descarga total das baterias, protegendo o sistema de acumulação através da realização da desconexão das mesmas do painel fotovoltaico quando a carga destes acumuladores chega à máxima profundidade de descarga ou mesmo desligando o abastecimento de energia proveniente do painel fotovoltaico quando da ocorrência de máxima carga. O controlador de carga é empregado onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC) (PINHO E GALDINO, 2014).

Descreve Monteiro apud Baptista e dos Santos (2010) que durante o carregamento das baterias a tensão é controlada durante todo o tempo pelo controlador, logo, ao completar-se a carga o regulador interrompe a passagem de corrente, não deixando que ocorra a perda de eletrólito e possibilidade das baterias aquecerem-se. Ao atingir-se a mínima tensão na bateria, as cargas devem vir a ser desligadas até que ocorra o aumento do nível de tensão.

Pinho e Galdino (2014), observam que um controlador de carga ao ser dimensionado deve corretamente levar em conta os limites máximos em relação aos níveis de tensão de corrente contínua (CC) e de corrente elétrica do sistema, tanto no ponto de conexão de chegada do painel fotovoltaico, quanto no ponto de conexão de saída para as baterias.

Figura 12 - Controlador de carga em um sistema fotovoltaico isolado.



Fonte: Autoria própria (2017).

Os controladores de carga mais simples monitoram a tensão das baterias e com a carga da mesma procuram estabelecer uma relação proporcional. Controles de carga mais avançados possuem um microprocessador que é capaz de monitorar a característica da curva de cada bateria através de modernos algoritmos, de acordo com Monteiro apud Baptista e dos Santos (2010).

Também no sistema fotovoltaico se necessita da utilização de inversores de frequência, normalmente conhecidos neste tipo de aplicação como inversores solares. De acordo com o sitio Portal Solar (2016), o inversor solar “é um equipamento desenvolvido para converter a energia gerada pelos painéis solares em corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA)”, conforme demonstra a figura 13. As características principais de um inversor de frequência para aplicação em sistemas fotovoltaicos deve ser sua confiabilidade e eficiência.

Pinho e Galdino (2014) descrevem:

Um inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica de corrente contínua (CC). A energia C.C. pode ser proveniente, por exemplo, de baterias, células combustíveis ou módulo fotovoltaico. A tensão C.A. de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequado às cargas a serem alimentadas. Adicionalmente, a sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada a da rede.

Monteiro apud Baptista e dos Santos (2010), explica que um inversor é formado basicamente por uma gama de interruptores que funcionam de maneira sincronizada, realizando a inversão de polaridade da tensão gerada através do sistema fotovoltaico, devendo esta ser a mais senoidal possível, onde havendo harmônicos, os mesmos podem ser eliminados através de filtros passivos. O rendimento do inversor η pode ser definido através da equação E2:

$$\eta = \frac{\text{Potência efetiva de saída}}{\text{Potência efetiva de entrada}} \quad \text{Eq. E2}$$

Confirma Urbanetz (2010), que a onda de corrente dos inversores deveria ser apenas uma senoidal perfeita, porém em razão das características construtivas de cada fabricante e da potência exigida pelas cargas, podem ocorrer distorções nesta onda de corrente, sendo este um desafio para um sistema elétrico ideal, onde de maneira permanente, as ondas de tensão e corrente devem ser senoidais puras, de forma permanente e equilibrada entre as fases em qualquer ponto do circuito. A escolha de um bom inversor é fundamental para o bom funcionamento do sistema.

Figura 13 - Disposição de um inversor solar.



Fonte: Minhacasasolar (2018a).

Desta forma, neste capítulo foi transcrito o histórico e conceito das energias renováveis e foram subsidiadas as informações necessárias referentes a aplicação dos equipamentos para realização da avaliação técnica a ser realizada por este estudo.

3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

Neste capítulo apresenta-se o levantamento das informações necessárias apuradas em laboratório, bem como os dados solarimétricos e cálculos de dimensionamento, compondo desta forma o desenvolvimento do projeto para implantação do sistema fotovoltaico proposto para a alimentação do conjunto do controle eletrônico de um religador de distribuição trifásico.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA DO CONJUNTO DO CONTROLE ELETRÔNICO

De acordo com Urbanetz (2016), o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado deve iniciar-se pela estimativa da quantidade diária de energia (Wh/dia ou kWh/dia) necessária para a realização da atividade de trabalho do equipamento elétrico, ou seja, qual a potência que irá ser utilizada e por quantas horas/dia.

Estando baseado no descrito acima, foi realizada em laboratório as medições de grandeza elétrica de corrente da alimentação em 127Vca de um controle eletrônico conectado a um religador de distribuição trifásico da marca Artech, conforme Fotografias 9 e 10, apura-se através do devido cálculo, qual a grandeza elétrica de potência em watts utilizada por este conjunto do controlador automático do religador.

Fotografia 9 - Montagem dos equipamentos para testes em laboratório.



Fonte: A autoria própria (2018).

Fotografia 10 - Controle eletrônico e religador automático Arteche.



Fonte: Autoria própria (2018).

Conforme Fotografia 11, providenciada a conexão elétrica e eletrônica através do específico cabo utilizado entre os dois equipamentos (controle eletrônico e religador), estando o controle eletrônico conectado a uma rede de baixa tensão de 127V em corrente alternada, efetuou-se as medições de corrente alternada através de alicates volt-amperímetros e amperímetro de precisão, obtendo-se os seguintes resultados para o cenários abaixo propostos:

Fotografia 11 - Conexões elétricas entre o controle eletrônico e o religador Arteche.



Fonte: Autoria própria (2018).

- a) Estando o controle eletrônico em regime de funcionamento, lâmpada interna acesa e resistência ligada, é realizada a medição da corrente elétrica consumida, conforme Fotografia 12. Estando considerado o tempo de 02 horas/dia nesta condição, sendo o regime normal de tempo determinado para a atuação de manutenção do equipamento em campo, foi encontrada a energia total consumida (Wh/dia), de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 - Energia total consumida com o controle eletrônico em regime de funcionamento, lâmpada interna de 15W acesa e resistência de 50W ligada.

Controle Eletrônico	Potência (W)	Tensão Nominal (Vca)	Corrente Nominal (A)	Tempo de utilização (h/dia)	Energia (Wh/dia)
	105,15	127	0,828	2	210,3

Fonte: Autoria própria (2018).

Fotografia 12 - Medição de grandeza elétrica em ampères do controle eletrônico do religador.



Fonte: Autoria própria (2018).

- b) Controle eletrônico estando em regime de funcionamento, lâmpada interna de 15W e resistência de 50W desligadas, sendo o tempo desta condição definida em 23,84 horas/dia (considerando como regime contínuo, em situação normal de trabalho), onde:

- Corrente da lâmpada de 15W

$$P (\text{Lâmpada}) = V_{ca} \cdot I$$

$$15 = 127 \cdot I$$

$$I = P/V$$

$$I = 0,118A$$

- Resistência elétrica de 50W

$$P (\text{Resistência elétrica}) = V_{ca} \cdot I$$

$$50 = 127 \cdot I$$

$$I = P/V$$

$$I = 0,393A$$

Sabendo-se que a corrente nominal medida no cabo de potência elétrica em 127V, que atende todo o conjunto eletrônico é 0,828A, verificada no alicate volt-ampérimetro com o auxílio de pinça de corrente de precisão conectada a alimentação elétrica de potência do conjunto do controle eletrônico, conforme demonstrada na Fotografia 13, e subtraindo-se as correntes calculadas da lâmpada interna de 15W e da resistência elétrica de 50W que encontram-se desligadas, chega-se ao valor de 0,317A de corrente elétrica consumida total. Para tal, sendo descontado o tempo estimado de atuação de abertura e fechamento dos pólos do religador automático em 10 minutos diários (0,83 hora/dia), é considerado o tempo de utilização em 23h e 50 min. (23,83 h/decimais), estando a energia total consumida demonstrada na tabela 4.

Tabela 4 - Controle eletrônico em regime de funcionamento, lâmpada interna e resistência desligadas.

Controle Eletrônico	Potência (W)	Tensão Nominal (Vca)	Corrente Nominal (A)	Tempo de utilização (h/dia)	Energia (Wh/dia)
	40,26	127	0,317	23,83	959,38

Fonte: Autoria própria (2018).

Fotografia 13 - Pinça de corrente de precisão conectada a alimentação elétrica de potência do controle eletrônico.



Fonte: Autoria própria (2018).

- c) Controle eletrônico em regime de funcionamento, lâmpada interna de 15W acesa, resistência elétrica de 50W ligada e religador automático em situação de atuação de abertura ou fechamento dos contatos elétricos internos de seccionamento da rede de média tensão, conforme Fotografia 14, considerando o tempo total de 10 minutos/dia (0,17hora/dia) neste regime de trabalho, podendo inclusive vir a ocorrer de maneira intermitente este regime de atuação neste período de tempo. Tem-se neste cenário a capacidade de maior potência de utilização solicitada pelo sistema de fornecimento de energia, todavia sendo o de menor tempo de utilização em razão da atuação extremamente rápida dos pólos (contatos elétricos de potência) do religador automático, estando assim demonstrado na tabela 5.

Tabela 5 - Controle eletrônico, lâmpada interna e resistência elétrica em regime de funcionamento, com o religador automático atuando durante 10min/dia.

Controle Eletrônico	Potência (W)	Tensão Nominal (Vca)	Corrente Nominal (A)	Tempo de utilização (h/dia)	Energia (Wh/dia)
	145,29	127	1,144	0,17	24,69

Fonte: Autoria própria (2018).

Fotografia 14 - Medição de grandeza elétrica em ampéres do controle eletrônico do religador.



Fonte: Autoria própria (2018).

- d) Esta condição, conforme demonstrada na tabela 6, contempla o controle eletrônico em regime de funcionamento por 23,50 horas (aguardando solicitação de acionamento) e a utilização da lâmpada interna de 15W e da resistência elétrica de 50W pelo período de 02 horas/dia, assim como a solicitação do acionamento do religador automático em situação de atuação de abertura ou fechamento dos contatos elétricos internos de potência (seccionamento da rede de média tensão) pelo período de tempo de 10 minutos diários (0,17 hora/dia), sendo possível vir a ocorrer de maneira intermitente estas atuações do religador automático dentro do período máximo de tempo de 10 minutos diários.

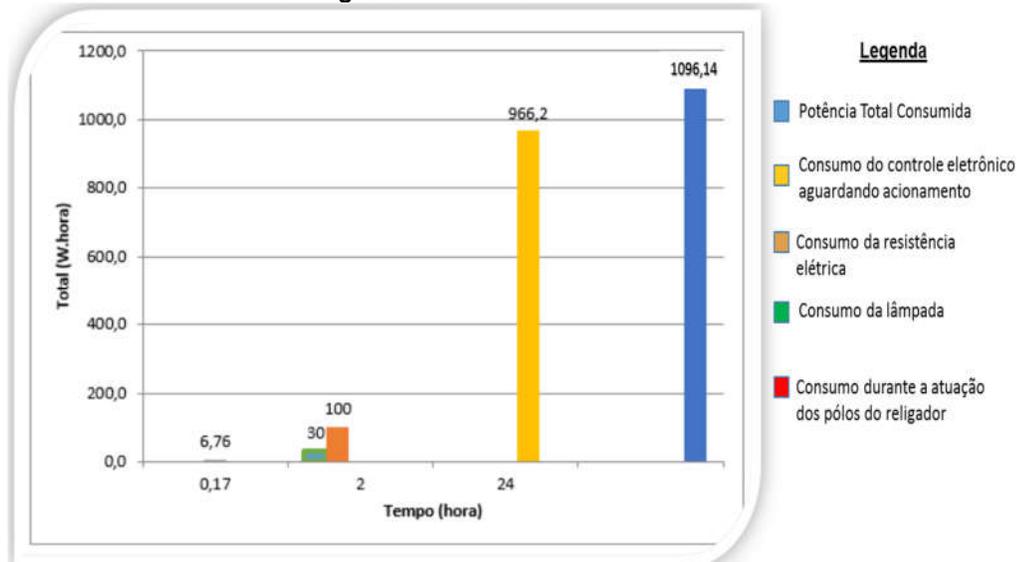
Tabela 6 - Controle eletrônico aguardando acionamento em período de 24 horas, lâmpada e resistência atuando 02 horas/dia e acionamento dos contatos de média tensão do religador automático por 10 minutos diários.

