



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS, GERADORES E REDE
ELÉTRICA DA CONCESSIONÁRIA**

HENRIQUE CORDEIRO RODRIGUES

Brasília, junho 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS, GERADORES E REDE
ELÉTRICA DA CONCESSIONÁRIA

HENRIQUE CORDEIRO RODRIGUES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

APROVADA POR:

Alcides Leandro da Silva, Dr., ENE/UnB
Orientador

Lélio Ribeiro Soares Júnior, ENE/UnB
Examinador Interno

Marco Antonio Freitas do Egito Coelho, ENE/UnB
Examinador Interno

FICHA CATALOGRÁFICA

RODRIGUES, HENRIQUE CORDEIRO

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, GERADORES E REDE ELÉTRICA DA CONCESSIONÁRIA [Distrito Federal] 2018.

72p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenheiro Eletricista, 2018).

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Geração distribuída. | 2. Energia solar fotovoltaica. |
| 3. Quadro de Transferência Automática (QTA). | 4. Cogeração. |
| I. ENE/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RODRIGUES, H. C. (2018). Integração de sistemas fotovoltaicos, geradores e rede elétrica da concessionária. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2018, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 72p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Henrique Cordeiro Rodrigues.

TÍTULO Integração de sistemas fotovoltaicos, geradores e rede elétrica da concessionária.

GRAU: Engenheiro Eletricista. ANO: 2018.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Henrique Cordeiro Rodrigues

SHTQ Quadra 03 Conjunto 06

71.551-324 Taquari – Lago

Norte – DF – Brasil

*Dedico este trabalho a minha mãe Cíntia Cordeiro
Fernandes e ao meu pai Moacir Rodrigues Fernandes.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas oportunidades e bênçãos diárias.

Aos meus pais, que nunca mediram esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos, sempre me incentivando e aconselhando.

Aos meus irmãos, que sempre estão do meu lado, em todas ocasiões

A toda minha família e amigos por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado nos momentos de alegria e dificuldades.

A todos os professores que já participaram e participam da minha formação.

A Floricultura Fascinação Flores e todos seus colaboradores, que tornaram tudo isso possível.

A RCS Tecnologia e todos seus colaboradores, que sempre me apoiaram e incentivaram.

*"A educação é a arma mais
poderosa que você pode usar para
mudar o mundo."*

Nelson Mandela

RESUMO

Na Geração Distribuída (GD), um problema que se tem é o corte do fornecimento elétrico por parte dos painéis solares quando há falha por parte da concessionária. Isso ocorre devido ao inversor *On Grid* utilizado nesses tipos de instalações, que por norma é obrigado a cortar o fornecimento quando a concessionária falha. Como solução, foi projetado um quadro de transferência automática (QTA), em que realiza a comutação entre a concessionária, um inversor *Off Grid* como forma alternativa de fornecimento e um grupo moto-gerador (GMG), que é um tipo de geração mais robusta para circuitos de emergência. Dessa forma o QTA projetado promove uma cogeração de energia em sistemas emergenciais. Para compreensão do tema, o trabalho apresenta uma revisão bibliográfica, onde explica as normas vigentes de conexão com as concessionárias para uma GD, os conceitos de geração fotovoltaica e a diesel. Após isso, são explicados todos os princípios de funcionamento dos componentes utilizados e os métodos para execução da QTA. Com a montagem concluída, são realizados testes e medições no quadro, para que assim possa ser verificado seu correto funcionamento.

ABSTRACT

In Distributed Generation (DG), one problem is the cut of the power supply by the solar panels when the concessionaire fails. This is due to the On Grid inverter used in these types of installations which by norm is obliged to cut off the supply when the concessionaire fails. To solve this an automatic transfer switches (ATS) was designed, which alternate between the concessionaire energy, an Off Grid inverter to alternative form of supply and a generator, which is a more robust type of generation for emergency circuits. In this way the designed ATS promotes energy cogeneration in emergency systems. To understand the theme, this paper presents a bibliographical review, where it explains the current rules of connection with the concessionaires for a DG, the concepts of photovoltaic generation and diesel. After that, it was explained all the principles of operation of the components used and the methods to execute the ATS. With the assembly completed, tests and measurements were performed on the switch so that its correct functioning can be verified.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Conexão típica de uma GD com SEP	16
Figura 2.2 - Etapas de acesso.....	20
Figura 2.3 - Conexão com inversor	21
Figura 2.4 - Conexão sem inversor.....	22
Figura 2.5 - Medidor bidirecional.....	23
Figura 2.6 - Medidor unidirecional	23
Figura 2.7 - Silício de número atômico 14	24
Figura 2.8 - Efeito fotoelétrico	26
Figura 2.9 - Curvas características da célula fotovoltaica: (a) curva IxV, (b) curva PxV e (c) Potência.	27
Figura 2.10 - Curvas de corrente X tensão para (a) variação de temperatura e (b) variação de irradiância	28
Figura 2.11 - sistema fotovoltaico conectado à rede	28
Figura 2.12 – Gerador.....	31
Figura 2.13 - Monitoramento contínuo.....	32
Figura 2.14 - Consumidores	33
Figura 2.15 – Lâmina bimetálica.....	33
Figura 2.16 – Disparador eletromagnético	34
Figura 2.17 Comando elétrico	35
Figura 3.1 – Diagrama de blocos.....	38
Figura 3.2 - Fechamento das placas para o quadro.....	39
Figura 3.3 - Circuito de Força (Barramentos)	40
Figura 3.4 - Circuito de Força (Concessionária)	40
Figura 3.5 - Circuito de Força (GMG/FT).....	41
Figura 3.6 - Circuito de Força (barra 1/barra 2)	42
Figura 3.7 - Circuito de Comando (GMG/ FT/ CONCESSIONÁRIA)	43
Figura 3.8 - Circuito da bateria.....	45
Figura 3.9 - Quadro de Transferência Automática (QTA)	50
Figura 4.1 - Medição com Osciloscópio.....	51
Figura 4.2 - Medição com o Analisador de Energia.....	52
Figura 4.3 – Analisador: Entrada da concessionária (BARRA 1).....	53
Figura 4.4 – Analisador: Entrada da concessionária (BARRA 2).....	54
Figura 4.5 – Osciloscópio: Entrada da concessionária (BARRA 1).....	54
Figura 4.6 – Osciloscópio: Entrada da concessionária (BARRA 2).....	55
Figura 4.7 - Analisador: Falha da concessionária (BARRA 1)	55
Figura 4.8 - Analisador: Falha da concessionária (BARRA 2)	56
Figura 4.9 - Osciloscópio: Falha da concessionária (BARRA 1).....	56
Figura 4.10 - Osciloscópio: Falha da concessionária (BARRA 2).....	57
Figura 4.11 - Analisador: Falha da fotovoltaica (BARRA 1).....	57
Figura 4.12 - Analisador: Falha da fotovoltaica (BARRA 2).....	58
Figura 4.13 - Osciloscópio: Falha da fotovoltaica (BARRA 1)	58
Figura 4.14 - Osciloscópio: Falha da fotovoltaica (BARRA 2)	59
Figura 4.15 - Analisador: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 1)	59
Figura 4.16 - Analisador: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 2)	60
Figura 4.17 - Osciloscópio: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 1).....	60

Figura 4.18 - Osciloscópio: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 2).....	61
Figura 4.19 - Osciloscópio: Restabelecimento da concessionária (BARRA 1)	61
Figura 4.20 - Osciloscópio: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 2).....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Comparação dos eventos	62
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Ampere, unidade de medida de corrente elétrica

ABNT – Associação Brasileiro de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CEB – Companhia Energética de Brasília

Concessionária – Empresa responsável pela distribuição de energia da região (CEB, CELG, CEMIG...)

DSV – Dispositivo de Seccionamento Visível

FV – Sistemas Fotovoltaicos

GD – Geração Distribuída

GMG – Grupo Motor Gerador

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética

NA – Normalmente aberto

NF – Normalmente fechado

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

STC – Standard Test Conditions: são as condições padrão de teste, radiação de 1000W/m², temperatura das células 25 °C e distribuição espectral AM 1,5.

s – Segundos

SEP – Sistema Elétrico de Potência

SIN – Sistema Interligado Nacional

OD – Óleo Diesel

QTA – Quadro de Transferência Automática

V – Volt, unidade de medida de tensão elétrica

W – Watt, unidade de medida de potência

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	13
1.2 Objetivo	13
1.3 Estruturação do trabalho	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Definição de Geração Distribuída.....	15
2.2 Normas regularizadoras	16
2.2.1 Definição de Ilhamento	16
2.2.2 Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012.....	17
2.2.3 Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST	18
2.2.4 Norma Técnica de Distribuição (NTD) – 6.09 Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEB D – conexão em baixa e média tensão	19
2.3 Sistema Fotovoltaico.....	24
2.3.1 Princípio	24
2.3.2 Componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR).....	28
2.3.3 Módulos Solares Fotovoltaicos	29
2.3.3.1 Inversor CC/CA.....	29
2.3.3.2 Medidor Bidirecional	30
2.4 Grupo Moto-Gerador (GMG)	30
2.4.1 Princípio	30
2.4.2 Dimensionamento.....	31
2.5 Quadro de Transferência Automática (QTA)	32
2.5.1 Disjuntores Termomagnéticos.....	33
2.5.2 Contatores.....	34
2.5.3 Barramento de Equipotencialização Principal (BEP)	35
2.5.4 Qualidade de Energia	36
3 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, GERADORES E REDE ELÉTRICA DA CONCESSIONÁRIA	37
3.1 Projeto.....	38
3.1.1 Saída das Placas	38
3.1.2 Circuito de Força.....	39
3.1.3 Circuito de Comando	42

3.1.3.1 Circuito alimentado pelas fases.....	42
3.1.3.2 Modo Manual.....	43
3.1.3.3 Modo Automático.....	44
3.1.3.4 Circuito alimentado pela bateria.....	44
3.2 EXECUÇÃO.....	45
3.2.1 Descrição dos materiais.....	45
3.3 Montagem.....	49
4 MEDIÇÕES E RESULTADOS.....	51
4.1 Primeiro caso: Entrada da concessionária.....	53
4.2 Segundo caso: Falha da concessionária.....	55
4.3 Terceiro caso: Falha da fotovoltaica.....	57
4.4 Quarto caso: Restabelecimento da fotovoltaica.....	59
4.5 Quinto caso: Restabelecimento da concessionária.....	61
4.6 Análises.....	62
5 CONCLUSÃO.....	64
5.1 Perspectivas futuras.....	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
APÊNDICES.....	68

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta considerações gerais preliminares abordadas durante o trabalho, incluindo motivação, objetivo e estrutura.

1.1 Motivação

Com os avanços tecnológicos, está muito mais acessível à população do mundo ter sua própria fonte de energia em casa, com grandes vantagens e custo cada vez menor. Até mesmo os cidadãos comuns, leigos quanto a temas de tecnologias, procuram novas formas de geração de energia, com dois grandes objetivos: contribuir com a sustentabilidade trazida por novas fontes de energia e redução dos custos financeiros.

Em outro ponto de vista, já em escalas mais amplas, muitas indústrias e empresas foram forçadas a implementação de uma própria fonte de energia. Em 2001 a crise energética sofrida pelo Brasil pela falta de estrutura da matriz energética, a chamada “crise do apagão”. Após essa crise, as indústrias mantêm planos para garantir a continuidade de energia em suas instalações.

Outra realidade em que é muito útil a geração própria de energia é no campo, em alguns casos não tem energia disponível pela concessionária e quando tem, não existe uma boa assistência.

São vários os motivos para uma produção própria de energia. Mas o que se pode observar é que há um grande aumento nesse tipo de produção, causada muitas vezes pelas vantagens da Geração Distribuída (GD).

1.2 Objetivo

Devido à robustez e a capacidade de resposta rápida que o sistema de Grupo Moto- Gerador (GMG) apresenta, sua utilização ainda é muito presente. Porém, há grandes impactos ambientais com a queima do diesel, que é o combustível do GMG, além disso, sua eficiência energética não é tão boa, por se tratar de uma máquina térmica. O preço do diesel também deixa essa produção bem mais cara do que o consumidor gostaria de pagar. Com isso são vários os problemas e danos causados pelo uso de GMG, que são agravados pela falta de manutenção.

A cogeração de energia, também chamado de sistema híbrido de produção de energia, é a utilização inteligente de mais de uma fonte de energia, para que assim consiga uma melhoria significativa na eficiência de todo o sistema de produção. Os sistemas híbridos têm ganhado espaço no mercado e com grande potencial de crescimento.

O objetivo deste trabalho é propor uma forma de aumentar a eficiência do sistema de emergência, que é o sistema que alimenta as cargas críticas, que são cargas que o consumidor não quer parar de fornecer energia. Para isso será estudada aqui uma forma de adequação do sistema de geração sem afetar o padrão de entrada da concessionária, bem como aumentar as proteções contra ilhamento com redundâncias de dispositivos de seccionamento.

1.3 Estruturação do trabalho

A estrutura do trabalho é feita de forma a fornecer maior compreensão do tema.

No capítulo 1 abordou a motivação e objetivo, com informações preliminares sobre o tema.

O capítulo 2 trata de forma clara os assuntos que envolvem as fontes alternativas de energia para um circuito de emergência. As normas pertinentes para a conexão de outra fonte de energia em paralelo com a concessionária. Também são explicados os princípios de funcionamento das fontes emergenciais que serão usadas.

No capítulo 3 é apresentado a metodologia usada para a realização do trabalho, mostrando com detalhes todas as partes do projeto e como é esperado seu correto funcionamento. Além disso mostra as considerações tomadas na parte prática do trabalho, para simular todas as cenas possíveis.

O capítulo 4 mostra os procedimentos de medições e resultados.

No capítulo 5 discutiu as conclusões finais do projeto e sugestões futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definição de Geração Distribuída

Geração Distribuída (GD) é uma expressão para designar a produção de energia próxima ao local de consumo, independentemente da forma ou tecnologia usada para produção dessa energia. Esse termo ainda engloba todos os equipamentos que proporcionam a energia ser gerada e consumida no mesmo local. Alguns termos relacionados a GD são (INEE, 2017):

- Co-geradores
- Geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo;
- Geradores de emergência;
- Geradores para operação no horário de ponta;
- Painéis fotovoltaicos;
- Geração Eólica;
- Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's.

A geração de energia já foi descentralizada em tempos distantes, onde os consumidores geravam sua própria energia, mas com os avanços tecnológicos após as revoluções industriais, ficou mais barata a produção centralizada de grande porte. Isso perdurou até as crises do petróleo, despertando a população para uma economia de recursos finitos e a procura por alternativas na produção de energia.

Em meados dos anos 80 chega o fim do monopólio de geração centralizada, incentivando o desenvolvimento da GD.

O crescimento da GD afeta a eficiência energética, a energia não sofre as perdas causadas por linha de transmissão, já que a produção de energia está próxima ao consumo final.

Ao ser mencionada em 2004 na Lei 10.848/04, que aborda sobre a comercialização de energia, como uma possível fonte de energia, a GD é então reconhecida e com o detalhamento do Decreto 5.163/04, as distribuidoras puderam perceber que com a GD elas poderiam diminuir consideravelmente riscos de planejamento (INEE, 2017).

Uma conexão típica de uma GD na rede de distribuição do Sistema Elétrico de Potência (SEP) é mostrado na figura 2.1, pode-se observar uma carga isolada, uma GD isolada, uma carga e uma GD juntos são ligados ao SEP.

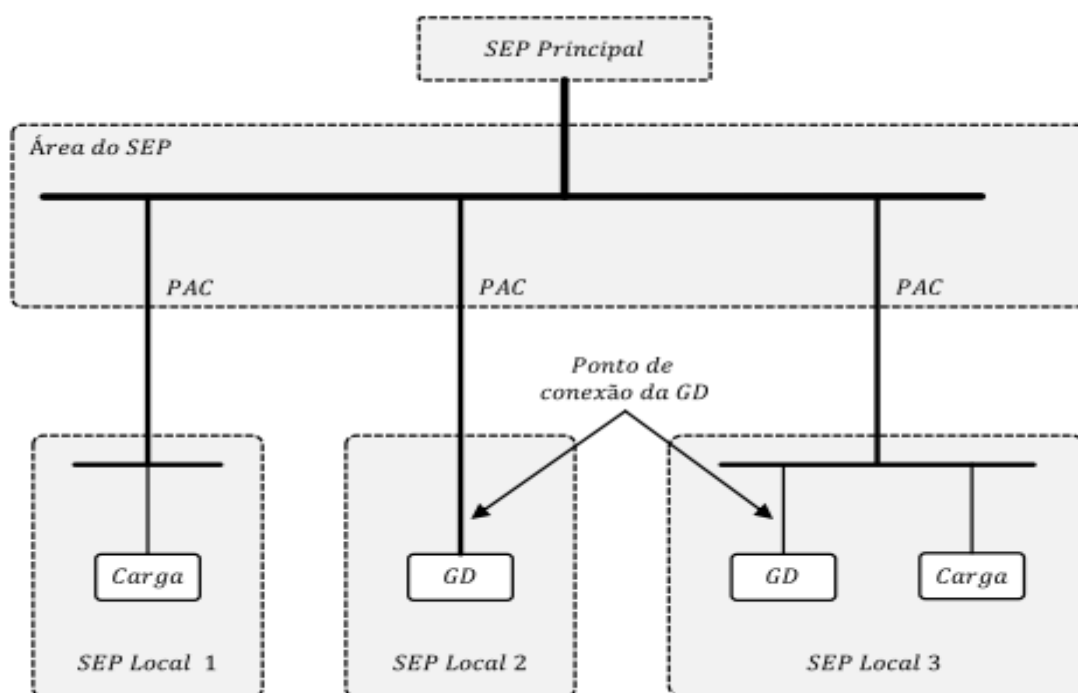


Figura 2.1- Conexão típica de uma GD com SEP
 Fonte: (IEEE, 2003)

2.2 Normas regularizadoras

No intuito de padronizar e regular o acesso das Gerações Distribuídas à rede elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou uma série de normas técnicas de conexão ao sistema elétrico, baseado em instrumentos normativos internacionais.

As concessionárias locais criaram suas próprias normas técnicas de distribuição, baseadas nas normas da ANEEL, para orientação mais direta do consumidor que deseje ter uma Geração Distribuída.

2.2.1 Definição de Ilhamento

Ilhamento é definido como um estado em que parte da linha de distribuição de energia elétrica permanece energizada, mesmo estando essa parte da linha eletricamente isolada do sistema. Isso ocorre quando alguma fonte de geração continua injetando energia na rede, mesmo após o isolamento da rede (SILVA, 2016).

O ilhamento pode ser algo muito perigoso, pois nem sempre o desligamento da rede é por falhas na distribuição. Muitas vezes, para fazer manutenções e testes, operadores desligam a rede em uma área, caso alguma GD injete energia na rede no momento que o técnico está operando a mesma rede, pode ocorrer um acidente grave.

A norma IEEE 1547 determina o anti-ilhamento para qualquer sistema de GD. O inversor faz essa função de parar de injetar energia no SEP, quando necessário. Esse corte ocorre em um curto intervalo de tempo, já estipulado (ESTEBANEZ, *et al.* 2009).