Quantidade	Aparelho elétrico	Potência (W)	Tensão Nom. (Vca)	Corrente Nom. (A)	Tempo utilização (h/dia)	Energia (Wh/dia)
1	Lâmpada	15	127	0,118	2	30
1	Resistência Elétrica	50	127	0,394	2	100
1	Controle eletrônico aguardando acionamento	40,26	127	0,317	23,83	959,38
1	Atuação dos polos do religador	39,74	127	0,313	0,17	6,76
Total		145,29		1,142		1096,14

Fonte: Autoria própria (2018).

Encontrado os valores de corrente elétrica na campanha de medição em laboratório e calculados os valores das quantidades diárias de energia (Wh/dia) necessária para a realização da atividade de trabalho do conjunto do equipamento elétrico, conforme gráfico 2, para efeito de estudo será considerada a soma das potências resultantes da opção **d**, constantes na tabela 6, parametrizando-se assim o valor total de **1096,14Wh/dia** a ser utilizado através do conjunto do controle eletrônico do religador automático de distribuição.

Gráfico 2 - Potência das cargas consumidas individualmente e total.

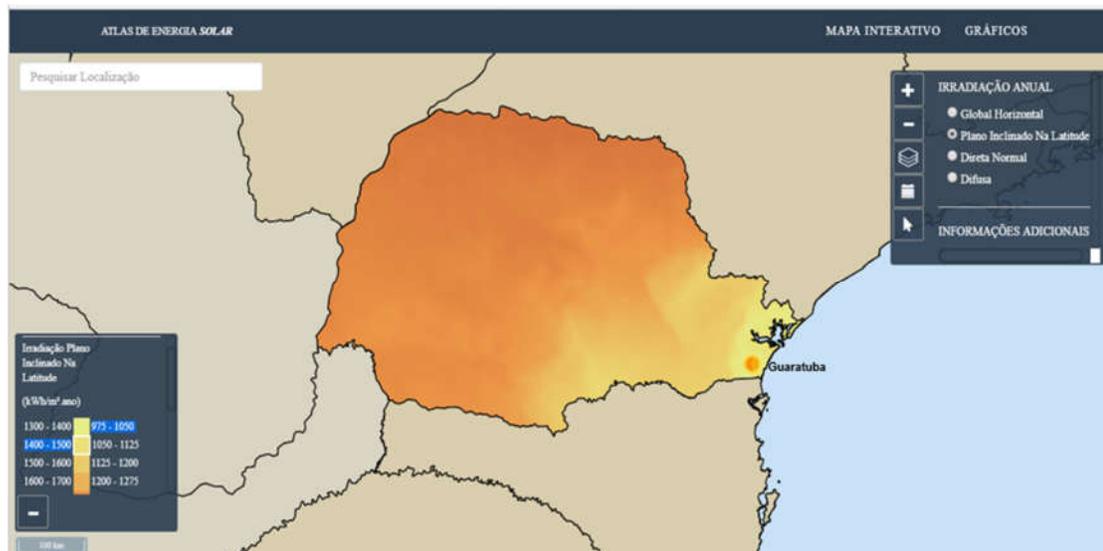


Fonte: Autoria própria (2018).

3.2 DETERMINAÇÃO DA IRRADIAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Determinada a energia elétrica diária requerida para funcionamento do conjunto do controle eletrônico do religador automático de distribuição em média tensão, é de fundamental importância a determinação da irradiação em kWh/m²/dia para o dimensionamento do sistema fotovoltaico projetado, sendo que para as situações de sistemas fotovoltaicos isolados, conforme Urbanetz (2016), deve-se sempre privilegiar os dados de inclinação e orientação dos painéis solares para a otimização da geração de energia nos meses de pior incidência de irradiação solar. Para este estudo considerou-se os dados fornecidos pelo Atlas de Energia Solar do Paraná (Tiepolo *et al.*, 2017), através do qual chega-se a conclusão de que a localização de menor incidência de irradiação solar anual no estado do Paraná, de acordo com o plano inclinado na latitude situa-se na região do município de Guaratuba, assim demonstrado na figura 14, onde assim conclui-se que para todo o resto do estado do Paraná o sistema fotovoltaico isolado funcionará perfeitamente.

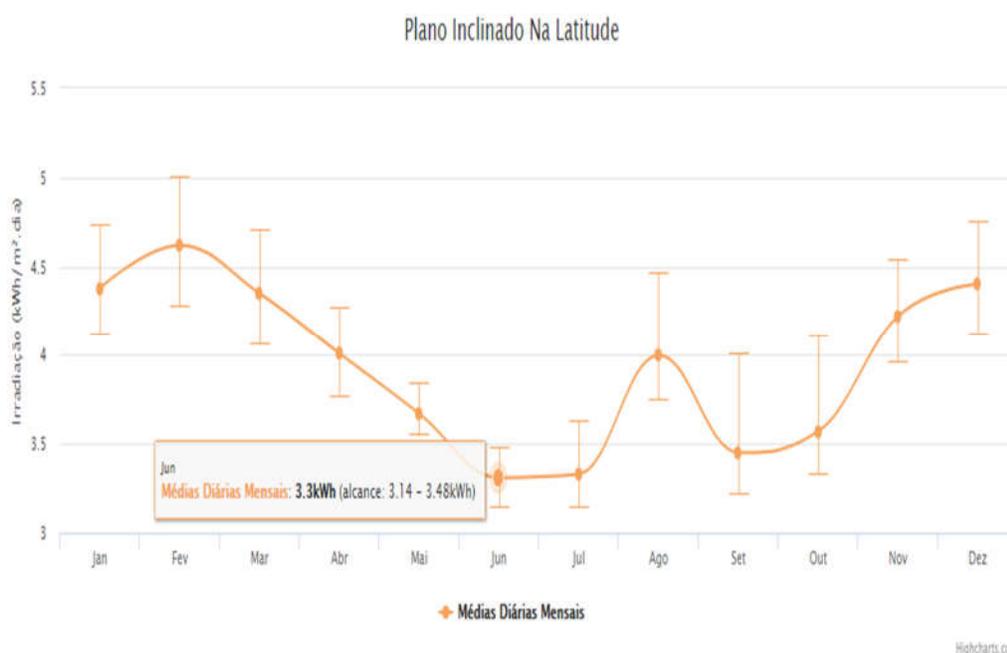
Figura 14 – Irradiação no estado do Paraná.



Fonte: Tiepolo *et al* (2017).

Aprofundando-se nas informações fornecidas pelo Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (Tiepolo *et al.*, 2017), observa-se que o mês de junho é o de pior média diária de irradiação solar no plano inclinado na latitude, situado no município de Guaratuba, estando assim demonstrado no gráfico 3, sendo este dado determinístico para o cálculo dos dados do sistema fotovoltaico isolado projetado.

Gráfico 3 - Irradiação solar mensal no plano inclinado na latitude no município de Guaratuba – Paraná.



Fonte: Tiepolo *et al.* (2017).

Encontrado este dado referente ao pior mês de irradiação solar média no plano inclinado na latitude no município de Guaratuba, o mesmo poderá servir de base para a aplicação nos demais sistemas fotovoltaicos de atendimento ao fornecimento de energia para os controles dos religadores automáticos de média tensão nas demais regiões do estado do Paraná, uma vez que o estado situa-se entre os paralelos de 22°30'58" de latitude norte e 26°43'00" de latitude sul e entre os meridianos 48°05'37" de longitude leste e 54°37'08" de longitude oeste, de acordo com os dados publicados no Atlas Geográfico do Paraná (Espírito Santo, 2008), conforme figura 15.

Figura 15 - Localização geográfica do estado do Paraná.



Fonte: Atlas Geográfico do Paraná (Espírito Santo, 2008).

3.3 DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Conhecendo-se os dados de energia demandada diariamente e de irradiação solar, conforme orientado por Urbanetz (2016), o dimensionamento da potência do painel fotovoltaico deve então ser calculado e encontrado utilizando-se dos dados conforme nomenclatura abaixo referenciada:

P_{fv} – potência nominal do painel fotovoltaico

E – energia demandada pelo controle do religador automático (Wh/dia)

H_{tot} – irradiação solar incidente no plano dos módulos fotovoltaicos (Wh/m²/dia)

F_{carreg} – fator de carregamento diário das baterias, acrescido de 10% pelo autor como margem de segurança

R – rendimento do conjunto dos componentes do sistema, onde 30% foi considerado pelo autor como perdas em razão do acúmulo de sujeira nos painéis e

degradação física ao longo do tempo, tolerância de fabricação para menos, em relação ao valor nominal e perdas devido a temperatura.

Onde:

$$P_{FV} = \frac{(E / H_{TOT})}{R} \cdot F_{CARREG} \quad \text{Eq. A1}$$

$$P_{fv} = ((1096,00 / 3300) / 0,7) \cdot 1,1$$

$$P_{fv} = 0,522\text{kWp}$$

Como resultado do cálculo da equação A1 encontrou-se o valor de 0,522kWp necessários para a potência do painel fotovoltaico, optando-se então pelo emprego do painel fotovoltaico com módulo de silício policristalino, exemplificado na figura 15. Conforme pesquisa de mercado, para a potência encontrada deverão ser utilizados dois painéis fotovoltaicos de 270Wp da marca Canadian, modelo CSI CSK – 270P ligados em série.

Figura 16 - Painel fotovoltaico com módulo de silício policristalino.



Fonte: Universo Solar (2018).

3.4 DETERMINAÇÃO DA ÁREA A SER OCUPADA PELO PAINEL FOTOVOLTAICO

Sequencialmente ao projeto, de acordo com notas de conteúdo de URBANETZ (2016), é necessário determinar área a ser ocupada pelo painel fotovoltaico, sendo que para este projeto será considerada a utilização do painel com módulo policristalino, possuindo o mesmo 15% de eficiência energética e dados conforme nomenclatura abaixo referenciada, seguida da fórmula empregada:

A - área a ser ocupada pelo painel fotovoltaico

P_{fv} - potência nominal do painel fotovoltaico

E_{ff} - eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica adotada

Onde:

$$A = \left(\frac{P_{FV}}{E_{FF}} \right) \times 100 \quad \text{Eq. A2}$$

$$A = (0,522/15) \cdot 100$$

$$\mathbf{A = 3,48m^2}$$

Conforme aplicação da equação A2, foi determinado que o valor a ser ocupado pelo painel fotovoltaico será de 3,5m².

3.5 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS A SER EMPREGADO

Para efeito deste projeto, conforme ainda orientado em aula pelo Prof. Dr. Urbanetz (2016), considerando dias de baixa irradiação solar (chuvosos), a qual a disponibilidade do emprego do controlador eletrônico do religador automático de média tensão deve manter-se, consideraremos que o banco de baterias a ser empregado deverá prover autonomia de 03 dias ao sistema, com

profundidade de descarga máxima admitida de 50% e descarga máxima diária de 20% e fator de segurança de 10%, para tal, deverão ser empregados os dados de entrada abaixo, de acordo com as informações apuradas, com a respectiva fórmula a ser empregada:

- a) Consumo diário de energia (Wh/dia) = 1096
- b) Tensão do barramento CC (V) = 12
- c) Autonomia desejada (dias) = 03
- d) Máxima profundidade de descarga (%) = 50%
- e) Máxima profundidade de descarga diária (%) = 20%
- f) Fator de segurança (%) = 10%

Onde calcula-se os seguintes fatores determinantes:

- a. Consumo em Ah/dia é igual a divisão do Consumo diário de energia (Wh/dia) pela Tensão do barramento CC (V):

Eq. A3

$$\text{Consumo em Ah/dia} = 1096/12$$

$$\text{Consumo em Ah/dia} = \mathbf{91,3}$$

- b. Capacidade preliminar não ajustada é igual ao Consumo em Ah/dia multiplicado pela Autonomia desejada (dias):

$$\text{Capacidade preliminar não ajustada} = 91,3 \times 3$$

Eq. A4

$$\text{Capacidade preliminar não ajustada} = \mathbf{274}$$

- c. Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga é igual a Capacidade preliminar não ajustada dividida pela Máxima profundidade de descarga (%), multiplicadas por 100.

Eq. A5

$$\text{Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga} =$$

$$(274/50).100$$

$$\text{Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga} = \mathbf{548}$$

- d. Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga diária é igual ao Consumo em Ah/dia dividido pela Máxima profundidade de descarga diária (%), multiplicados por 100.

$$\text{Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga diária} = (91,3/20).100 \quad \text{Eq. A6}$$

$$\text{Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga diária} = \mathbf{456,7}$$

- e. Capacidade ajustada em função da profundidade de descarga é o maior valor encontrado entre os valores da Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga e da Capacidade ajustada em função da máxima profundidade de descarga diária.

$$\text{Capacidade ajustada em função da profundidade de descarga} = \mathbf{548.}$$

- f. Capacidade ajustada em função do fator de segurança (Ah) é a Capacidade ajustada em função da profundidade de descarga multiplicada pelo resultado da divisão entre o Fator de segurança (%) e 100, somado a 1.

$$\text{Capacidade ajustada em função do fator de segurança (Ah)} = 548.((10/100)+1) \quad \text{Eq. A8}$$

$$\text{Capacidade ajustada em função do fator de segurança (Ah)} = \mathbf{602,8.}$$

De acordo com os valores calculados através das equações de A3 a A8, para o dimensionamento das baterias, para que haja o correto atendimento a corrente solicitada de 602,8Ah define-se que serão necessárias quatro baterias de 150Ah ligadas em paralelo para que possa ocorrer o atendimento a demanda de corrente necessária.

Conforme pesquisa realizada na internet em sítios de diversos fabricantes de baterias, verificou-se que a bateria estacionária da marca Heliar, modelo Freedom DF2500 o qual está demonstrada através da figura 17, possui as especificações necessárias para atendimento ao projeto proposto, conforme características do fabricante abaixo descritas:

- a. Amperes-hora á 25°C: 150 em 20 horas
- b. Watts-horas á 25°C: 93 em 20 horas
- c. Corrente de descarga (A) á 25°C em Diferentes Regimes a 25°C: 7,5
- d. Vida útil: 4 anos operando á 25°C, com profundidade de descarga de 20%
- e. Tensão de flutuação (compensação de auto descarga): 13,2 a 13,8V a 25°C, onde
- f. Compensação de temperatura: Para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033 V e para cada 1°C abaixo de 25°C, adicionar 0,033V

Figura 17 - Bateria estacionária marca Heliar, modelo Freedom DF2500.



Fonte: Heliar (2018).

3.6 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

Para o dimensionamento dos condutores a serem empregados neste sistema fotovoltaico para o suprimento de energia do conjunto do controlador eletrônico do religador automático de distribuição em média tensão, empregar-se-á a equação A9, conforme método ministrado em aula por Urbanetz (2016). Estarão sendo calculados os condutores para a ligação entre os painéis fotovoltaicos e o controlador de carga, sendo considerada a distância entre os mesmos como em 10 metros e a queda de tensão máxima admitida em 4%. Em relação as baterias e o controlador de carga e entre o controlador de carga e o inversor de tensão será considerada a distância de 03 metros e queda máxima de tensão admitida de 4%, e

do inversor de tensão para as cargas (controlador eletrônico do religador automático), o qual trata-se ser o lado de corrente alternada (CA) do sistema, será considerada a distância de 10 metros com queda de tensão máxima admitida em 4%.

3.6.1 Dimensionamento dos condutores para o emprego de corrente contínua (CC) entre os painéis fotovoltaicos e o controlador de carga

Área da seção transversal dos condutores de CC (mm²)

$$S_{cond} = \left(\frac{2 \cdot l \cdot P \cdot 0,0178}{V^2 \cdot \Delta V} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq. A9}$$

Onde:

S_{cond.} = Seção do condutor

l = comprimento do condutor

P = Maior potência do circuito

0,0178 = constante fornecida

V² = Tensão de máxima potência elevada ao quadrado

ΔV = Queda de tensão

Onde aplicado na equação A9 os dados apresentados:

- a) Comprimento do condutor de CC (m) = 10 metros
- b) Potência total do circuito (W) = 540W/p (potência total dos painéis fotovoltaico)
- c) Tensão do barramento CC (V) = Tensão de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos = 75,8V_{cc}
- d) Queda de tensão admitida (%) = 4%

Determinado os dados de entrada, encontra-se o resultado do emprego da equação A9, onde conclui-se que deverá ser utilizado um condutor do tipo solar do

lado de corrente contínua com valor teórico de $0,8\text{mm}^2$ de bitola, porém ressalta-se que a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 5410 (2004) admite somente o emprego de condutores com bitola mínima de $2,5\text{mm}^2$, todavia, em busca de maior confiabilidade e segurança, este autor estará optando neste estudo por utilizar um condutor específico para aplicação em sistemas fotovoltaicos (conforme características construtivas exemplificadas na figura 18) com bitola de 4mm^2 .

Figura 18 - Cabo para Aplicação em Sistemas Fotovoltaicos.



Fonte: General Cable (2018).

3.6.2 Dimensionamento dos condutores para emprego de corrente contínua (CC) entre as baterias e o controlador de carga e entre o controlador de carga e o inversor de tensão.

De acordo com os dados de entrada apresentados é aplicada a equação A9:

- e) Comprimento do condutor de CC (m) = 03 metros
- f) Potência total do circuito (W) = $540\text{W}/p$ (potência total dos painéis fotovoltaico)
- g) Tensão do barramento CC (V) = 12Vcc
- h) Queda de tensão admitida (%) = 4%

Resultante dos dados de entrada empregados na equação A9, determina-se assim que deverá ser utilizado um condutor de bitola **10mm²** entre o banco de baterias e o controlador de carga.

3.6.3 Dimensionamento dos condutores para emprego de corrente alternada (CA) entre o inversor de tensão e a entrada de alimentação de tensão do conjunto do controlador eletrônico.

Aplicando-se na equação A9 os dados de entrada:

- a) Comprimento do condutor de CA (m) = 10 metros
- b) Potência total do circuito (W) = 300 (maior potência encontrada no circuito, o qual vem a ser a do inversor de tensão, em regime normal de funcionamento contínuo)
- c) Tensão do barramento CA (V) = 127V_{ca}
- d) Queda de tensão admitida (%) = 4%

Após o emprego dos dados de entrada na equação A9, verificado que o valor teórico do condutor encontrado para emprego no lado de corrente alternada deverá ser igual a 0,2mm². Em razão da Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 5410 (2004) admitir somente o emprego da bitola mínima de **2,5mm²**, deverá ser esta a empregada para o dimensionamento deste condutor no lado de corrente alternada do sistema, sendo o mesmo exemplificado através da figura 19.

Figura 19 - Cabo flexível em EPR para aplicação geral.



Fonte: Condu spar (2018).

Para realização das conexões elétricas entre os painéis do sistema fotovoltaico deverão ser utilizados em conjunto com os cabos, conectores do tipo

MC4, conforme demonstrados através da figura 20, material este de patente da empresa da alemã Multi-Contact, o qual desenvolveu-o especialmente para este tipo de aplicação. Este conector estabeleceu-se como um “padrão mundial”, conforme citado no site www.neosolar.com.br.

Entre as características deste conector, de acordo com o fabricante, podemos citar:

- Proteção UV, sendo de maior resistência ao tempo (umidade e intempéries);
- Travamento automático, sem que venha a ocorrer desconexão;
- Montagem simples e fácil acoplamento aos cabos

Figura 20 - Conectores para aplicação fotovoltaica tipo MC4.



Fonte: Neosolar (2018a).

3.7 DETERMINAÇÃO DO CONTROLADOR DE CARGA

Conforme nota de aula ministrada por URBANETZ (2016), o controlador de carga tem por objetivo preservar o máximo possível a vida útil das baterias, evitando e prevenindo que venham a ocorrer explosões e falhas no sistema. Corrobora o portal Minhacasasolar, com a afirmação de que “a principal função do controlador de carga é proteger as baterias contra o carregamento e descarregamento excessivo”.

Para determinação do controlador de carga a ser utilizado, verificamos as características elétricas dos dois painéis fotovoltaicos da fabricante Canadian, cujo modelo CSI CSK – 270P foram os escolhidos para serem empregados neste projeto:

- a. Potência nominal máxima: 270W
- b. Tensão de operação: 30,8V
- c. Corrente de operação: 8,75A
- d. Tensão de circuito aberto: 37,9V
- e. Corrente de curto-circuito: 9,32A
- f. Eficiência do modulo: 16,50%
- g. Máxima tensão do sistema: 1000V

Orientou Urbanetz (2016) em nota de aula realizada, que a disposição da ligação dos módulos fotovoltaicos (série, paralelo ou misto) dependerá da tensão do controlador de carga. A soma da máxima tensão encontrada de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos e o maior valor de corrente (pelos painéis fotovoltaicos ou consumo) é que determinará a capacidade do controlador, não podendo ser ultrapassada as capacidades limites deste. Baseado nesta orientação, foi verificado que o controlador Xantrex, modelo C40, conforme figura 21, atenderá as especificações deste projeto, de acordo com as características técnicas apresentadas pelo fabricante:

- **Elétricas:**
 - a. Tensão de operação (CC): 12, 24 e 48V
 - b. Tensão máxima (CC) em arranjo de voltagem de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos: 125V
 - c. Corrente de carregamento (CC): 40A
 - d. Corrente máxima de pico: 85A

- **Mecânicas:**
 - a. Faixa de Temperatura de Operação: 0°C a +40°C
 - b. Dimensões (L x A x P) mm: (254 x 127 x 63,5) mm
 - c. Peso: 1,4Kg

Figura 21 - Controlador de carga marca Xantrex, modelo C40.



Fonte: Neosolar (2018b).

Constatadas as características elétricas do controlador de carga, determina-se que o arranjo elétrico entre os dois painéis fotovoltaicos deverá ser do tipo ligação em série, confirmando-se assim a soma das potências dos dois painéis fotovoltaicos, em razão das seguintes constatações:

- a. A tensão máxima (CC) de operação em circuito aberto do controlador de carga é maior do que a soma das tensões em arranjo do circuito aberto dos dois painéis fotovoltaicos,
- b. A corrente de carregamento (CC) do controlador de carga é maior do que a corrente gerada pelo arranjo elétrico dos dois painéis fotovoltaicos.

3.8 DETERMINAÇÃO DO INVERSOR DE TENSÃO

Para a utilização em conjunto com os painéis fotovoltaicos é muito importante a escolha de um inversor corretamente dimensionado para a aplicação proposta.

Conforme o sitio www.portalsolar.com.br, “o papel principal do inversor solar no sistema é inverter a energia elétrica gerada pelo painel solar, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA).” Desta forma, conforme avaliação dos dados dos equipamentos de diversos fabricantes, optou-se pela escolha do inversor da marca MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine, exemplificado na figura 22, o qual demonstra através das informações fornecidas pelo fabricante, ser um equipamento adequado ao emprego proposto, conforme as características técnicas abaixo:

- **Elétricas:**

- a. Potência de Surto: 600W
- b. Potência máxima contínua: 300W
- c. Frequência de saída: 60Hz +/- 0,1%
- d. Tensão de entrada CC: 10,0 -15,5V
- e. Tensão de saída CA: 115V +/- 10%
- f. Consumo próprio (Saída de CA ligada): 450 mA
- g. Forma de onda: Senoidal pura, DHT (distorção harmônica total) <4%
- h. Eficiência máxima: 92%

- **Mecânicas**

- a. Faixa de Temperatura de Operação: -40°C a +45°C
- b. Dimensões (L x A x P) mm: (213 x 152 x 105) mm
- c. Peso: 4,5Kg

Figura 22 - Inversor de tensão, marca MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.