2.2.2 Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012

Em 17 de abril de 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 que regula a geração distribuída no Brasil e possibilita o consumidor fornecer a rede de distribuição local o excedente, gerando assim créditos de energia para o consumidor utilizar posteriormente (ANEEL, 2012). Ela nos traz algumas definições:

- Micro geração distribuída – geração de energia elétrica, de acordo com os padrões da regulamentação da ANEEL, com produção menor ou igual a 75kW;
- Mini geração distribuída – geração de energia elétrica de acordo com os padrões de regulamentação da ANEEL, com produção superior a 75kW e inferior a 3MW para fontes hídricas ou até 5MW para demais fontes;
- Sistema de compensação de energia elétrica – sistema que permite ao usuário a aplicação de energia elétrica na rede, no qual é posteriormente compensado com energia ativa proveniente da mesma rede;
- Melhoria – adequação das instalações, de forma a manter a qualidade na prestação dos serviços após a injeção de energia da GD.
- Reforço – Reformas para o aumento da confiabilidade da rede de distribuição;
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras – é a individualização de uma unidade consumidora, mesmo fazendo parte de um condomínio, fazendo assim com que tenham várias unidades consumidoras independentes em um condomínio e a área comum seria outra unidade com responsabilidade da administração ou o proprietário do condomínio;
- Geração compartilhada – reunião de vários consumidores, que possuem uma geração em local diferente das unidades consumidoras
- Autoconsumo remoto – pessoa física ou jurídica que possui uma geração em local diferente da unidade consumidora.

Em adição às definições, a resolução ressalta:

- A concessionária deve se preparar para receber essa energia proveniente da Geração Distribuída;

- Deve ser cobrado no mínimo uma taxa de disponibilidade do pequeno consumidor ou taxa da demanda contratada do grande consumidor;
- Os créditos de energia ativa expiram em 60 (sessenta) meses após a data do faturamento;
- Os custos de adequação do sistema de medição para a conexão de mini geração distribuída e de geração compartilhada são de responsabilidade do usuário;
- Responsabilidades por danos a rede elétrica.

2.2.3 Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST

Os Procedimentos de Distribuição - PRODIST são documentos elaborados pela ANEEL e normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (PRODIST, 2016). São documentos separados em 10 módulos:

- Módulo 1 – Introdução
- Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição
- Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição
- Módulo 4 – Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição
- Módulo 5 – Sistemas de Medição
- Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações
- Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição
- Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica
- Módulo 9 – Ressarcimento de Danos Elétricos
- Módulo 10 – Sistema de Informação Geográfica Regulatório

Uma vez que os módulos são abrangentes, esse trabalho vai se ater ao módulo 3, Acesso ao Sistema de Distribuição, que envolve as etapas para o acesso da rede, com consulta de acesso, informação de acesso, solicitação de acesso e parecer de acesso.

2.2.4 Norma Técnica de Distribuição (NTD) – 6.09 Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEB D – conexão em baixa e média tensão

Esse documento elaborado pela CEB dita os procedimentos para o acesso à rede, seguindo os padrões do módulo 3 PRODIST (CEB, 2018).

- Acessada - distribuidora de energia elétrica em cujo sistema elétrico o acessante conecta suas instalações. Para a NTD – 6.09 a acessada é a CEB-Distribuição S/A;
- Acessante - consumidor, central geradora, distribuidora, agente importador ou exportador de energia, cujas instalações se conectem ao sistema elétrico de distribuição, individualmente ou associado a outros. No caso desta norma, o termo acessante se restringe a consumidores que possuam geração de energia que façam a adesão ao sistema de compensação de energia;
- Acesso - disponibilização do sistema elétrico de distribuição para a conexão de instalações de unidade consumidora, central geradora, distribuidora, ou agente importador ou exportador de energia, individualmente ou associados, mediante o ressarcimento dos custos de uso e, quando aplicável conexão;
- Solicitação de Acesso – formalização de solicitação, pelo acessante, de acesso ao sistema de distribuição da CEB;
- O parecer de acesso – Documento apresentado pela CEB, sem custos, onde são estabelecidos as condições e requisitos técnicos de acesso para a conexão;
- Obras de responsabilidade do acessante – Obras para cumprir as exigências do parecer de acesso. Essas obras serão vistoriadas pela CEB.
- Obras de responsabilidade da CEB – Obras para reforço do próprio sistema para viabilizar a conexão do acessante.

A figura 2.2 mostra as etapas de acesso com seus respectivos prazos. Pode-se notar a burocracia para ter autorização de conexão com a rede e os respectivos prazos.

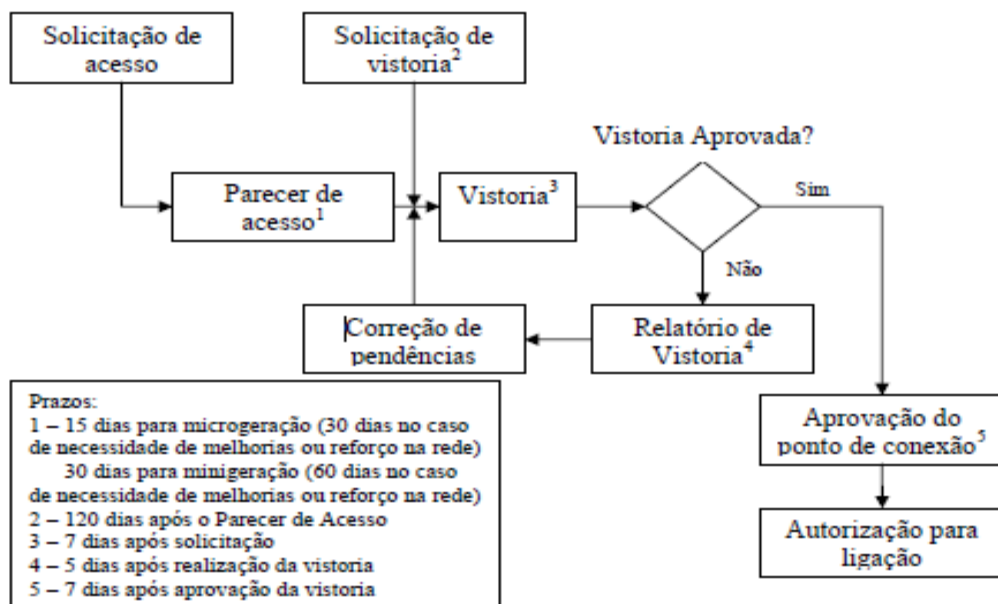


Figura 2.2 - Etapas de acesso
 Fonte: (CEB NTD 6.09, 2016)

A figura 2.3 mostra a forma de conexão de um gerador com a utilização de inversor. É o tipo de esquema para ligar um sistema fotovoltaico a rede. Os inversores deverão atender requisitos estabelecidos pela ABNT NBR IEC 62116 (anti-ilhamento), com certificado do INMETRO.

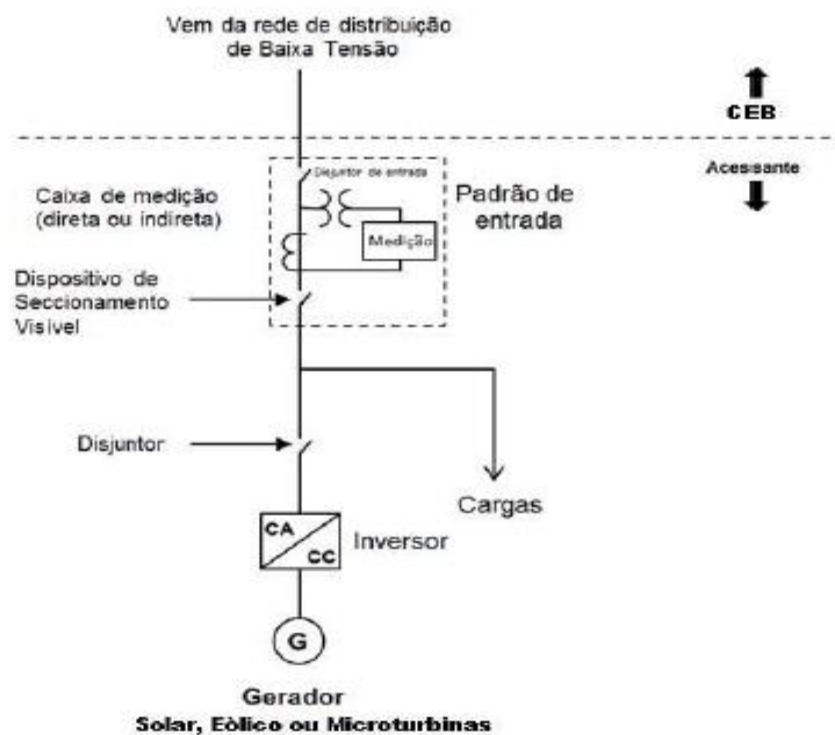


Figura 2.3 - Conexão com inversor
 Fonte: (CEB NTD 6.09, 2016)

A figura 2.4 mostra a forma de conexão de um gerador sem a utilização de inversor, seria o esquema para ligar um Grupo Moto-Gerador (GMG) à rede. Para esse esquema, é necessário utilizar um painel de proteção. Esse painel precisa de uma fonte independente de energia, pois ele sempre tem que funcionar.

Para esses casos de geração sem o inversor, é obrigatório a utilização de um Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV), que deverá ser instalado após a caixa de medição. Este deve ter capacidade de condução e com uma abertura compatível com a potência da unidade consumidora.

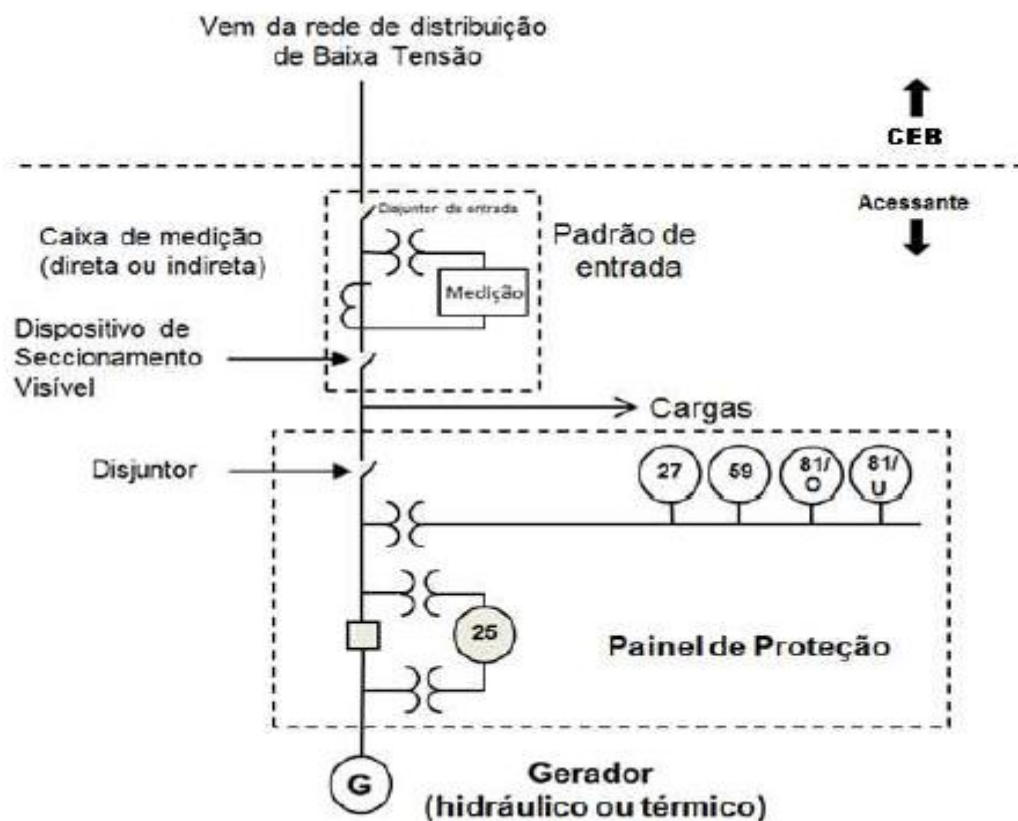


Figura 2.4 - Conexão sem inversor
 Fonte: (CEB NTD 6.09, 2016)

O sistema de medição pode ser feito com um medidor bidirecional ou dois unidirecionais. Os esquemas do medidor bidirecional e unidirecional são apresentados nas figuras 2.5 e 2.6, respectivamente. Observam-se que os unidirecionais são dois medidores onde, um irá medir a geração e o outro o consumo de energia. Enquanto isso o bidirecional já mede os dois simultaneamente.

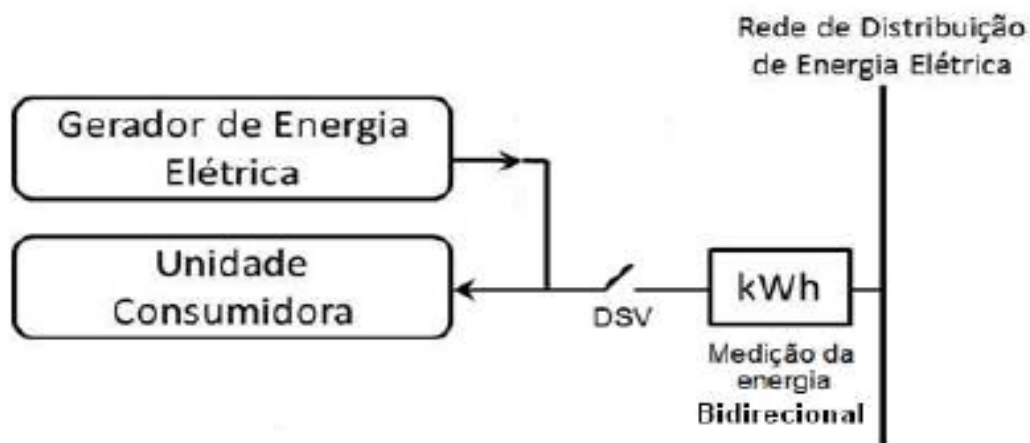


Figura 2.5 - Medidor bidirecional
 Fonte: (CEB NTD 6.09, 2016)

O medidor bidirecional deve ser capaz de medir a energia ativa injetada na rede e a energia ativa consumida da rede, com registros independentes para apuração da energia ativa (CEMIG, 2012).

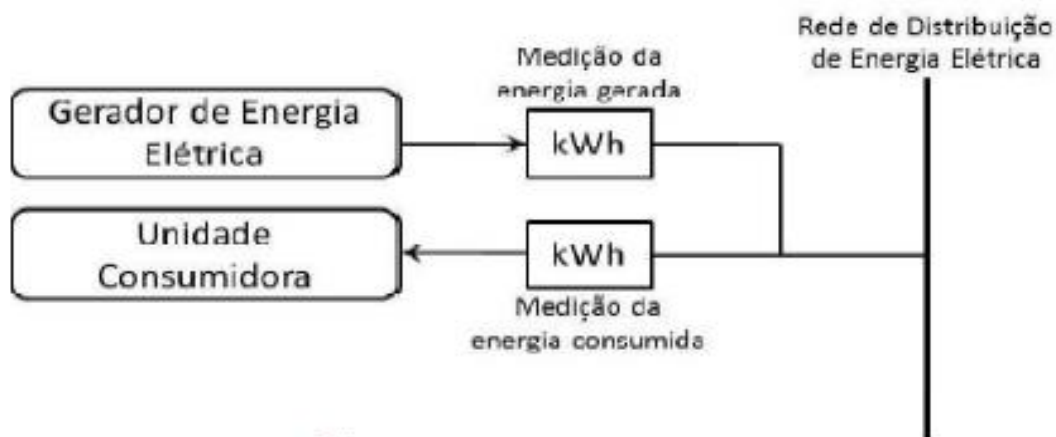


Figura 2.6 - Medidor unidirecional
 Fonte: (CEB NTD 6.09, 2016)

O sistema de implementação de compensação de energia para microgeração distribuída pode ser realizado com dois medidores unidirecionais, seguindo o esquema acima, sem perda de confiança na medição (ANEEL, 2012).

2.3 Sistema Fotovoltaico

2.3.1 Princípio

Desde os primórdios a energia solar já era utilizada. Muito antes de se falar em geração de energia fotovoltaica o ser humano já esquentava materiais e alimentos com o calor vindo dos raios solares. Porém, em 1839 o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, ao realizar experimentos com eletrodos em seu laboratório, observou pela primeira vez o efeito fotoelétrico. Mas apenas em 1954 que o químico Calvin Fuller desenvolveu o processo de dopagem do silício, que é um material semicondutor. Depois disso, o experimento ainda foi melhorado por Gerald Pearson e Daryl Chapin. Apenas em 25 de Abril de 1954 que a primeira célula fotovoltaica foi apresentada em uma reunião da *National Academy of Sciences* e apresentada para a imprensa. Depois disso, após muitos estudos e descobertas, a tecnologia desenvolvida para sistemas fotovoltaicos vem ajudando a deixar cada vez mais barato e viável a implantação de geração distribuída (ENERGIA SOLAR, 2018).

A geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico se dá a partir do efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico acontece em dimensões atômicas (FRONTIN *et al.* 2017).

O Silício de número atômico 14 é mostrado na figura 2.7.

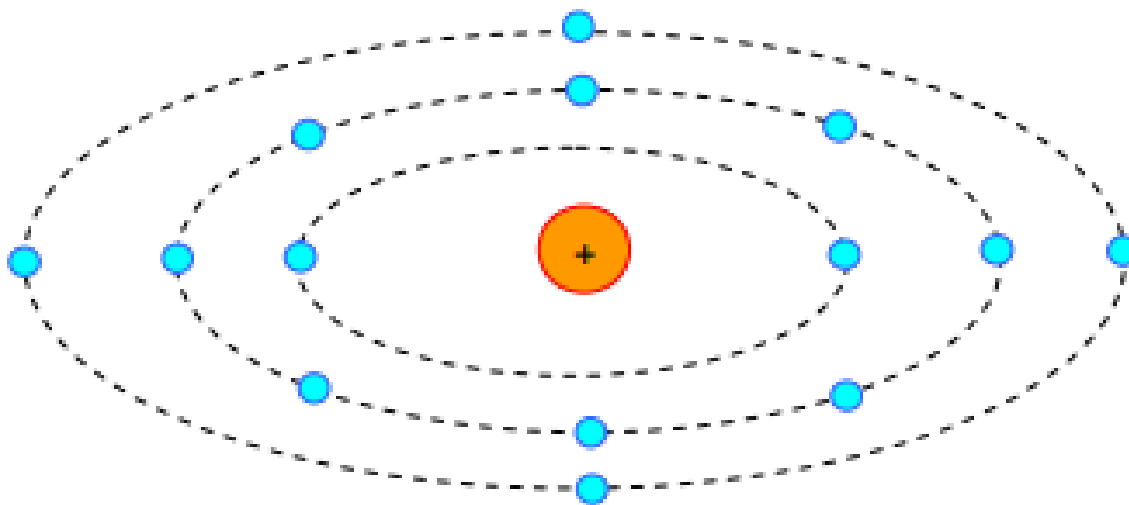


Figura 2.7 - Silício de número atômico 14
Fonte: (SHAYANI, 2006)

Como ilustrado, o silício tem três órbitas. Os elétrons mais próximos do núcleo possuem uma menor energia do que estão mais afastados. Para manter suas órbitas completas, com 8 elétrons, o silício faz ligações covalentes com outros 4 átomos. Porém essa ligação covalente pode ser quebrada quando o elétron recebe energia suficiente para isso. Acontecendo essa quebra de ligação, o elétron sai da banda de valência e vai para uma banda de condução,

deixando uma lacuna no seu lugar da banda de valência, assim cria-se um par elétron-lacuna (FRONTIN *et al.* 2017).

Para evitar que o elétron saia de uma banda de valência e, logo em seguida, seja associado a outra banda de valência, sem ser liberado para uma carga externa, o material semiconductor, que no caso do nosso exemplo é o silício, é então dopado. A dopagem do material semiconductor é feita para criar um campo elétrico que irá acelerar o elétron que está na banda de condução (FRONTIN *et al.* 2017).

O processo de dopagem é feito aplicando um material cujo os elétrons da última camada de valência, são ligados com elétrons da última camada de valência do silício de tal forma que fique um elétron sobrando, quando suas órbitas estiverem completas. Esse elétron fica então fracamente ligado ao átomo de origem, e ao receber pouca energia térmica, como a temperatura ambiente, ele já vai para banda de condução. Para isso, fósforo é um bom dopante (FRONTIN *et al.* 2017).

Podemos usar esse mesmo raciocínio para lacunas, onde o material dopante deixa uma lacuna sobrando fracamente ligada ao núcleo. Ao se aplicar uma pequena energia térmica, essa lacuna se desloca para banda de condução. Para isso, o boro é um bom dopante ((FRONTIN *et al.* 2017).

Para fins de nomenclatura, os dopantes que doam elétrons são chamados de dopantes tipo n , logo o fósforo é um dopante tipo n , enquanto isso os dopantes que doam lacunas, ou seja, aceitam elétrons, são dopantes tipo p , logo o boro é um dopante tipo p (FRONTIN *et al.* 2017).

Uma dopagem simples com apenas um dopante tipo p , ou apenas um dopante tipo n , não acontece nada, pois o material continua com uma carga neutra. Porém quando o material condutor dopado com tipo p , entra em contato com o mesmo material condutor tipo n , vai ocorrer então uma movimentação de elétrons. O material tipo n irá perder elétrons, e assim ficar positivamente carregado, enquanto isso o material tipo p irá receber esses elétrons e com isso ficar negativamente carregado. Atingindo o equilíbrio temos um campo elétrico que forma uma barreira de potencial, impedindo a passagem de mais elétrons do lado n , para o lado p .

Com essa condição do material, quando o elétron receber a energia da luz solar, ele irá quebrar a ligação covalente e criar um par de elétron-lacuna onde o campo elétrico vai jogar o elétron para o lado n , não permitindo sua volta, e a lacuna é repelida para o lado p (FRONTIN *et al.* 2017).

Como pode-se ver na figura 2.8, para encontrar a lacuna, o elétron passa pela carga.

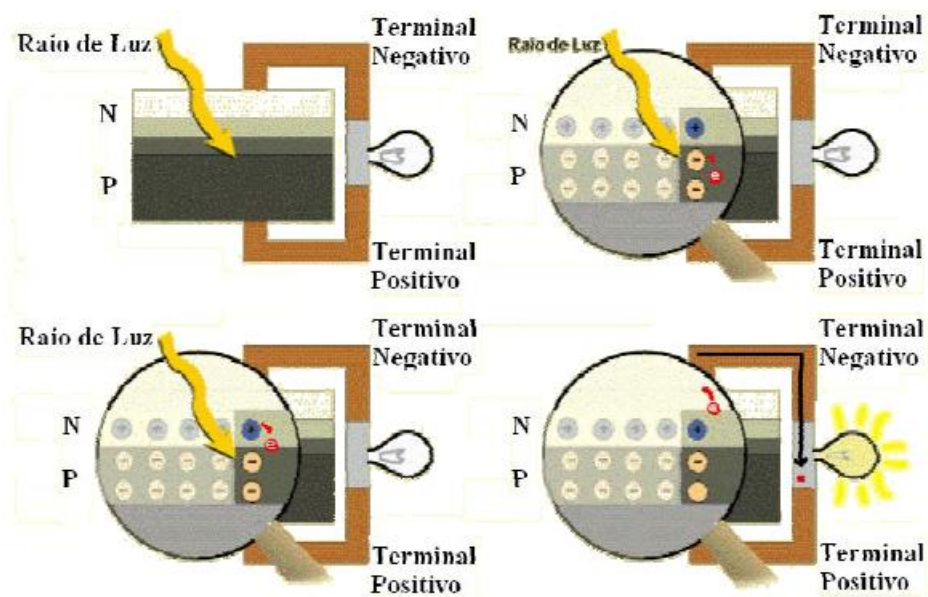


Figura 2.8 - Efeito fotoelétrico
 Fonte: (CRESESB, 2005)

As curvas características da célula fotovoltaica são mostradas na figura 2.9. As características de uma placa se dão a partir da tensão de circuito aberto (V_{OC}), corrente de curto circuito (I_{SC}), tensão de máxima potência (V_{mp}) e corrente de máxima potência (I_{MP}) (FRONTIN *et al.* 2017).

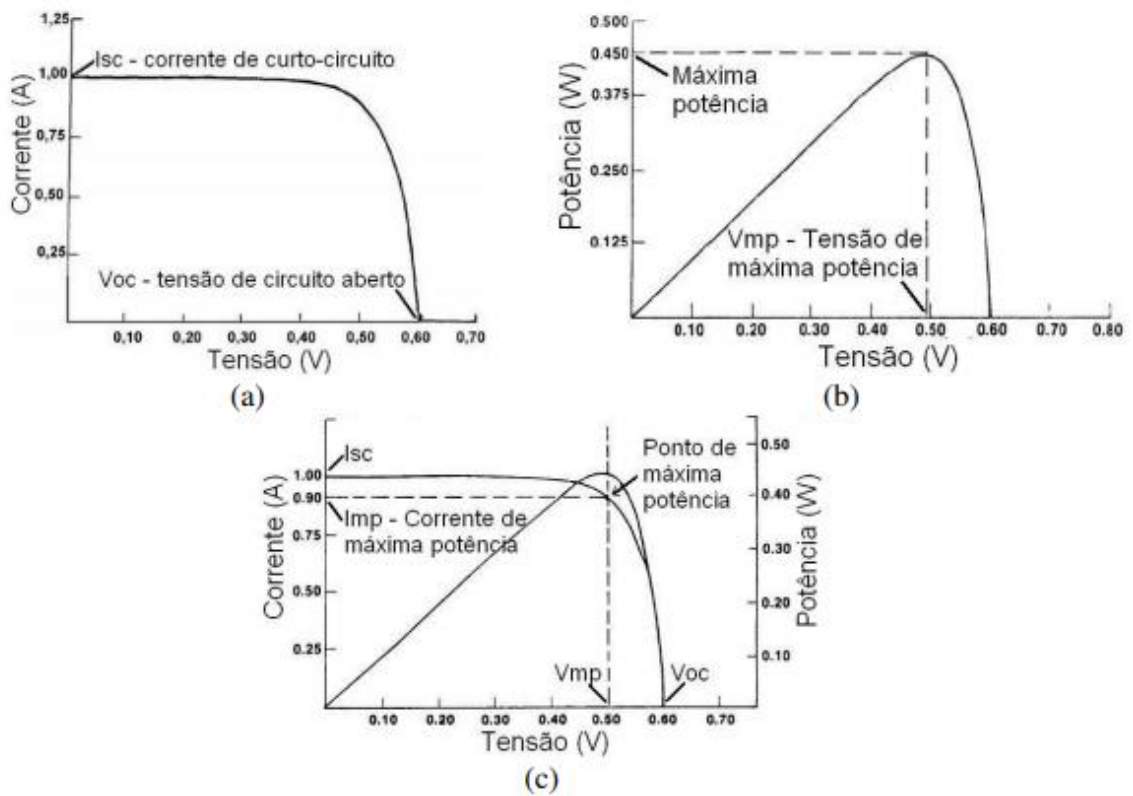


Figura 2.9 - Curvas características da célula fotovoltaica: (a) curva $I \times V$, (b) curva $P \times V$ e (c) Potência.
 Fonte: (CRESESB, 2005 - modificado)

Outra característica importante é a influência que a irradiância e a temperatura exercem. A seguir, a figura 2.10 mostra as curvas de corrente versus tensão para várias situações. O ponto ideal é o ponto de maior tensão onde a corrente ainda é constante, isso nos dá o ponto de maior potência. Esse ponto é muito difícil de se manter, pois existem variações quando as placas são expostas a condições reais. Os dados de placa são com uma irradiância de 1 kW/m^2 e a uma temperatura de 25°C (FRONTIN *et al.* 2017).

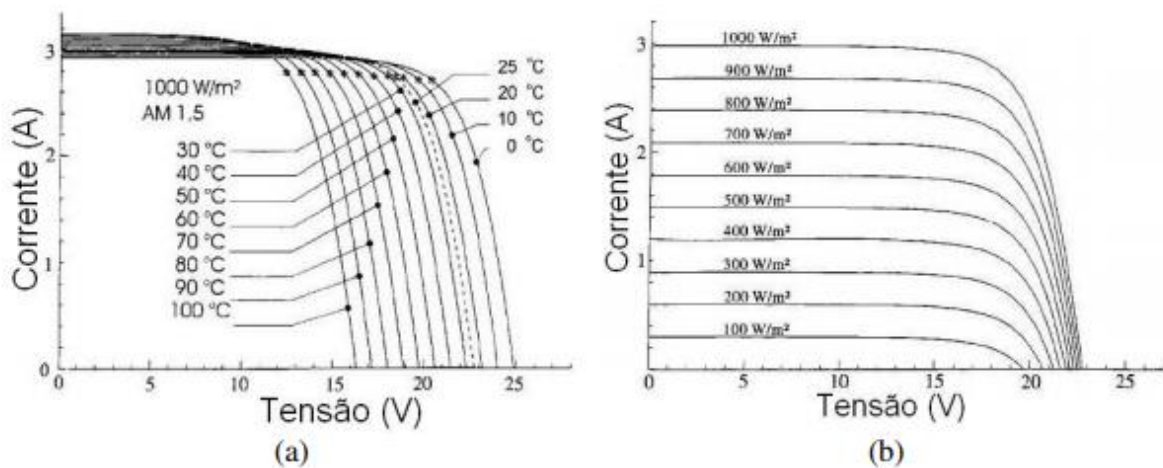


Figura 2.10 - Curvas de corrente X tensão para (a) variação de temperatura e (b) variação de irradiância
 Fonte: (CRESESB, 2005 - modificado)

2.3.2 Componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR)

A figura 2.11 apresenta o esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede. É um esquema bem simples onde podemos observar: um gerador fotovoltaico, que são as placas, um inversor CC/CA e o medidor da concessionária de energia.

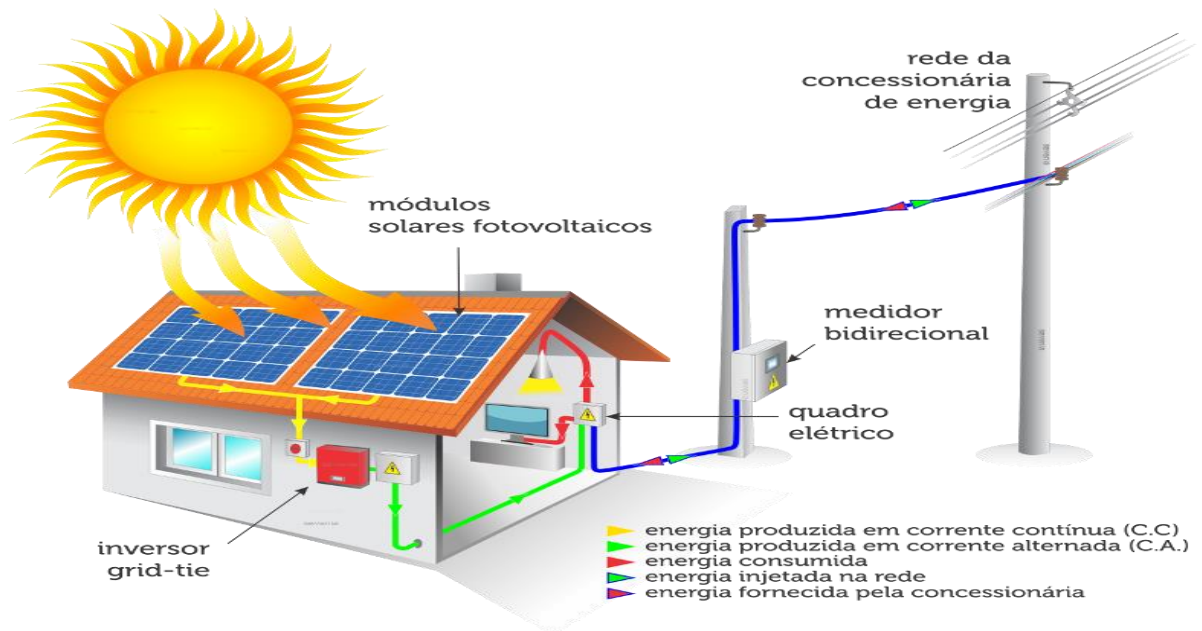


Figura 2.11 - sistema fotovoltaico conectado à rede
 Fonte: (CIASOLAR, 2018)

2.3.3 Módulos Solares Fotovoltaicos

Nos módulos solares fotovoltaicos é onde ocorre o efeito fotoelétrico, para isso eles são posicionados de modo a ficarem a maior quantidade de tempo possível expostos aos raios solares, dessa forma é mais comum encontrar os módulos fotovoltaicos na parte superior das edificações, evitando assim a sombra dele mesmo. Conforme Camargo (2000):

A caracterização dos módulos fotovoltaicos se dá a partir da sua potência nominal, que é definida nas condições padrão de teste – STC. A potência nominal é dada por (W_p), que é a potência de pico. Porém sua produção real é de 5% a 10% menor do que é anunciado nos catálogos dos fabricantes e dessa forma diminuindo os kWh que são produzidos por esses kW_p (CAMARGO, 2000, P. 108).

2.3.3.1 Inversor CC/CA

Os inversores são dispositivos eletrônicos que convertem a tensão contínua, que vêm das placas solares ou das baterias quando necessário em tensão alternada, para que seja usada pela carga. (OSVALDO *et al.* 2008)

Os inversores que fazem parte do SFCR, precisam ser de marca registrada e regulamentada pelo INMETRO. Para isso, esses inversores possuem vários requisitos, o que os deixam mais caros.

Por outro lado, é possível a utilização de inversores comuns que apenas convertem tensão contínua em alternada, desde que não conecte o sistema fotovoltaico na rede.

Existem vários tipos de onda de saída para os inversores, como onda quadrada e senoidal, sua escolha mais adequada depende da carga que pretende alimentar. Ele tem um papel fundamental no sistema, suas principais funções são:

- Através do seu controle de corrente e tensão, o inversor faz com que os módulos fotovoltaicos operem no mais próximo possível do ponto máximo de potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*);
- Converter a energia gerada CC em CA, para o consumo da carga;
- Outra função muito importante do inversor, é a desconexão da rede quando a geração não estiver dentro dos parâmetros exigidos pela concessionária de energia, ou o isolamento (anti-ilhamento) quando a concessionária de energia provocar um desligamento do fornecimento, fazendo assim com que a GD pare de injetar energia na rede nessas ocasiões.

2.3.3.2 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional, é um dispositivo instalado pela concessionária. Sua função é medir a energia em dois sentidos, dessa forma ele vai registrar a energia que a concessionária fornece para o usuário ao mesmo tempo que vai registrar a energia que o usuário fornece para a concessionária.

Com isso, ao final do mês, a concessionária pode realizar a leitura no aparelho, e verificar quanto o usuário terá que pagar, descontando o que foi fornecido pelo mesmo.

2.4 Grupo Moto-Gerador (GMG)

Grupo Moto-Gerador é o nome dado ao um conjunto de um motor acoplado ao gerador de corrente alternada, por isso esse gerador é comumente chamado de alternador. Eles são montados e instalados, dotados de vários componentes para supervisão e controle de seu correto funcionamento.

2.4.1 Princípio

Um gerador converte energia mecânica em energia elétrica. Para um GMG, essa energia mecânica vem de um motor ligado a um alternador, onde é convertido em energia elétrica.

Esse alternador é uma máquina síncrona, na qual tem um rotor e um estator. O rotor é formado por várias espiras de um material condutor, ele é conectado ao motor para que assim gire no campo magnético provocado pelo estator. O estator é alimentado por uma fonte CC conectada nos enrolamentos de campo, gerando assim um campo magnético (GONÇALVES, 2014).

Ao rotacionar as espiras do rotor em um campo magnético, cria-se uma variação de fluxo magnético no meio dessas espiras, e isso induz uma força eletromotriz (FEM) ou tensão nos enrolamentos, que ao ser aplicada a uma carga, gera uma corrente induzida (PEREIRA, 2018 A).

A figura 2.12 ilustra de forma simplificada o funcionamento de um gerador, onde os polos norte e sul de um ímã representam a geração de um campo magnético, e uma espira que representa as espiras do rotor. A manivela seria girada por um motor, e mais à frente tem-se as escovas, que são responsáveis pela de tensão alternada na saída (PEREIRA, 2018 A).

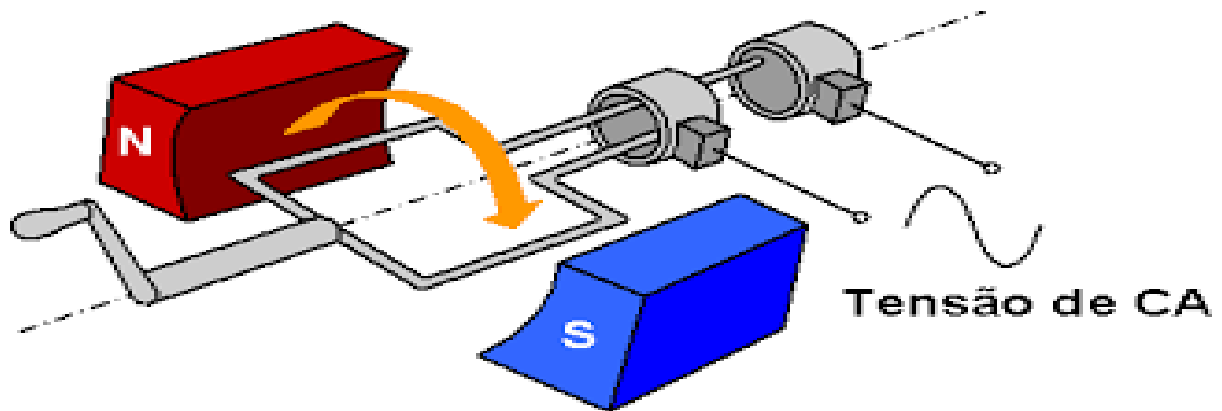


Figura 2.12 – Gerador
Fonte: (MUSEU DAS COMUNICAÇÕES, 2018)

2.4.2 Dimensionamento

Para o correto dimensionamento de um GMG, precisa-se saber dados como:

- Tipo de carga;
- Local do consumo;
- Características do local de instalação do GMG;
- Regime de operação, se o gerador é a única fonte ou irá funcionar apenas em emergências;
- Tempo de resposta que o consumidor precisa para alimentar as cargas;
- Riscos para o consumidor perante falha do GMG.

Além dessas, todos os tipos de informações coletadas são importantes. Por isso, para a instalação de um GMG, é necessário a visita prévia de um responsável técnico.

Com isso, o gerador é dimensionado a partir da soma das potências das cargas, considerando um fator de simultaneidade, pois nem todas as cargas vão estar ligadas simultaneamente. E o fator de potência, que é uma característica da carga de absorver potência ativa e aparente (PEREIRA, 2018 A).

O tipo da carga é uma consideração crítica para o dimensionamento do GMG, motores elétricos tem correntes de partida que podem superar 6 vezes a corrente nominal. Assim é importante saber seu esquema de partida, sendo direta ou por meio de dispositivos auxiliares como *soft-starter*, que é um dispositivo composto por pontes de tiristores, que permitem a partida estrela/triângulo do motor (PEREIRA, 2018 A).

2.5 Quadro de Transferência Automática (QTA)

Para qualquer instalação em que é utilizada fonte alternativa de energia, é indispensável a presença de uma chave de transferência. Essa chave muitas vezes é um conjunto de contatores e outros componentes, formando assim um quadro de transferência automática (QTA).

O QTA é montado de forma a prevenir acidentes e riscos à instalação elétrica, ele é uma das partes mais críticas em um sistema em que é usado GMG para fonte alternativa de produção de energia (PEREIRA, 2018 B).

A função do QTA é um monitoramento contínuo em que se pode trocar a fonte de energia entre a concessionária e o GMG, como podemos observar nas figuras 2.13 e 2.14.