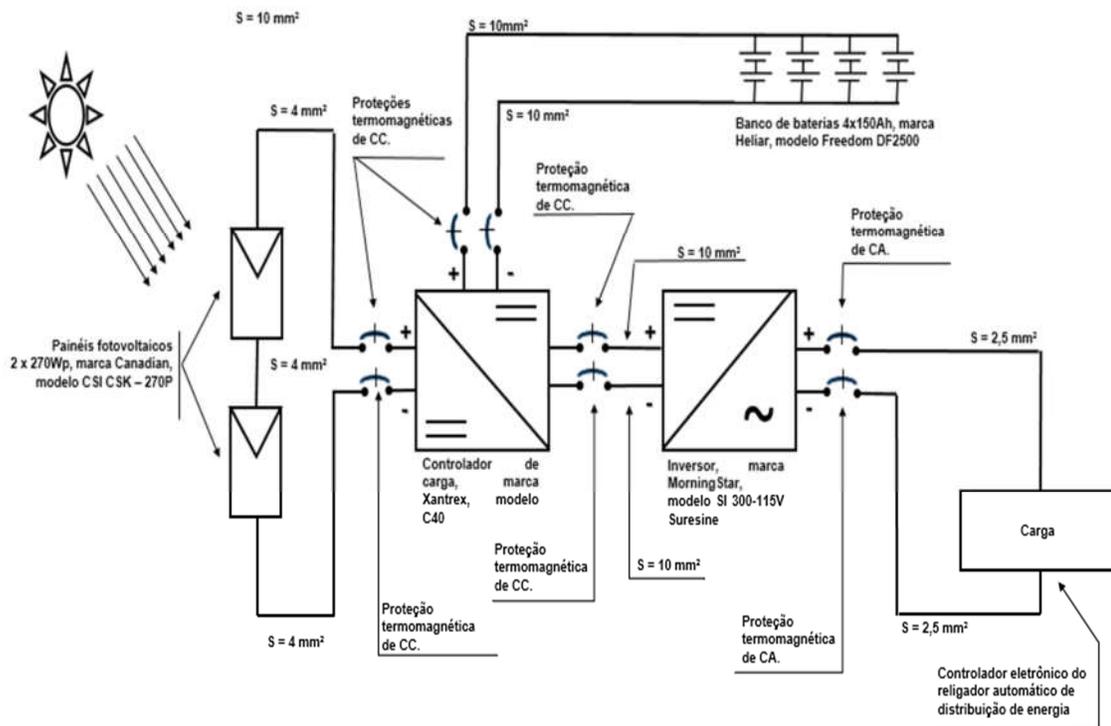


Fonte: Morningstarcorp (2018).

3.9 ESQUEMA ELÉTRICO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA.

Através da figura 23, demonstra-se o esquema elétrico do sistema fotovoltaico de geração e fornecimento de energia ao controle eletrônico do religador automático de distribuição, com descrição dos equipamentos e materiais empregados e respectivas ligações elétricas. Em razão de que o objetivo deste autor se limita ao dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaica, em caráter ilustrativo, somente estão demonstradas as proteções do sistema através de disjuntores, porém não estando os mesmos dimensionados.

Figura 23 - Esquema elétrico do sistema fotovoltaico.

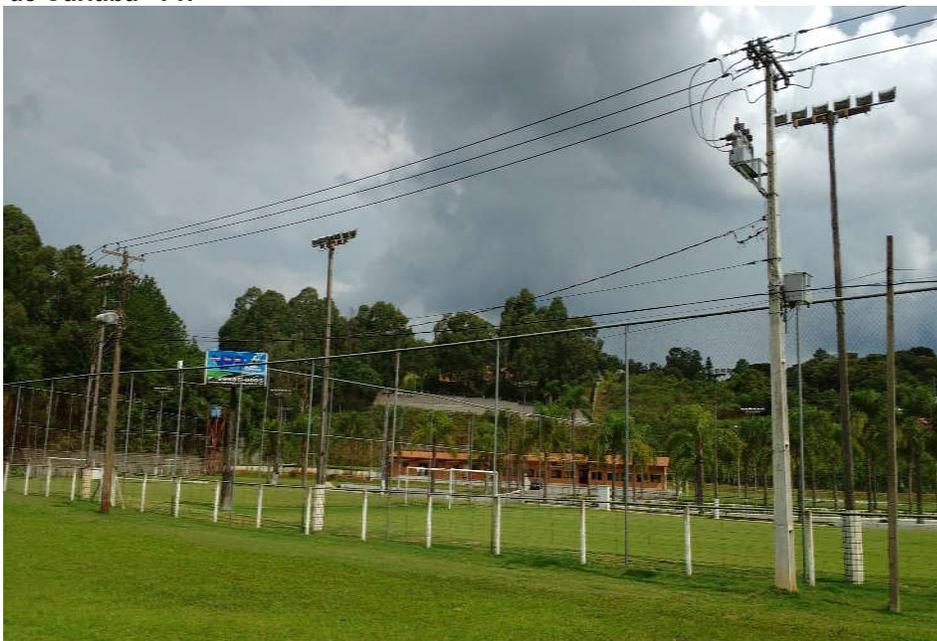


Fonte: Autoria própria (2018).

4 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE CUSTOS DOS SISTEMAS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA AO CONJUNTO DO CONTROLE ELETRÔNICO

Este capítulo tem como objetivo realizar uma breve comparação entre os custos atuais dos materiais e equipamentos de um posto de transformação de 45kVA de potência trifásica classe 15kV existente na rede de distribuição de energia da Companhia Paranaense de Energia – Copel, conforme demonstrado em primeiro plano na Fotografia de nº 16 e sua rede de baixa tensão em 220/127Vca, os quais atendem o conjunto de um controlador eletrônico de um religador automático de proteção em média tensão – classe 15kV da marca ARTECHE existente (caso real), exibido em primeiro plano na Fotografia de nº15, no alimentador Passaúna da subestação Campo Comprido em Curitiba –Paraná e o sistema fotovoltaico projetado no Capítulo 3 deste trabalho acadêmico.

Fotografia 15 - Religador Automático instalado no Al. Passaúna, localizado no município de Curitiba - Pr.



Fonte: Autoria própria (2018).

Fotografia 16 - Posto de Transformação e Rede de Baixa Tensão instalados no Al. Passaúna, localizado em Curitiba-Pr.



Fonte: Autoria própria (2018).

4.1 CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO COM UM VÃO DE REDE DE BAIXA TENSÃO

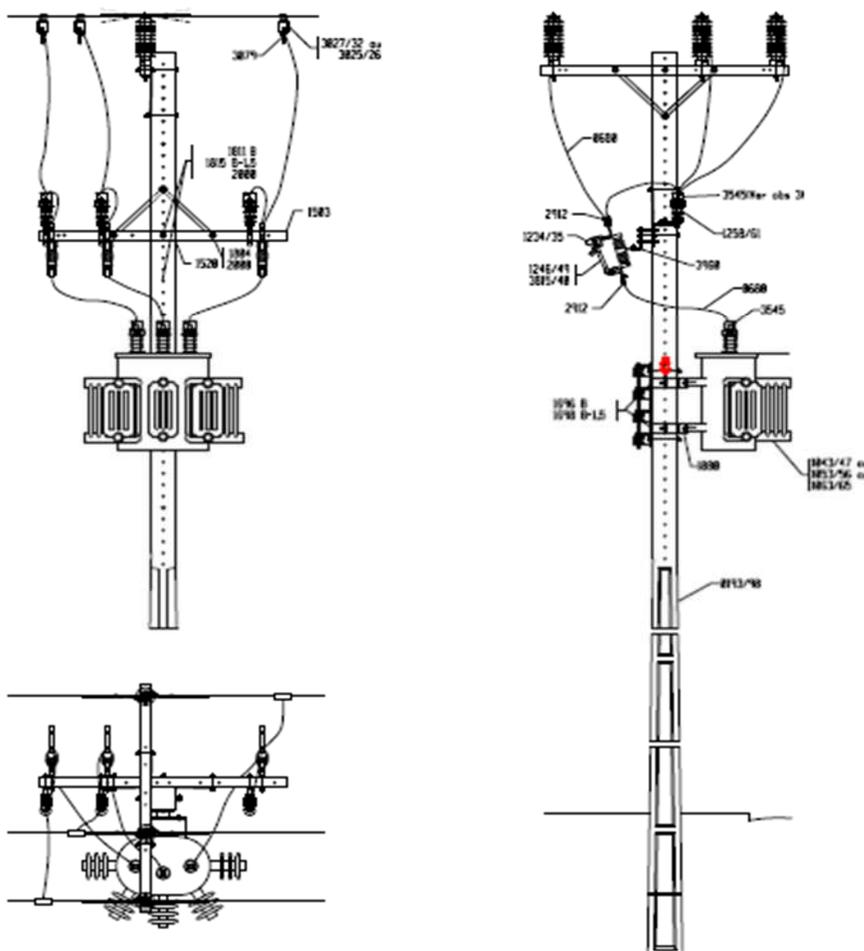
Os custos dos equipamentos apurados em relação ao posto de transformação e ao vão de cabo da rede de baixa tensão citados, foram fornecidos pela Companhia Paranaense de Energia – Copel, orçamento este emitido e autorizado para divulgação neste trabalho acadêmico, estando detalhadamente vinculado como figuras 25 e 26 deste estudo. Os custos verificados do sistema fotovoltaico, foram realizados conforme pesquisa de mercado através da internet.

Não foram considerados custos de mão de obra nesta comparação de valores, pois o objetivo, como citado, é apenas ilustrar brevemente os custos entre os materiais e equipamentos dos dois sistemas de potência.

Para apurar-se o custo dos equipamentos do posto de transformação de 45kVA trifásico foi considerado o padrão de montagem da Norma Técnica Copel - NTC 856 502 (N1 - NSPRCF-TT), constante na figura 24 onde:

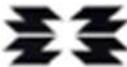
- N1 – Estrutura superior (1º nível) composta por uma cruzeta e três isoladores classe 15kV,
- NS – Estrutura inferior (2º nível), composta por uma cruzeta, chaves fusíveis de proteção e para-raios classe 15kV,
- TT – Transformador trifásico de distribuição de 45kVA de potência, classe 15kV.

Figura 24 - Posto de transformação de 45kVA trifásico, classe 15kV, padrão Copel.



Fonte: Companhia Paranaense de Energia – Copel (2018a).

Figura 25 - Relação de materiais do posto de transformação de 45kVA trifásico com um vão de rede secundária de baixa tensão (220/127V), padrão Copel.