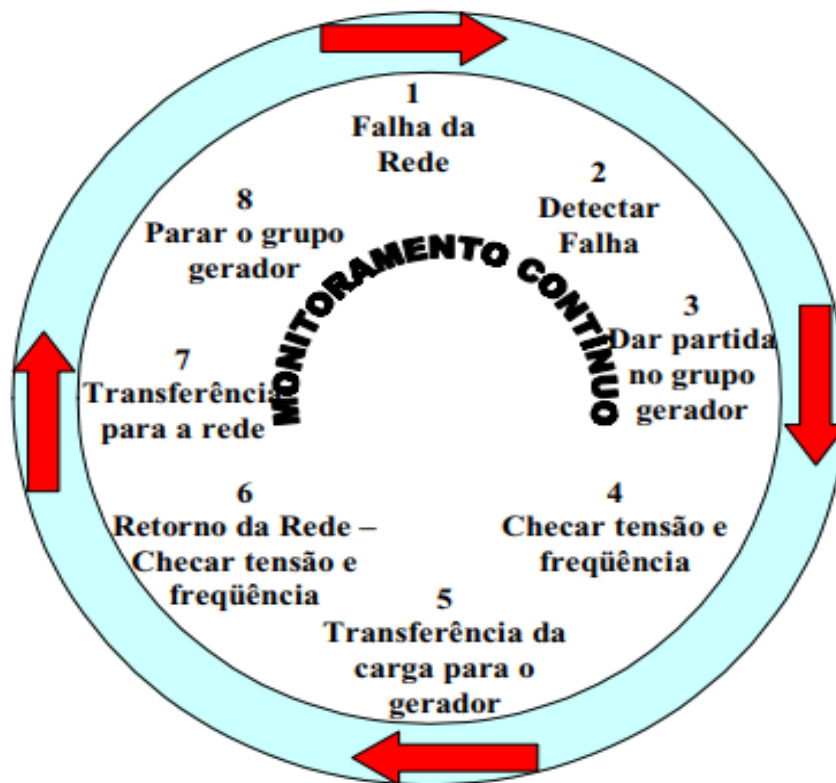


Figura 2.13 - Monitoramento contínuo
Fonte: (PEREIRA, 2018)

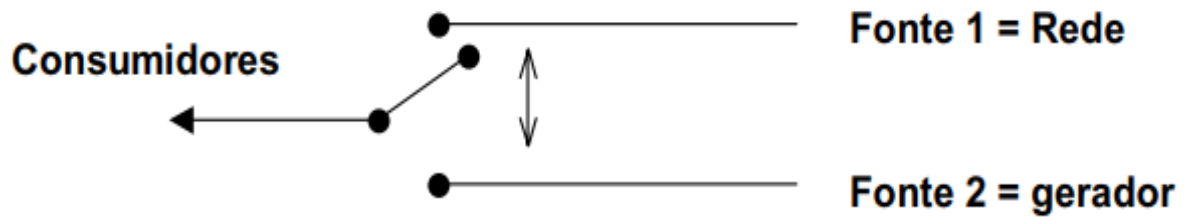


Figura 2.14 - Consumidores
Fonte: (PEREIRA, 2018)

Os componentes básicos em um QTA são explicados a seguir.

2.5.1 Disjuntores Termomagnéticos

Disjuntores termomagnéticos tem a função de seccionar o circuito, dessa forma protegendo seus componentes e cabos (ANDRADE, 2018)

Um disjuntor termo magnético pode atuar abrindo o circuito por dois motivos, um térmico e o outro magnético, como seu próprio nome já nos diz. O motivo térmico se dá quando há uma corrente acima da nominal por um certo período. Isso irá esquentar uma lâmina que é formada por dois tipos de materiais com coeficientes de dilatação diferentes, como mostrado na figura 2.15. Em um espaço de tempo curto, essa lâmina irá se deformar de maneira desigual, abrindo assim o disjuntor.

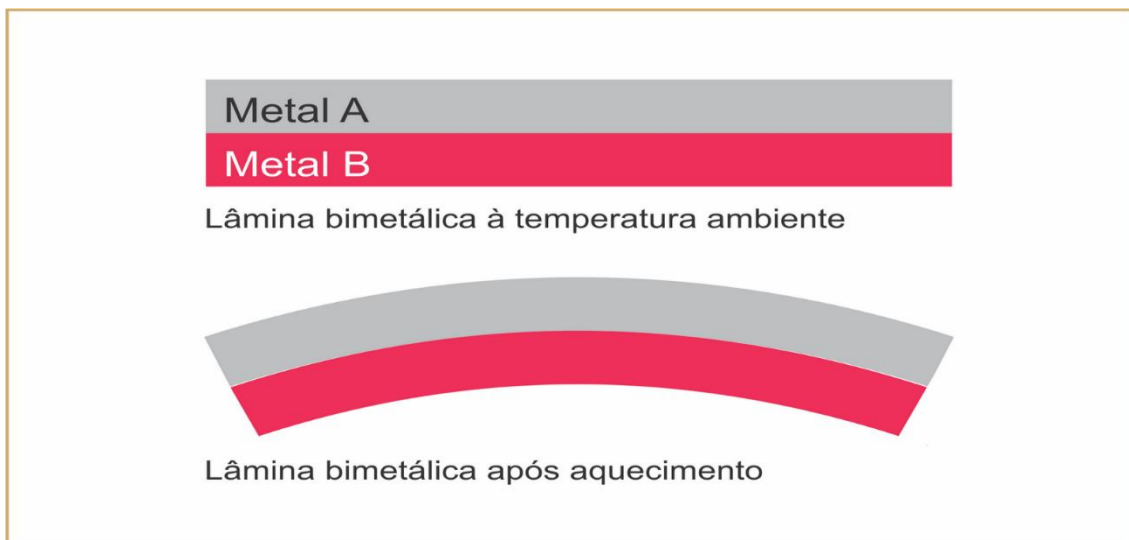


Figura 2.15 – Lâmina bimetálica
Fonte: (FARRARO, 2011)

O segundo motivo para o disjuntor atuar é por meio magnético. O princípio desse motivo é ilustrado na figura 2.16. Quando há uma corrente de curto circuito passando na bobina, a parte

móvel é então atraída, pois a bobina irá funcionar como um eletroímã, essa parte móvel então irá abrir o disjuntor.

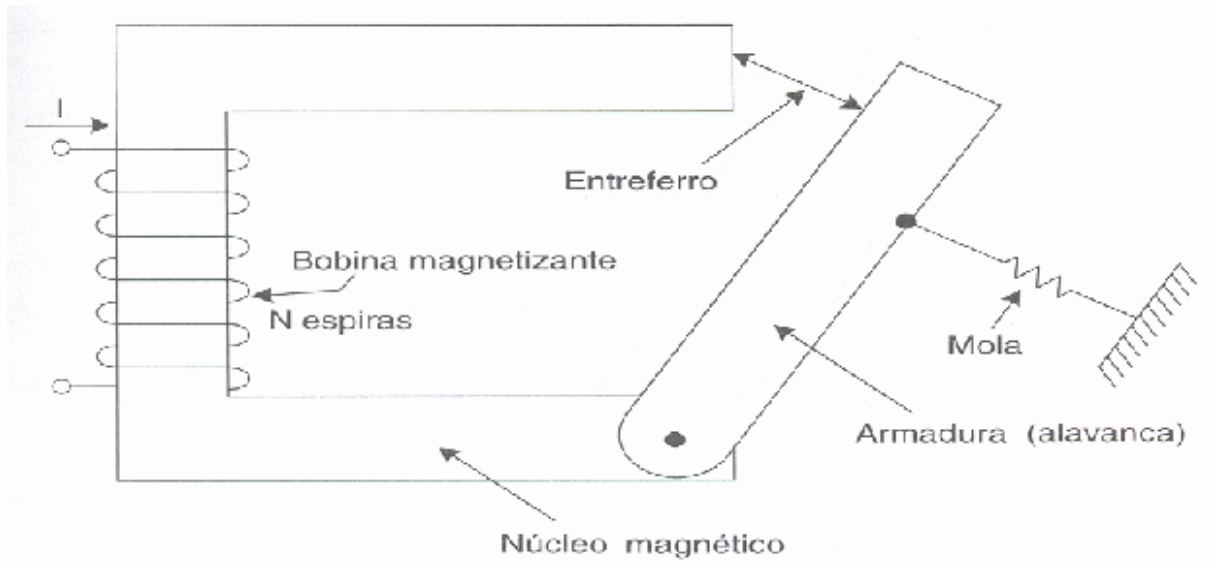


Figura 2.16 – Disparador eletromagnético
Fonte: (CELSO, 2018)

Para que não haja atuações indesejáveis do disjuntor, o projetista tem que se ater aos critérios de seletividade do sistema.

2.5.2 Contatores

Um contator é um componente de comando muito utilizado na indústria. Ele possui um eletroímã que quando energizado movimenta um conjunto de mecanismos. Com isso tem-se, contatos normalmente abertos, que quando é energizado fecham, contatos normalmente fechados que quando energizados abrem e os terminais da bobina (NASCIMENTO, 2011). A figura 2.17, mostra como são dispostos os contatos normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF).

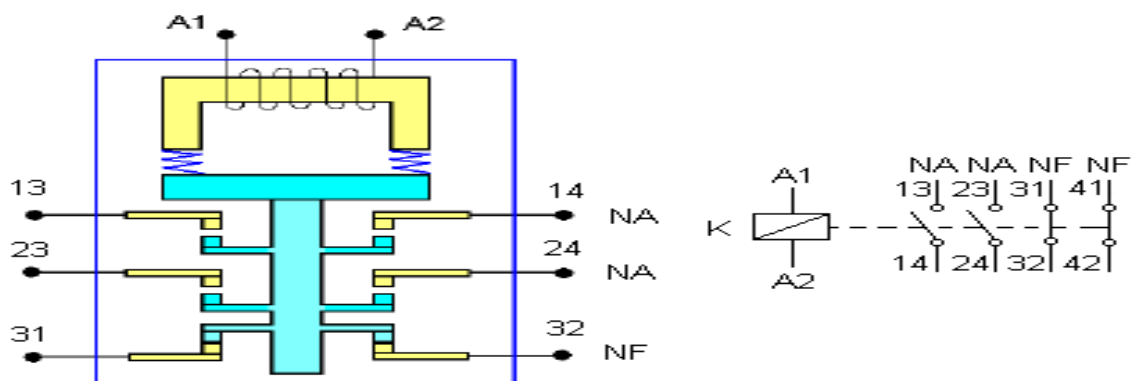


Figura 2.17 Comando elétrico
 Fonte: (SEAN AUTOMAÇÃO, 2018)

2.5.3 Barramento de Equipotencialização Principal (BEP)

Para prevenção de acidentes e choques elétricos, a norma ABNT NBR 5410 seção 6.4.2, prevê que em cada edificação deve ser realizada uma equipotencialização principal. Essa equipotencialização é feita através de um barramento único, no qual devem ser ligados eletricamente os seguintes elementos (ABNT, 2008):

- Armaduras de concreto armado e outras estruturas metálicas.
- Todos os tipos de tubulações metálicas, como tubos de água, gás, esgoto, etc.
- Condutores metálicos de linha de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação.
- Blindagens, armações, coberturas e capas metálicas de cabos das linhas de energia.
- Condutores de proteção das linhas de energia e de sinal que entram e saem da edificação.
- Condutores de interligação provenientes de eletrodos de aterramento de edificações vizinhas, no caso em que essa interligação for necessária ou recomendável.
- Condutores de interligação provenientes de outros eletrodos de aterramento porventura existentes ou previstos no entorno da edificação.
- Condutor neutro da alimentação elétrica, salvo se não existente ou se a edificação deva ser alimentada em esquema TT ou IT.
- Condutor de proteção principal da instalação elétrica (interna) da edificação.
- Barramentos suplementares.

2.5.4 Qualidade de Energia

Qualidade de energia é um termo que abrange uma série de grandezas a serem medidas, analisadas e avaliadas. Entre elas estão a variação da frequência, flutuação, desequilíbrio, sobre tensão, manutenção do valor eficaz da tensão, distorção harmônica e continuidade do serviço (PAULILLO, 2013).

Para ter uma boa qualidade de energia, é necessário que essas grandezas tenham uma avaliação positiva.

O transitório é o momento da troca de fontes, esse chaveamento é algo que deve ser analisado afim de evitar queima de aparelhos eletrônicos ligados.

O grande perigo dos transitórios, não é o simples desligamento e religamento do circuito, e sim a forma como a energia está voltando. Essa energia pode voltar gerando um pico de tensão, e isso sim queimará os equipamentos ligados (EWALDO, 2011).

Afundamento momentâneo de tensão, é o nome do tipo de evento em que há uma redução do valor de tensão eficaz. Essa redução é para valores abaixo de 90% e acima de 10% da tensão nominal. Para um intervalo igual ou superior a um ciclo e inferior ou igual a 3 segundos (PRODIST, 2016).

Aumento ou elevação momentânea de tensão, é o nome do tipo de evento em que há uma elevação do valor de tensão eficaz. Esse aumento é para valores acima de 110% para tensão nominal. Para um intervalo igual ou superior a um ciclo e inferior ou igual a 3 segundos (PRODIST, 2016).

A interrupção de tensão, é o nome do evento para descontinuidade do neutro ou da tensão em qualquer uma das fases do circuito elétrico (PRODIST, 2016).

3 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, GERADORES E REDE ELÉTRICA DA CONCESSIONÁRIA

O objetivo desse trabalho é o estudo de um sistema que promova a cogeração de energia entre uma geração fotovoltaica e um GMG, na falta de energia da concessionária, procurando assim otimizar o arranjo de fonte de energia emergencial.

Para isso, é proposta a instalação de um quadro de comando que integre os dois sistemas. Esse quadro irá permitir que o sistema trabalhe em três modos:

Modo de funcionamento normal

Esse é o modo quando a energia está vindo normalmente da concessionária. Assim, vamos estar alimentando as cargas com energia proveniente da concessionária e com as placas fotovoltaicas no modo *on grid*, com produção de créditos da geração fotovoltaica.

Falha na rede com sol

Esse é o modo quando há falta da concessionária com a presença do sol. O circuito de emergência continua funcionando normalmente, alimentado pela geração fotovoltaica *off grid* e o gerador a diesel. Dessa forma, as cargas, que estiverem no circuito de emergência, irão funcionar.

Falha na rede sem sol

Esse é o modo quando há falha da concessionária sem a presença do sol. O circuito de emergência também continuará funcionando normalmente. Mas dessa vez, será alimentado apenas pelo gerador a diesel.

A figura 3.1 traz um diagrama de blocos que mostra os limites do projeto. Nele pode-se observar as etapas dos processos das fontes até chegarem no QTA projetado.

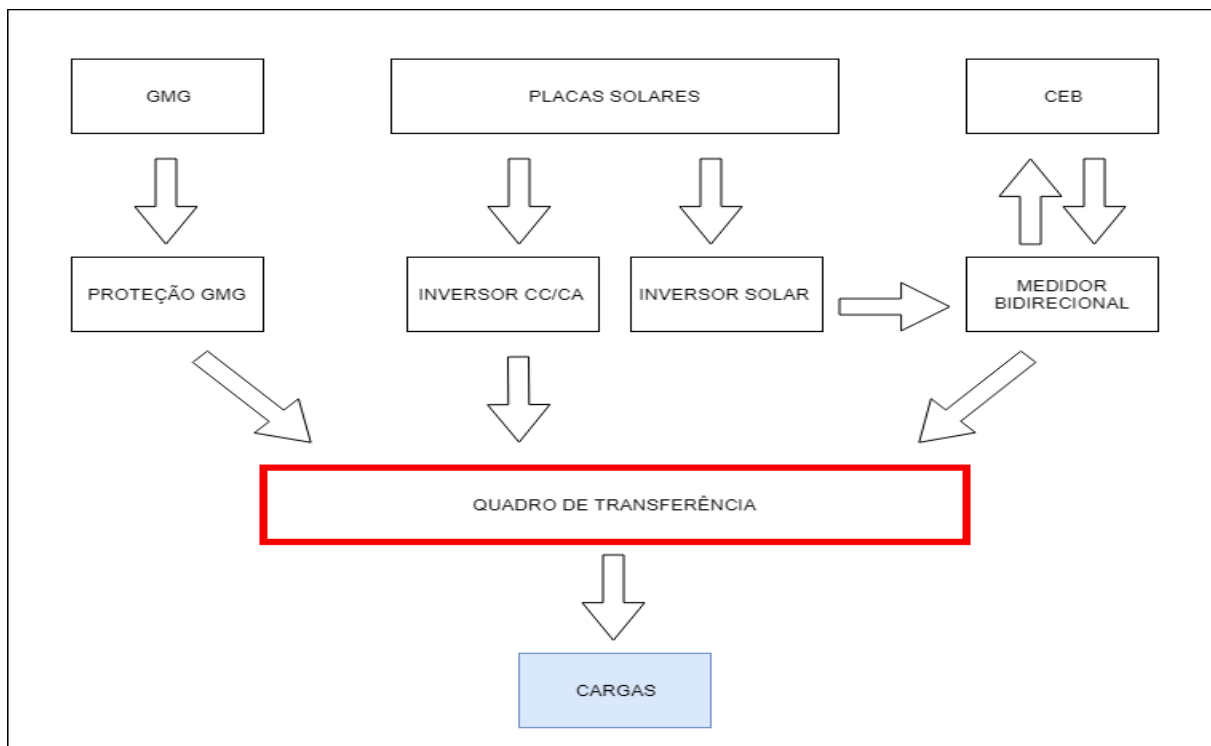


Figura 3.1 – Diagrama de blocos

3.1 Projeto

O projeto é separado em duas partes, o circuito de força e o circuito de comando. Todas essas partes, são apresentadas com detalhes nos apêndices deste trabalho.

3.1.1 Saída das Placas Solares

Na saída das placas solares, pode-se conectar um banco de baterias em paralelo com o sistema, isso aumentará a robustez do sistema solar, como mostrado na figura 3.2, onde tem-se o fechamento das placas com o sistema.

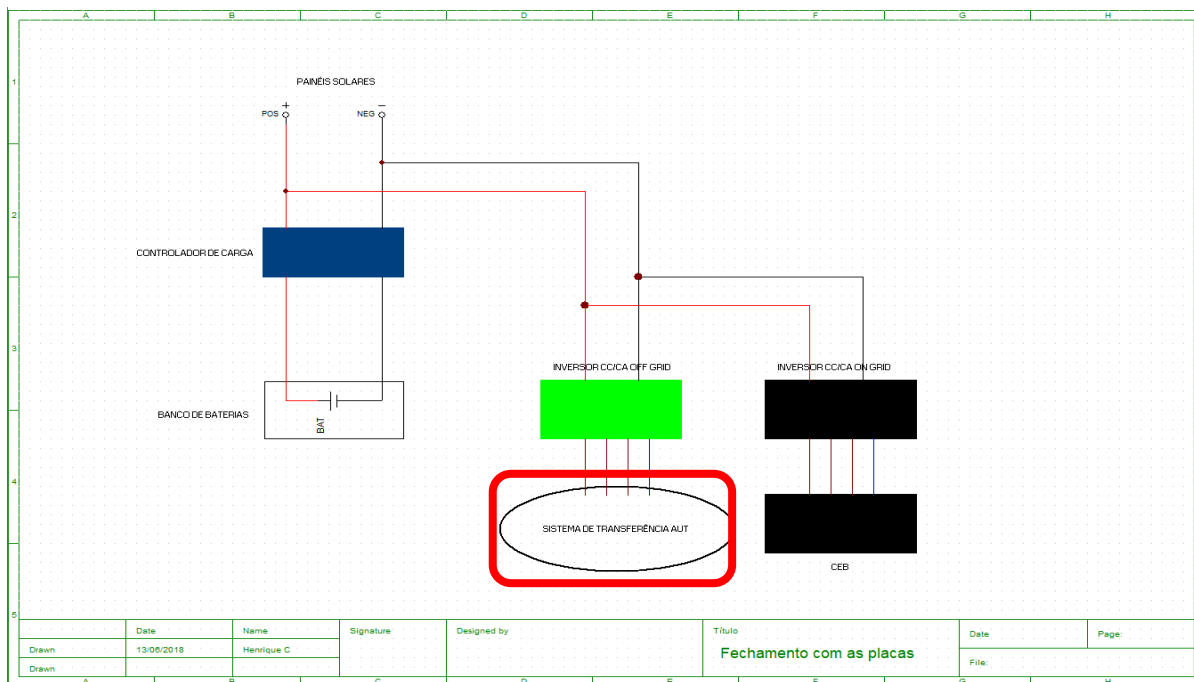


Figura 3.2 - Fechamento das placas para o quadro

É destacado figura 3.2, o que chega na alimentação do quadro a ser projetado. Analisando, pode-se perceber que a chegada é após o inversor CC/CA *off grid*, o que implica que a chegada fotovoltaica no circuito de força, já é trifásica e com o neutro.