		COPEL DISTRIBUIÇÃO S.A. Gestão da Distribuição - Obras		Data: 22/02/2018 16:13:14 Página : 2 de 4			
RELAÇÃO DE MATERIAIS DO PROJETO							
Projeto	767152			Ordem em Curso			
Título da obra	ORÇAMENTO DE UM POSTO DE TRANSFORMAÇÃO TRIFÁSICO 45KVA E EXTENSÃO						
Data de Início	21/02/2018			Data de Término 21/05/2018			
Área	VPOCTA - Div. Projetos e Obras Curitiba						
Item Oro.	492000 - Reforço de Redes Rurais			Município	Curitiba		
Finalidade	ORÇAMENTO DE UM POSTO DE TRANSFORMAÇÃO TRIFÁSICO 45KVA E EXTENSÃO DE 37 M DE SECUNDÁRIA PARA ATENDER CONTROLE ELETRÔNICO DE UM RELIGADOR AUTOMÁTICO.						
Item	Código	Descrição	Unid.	Cód. Intr.	Cód. Ret.	Cód. Resplc 4	Cód. Resplc -
1	15002540	CHAVE FUS. OSTE, TIPO C, 15KV C/PF.	qj		3,000		
2	15004337	ISOLADOR ROLDANA	un		2,000		
3	15004401	ALÇA PRE-FORMADA CA-CAA 2 AWG	un		1,000		
4	15004732	ISOLADOR PILAR PORCELANA 15KV	un		3,000		
5	15004852	FIO AÇO-COBRE 16 MM2	kg		2,000		
6	15005500	ARMAÇÃO SEC. COM 1 ESTRIBO	un		2,000		
7	15006270	PARA-RAIOS - 15KV - SKA DISTRIBUC	un		3,000		
8	15006340	ELO FUSIVEL 500MM 3A TIPO H	un		3,000		
9	15006292	HASTE ATERR. AÇO-COBRE 2,4 M	un		1,000		
10	15010282	CRUZETA DE CONCRETO RETANG. 2.	un		2,000		
11	15010292	NAD FRANCESA PLANA 812MM	un		4,000		
12	15010582	RINO ALTO TRAVANTE 140MM P/ 150	un		3,000		
13	15010924	PARAFUSO CABECA QUAD. 125MM	un		4,000		
14	15011032	PARAFUSO CABECA QUAD. 200MM	un		1,000		
15	15011062	PARAFUSO CABECA QUAD. 250MM	un		1,000		
16	15011092	PARAFUSO CABECA QUAD. 300MM	un		3,000		
17	15011122	PARAFUSO CABECA QUAD. 350MM	un		1,000		
18	15011402	PARAFUSO CABECA ABACUL. 45MM	un		5,000		
19	15011477	ARRUELA QUADRADA	un		11,000		
20	15011912	LADO TOPO CA 2 AWG	un		3,000		
21	15013792	CONNECT.TERM. COMP. CA CAA 2 AW	un		6,000		
22	15014007	CONNECTOR PERFORANTE 16-70 X 6-3	un		3,000		
23	15014302	ESTRIBO CONNECTOR DERIV. CUNHA	un		3,000		
24	15014564	CONNECTOR DER. LV COBRE 25 A 95M	un		3,000		
25	15014602	CONNECT.CUNHA. 2CA-35MM/ 2CA E 9	un		3,000		
26	15014602	CONNECTOR ATERRAMENTO CUNHA;	un		1,000		
27	15014632	CONNECTOR ATERRAMENTO CUNHA;	un		1,000		
28	15015062	CINTA PLÁSTICA AUTO TRAVANTE.	un		1,000		
29	15015107	PROTECTOR DE BUCHA AT DE TRAFQ	un		3,000		
30	15015552	CONNECT.TERM. COMP. COBRE 16MM	un		7,000		
31	15025972	SUORTE L; P/CHAVE FUSIVEL E PA	un		6,000		
32	20004392	TRANSF. TRF. 13,2 KV 45 KVA	un		1,000		
33	20009152	POSTE DUPLO T 8/300/12,0M	un		1,000		
34	20009557	CABO DE COBRE COBERTO 16MM2 I	m		12,000		
35	20009572	SUORTE TRANSF. OT 195X100MM	un		2,000		
36	20011822	CABO DE ALUM. QUADRUPLEX 35 M	m		35,000		

Fonte: Companhia Paranaense de Energia – Copel (2018b).

Figura 26 - Orçamentação do posto de transformação de 45kVA trifásico e um vão de rede secundária de baixa tensão (220/127V), padrão Copel.

		COPEL DISTRIBUIÇÃO S.A. Rua José Izidoro Bazzetto, 158 - Curitiba - PR - CNPJ : 04.368.898/0001-06 CEP 81200-240 - Telefone: (041) 331-4141 - Inscr. Estadual : 90.233.073		Data Impressão : 22/02/2018 Gestão da Distribuição - Obra ORÇAMENTAÇÃO Nº 976116 22/02/2018	
TÍTULO DA OBRA					
ORÇAMENTO DE UM POSTO DE TRANSFORMAÇÃO TRIFÁSICO 45KVA E EXTENSÃO DE 37M DE REDE					
NÚMERO DO PROJETO 767152		LOCALIDADE CAMPO LARGO - PASSAUNA			
EVENTO ESPECIAL 0000 - Sem evento		OCB		ELABORADO POR 50053 - ANGELICA PATRICIA DOS	
ITEM ORÇAMENTÁRIO 492000 - Reforço de Redes Rurais			NOME DO INTERESSADO AMAURI DE FREITAS CASSIOLATO		
OBSERVAÇÕES					
FINALIDADE DA OBRA					
ORÇAMENTO DE UM POSTO DE TRANSFORMAÇÃO TRIFÁSICO 45KVA E EXTENSÃO DE 37 M DE SECUNDARIA PARA ATENDER CONTROLE ELETRÔNICO DE UM RELIADOR AUTOMÁTICO.					
DADOS TÉCNICOS E COMERCIAIS					
Extensão RD e/ou LD (km) Instalado :		0,000		Extensão RD e/ou LD (km) Retirado :	
				0,000	
Luminária(s) Instalada(s) :		0		Luminária(s) Retirada(s) :	
				0	
Posto(s) de Transformação Instalado(s) :		1		Posto(s) de Transformação Retirado(s) :	
				0	
KVAs Instalados :		45,00		KVAs Retirados :	
				0,00	
Poste(s) Instalado(s) :		1		Poste(s) Retirado(s) :	
				0	
Unidade(s) Consumidora(s) :		0			
DADOS DE CUSTO					
01 - MATERIAL		6.980,70		FRETE MATERIAL US	
				0,000	
02 - MÃO DE OBRA DE TERCEIROS		2.144,39		FRETE POSTES US	
				0,000	
03 - ESTUDOS E JOU TOPOGRAFIA		0,00		MÃO DE OBRA TERCEIROS US	
				37,081	
04 - MÃO DE OBRA PRÓPRIA		651,42		REMOÇÃO US	
				0,000	
05 - TRANSPORTE		0,00		TOTAL DE US	
				37,081	
06 - DESPESAS ADMINISTRATIVAS		0,00		PERCENTUAL COM	
				30,17	
07 - ADIÇÃO PATRIMONIAL (1 A 6)		9.776,51		PERCENTUAL CA	
				52,94	
08 - CUSTO DE REMOÇÃO		0,00			
09 - MATERIAL SALVADO (LIM. 01)		0,00			
10 - CUSTO DA OBRA C/15 % (7 + 8 - 9)		11.242,99			
11 - LIMITE DE INVESTIMENTO		0,00			
12 - CONTRIBUIÇÃO DO INTERESSADO		0,00			

Fonte: Companhia Paranaense de Energia – Copel (2018c).

Desta forma foi apurado o custo dos materiais e equipamentos do valor do posto de transformação de 45kVA trifásico, que é o valor de **R\$ 6.980,70**, conforme demonstrado na figura 26.

4.2 CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

Sequencialmente demonstra-se a pesquisa de preços referentes aos materiais e equipamentos para montagem do sistema fotovoltaico:

4.2.1 Tomada de preços unitários dos Módulos dos Painéis Fotovoltaicos da Marca Canadian, modelo CSI CSK – 270P (270Wp).

Conforme tabela 7, de acordo com consulta realizada na internet em 25/02/2018, encontram-se as consultas de preços realizadas, com melhor oferta de preço unitário estando demonstrada na figura 27:

Tabela 7 - Tomada de preços dos módulos fotovoltaicos da marca Canadian.

Fornecedor	Preço
NeoSolar	R\$ 579,84
Eletrônicos PRIME	R\$ 690,00
EnergiaTotal	R\$ 692,00

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 27 – Pesquisa de preço do módulo fotovoltaico Canadian CSI CS6K – 270P (270Wp).

The screenshot shows the NeoSolar website interface. At the top, there is a navigation bar with the NeoSolar logo and links for 'A NEOSOLAR', 'CALCULADORA SOLAR', 'CURSOS', and 'LOJA'. Below the navigation bar is a search bar with the text 'busca: Digite o que procura...' and a shopping cart icon indicating 'O seu carrinho está vazio'. The main content area features a 'MENU' on the left with categories like 'Promoção', 'Painéis Solares', 'Controladores de Carga', etc. The central focus is the product page for 'Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6K-270P (270Wp)'. The product is identified by the number '10000366' and has a price of 'por: R\$604,00'. Below the price, it states 'em até de 3X de R\$ 201,33 sem juros' and 'à vista: R\$ 579,84 no Boleto (4% desconto)'. There are buttons for 'ENVIO IMEDIATO' and 'COMPARAR PRODUTO'.

Fonte: Neosolar (2018c).

Considerando que serão utilizados dois módulos fotovoltaicos neste projeto, o valor do investimento neste tipo de equipamento será **R\$1159,68**.

4.2.2 Tomada de preços da Bateria estacionária Heliar Freedom DF2500.

Conforme tabela 8, de acordo com consulta realizada através da internet em 13/03/2018, encontra-se a pesquisa de preços realizada, estando a melhor oferta de preço demonstrada na figura 28:

Tabela 8 - Tomada de preços da bateria estacionária marca Heliar.

Fornecedor	Preço
Reis Baterias	R\$827,91
60Hz Energias Renováveis	R\$ 852,23
NeoSolar	R\$1099,00

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 28 – Pesquisa de preço da bateria Estacionária, marca Freedom, modelo DF2500.

The screenshot shows the website interface for REIS BATERIAS. At the top, there is a navigation bar with contact details: Telefone: (11) 4451-3554, Whatsapp: (11) 99812-5825, and SKYPE: REISBATERIAS. Below this is a search bar with the prompt 'Digite modelo da bateria ou do seu veículo'. A secondary navigation bar lists various battery types: BATERIA AUTOMOTIVA, BATERIA ESTACIONARIA, BATERIA DE MOTO, BATERIA NÁUTICA, BATERIA ALTA PERFORMANCE, and BATERIA TRACIONARIA. A promotional banner for 'DISK BATERIAS / DUVIDAS' provides phone numbers (11) 4451-3554 / 4451-1701 / 2378-7601 and (11) 99812-5825, along with a 'solcite cotação' button. The main product listing is for 'Bateria Estacionária Freedom DF2500 - 150Ah / 165Ah'. It includes a large image of the battery, a 'Comprar' button, and pricing information: 'R\$ 1.019,00 R\$ 919,90 até 6x de R\$ 153,31 sem juros ou R\$ 827,91 via Boleto'. Payment options for 'Parceles' are shown as '1x de R\$ 919,90 sem juros' and '7x de R\$ 153,20'. A status indicator shows 'Estoque: Disponível' and a note 'Offline - Deixe sua mensagem!'.

Fonte: Reis Baterias (2018).

Considerando que serão utilizadas quatro baterias estacionárias neste projeto, o valor do investimento neste tipo de equipamento será **R\$3331,64**.

4.2.3 Tomada de preços do inversor da marca MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.

De acordo com a tabela 9, conforme consulta realizada através da internet em 13/03/2018, encontram-se as cotações de preço realizadas, estando demonstrado na figura 29, o menor valor de preço encontrado:

Tabela 9 - Tomada de preços do inversor MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.

Fornecedor	Preço
MinhaCasaSolar	R\$ 599,00
Mercado Livre	R\$ 699,00

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 29 – Pesquisa de preço do Inversor marca MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.

The screenshot shows the product page for the MorningStar SI-300 Suresine inverter on the website 'MinhaCasaSolar'. The page features a navigation bar with links for 'MINHA CONTA', 'ATENDIMENTO', 'INTEGRADORES', 'BLOG', 'TELEVENDAS: (31) 3479-1400', and 'ORÇAMENTO GRATIS'. Below the navigation bar is a search bar with the text 'Olá, Visitante! Entre ou Cadastre-se' and a 'BUSCAR' button. The main content area displays the product image, title 'Inversor de 300W 12V/115V Onda Senoidal Morningstar - Si-300 Suresine', and a price of R\$ 599,00. A 2-year warranty is highlighted, and there are buttons for 'COMPRAR' and 'ADICIONAR AO CARRINHO'. The page also shows a shipping section with 'Frete e prazo: CEP' and 'Ok' buttons.

Fonte: MinhaCasaSolar (2018b).