3.1.2 Circuito de Força

O circuito de força é acionado a partir do circuito de comando, ele é responsável em energizar as cargas passando por ele as tensões vindas do GMG, placas solares e concessionária.

Nele existem dois barramentos, que formam dois circuitos. No diagrama, o primeiro é chamado de barra 1. Ele pode ser alimentado tanto pela concessionária quanto pelo GMG caso a concessionária venha a falhar. Nesse caso, as cargas que são alimentadas por esse barramento irão sofrer um desligamento e um religamento, quando o GMG assumir as cargas. Por sofrer essa interrupção em sua alimentação, essas cargas não são prioritárias.

O segundo é chamado pelo diagrama de barra 2. Ele pode ser alimentado tanto pela concessionária, quanto pelas placas solares ou GMG caso a concessionária venha a falhar. Os barramentos 1 e 2 estão circulados na figura 3.3.

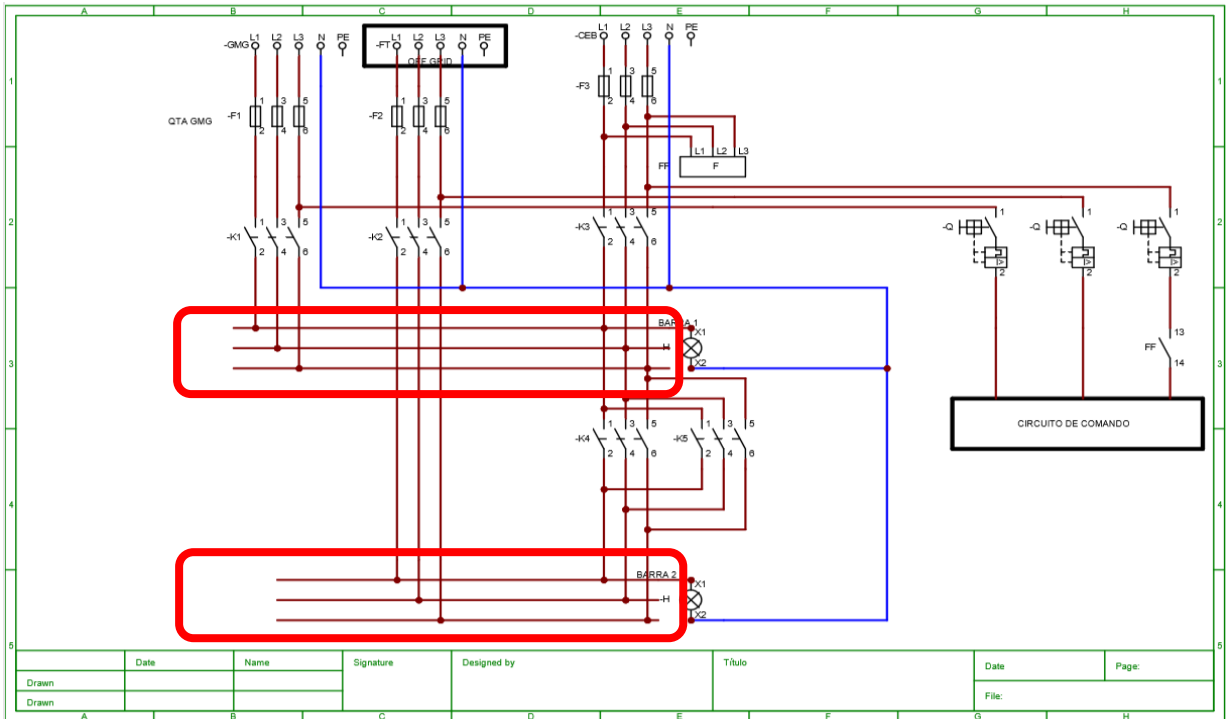


Figura 3.3 - Circuito de Força (Barramentos)

No funcionamento normal, a concessionária é quem alimenta o barramento 1 e 2. Para isso os contadores K3 e K4, indicadas a seguir, fecham. Deixando a energia chegar nos dois barramentos, conforme figura 3.4.

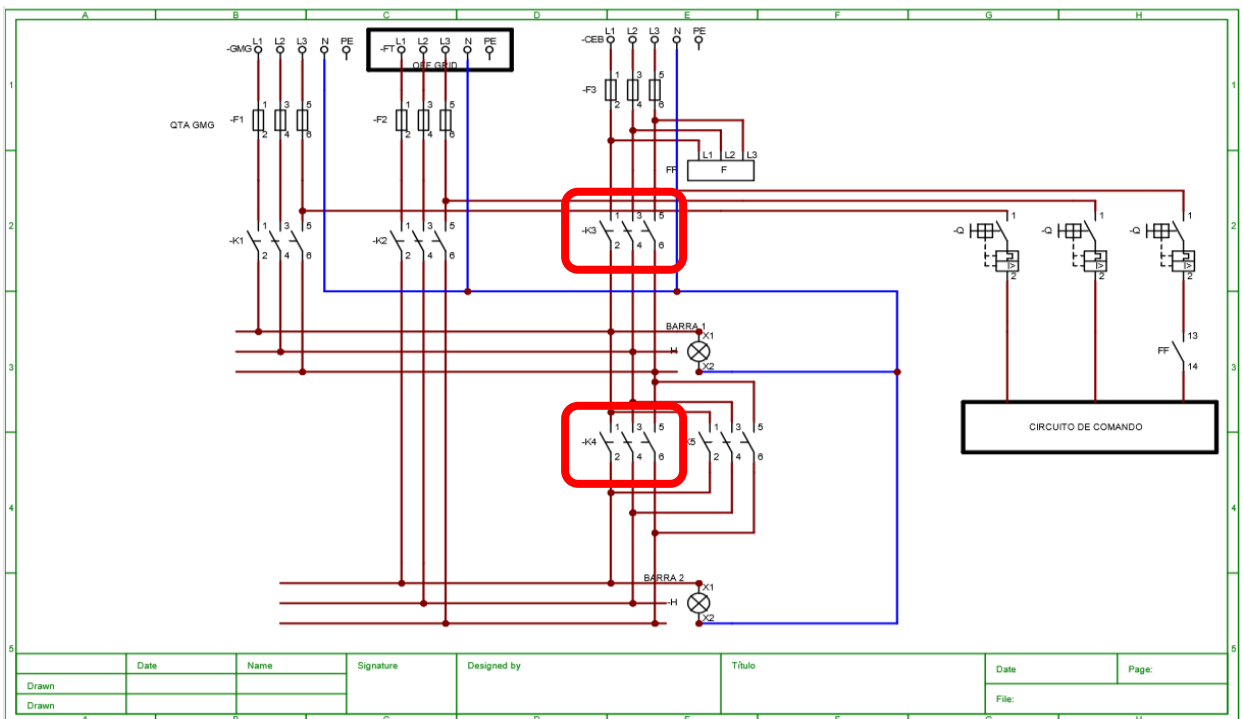


Figura 3.4 - Circuito de Força (Concessionária)

No funcionamento em emergência, os contatores da concessionária (K3 e K4) vão abrir para evitar retorno de energia para concessionária. Enquanto isso os contatores K1 do GMG e K2 da fotovoltaica, indicados na figura 3.5, irão fechar. Com isso o GMG irá alimentar o barramento 1, enquanto a energia fotovoltaica irá alimentar o barramento 2.

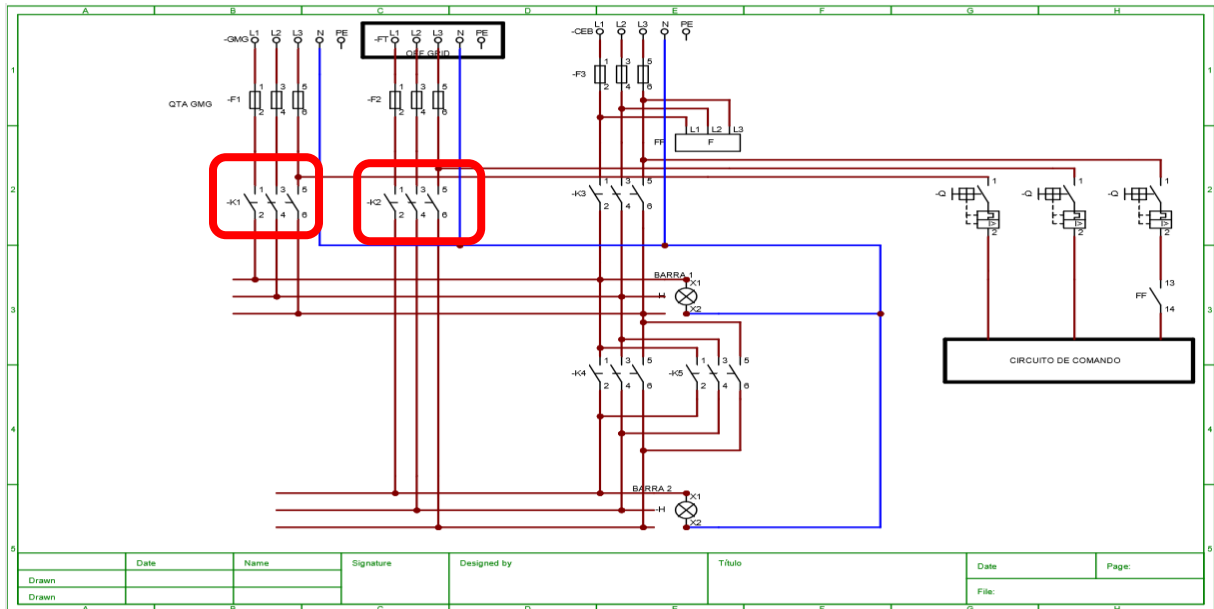


Figura 3.5 - Circuito de Força (GMG/FT)

No caso de falta de produção da energia solar e o banco de baterias descarregar, o contator K5, indicado na figura 3.6, é fechado, dessa forma o gerador irá assumir tanto as cargas do barramento 1 quanto as do barramento 2.

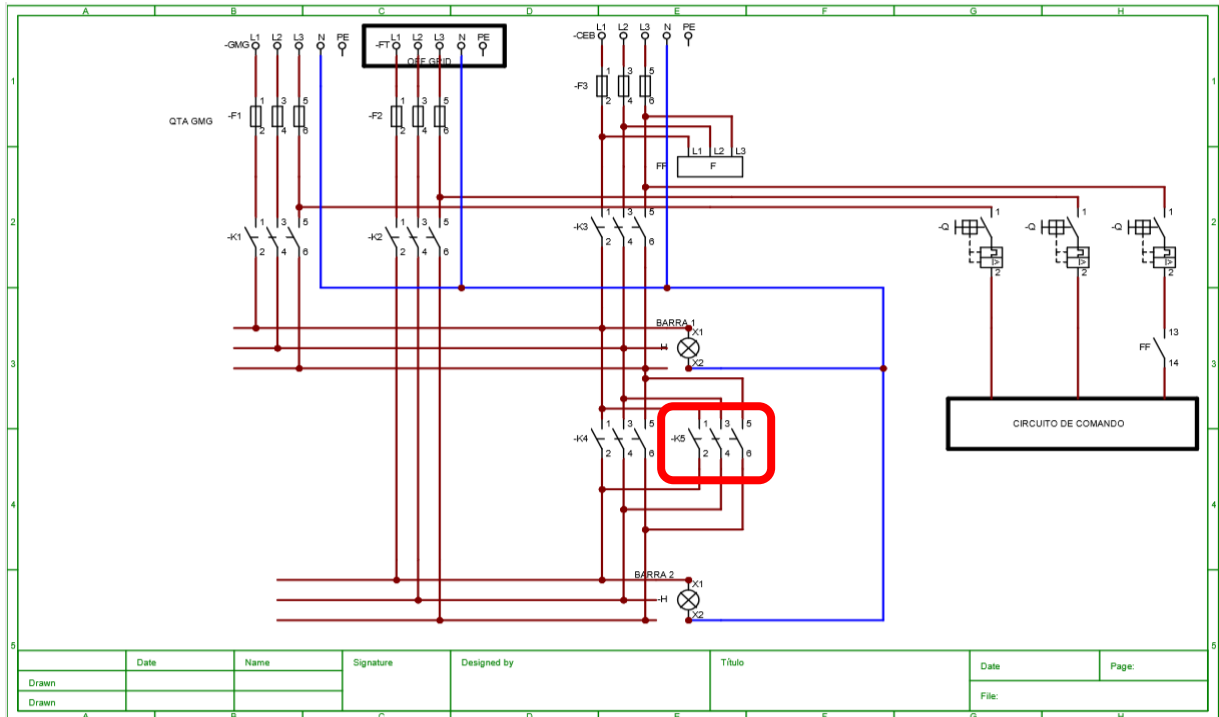


Figura 3.6 - Circuito de Força (barra 1/barra 2)

Dessa forma o sistema é sempre alimentado por alguma fonte geradora de energia.

3.1.3 Circuito de Comando

O circuito de comando é quem controla a abertura e o fechamento dos contatores do circuito de força. Ele monitora as três fases da concessionária a partir do relé falta de fase, atuando no contato normalmente aberto (NA).

O comando é dividido em duas partes:

- Circuito que é alimentado pelas fases, vindas do circuito de força;
- Circuito que é alimentado pela bateria do GMG, que pode ser de 12 ou 24 Vcc.

3.1.3.1 Circuito alimentado pelas fases

Esse circuito é o responsável por abrir e fechar os contatores do circuito de força. Nele existem três circuitos que são os do GMG, fotovoltaico e concessionária respectivamente.

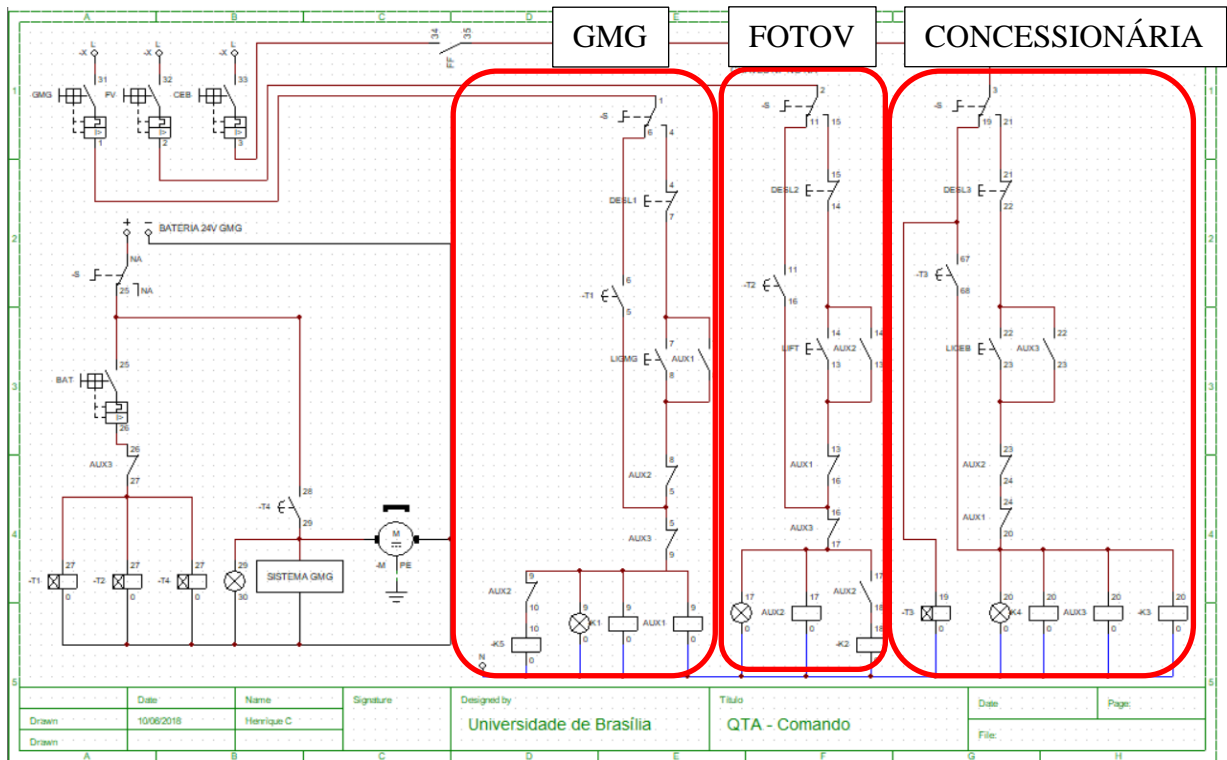


Figura 3.7 - Circuito de Comando (GMG/ FT/ CONCESSIONÁRIA)

Analisando a figura 3.7, pode-se observar que na entrada de cada circuito existe uma chave seletora, essa chave é quem faz a comutação de automático para manual.

3.1.3.2 Modo Manual

Estando a chave seletora selecionada em manual, que é o NA da chave tendo como orientação a posição desenhada, podemos ligar e desligar cada circuito individualmente. Esse acionamento se dá através de botoeiras de liga/desliga. O botão de desligar é NF, pois quando acionado abre o circuito, desligando o mesmo. O botão de ligar é NA que, em paralelo existe um contato NA do contator para fazer o contato de selo. O contato de selo vai garantir a alimentação da bobina do contator, mesmo após soltar o botão de ligar.

Esse esquema de ligação no modo manual é igual para os três circuitos, variando apenas os contatos NF que fazem o intertravamento elétrico. Com esse intertravamento, quando ativado um contator de alimentação de força, os outros ficam impossibilitados de entrar. Em outras palavras, por segurança, no modo manual não é possível alimentar as cargas com mais de uma fonte.

3.1.3.3 Modo Automático

Estando a chave seletora selecionada em automático, que é o NF da chave tendo como orientação a posição desenhada, os circuitos vão operar de forma a automatizar a transferência de cargas. Luzes de sinalização são usadas para saber qual fonte está alimentando a carga. Isso vai se dar da seguinte forma:

- Ao reconhecimento da estabilidade da rede da concessionária, o contato T3, no circuito da concessionária, irá fechar. Possibilitando assim a energização da bobina K3 e K4. Um contator de contatos auxiliares (AUX 3) foi utilizado.
- Havendo falha estável na energia fornecida pela concessionária, os contatos T1 e T2, dos circuitos do GMG e fotovoltaico respectivamente, irão ser acionados no tempo de 5 segundos para T1 e 10 segundos para T2. Assim os contatores K2 e K3 irão fechar e a energia fotovoltaica vai assumir as cargas da barra 2 e o GMG da barra 1. Contatores de contatos auxiliares (AUX 1 e AUX 2) foram utilizados.
- Quando não houver mais sol e o banco de baterias não tiver mais capacidade. O contator K5 irá fechar instantaneamente. Fazendo assim que o GMG assumira todas as cargas.
- Havendo um retorno estável da concessionária, os contatos T1 e T2 irão abrir e o contato T3 irá fechar. Voltando assim ao estado original, com a concessionária alimentando todas as cargas.

3.1.3.4 Circuito alimentado pela bateria

A partida do GMG se dá a partir do circuito destacado na figura 3.8.

Nela podemos observar que a alimentação desse circuito se dá pela bateria do GMG. O motivo disso, além do próprio sistema de partida do motor de CC do GMG, é a independência que os relés temporizadores precisam ter para serem acionados.

Quando há falha na rede, o circuito de comando da concessionária fica totalmente desenergizado. Como o GMG ainda está desligado e o sistema fotovoltaico ainda não foi chaveado para o modo *off grid*, é necessário então a utilização de baterias. Nesse momento, o contato AUX 3, destacado na imagem, permite a alimentação das bobinas dos relés. Com isso, após a partida e estabilização do GMG, os contatos dos relés vão permitir a alimentação dos contatores do GMG e fotovoltaico, assim eles vão assumir suas cargas.

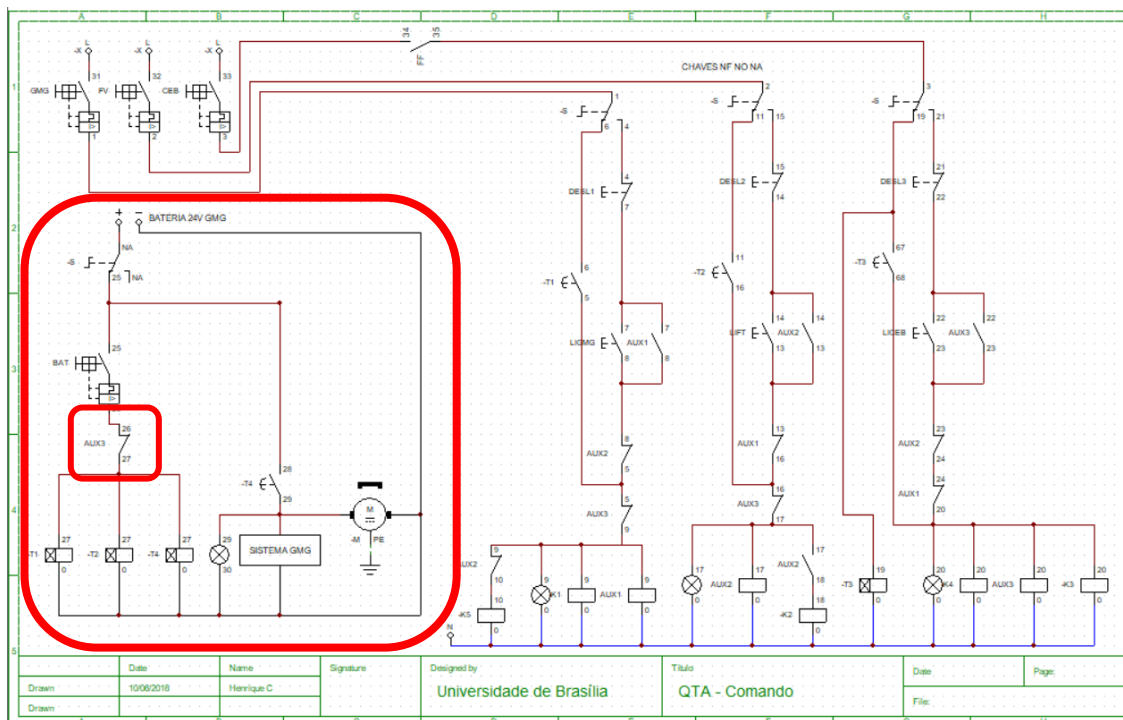


Figura 3.8 - Circuito da bateria

3.2 EXECUÇÃO

A montagem do quadro de transferência automática foi baseada no projeto. Os materiais são, em sua maioria, componentes que já foram usados, sucateados e agora restaurados para a reutilização. Por isso, os componentes utilizados não estão dimensionados.

Pelos fatos apresentados acima, não é recomendado o uso desse quadro, a não ser para testes, como é o nosso caso.

3.2.1 Descrição dos materiais



- 03 disjuntores termomagnéticos da marca SCHNEIDER, linha Merlin Gerin, K32a C16. Disjuntores utilizados para simular entrada das fontes (GMG, fotovolta, concessionária).



➤ 05 Contatores de força da marca WEG, modelo CWM50.

Contatores K1, K2, K3, K4 e K5, mostrados no projeto.



➤ 01 disjuntor tripolar da marca SCHNEIDER, modelo Easy 9 C16.

Disjuntor de entrada do circuito de comando.



➤ 02 relés temporizadores 1 NA/ 1NF da marca SIEMENS, modelo 7pu00.

Relés T3 e T4, mostrados no projeto.



➤ 02 relés temporizadores 1 NA/ 1NF da marca ALTRONIC, modelo TEI.

Relés T1 e T2, mostrados no projeto.



- 02 contatores auxiliares 2NA/ 2NF, com bloco aditivo, marca SCHNEIDER, modelo telemecanique square D.

Contatores AUX1 e AUX2, mostrados no projeto.



- 02 contatores auxiliares 2NA/ 2NF da marca SIEMENS, modelo SINUS.

Contatores que formam AUX3, mostrados no projeto.



- 01 disjuntor monopolar da marca MOELLER, modelo xpole B10.

Disjuntor de entrada do circuito alimentado pela bateria.



- 01 Chave seletora de plástico com 4 polos NA para a função automático e 3 polos em NA para a função manual. Marca SIBRATEC. Chave de automático/ manual e desligamento emergencial.



- 03 botoeiras NA/NF da marca SCHMERSAL.

Botoeiras de liga/ desliga, para a função manual.



- 02 metros de trilho DIN

Utilizado para fixação dos componentes.



- 04 metros de canaleta ventilada 30x30cm.

Utilizada para organização dos cabos.

Além disso, foram utilizados:

- 30 metros de cabo preto 1,5mm² para o circuito de comando;
- 07 metros de cabo vermelho 2,5mm² para o circuito de força;
- 10 metros de cabo azul para o neutro;
- Anilhas de identificação;
- Barra de cobre;
- Isoladores elétricos;
- Bornes com conexão para trilho DIN;
- Placa de madeira 80x80cm;
- 02 bocais E27.

3.3 Montagem

Para montagem do quadro, algumas considerações foram feitas.

- O quadro foi montado em cima de uma chapa de madeira de 80x80cm.
- Foi montado apenas uma fase de cada fonte. Porém sistema foi projetado e suporta circuitos trifásicos.
- Não foram colocados relés falta de fase, a falta de cada fonte é simulada através de disjuntores.
- A falha de cada fonte é simulada desligando seu respectivo disjuntor de entrada.
- A alimentação dos três disjuntores de entrada de cada fonte é a mesma, que é proveniente da tomada comum através de um cabo de extensão.
- Para simular a partida e parada do GMG, tem-se um LED que sinaliza o momento que o comando deixa passar ou não a tensão da bateria para o motor.
- O circuito alimentado pela bateria foi adaptado para ser também alimentado pela tomada, mudando assim o tipo de relé utilizado que, ao invés de ser relé de alimentação CC, foi usado relé de alimentação CA.
- A representação de carga dos dois barramentos é feita com duas lâmpadas fluorescentes, uma para cada barramento.

A figura 3.9 mostra o quadro que foi montado pelo autor do projeto em laboratório, para que nele possam ser realizadas medições e testes. Todas as identificações de cabos estão de acordo com os diagramas detalhados no apêndice.

QUADRO DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA (QTA)

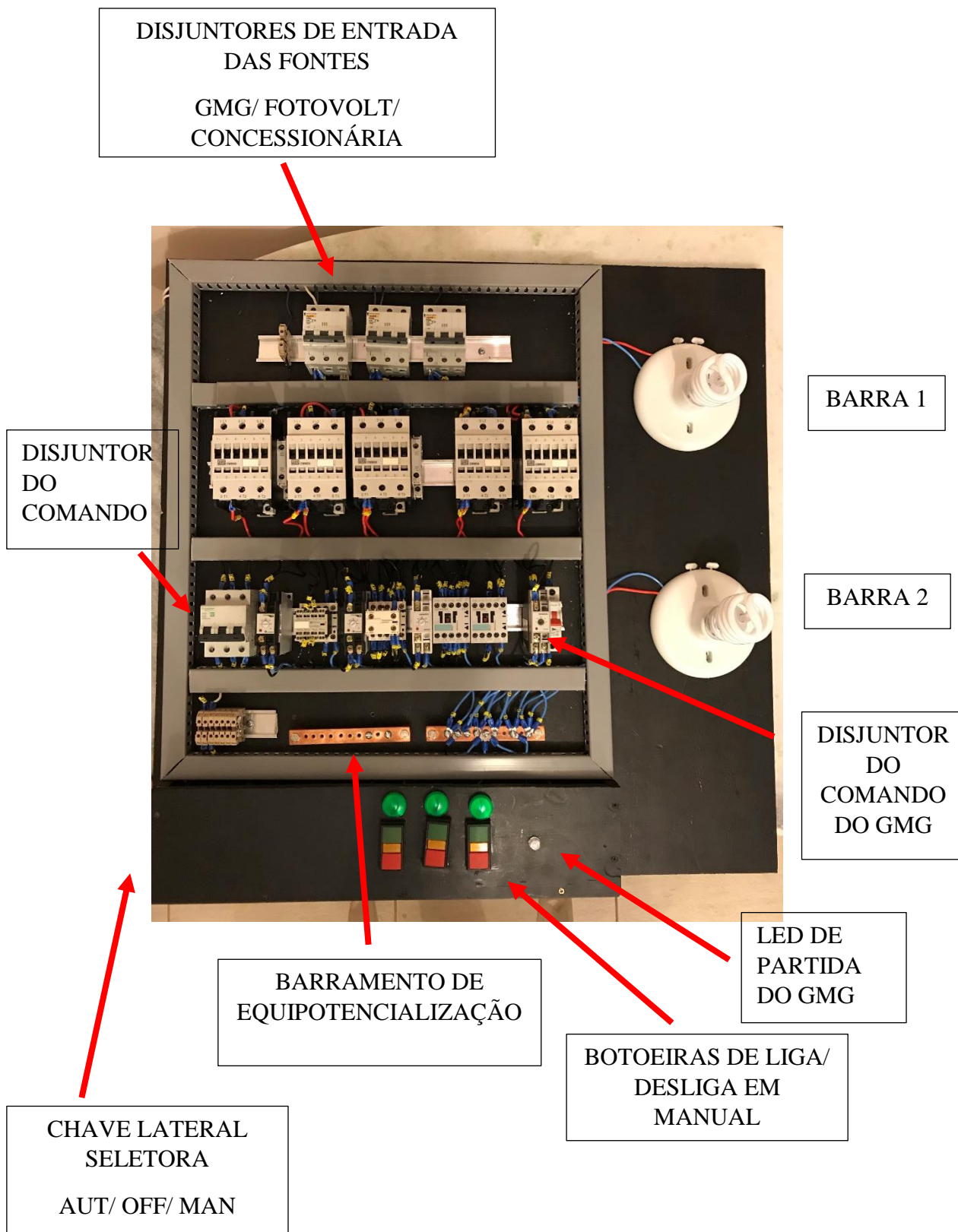


Figura 3.1 - Quadro de Transferência Automática (QTA)

4 MEDIÇÕES E RESULTADOS

Afim de verificar parâmetros para a qualidade de energia, foram realizadas medições no transitório das trocas de fonte entre concessionária, fotovoltaico e GMG. Dessa forma pode-se discutir sobre a comutação. Para realizar as medições de transitórios, foram utilizados dois equipamentos.

- Osciloscópio Fluke 190-104, com a data da última calibração em 13/05/2016.

A realização da medição é mostrada na figura 4.1. Cada canal do equipamento realizou a medição da forma de onda de um barramento. Com isso, no momento do transitório foram geradas as imagens de forma de onda em cada barramento. O canal D (verde) mediu a barra 1, enquanto o canal A (vermelho) mediu a barra 2.

Para o tratamento das imagens do Fluke 190-104, foi utilizado o software Fluke View ScopeMeter 5.4. Este software é recomendado pelo fabricante e pode ser encontrado no site da fluke.



Figura 4.1 - Medição com Osciloscópio

- Analisador de energia Fluke 1735, com a data da última calibração em 13/06/2018.

O analisador de energia realizou as medições de eventos, que são as interrupções, afundamentos e sobretensões momentâneas. Para isso, a figura 4.2 mostra que foram colocadas as ponteiras nas barras 1 e 2 e uma terceira no barramento de equipotencialização do quadro, que seria o barramento de terra.

Para o tratamento das imagens do Fluke 1735, foi utilizado o software Power Log Classic 4.5. Este software é recomendado pelo fabricante e pode ser encontrado no site da fluke.

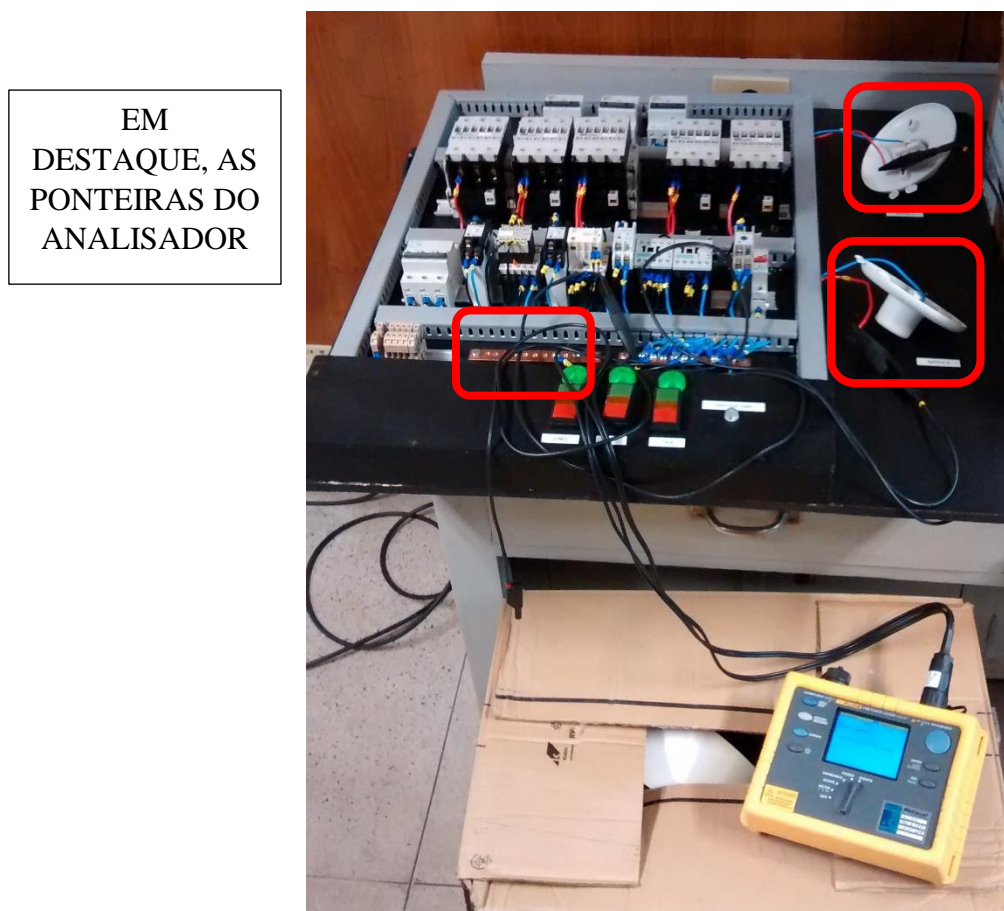


Figura 4.2 - Medição com o Analisador de Energia

A nomenclatura utilizada foi, Input A e L1N (V), referentes ao barramento 1. Input D e L1N (V), referentes ao barramento 2.

Foram considerados todos os casos em que há troca de fonte de energia em algum dos barramentos.

Primeiro caso: Entrada da concessionária

Comutação de quando o sistema está totalmente desligado, para quando a concessionária assume as cargas.

Segundo caso: Falha da concessionária

Comutação de quando há falha na concessionária, a fotovoltaica e o GMG assumem suas respectivas cargas.

Terceiro caso: Falha na fotovoltaica

Momento em que a concessionária e a Fotovoltaica falham, podendo ocorrer falha de forma simultânea ou primeiro a concessionária e depois a fotovoltaica.

Quarto caso: Restabelecimento da fotovoltaica

Momento em que ainda não há energia da concessionária, mas a fotovoltaica volta a produzir.

Quinto caso: Restabelecimento da concessionária

Momento da volta da concessionária, assumindo assim todas as cargas.

4.1 Primeiro caso: Entrada da concessionária

A seguir, as imagens das medições:

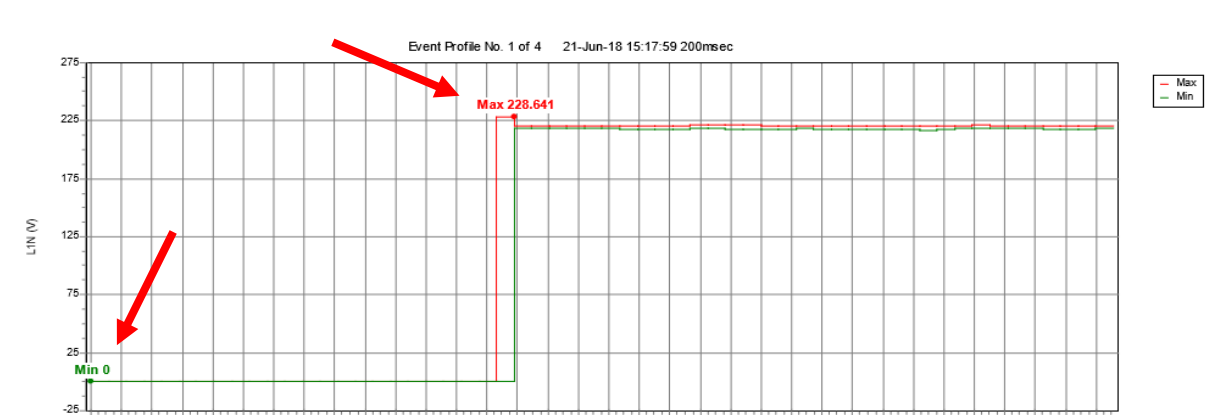


Figura 4.3 – Analisador: Entrada da concessionária (BARRA 1)

Pela figura 4.3, o evento registrado na barra 1 teve uma tensão máxima de 228,641V, no momento da transição e uma tensão mínima de 0V, referente ao momento em que todas as fontes estavam desligadas.

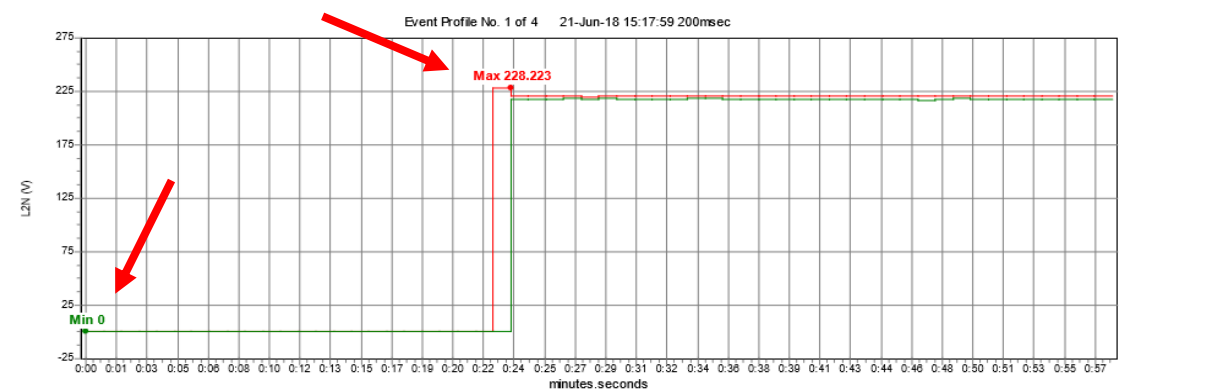


Figura 4.4 – Analisador: Entrada da concessionária (BARRA 2)

Pela figura 4.4, o evento registrado na barra 2 teve uma tensão máxima de 228,223V, no momento da transição e uma tensão mínima de 0V, referente ao momento em que todas as fontes estavam desligadas.