4.2.4 Tomada de preços do controlador de carga da marca Xantrex, modelo C40.

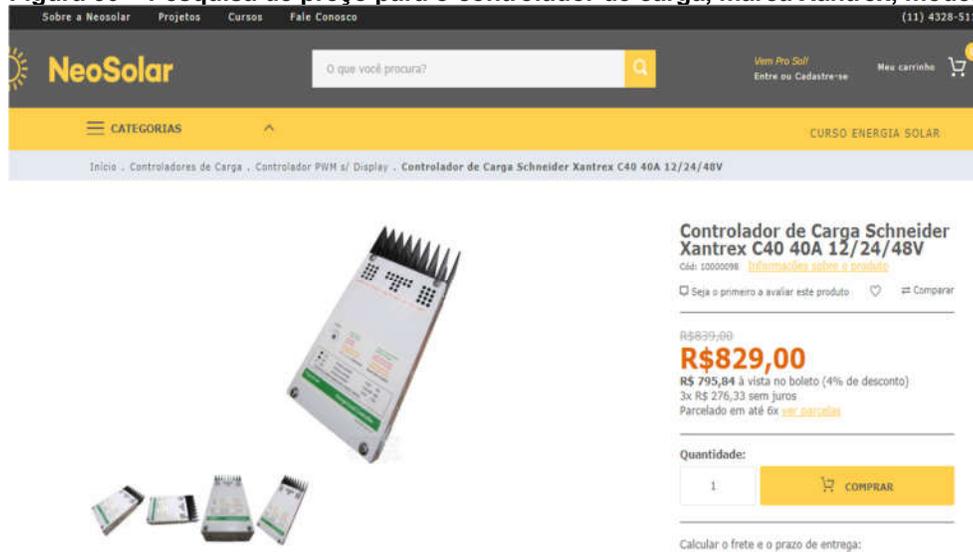
Conforme tabela 10, encontram-se as consultas de preços realizadas através da internet em 13/03/2018, contendo a figura 30 a demonstração da melhor oferta de preço:

Tabela 10 - Tomada de preços do controlador de carga marca Xantrex, modelo C40.

Fornecedor	Preço
NeoSolar	R\$829,00
MinhaCasaSolar	R\$ 840,00
ConceitoSolar	R\$ 875,00

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 30 – Pesquisa de preço para o controlador de carga, marca Xantrex, modelo C40.



The screenshot shows the Neosolar website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Sobre a Neosolar', 'Projetos', 'Cursos', and 'Fale Conosco'. The main header features the Neosolar logo, a search bar with the placeholder 'O que você procura?', and a shopping cart icon. Below the header, there is a yellow banner with 'CATEGORIAS' and 'CURSO ENERGIA SOLAR'. The breadcrumb trail reads: 'Início > Controladores de Carga > Controlador PWM s/ Display > Controlador de Carga Schneider Xantrex C40 40A 12/24/48V'. The product page displays a large image of the charge controller and three smaller images below it. The product title is 'Controlador de Carga Schneider Xantrex C40 40A 12/24/48V' with a code '10000098'. The price is listed as 'R\$829,00' in large orange text, with a crossed-out price of 'R\$829,00' above it. Below the price, it says 'R\$ 795,84 à vista no boleto (4% de desconto)' and '3x R\$ 276,33 sem juros'. There is a 'COMPRAR' button and a 'Seja o primeiro a avaliar este produto' link. At the bottom, it says 'Calcular o frete e o prazo de entrega:'.

Fonte: Neosolar (2018d).

4.2.5 Tomada de preços (em metros) dos cabos solar e convencionais.

Conforme tabelas 11, 12 e 13, encontram-se as pesquisas de preços realizadas através da internet em 19/03/2018, estando as melhores ofertas apresentadas nas figuras 31, 32 e 33:

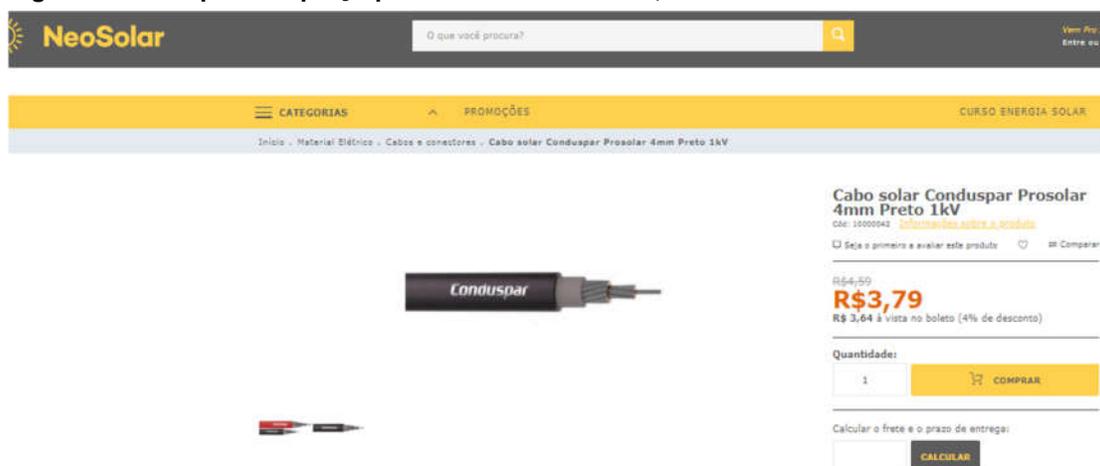
a) Cabo solar 4mm², classe 1kV:

Tabela 11 - Tomada de preços do cabo solar de bitola 4mm².

Fornecedor	Preço
Neosolar	R\$ 3,79
MercadoLivre	R\$3,99
PandaEnergiaSolar	R\$5,90

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 31 – Pesquisa de preço para o cabo solar 4mm², classe 1kV.



Fonte: Neosolar (2018e).

De acordo com o projeto, deverá ser utilizado entre os módulos fotovoltaicos e o controlador de carga, a quantidade de 10 metros de cabo solar de bitola 4mm², flexível, classe 1kV, por condutor, totalizando assim 20 metros a serem empregados. Considerando-se um adicional de 10% de segurança, o total geral deverá ser de 22 metros de aplicação deste cabo, o que perfaz o valor de **R\$83,38** através da melhor oferta de preço encontrada, conforme tabela 11 e figura 31.

b) Cabo flexível 10mm² tipo convencional, classe 1kV:

Tabela 12 - Tomada de preços do cabo convencional de bitola 10mm².

Fornecedor	Preço
IrmãosAbage	R\$4,02
FerramentasGerais	R\$4,90
Cigame	R\$ 5,68

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 32 - Pesquisa de preço do cabo flexível 10mm² tipo convencional, classe 1kV.

The screenshot shows the website interface for Irmãos Abage. At the top, there is a search bar with the text 'Digite o que deseja buscar' and a shopping cart icon indicating '0 ITEM' and 'SUBTOTAL: R\$0,00'. Below the search bar is a navigation menu with various categories: 'Elétricos', 'Iluminação', 'Hidráulicos', 'Utilidades Domésticas', 'Ferragens e Ferramentas', 'Eletro-Eletrônico', and 'OUTLET'. A 'FILTRE POR MARCAS' button is also present. The main content area displays the product 'Cabo Flexível 10 mm Por Metro Conduspar' with a price of R\$ 4,02, a 13% discount, and a 'COMPRAR' button. The breadcrumb trail is 'Página Inicial > Fios e Cabos > Flexíveis > 10,0 mm²'.

Fonte: Irmãos Abage (2018a).

Conforme o projeto, deverá ser utilizado 03 metros de cabo 10mm², flexível, classe 1kV, por condutor entre o banco de baterias, o controlador de carga e o inversor tensão, considerando-se que são empregados dois condutores, com uma margem de segurança acrescida de 10%, o total deverá ser empregado 07 metros deste cabo, arredondando-se o comprimento, o que totaliza o valor de **R\$28,14**, através da melhor oferta de preço encontrada conforme tabela 12 e demonstrada através da figura 32.

c) Cabo EPR flexível 2,5mm² tipo convencional, classe 1kV:

Tabela 13 - Tomada de preços do cabo solar de bitola 2,5mm².

Fornecedor	Preço
Irmãos Abage	R\$1,25
Cigame	R\$1,77
Ferramentas Gerais	R\$5,90

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 33 - Pesquisa de preço do cabo flexível 2,5mm², tipo convencional, classe 1kV.

The screenshot shows the website interface for Irmãos Abage. At the top, there is a search bar with the text "Digite o que deseja buscar" and a shopping cart icon indicating "0 ITEM SUBTOTAL: R\$0,00". Below the search bar is a navigation menu with categories: "TODOS OS DEPARTAMENTOS", "Elétricos", "Iluminação", "Hidráulicos", "Utilidades Domésticas", "Ferragens e Ferramentas", "Eletro-Eletrônico", and "OUTLET". A banner for "Arduino Project Builder" is visible. The main content area shows a product page for "Cabo EPR Flexível 1KV 2,5 mm Conduspar". The product is marked with a "34% OFF" discount. The price is listed as "De R\$ 1,89 Por apenas R\$ 1,25 em 1X de R\$ 1,25 Total a prazo R\$ 1,25". A "COMPRAR" button is present, along with options for "ENTREGA IMEDIATA" and "PROMOÇÃO". The breadcrumb trail reads "Página Inicial • Fios e Cabos • Flexíveis • 2,5 mm²".

Fonte: Irmãos Abage (2018b).

De acordo com o projeto, deverá ser utilizado 10 metros de cabo 2,5mm², flexível, por condutor, entre o inversor de tensão e a carga (controle eletrônico do religador). Considerando-se um adicional de segurança de 10% no comprimento total a ser utilizado, deverá ocorrer então a aplicação de 22 metros deste cabo, o que totaliza o valor de **R\$ 27,50**, verificada através da melhor oferta de preço encontrada, conforme tabela 13, estando a mesma demonstrada através da figura 33.

4.2.6 Tomada de preços dos conectores do tipo MC4.

Conforme tabela 13, de acordo com consulta realizada através da internet em 13/03/2018, encontram-se os valores pesquisados, estando a melhor oferta demonstrada através da figura 34:

Tabela 14 - Tomada de preços do conector tipo MC4.

Fornecedor	Preço
MinhaCasaSolar	R\$19,90
KasatecEnergiaSolar	R\$20,00
NeoSolarEnergia	R\$23,80

Fonte: Autoria própria (2018).

Para efeito deste projeto será considerado a aplicação de 02 pares de conectores MC4, totalizando **R\$39,80** de custo com este material.

Figura 34 – Pesquisa de preço dos Conectores tipo MC4.

MINHA CASA SOLAR

Olá, Visitante!
Entre ou Cadastre-se

MINHA CONTA ATENDIMENTO INTEGRADORES BLOG TELEVENDAS: (31) 3479-1400 ORÇAMENTO GRATIS

TODAS CATEGORIAS OFF-GRID GRID-TIE PAINEL SOLAR KIT SOLAR BOMBA SOLAR CONTROLADOR INVERSOR BATERIA CURSOS

Conector MC4 (Par Macho/Fêmea) MultiContact - MC4

Disponibilidade: Imediata

☆☆☆☆☆ (Avalie agora!)

Selecione a Quantidade 1

R\$ 19,90
ou 3 x de R\$ 6,63 sem juros
Ver parcelas

COMPRAR

ADICIONAR AO CARRINHO

ou **R\$ 18,51** (7,00% de desconto no Boleto Bancário)

Frete e prazo: CEP Ok

Não sei meu cep

Fonte: Minhacasasolar (2018c).

4.2.7 Estruturas de sustentação e proteção dos equipamentos fotovoltaicos.

Para a sustentação e proteção dos painéis fotovoltaicos em solo e proteção do controlador de carga e inversor de tensão, não foram cotados preços em razão de optar-se por solução “caseira” disponível através da confecção própria de estruturas de madeira reaproveitável (postes e cruzetas de madeira), perfis de aço galvanizado, e caixas metálicas de painéis de proteção, sendo todos estes materiais salvados de

obras de melhoria de redes e subestações, conforme demonstrados nas Fotografias de 17 a 20.

Fotografia 17 - Cruzetas de madeira salvadas de obras.



Fonte: Aatoria própria (2018).

Fotografia 18 - Postes de madeira salvados de obras.



Fonte: Aatoria própria (2018).

Fotografia 19 - Perfis de aço galvanizados salvados de obras.



Fonte: Autoria própria (2018).

Fotografia 20 - Caixas metálicas salvadas de painéis de proteção.



Fonte: Autoria própria (2018).