Pode-se concluir pelas figuras 4.3 e 4.4, que não houve nenhuma sobretensão momentânea nos barramentos 1 e 2 no momento do transitório.

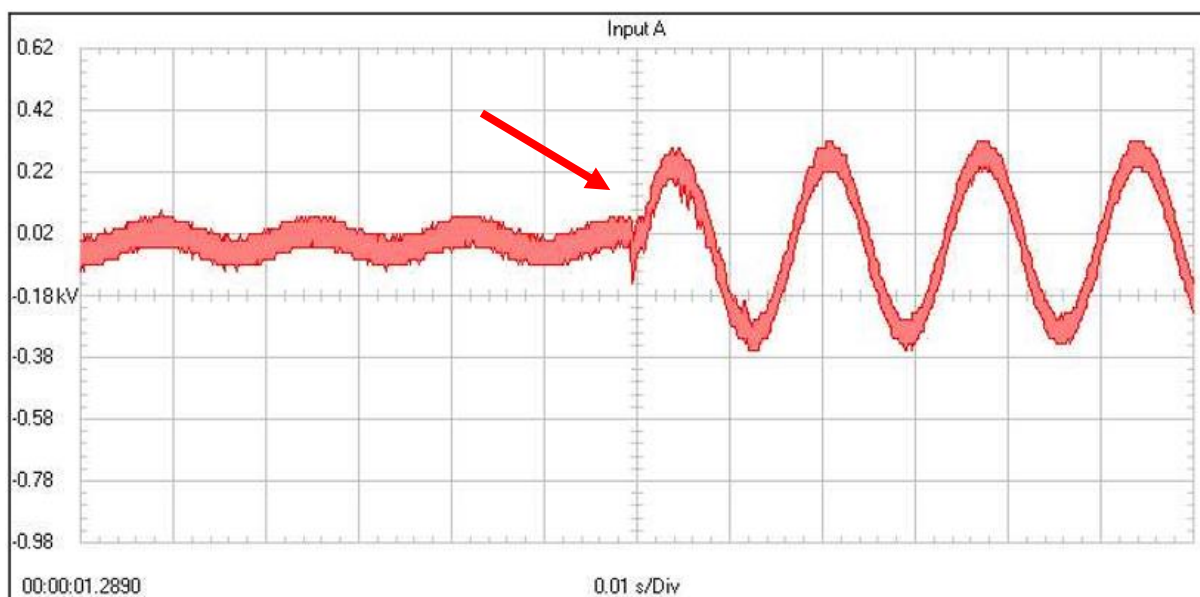


Figura 4.5 – Osciloscópio: Entrada da concessionária (BARRA 1)

A figura 4.5 mostra a forma de onda da barra 1 no momento em que a energia da concessionária entra no sistema, antes do transitório é possível verificar apenas presença de ruídos.

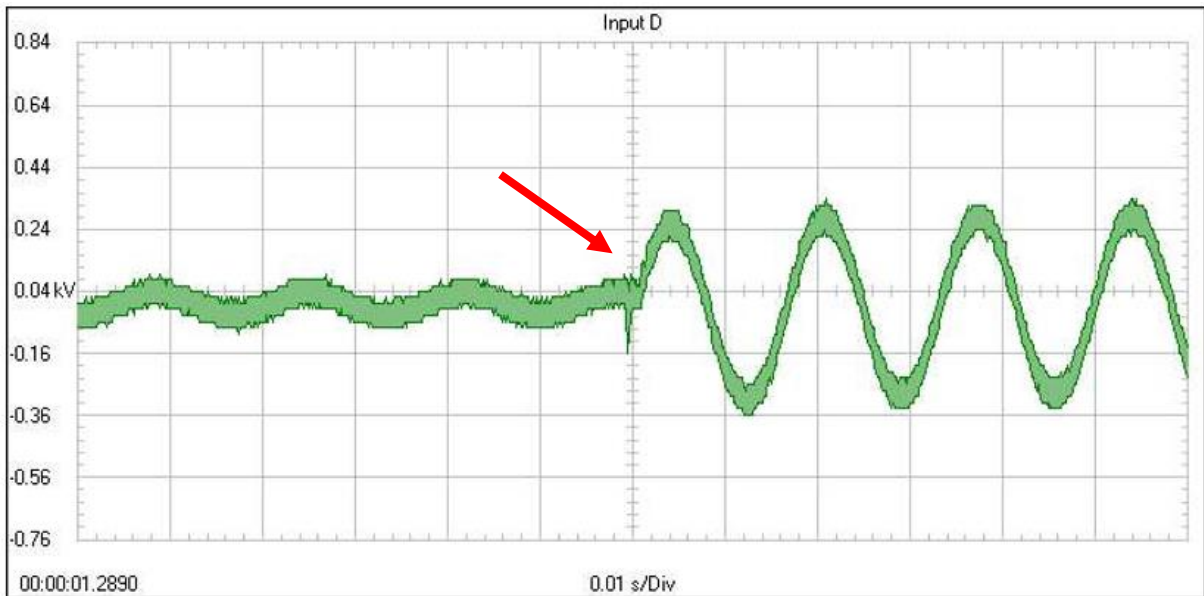


Figura 4.6 – Osciloscópio: Entrada da concessionária (BARRA 2)

A figura 4.6 acima também mostra a forma de onda no momento em que a energia da concessionária entra no sistema.

Pelas imagens do osciloscópio, pode-se observar que não houve nenhuma variação não prevista nas formas de onda.

4.2 Segundo caso: Falha da concessionária

A seguir, as imagens das medições:

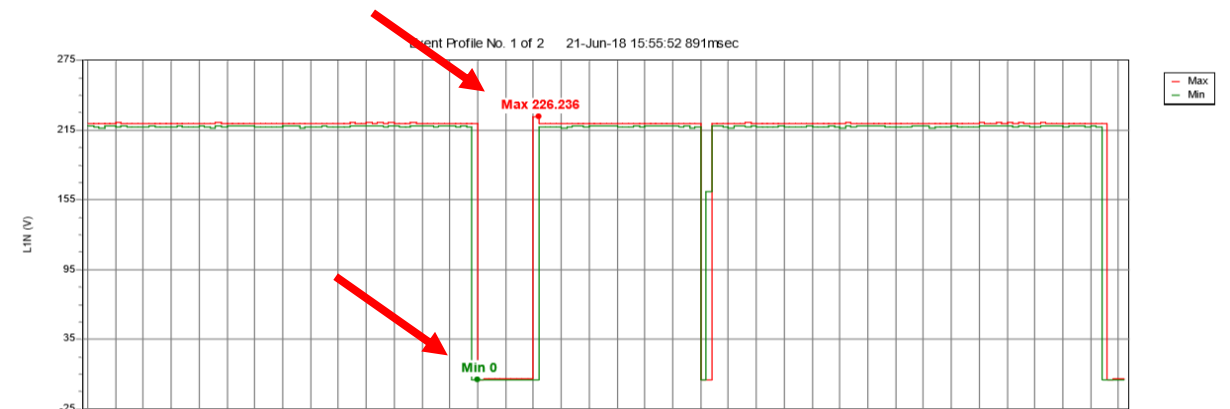


Figura 4.7 - Analisador: Falha da concessionária (BARRA 1)

O caso, para a barra 1, é retratado no primeiro evento assinalado da figura 4.7, os outros dois eventos são de outros testes, portanto desconsiderados para este caso. Nesse transitório foi registrado uma interrupção momentânea de tensão, essa interrupção teve uma duração de 10s, que é referente ao tempo em que o sistema identifica a falha da concessionária, promove a

partida no gerador e então espera 10 segundos para que o gerador estabilize e tenha condições de assumir a carga.

Ainda observando a figura 4.7, a máxima tensão registrada na barra 1, para esse evento foi de 226,236V, referente ao momento em que o GMG assumiu a carga.

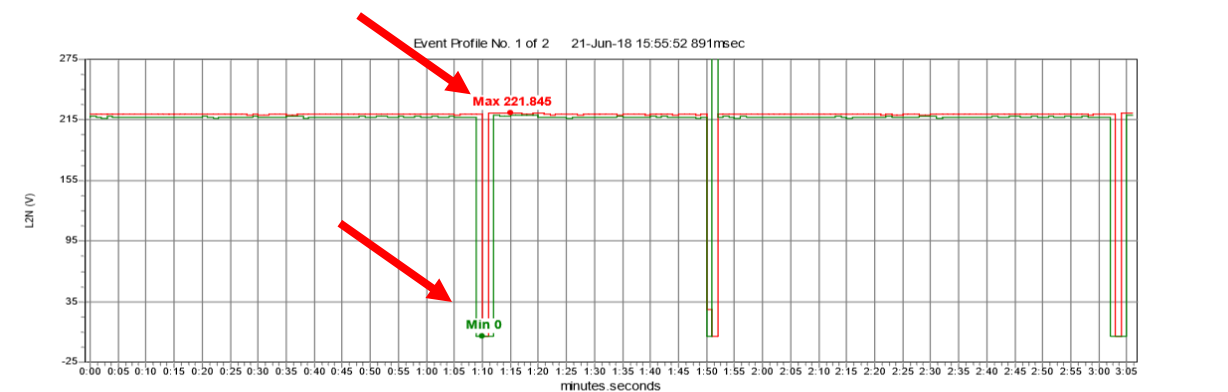


Figura 4.8 - Analisador: Falha da concessionária (BARRA 2)

Pela figura 4.8, é possível observar que também há uma interrupção de tensão na barra 2, essa interrupção tem duração de 1s, que é referente ao tempo em que o sistema identifica a falha da concessionária e chaveia para o inversor *off grid*. Os outros dois eventos são de outros testes, portanto desconsiderados para este caso.

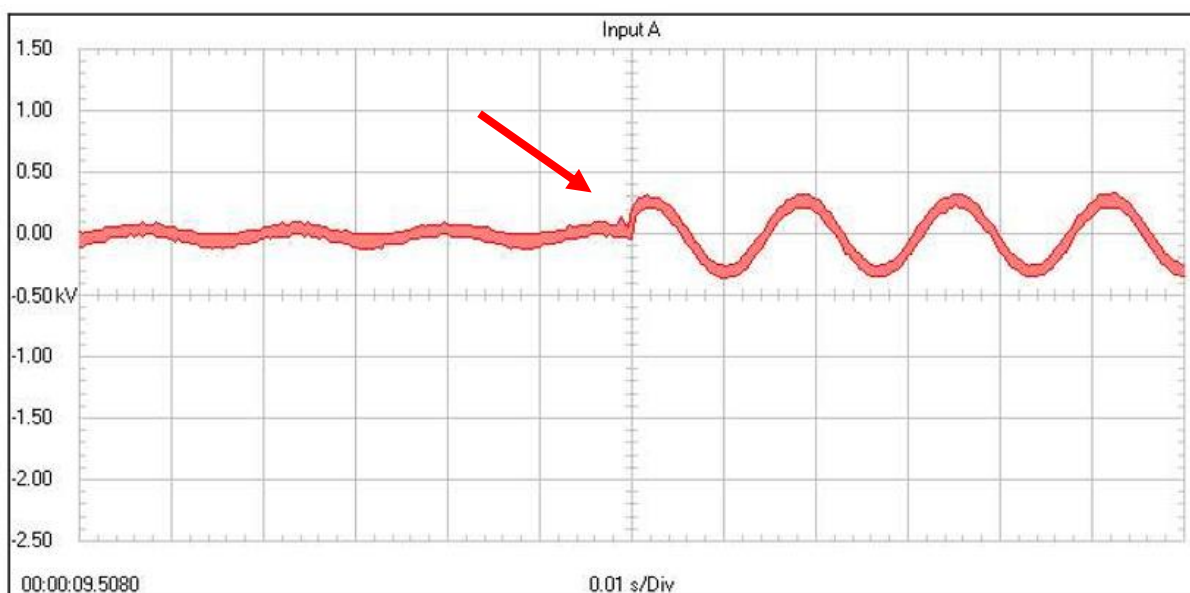


Figura 4.9 - Osciloscópio: Falha da concessionária (BARRA 1)

A forma de onda registrada na figura 4.9, é o momento em que o GMG assume a carga do barramento 1.

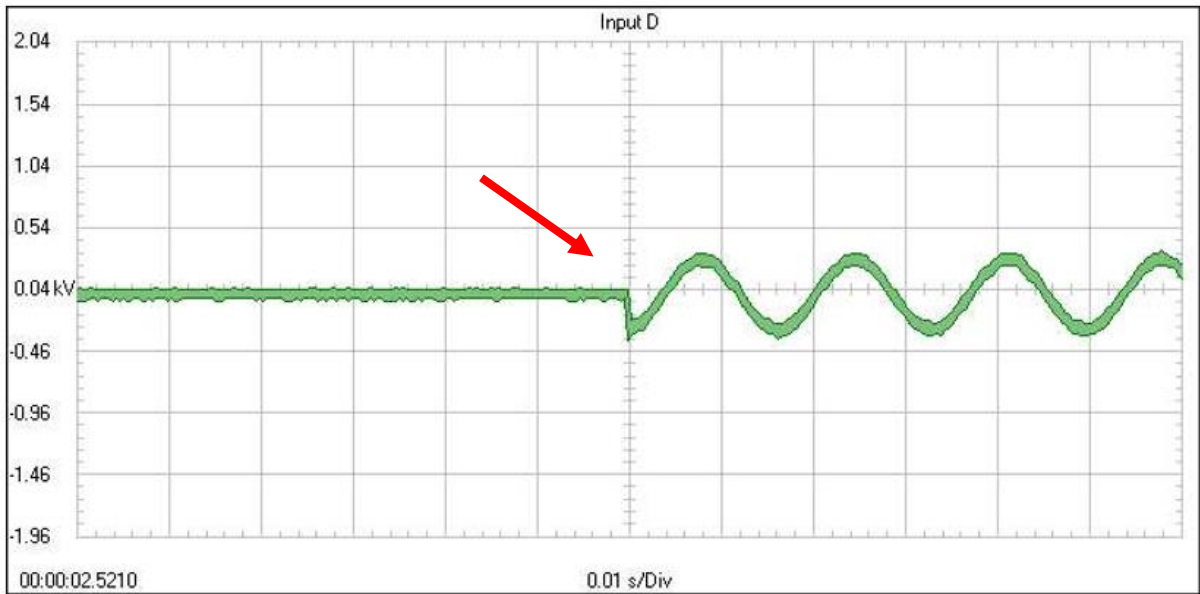


Figura 4.10 - Osciloscópio: Falha da concessionária (BARRA 2)

A forma de onda registrada na figura 4.10, é o momento em que a fotovoltaica assume a carga do barramento 1.

Pelas imagens do osciloscópio, pode-se observar que não houve nenhuma variação não prevista nas formas de onda.

4.3 Terceiro caso: Falha da fotovoltaica

A seguir, as imagens das medições:

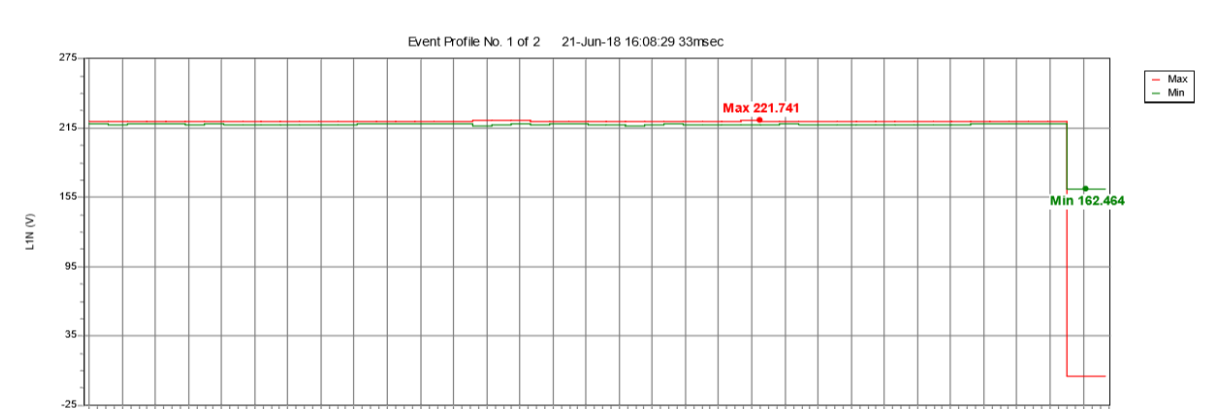


Figura 4.11 - Analisador: Falha da fotovoltaica (BARRA 1)

Observando-se a figura 4.11, a falha da energia fotovoltaica não impacta o fornecimento da barra 1. Isso era esperado, pois não há transitório no fornecimento da barra 1, mantém o fornecimento pelo GMG. Tensão máxima de 221,741 e tensão mínima não se aplica.

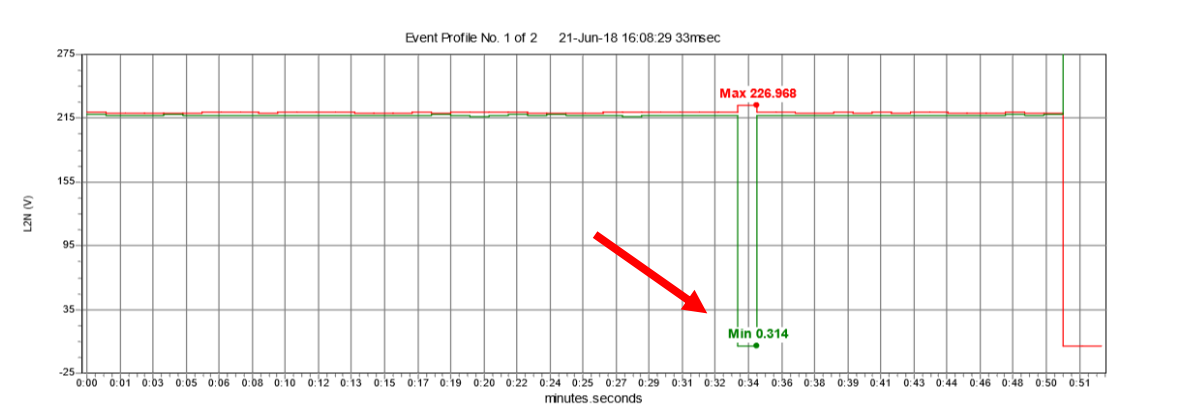


Figura 4.12 - Analisador: Falha da fotovoltaica (BARRA 2)

Observando-se a figura 4.12, o transitório provocou uma interrupção momentânea na tensão mínima registrada de 0,314V com duração de 1s.