4.2.8 Custo total orçado do sistema fotovoltaico.

O resultado da pesquisa de mercado realizada através da internet do custo dos materiais e equipamentos para implantação do sistema fotovoltaico é de aproximadamente **R\$ 5499,14**, tomando-se como base os menores valores monetários encontrados, não sendo considerados os sistemas de proteção através de disjuntores neste estudo acadêmico, pois o objetivo do autor limita-se ao sistema de geração de energia pelo sistema fotovoltaico

4.3 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS TOTAIS DOS DOIS SISTEMAS EMPREGADOS E COTADOS

De acordo com o resultado demonstrado no item 4.1, o valor total dos equipamentos e materiais do posto de transformação de 45kVA trifásico é de **R\$ 6.980,70**,

Considerando como base os menores valores monetários encontrados através do resultado de pesquisa de mercado realizada através da internet, o custo dos materiais e equipamentos do sistema fotovoltaico é de **R\$ 5.499,14**. Em razão do objetivo deste autor limitar-se ao sistema de geração de energia através do sistema fotovoltaico, não foram considerados sistemas de proteção através de disjuntores neste estudo acadêmico.

Desta forma verificou-se a diferença de **R\$ 1.481,56** em valores de março de 2018 entre os custos de montagem dos dois sistemas de fornecimento de energia ao sistema do controle eletrônico do religador automático de distribuição. Esta diferença monetária é favorável ao sistema fotovoltaico projetado, o que corresponde aproximadamente a 21% de economia financeira.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como tema avaliar tecnicamente o emprego da energia fotovoltaica. Inicialmente foram realizadas considerações sobre o histórico e o emprego das fontes de energia renováveis, demonstrando os desafios a serem vencidos para que o mercado atrelado a esta forma de geração de energia torne-se de maior visibilidade, viabilidade e competitividade.

Dentro deste contexto, foram apresentados os equipamentos e acessórios que compõe os objetos deste estudo, que são um religador automático de proteção utilizado em redes de distribuição de energia em média tensão (13,8kV), um posto de transformação de redes de distribuição, com rede de baixa tensão (220/127V), usualmente empregados para a alimentação elétrica do sistema de controle eletrônico do religador automático de proteção e o sistema fotovoltaico isolado de geração de energia, que foi a proposta para a substituição da alimentação elétrica normalmente utilizada.

Na sequência, foi observado em laboratório os valores de corrente elétrica da alimentação do religador automático de proteção, onde foram utilizados como critérios, diversos cenários do emprego do religador automático de distribuição em média tensão, podendo assim com base nas informações apuradas vir a ser projetado e dimensionado o sistema fotovoltaico isolado de geração de energia.

Baseado nas informações dos equipamentos e acessórios empregados no posto de transformação e rede de baixa tensão através de orçamento fornecido pela Companhia Paranaense de Energia-Copel e de pesquisa de preços realizada na internet por este autor, bem como da viabilidade de reaproveitamento de materiais para o emprego no sistema fotovoltaico isolado, realizou-se a comparação econômica dos custos dos mesmos, não sendo considerados os valores de mão-de-obra.

A conclusão obtida é que o sistema fotovoltaico de geração de energia é viável tecnicamente em substituição ao sistema normalmente empregado através de um posto de transformação de distribuição e rede de baixa tensão (220/127v) utilizado para a alimentação elétrica do comando e acessórios do religador automático de distribuição, desde que corretamente dimensionado e considerando o limite de

operação do religador com as condições de insolação necessárias para manter carregado o sistema de baterias de acordo com o seu dimensionamento.

Conforme proposta realizada, foi também verificado que é viável os custos de implantação dos equipamentos do sistema fotovoltaico. Há de se pensar na questão de melhor limitar-se o acesso a estes equipamentos em razão da segurança (vandalismo, furtos).

A partir desta realização, sugere-se para novos estudos, o prosseguimento da avaliação da viabilidade técnica para o emprego do sistema fotovoltaico isolado, buscando sempre a utilização de novas tecnologias para a maximização da geração de energia e sua acumulação pelas baterias, bem como da vida útil dos equipamentos, visando assim garantir o maior número de operações do religador automático de distribuição, especialmente quando solicitado em períodos noturnos ou dias de sofrível insolação. Igualmente, também deve ser complementada a viabilidade técnica pela busca da redução de custos.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 11704: Sistemas fotovoltaicos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST**. Norma técnica. Brasília. 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/prodist>. Acesso em 03 set. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST**. Norma técnica. Brasília. 2009. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/prodist>. Acesso em 22 set. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de distribuição de baixa tensão**. Norma técnica. Brasília. 2016. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_auth%3D5xqpYXgr%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=15056159&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=sistema-de-distribuicao-de-baixa-tensao-sdbt&inheritRedirect=true>. Acesso em 20 out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Redes de Energia Elétrica**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>. Acesso em: 30/10/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5416: Aplicação de Cargas em Transformadores de Potência**. Rio de Janeiro, 1997.

BALESTERO, Juan P. R.; DREHER, Jacson R.; COSER, Joni; PEDROSO, Marcos A.; BREGALDA, Rafael. **Micro Geração Fotovoltaica com vistas à implantação do Programa de Geração Distribuída**. 2016. Artigo. Florianópolis, 2016. Disponível em: < <http://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/1393/975>>. Acesso em 30 out. 2017.

BARRETO, Eduardo J. F. (Coord.) *et al.* **Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia.** Brasília: MME, 2008. Disponível em: <
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41066192/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hibrido.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1525463021&Signature=xRgwAE2SXzjHTw%2Bz%2BKNJA%2FVWOWk%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSolucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hib.pdf>. Acesso em 22 set. 2017.

BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D.; DIAS Helio. **Física para Universitários - Eletricidade e Magnetismo.** São Paulo: AMGH Ed., 2012.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório.** 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BLUESOL. **Energia Solar Fotovoltaica: 5 Informações de como funciona.** 2017. Disponível em: <http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-5-informacoes-essenciais>. Acesso em 24 set. 2017.

BORGES, Leandro M. **Dimensionamento e gestão de energia solar fotovoltaica para aplicação em sistemas automatizados isolados da rede elétrica.** 2013. 120f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora (MG), 2013.

BRITO, Milton F; SILVA, Rafael O.; OLIVEIRA, Marcos A. M.; ESTENDER, Antônio C.; FORMIGONI, Alexandre. **Transição do Sistema Elétrico Tradicional para a Implantação do Sistema Fotovoltaico: Percepção de FUNCIONÁRIOS.** Revista de Ensino e Pesquisa em Administração e Engenharia, Guarulhos (SP), vol. 1, n. 2, 2016. Disponível em: <http://repae.org/index.php/REPAAE/article/view/21/128-147>. Acesso em 28 out. 2017.

BUSATTO, Tatiano. **Metodologia multicritério para priorização de investimentos no planejamento da expansão de sistemas de distribuição de energia elétrica.** 2015. 98f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

CIAMPONI, Celso E. S. **Geração de energia elétrica domiciliar solar e eólica: análise das condições socioeconômicas para implantação em residências e baixo consumo.** 2015. 180f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/8513>. Acesso em 04 nov. 2017.

COMASSETTO, Lorenzo. **Desenvolvimento de algoritmos para otimização da confiabilidade em redes de distribuição**. 2004. 210f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **NTC 855 213: Montagem de redes de distribuição secundária isolada: Estrutura SI-3**. 2011. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/7EBE87D8AD8C912703257922006185C1/\\$FILE/RSI%20855213%20Secund%C3%A1rio%20SI-3%20outubro2011.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/7EBE87D8AD8C912703257922006185C1/$FILE/RSI%20855213%20Secund%C3%A1rio%20SI-3%20outubro2011.pdf)>. Acesso em 20 set. 2017.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **NTC 856 214: Montagem de redes de distribuição aérea: Estrutura S4**. 2012. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/37447EAAA1CA14D803257A99006339D7/\\$FILE/RDA%20856214%20Secundario%20S4%20outubro2012.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/37447EAAA1CA14D803257A99006339D7/$FILE/RDA%20856214%20Secundario%20S4%20outubro2012.pdf)>. Acesso em 20 set. 2017a.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **NTC 856 214: Montagem de redes de distribuição aérea: Estrutura N1-NSPRCF-TT**. 2012. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/B2E462AC62CB3EAB03257A8500452025/\\$FILE/RDA%20856502%20Equipamentos%20N1-NSPRCF-TT%20setembro2012.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/B2E462AC62CB3EAB03257A8500452025/$FILE/RDA%20856502%20Equipamentos%20N1-NSPRCF-TT%20setembro2012.pdf)>. Acesso em 20 set. 2017b.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **MIT 160807: Operação de equipamentos especiais na rede de distribuição**. 2013. Disponível em: <[http://copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/A98B2A73891E3C54032577D5004926A1/\\$FILE/MIT%20160807v04%20-%20OPERA%C3%87%C3%83O%20DE%20EQUIPAMENTOS%20ESPECIAIS%20EM%20REDES%20DE%20DISTRIBUI%C3%87%C3%83O.pdf](http://copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/A98B2A73891E3C54032577D5004926A1/$FILE/MIT%20160807v04%20-%20OPERA%C3%87%C3%83O%20DE%20EQUIPAMENTOS%20ESPECIAIS%20EM%20REDES%20DE%20DISTRIBUI%C3%87%C3%83O.pdf)>. Acesso em 20 set. 2017a.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **NTC 856 502: Montagem de redes de distribuição. Estrutura N1-NSPRCF-TT**. 2012. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/B2E462AC62CB3EAB03257A8500452025/\\$FILE/RDA%20856502%20Equipamentos%20N1-NSPRCF-TT%20setembro2012.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/B2E462AC62CB3EAB03257A8500452025/$FILE/RDA%20856502%20Equipamentos%20N1-NSPRCF-TT%20setembro2012.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2018a.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **NTC 858 115: Religadores instalados sob a linha e sem necessidade de TP RX - WHIPP BOURNE – BRUSH – COOPER – ARTECHE – RVE – ABB – ESV**. 2017a. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/483BD27ABAE319E98325822E003E7DE9/\\$FILE/EESP%20858115%20Religadores%20instalados%20sob%20a%20linha%20e%20SEM%20necessidade%20de%20TP%20fevereiro2018.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/483BD27ABAE319E98325822E003E7DE9/$FILE/EESP%20858115%20Religadores%20instalados%20sob%20a%20linha%20e%20SEM%20necessidade%20de%20TP%20fevereiro2018.pdf)>. Acesso em 05 set. 2017.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Orçamentação de um posto de transformação de 45KVA trifásico e um vão de rede secundária de baixa tensão (220/127V)**. 2018. Curitiba, 2018c.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Relação de materiais de um posto de transformação de 45KVA trifásico com um vão de rede secundária de baixa tensão (220/127V)**. 2018. Curitiba, 2018b.

CONDUSPAR. **Catálogo de produtos: Condutores elétricos**. Disponível em: <http://www.conduspar.com.br/wp-content/uploads/2018/01/Catalogo_Condu spar_PT_BR.pdf>. Acesso em 01 mar. 2018.

COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DA REGIÃO DE TUPÃ. **Religador automático de distribuição em poste**. Disponível em: <<http://www.coopcert.com.br/equipamentosemateriais.html>>. Acesso em 05 set. 2017.

EATON. **Catálogo de produtos: Religadores e chaves**. 2017. Disponível em: <http://www.eaton.com.br/EatonBR/ProductsSolutions/Electrical/ProdutoseServicos/SistemasdePotencia/ReligadoreseChaves/PCT_2997168#tabs-2>. Acesso em 17 set. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2018**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Rio de Janeiro. Acesso em 20 ago. 2018.

ESPIRÍTO SANTO, Clóvis Jr. **Atlas do Paraná – O uso de novas tecnologias**. Curitiba, 2008. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2011/geografia/artigos/atlas_parana.pdf. Acesso em 20 out. 2017.

GASTALDELLO, Danilo Sinkiti; SOUZA, André Nunes; AKIYOSHI, Daniele Furushima; ZAGO, Maria Goretti. **Estudo computacional de localização de faltas em redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES, 10., 2011, São Paulo. Disponível em: <http://www.dincon.org.br/files/v1n%C3%BAnico/156.pdf>. Acesso em: 03 set. 2017.

GAZETA DO POVO. **Árvore caída sobre a rede de energia**. 2017. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/curitiba/tempo-vira-em-curitiba-e-ventos-derrubam-arvores-na-regiao-central-cqb2qsqy7v9w5dtlx7rly5f63>>. Acesso em 20 out. 2017.

GENERAL CABLE. **Catálogo de cabos para instalações de energia fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.generalcable.com/assets/documents/LATAM%20Documents/Brazil%20Site/Catalogo-ExZHellent-Solar.pdf?ext=.pdf>>. Acesso em 01 mar. 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo, São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GRAY, David E. **Pesquisa no mundo real.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed Editora SA, 2012.

HELIAR. **Catálogo de produtos: Bateria estacionária Freedom DF2500.** Disponível em: <<https://www.heliar.com.br/pt-br/produtos/estacionaria/heliar-freedom>>. Acesso em 01 mar. 2018.

HS ENERGIA. **Isolador danificado.** 2017. Disponível em: <http://www.hsenergia.com.br/visualinspection.html>. Acesso em 05 set. 2017.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **World Conservation Strategy.** Gland, 1980. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/WCS-004.pdf>. Acesso em 20 out. 2017.

IRMÃOS ABAGE. **Cabo flexível 10mm² tipo convencional, classe 1kV.** Disponível em: <http://www.irmaosabage.com.br/produto/Cabo+Flexivel-10+mm-Por+Metro-Condu spar/5081>. Acesso em 10 mar. 2018a.

IRMÃOS ABAGE. **Cabo flexível 2,5mm² tipo convencional, classe 1kV.** Disponível em: <http://www.irmaosabage.com.br/produto/Cabo+Flexivel-25+mm-Por+Metro-Condu spar/5928>. Acesso em 10 mar. 2018b.

KALOGIROU, S. **Engenharia de energia solar: Processos e Sistemas.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

LEÃO, Ruth **Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.** Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará. 2009. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/130060/mod_resource/content/1/Subestacoes-texto.pdf. Acesso em 17 set. 2017.

LEÃO, Ruth. **Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica: Estatística para os tipos de faltas e suas Composições.** Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/130060/mod_resource/content/1/Subestacoes-texto.pdf. Acesso em 17/07/2017a.

LUNA, Sergio Vasconcelos. **Planejamento de Pesquisa: uma introdução.** 1. ed. São Paulo, São Paulo. Editora Educ, 1997.

MACHADO, Carolina T., MIRANDA, Fabio S. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão.** Revista virtual de química, Niterói (RJ), vol. 7, n. 1, out. 2014. Disponível em: < <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664> >. Acesso em 16 out. 2017.

MAMEDE FILHO, João **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MARTINS, Luana L., CAVALCANTE, Patrícia L.; FRANCO, John F.; RIDER, Marcos J.; GARCIA, Ariovaldo V.; MALVEIRA, Marcos R. R.; OZELO, Alexandre; CARVALHO, Paulo F. S.; BATISTA, Geraldo T. **Automação avançada de redes de distribuição de energia elétrica: metodologia para reconfiguração automática.** Artigo. Campinas, São Paulo. 2013. Disponível em: https://www.cpqd.com.br/cadernosdetecnologia/Vol10_N1_jan_jun_2014/pdf/Artigo_01_Cadernos_CPqD_Tecnologia_v10_n1_Luana.pdf. Acesso em 28 out. 2017.

MELLO, P. C.; FONSECA, A. S.; BERNARDON, D. P.; PIFITSDCHER, L. L.; RAMOS, M.; COMASSETTO, L. **Reconfiguração Automática de Redes de Distribuição com Geração Distribuída.** In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 5., Foz do Iguaçu, 2014. Disponível em: <http://www.sbse.org.br/anais/PDF/SBSE2014-0094.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.

MINHACASASOLAR. **Catálogo de produtos: Conectores tipo MC4.** Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/conector-mc4-par-macho-femea-multicontact-mc4-79201?atributo=178:UNICA&atributo=25:U&atributo=26:UNICA>>. Acesso em 10 mar. 2018c.

MINHACASASOLAR. **Catálogo de produtos: Inversor marca MorningStar, modelo SI 300-115V Suresine.** Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-de-300w-12v-127v-onda-senoidal-morningstar-si-300-suresine-78524>>. Acesso em 10 mar. 2018b.

MINHACASASOLAR. **Catálogo técnico: Controlador de Carga.** Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/saiba-mais-controlador-de-carga>>. Acesso em 11 mar. 2018.

MINHACASASOLAR. **Disposição de um inversor solar.** 2017. Disponível em: <http://www.minhacasasolar.blog.br/wp-content/uploads/2018/03/kit-energia-solar.jpg>. Acesso em 15 out. 2017a.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2023.** Brasília, 2014. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/pde?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_20_struts_action=%2Fdocument%2Flibrary%2Fview%2Ffile%2Fentry%2Fredirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fquest%2Fpublicacoes-e-indicadores%2Fpde%3Fp_p_id%3D20%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_20_displayStyle%3Ddescriptive&_20_fileEntryId=1768911. Acesso em: 04set. 2017.

MONTEIRO, Luís C. P. **Modelação matemática de sistemas solares fotovoltaicos.** 2014. 128f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2014.

MOREIRA, Altair A.; BUENO, Eduardo; TESSARO, Antônio P. **Sistema Fotovoltaico autônomo inteligente em áreas rurais para famílias de baixa renda.** Revista Ignis: Periódico científico de arquitetura e urbanismo, engenharias e tecnologia da informação, Caçador (SC), vol. 6, n. 1, 2017. Disponível em: <<http://www.periodicosuniarp.com.br/ignis/article/view/1174>>. Acesso em 03 nov. 2017.

MORNINGSTARCORP. **Inversor de tensão SI 300-115V Suresine.** Disponível em: <<https://www.morningstarcorp.com/products/suresine/>>. Acesso em 11 mar. 2018.

NEOSOLAR. **Cabo solar 4mm², classe 1kV.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/cabo-solar-conduspar-4mm-preto-1kv.html>>. Acesso em 10 mar. 2018e.

NEOSOLAR. **Catálogo de produtos: Controlador de carga Schneider Xantrex C40 40A 12/24/48V.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-de-carga-schneider-xantrex-c40-40a-12-24-48v.html>>. Acesso em 11 mar. 2018d.

NEOSOLAR. **Catálogo técnico: Conectores para aplicação fotovoltaica tipo MC4.** Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/conector-mc4/>>. Acesso em 10 mar. 2018a.

NEOSOLAR. **Controlador de carga Scheneider Xantrex C40 40A 12/24/48V.** em: <https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-de-carga-schneider-xantrex-c40-40a-12-24-48v.html>. Acesso em 10 mar. 2018b.

NEOSOLAR. **Módulo fotovoltaico Canadian CSI CS`K – 270P (270Wp).** Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-270wp-canadian-csi-cs6k-270wp.html>. Acesso em 10 mar. 2018c.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar e seus componentes.** 2017. Publicação. Disponível em:< <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em 14 out. 2017.

ORTIZ, Elvis R. T. **Sistemas fotovoltaicos e eólicos: metodologia da complementaridade espacial-temporal com aplicação do dimensionamento e análise de risco financeiro.** 2014. 178 f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2014.

PADILHA, Felipe J. C. **Topologias de conversores CC-CC não isolados com saídas simétricas para sistemas fotovoltaicos.** 2011. 175f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; ABREU, GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; LIMA, Francisco J. L; RUTHER, Ricardo; ABREU, Samuel L.; TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Silva V.; SOUZA, Jefferson G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar: Espectro da radiação solar incluindo um detalhamento da faixa visível humana.** 2. ed. São José dos Campos, 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao>. Acesso em 21 set. 2017.

PEREIRA, Thulio C. G (Org.) *et al.* **Energias Renováveis - Políticas Públicas e Planejamento Energético. Política Energética para o Desenvolvimento do Estado do Paraná.** Curitiba: Copel, 2013.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (Org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel, 2014. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em 06 set. 2017.

POMILIO, José A. **Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. Campinas. 2017. <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/cap2.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2017.

PORTAL SOLAR. **Energia Fotovoltaica**. Publicação. 2016. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/energiafotovoltaica.html>>. Acesso em: 01 set. 2017.

PORTAL SOLAR. **Inversor Solar**. Publicação. 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>. Acesso em 24 out. 2017.

REIS BATERIAS. **Bateria Estacionária, marca Freedom, modelo DF2500**. Disponível em: <https://www.bateriaautomotiva.com.br/bateria-estacionaria-freedom-df2500-150ah-165ah>. Acesso em 10mar. 2018.

REZENDE, Fernanda D., SUZUKI, Eime V. **Estudo da utilização da geração fotovoltaica para auxiliar a suprir a demanda crescente de energia elétrica no Brasil**. 2013. 63f. Monografia (Especialização). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

ROMAGNOLE PRODUTOS ELÉTRICOS S/A. **Catálogo de produtos: Transformadores**. 2017. Disponível em: <<https://www.romagnole.com.br/produtos/transformadores>>. Acesso em: 20 set. 2017.

ROSA, Aldo V. **Processos de Energias Renováveis**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SEL. **Catálogo de produtos: Controle do religador**. 2017. Disponível em: <<https://selinc.com/pt/products/651RA/>>. Acesso em 20 set. 2017.

SHAYANI, Rafael A. **Medição do Rendimento Global de um Sistema Fotovoltaico Isolado Utilizando Módulos de 32 Células**. 2006. 225f. Dissertação. (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SIEMENS. **Transformadores de Distribuição**. Disponível em: <https://www.energy.siemens.com/br/pt/transmissao-de-energia/transformadores/transformadores-de-distribuicao/transformadores-de-distribuicao-liquidos-isolantes.htm>. Acesso em 30 out. 2017.

SILVA, Erielton C.; GOUDARD, Pedro P. C. B.; **Principais Equipamentos Utilizados em uma Subestação de Transformação**. 2012. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2012.

SILVEIRA, Francisco Tavares; GALVANI, Gustavo Tadeu de A.; SOUZA, Euzébio D. **Coordenação entre Religador e Seccionalizador em Redes De Distribuição**. *Exacta*, Belo Horizonte (MG), v. 4, n. 3, 30 nov. 2011. Disponível em: <http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/707>. Acesso em: 27 out. 2017.

Teixeira, Pedro R. P. **Microinversor para painel fotovoltaico**. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Engenharia do Porto. Cidade do Porto, 2014.

TIEPOLO, Gerson M.; JUNIOR, Osíris C.; JUNIOR, Jair U.; VIANA, Trajano; PEREIRA, Ênio B. **Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha**. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 5., 2014, Recife, PE. Artigo. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275828922_COMPARACAO_ENTRE_O_POTENCIAL_DE_GERACAO_FOTOVOLTAICA_NO_ESTADO_DO_PARANA_COM_ALEMANHA_ITALIA_E_ESPANHA. Acesso em: 02 set. 2017.

TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Ênio B.; URBANETZ, Jair J.; PEREIRA, Silvia V.; GONÇALVES, André R.; LIMA, Francisco J. L.; COSTA, Rodrigo S.; ALVES, Alisson, R. A. **Atlas de Energia Solar do Estado Paraná**. Curitiba, 2017. Disponível em: <http://www.atlassarparana.com/map;jsessionid=F1B41C631010F359A1D2EC1124723753>>. Acesso em 01 mar. 2018.

TOLMASQUIM, Mauricio T. (Coord.) *et al.* **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em 03 set. 2017.

UNIVERSO SOLAR. **Catálogo de produtos: Painel fotovoltaico com módulo de silício policristalino**. Disponível em: <http://universosolar.com/loja/produto/PAINEL-POLICRISTALINO-60X6%22%7B47%7D250W.html>>. Acesso em 01 mar. 2018.

URBANETZ, Jair J. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: Sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. 189f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Catarina. Florianópolis, 2010.

URBANETZ, Jair J.; **Projeto de Sistemas fotovoltaicos**. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Notas de aula. Curitiba, 2016.

VAN BELLEN, Michael V.H. **Indicadores de Sustentabilidade. Uma análise comparativa**. Editora FGV, 2ª edição, 2006.

VILLALVA, Marcelo G. **Energia solar fotovoltaica – Conceito e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

ZILLES, Roberto; MACEDO, Wilson N.; GALHARDO, Marcos A. B.; OLIVEIRA, Sérgio H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.