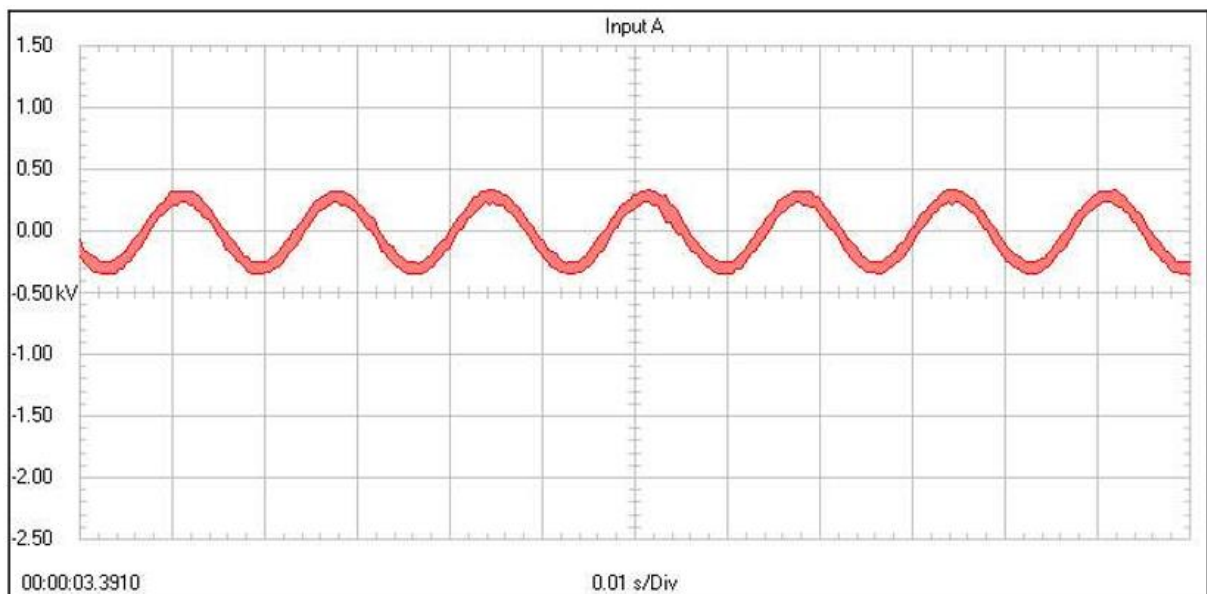


Figura 4.13 - Osciloscópio: Falha da fotovoltaica (BARRA 1)

A figura 4.13, mostra que a forma de onda de tensão na barra 1 não sofreu nenhuma variação, como esperado.

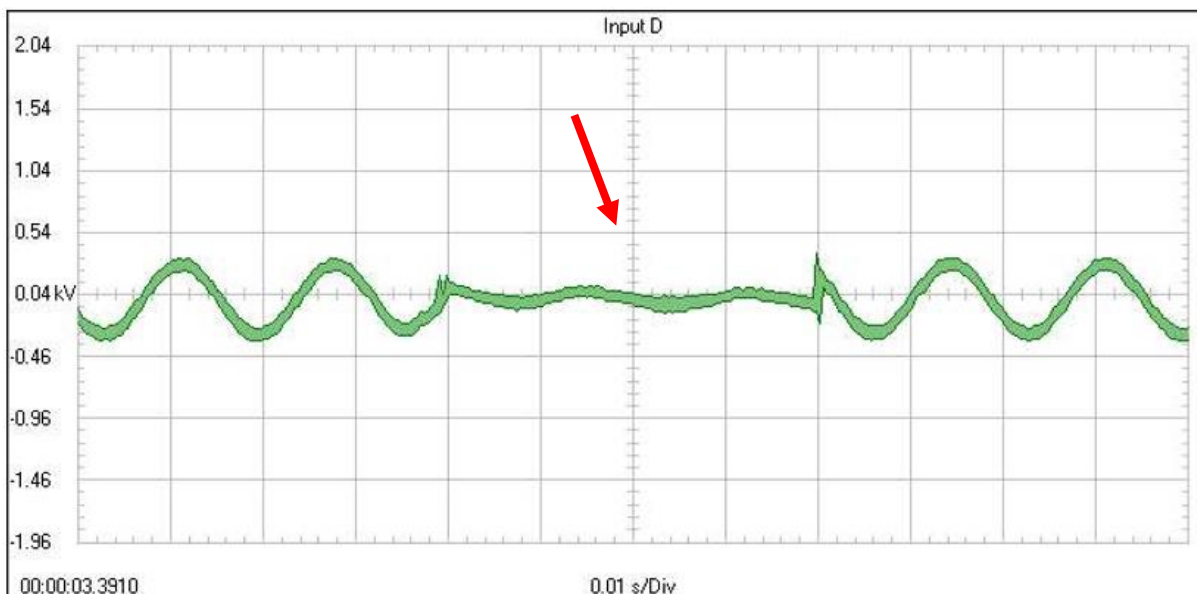


Figura 4.14 - Osciloscópio: Falha da fotovoltaica (BARRA 2)

Observando-se a figura 4.14, a transição afeta apenas a forma de onda na barra 2, que é o que mudou a fonte de alimentação da fotovoltaica para a concessionária. Percebe-se que há uma anomalia na forma de onda no momento do transitório, o que é sentido pelo usuário.

4.4 Quarto caso: Restabelecimento da fotovoltaica

A seguir, as imagens das medições:

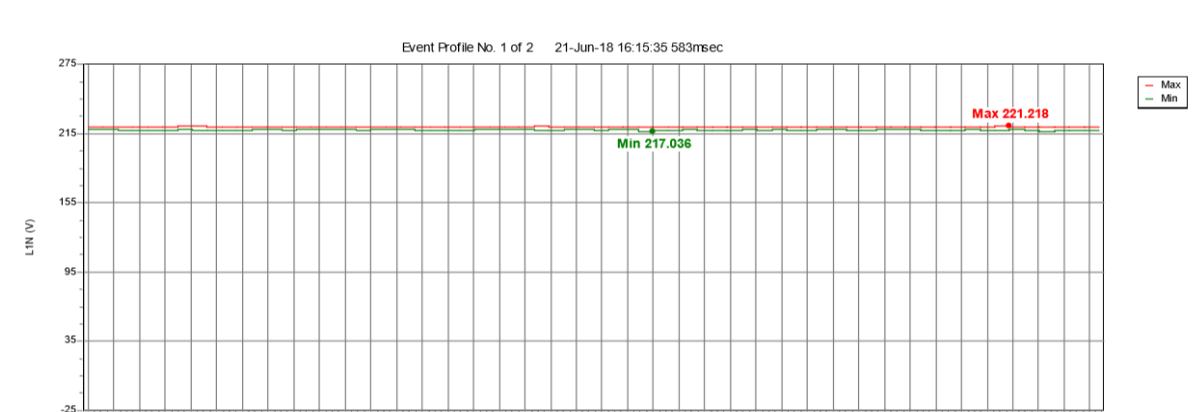


Figura 4.15 - Analisador: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 1)

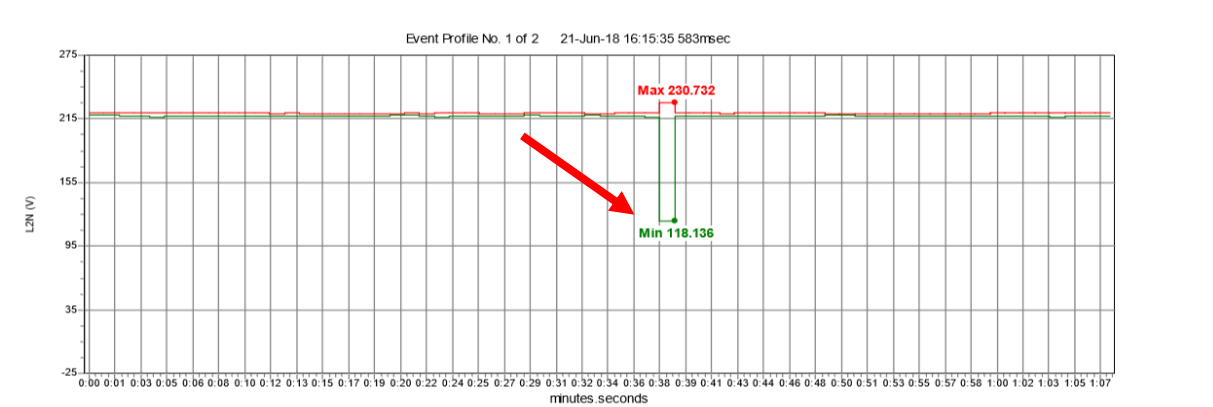


Figura 4.16 - Analisador: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 2)

Observando-se as figuras 4.15 e 4.16, o quarto caso tem os resultados próximos ao terceiro caso. Isso era esperado, pois aqui tem-se a transição de reestabelecimento da energia fotovoltaica. Portanto as considerações são as mesmas. Houve um afundamento momentâneo de tensão de 0,3s.

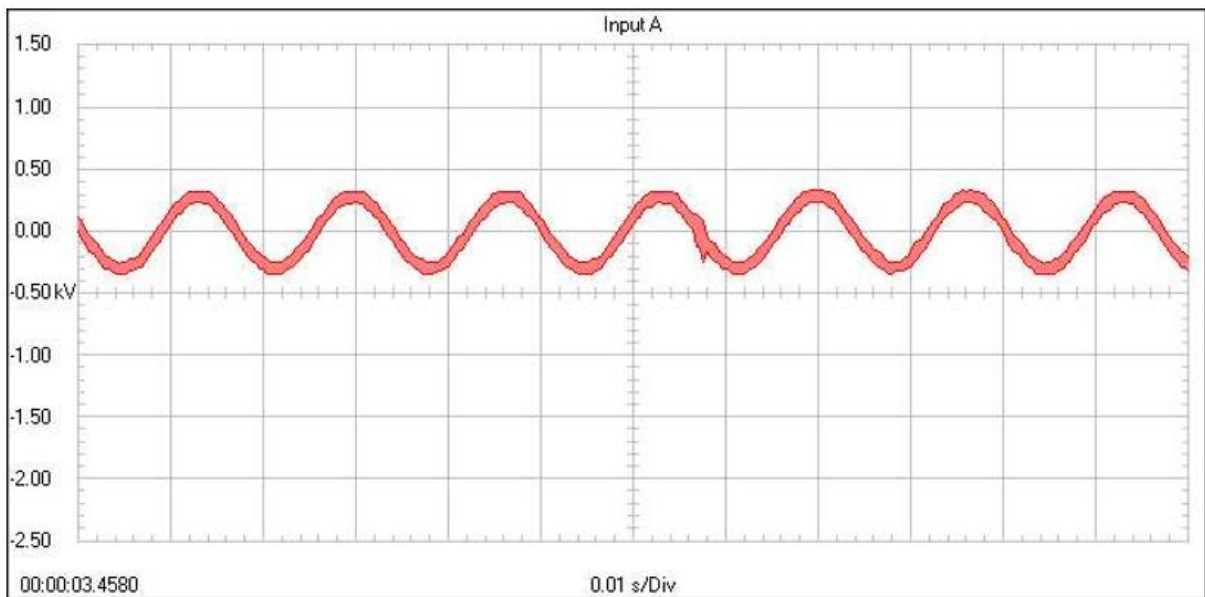


Figura 4.17 - Osciloscópio: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 1)

Pela figura 4.17, a forma de onda da barra 1 foi inalterada, como esperado, já que não houve transição de fonte para essa barra.

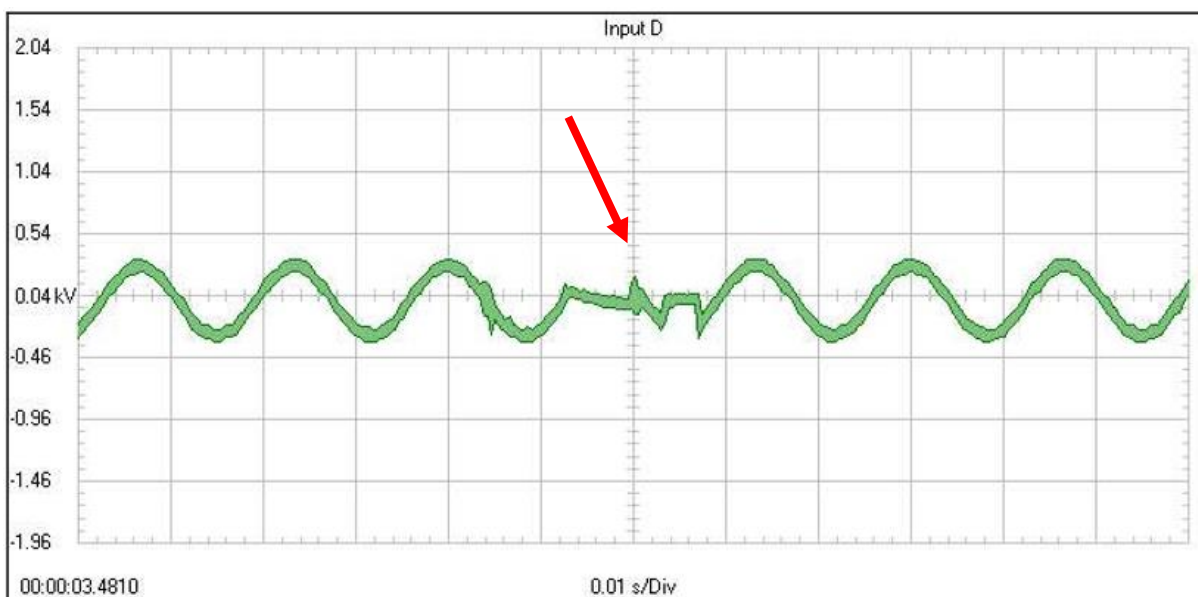


Figura 4.18 - Osciloscópio: Restabelecimento da fotovoltaica (BARRA 2)

Percebe-se pela figura 4.18, que novamente a forma de onda da barra 2 sofre variação, o que é sentido pelo usuário.

4.5 Quinto caso: Restabelecimento da concessionária

Nesse caso o analisador de energia não identificou nenhum evento. Observando pelo registro do osciloscópio, percebe-se que a transição para o retorno da concessionária realmente acontece de forma muito rápida, de tal forma que a variação na forma de onda é quase imperceptível.

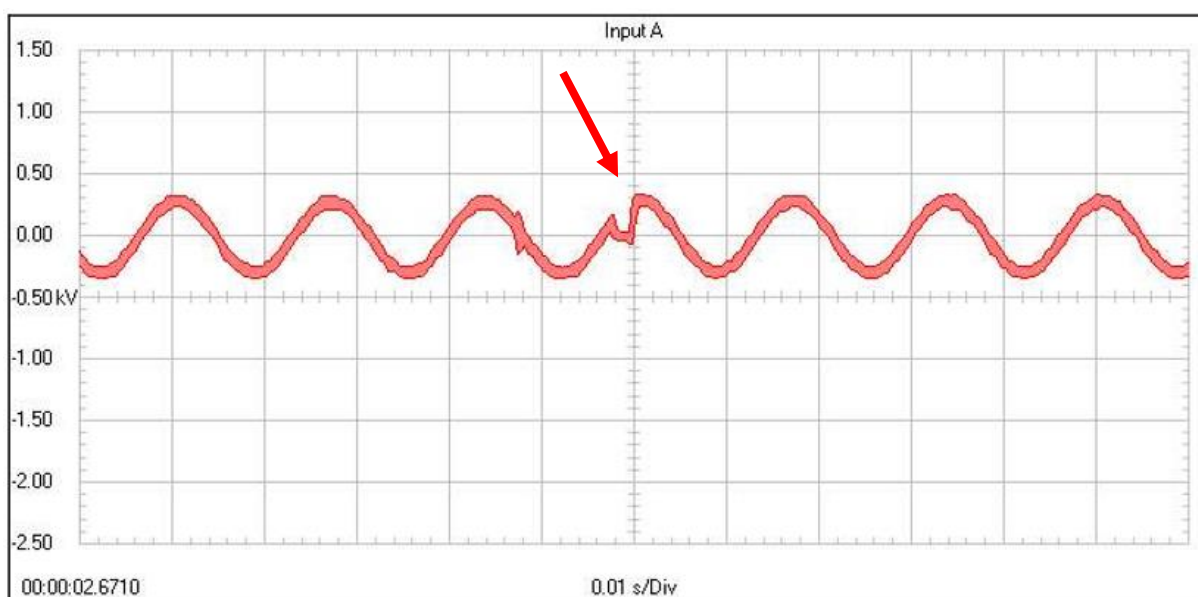


Figura 4.19 - Osciloscópio: Restabelecimento da concessionária (BARRA 1)

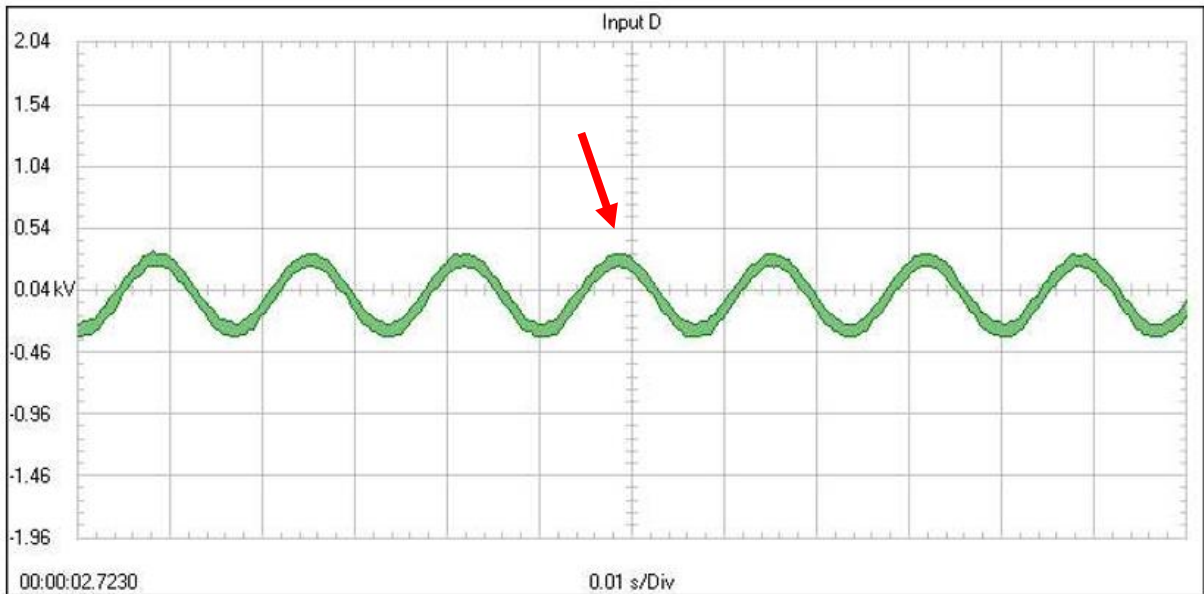


Figura 4.20 - Osciloscópio: Restabelecimento da fotovoltáica (BARRA 2)

Nas figuras 4.19 e 4.20 percebe-se que na barra 1 houve pouca variação na forma de onda e na barra 2 não foi observado variações no momento do transitório.

4.6 Análises

A tabela 1 mostra os eventos ocorridos durante as medições.

Tabela 4.1 - Comparação dos eventos

BARRA 1			BARRA 2		
Caso	Evento	Duração	Caso	Evento	Duração
1	-	-	1	-	-
2	INTERRUPÇÃO	10s	2	INTERRUPÇÃO	1s
3	-	-	3	INTERRUPÇÃO	1s
4	-	-	4	AFUNDAMENTO	0.3s
5	CORTE NA TENSÃO	-	5	-	-

As cargas ligadas na barra 4.1 sofrem apenas com a transição da concessionária para o GMG, enquanto isso as cargas ligadas na barra 2 são suscetíveis a quedas de tensões causadas por falha no sistema fotovoltaico.

As falhas fotovoltaicas irão depender da autonomia ou até mesmo existência de um banco de baterias no sistema *off grid*.

Com um banco de baterias, o sistema fotovoltaico *off grid* apresenta maior estabilidade. Da mesma forma, sem um banco de baterias, esse sistema é sujeito a presença do sol para funcionar, sendo assim pouco estável e gerando esses tipos de eventos registrados.

É importante ressaltar que as fontes (GMG/ fotovoltaica/ concessionária), foram nas simulações provenientes da mesma tomada. Isso afeta os resultados, pois podem haver sobretensões causadas pela variação de tensão produzida em cada fonte GMG, fotovoltaica e concessionária respectivamente.

Os resultados obtidos são para mensurar o quanto o QTA afeta na transição das fontes.

5 CONCLUSÃO

Dentro da proposta estabelecida de uma cogeração para um sistema de emergência, o projeto corresponde. As necessidades com automação necessária para comutação das entradas.

Pelas medições, foi possível ter uma análise de transitórios, onde os resultados foram satisfatórios, mostrando que o QTA não injeta nenhuma anomalia ao sistema e consegue fazer a transferência de carga com eficiência.

O projeto mostrou viabilidade em se alimentar cargas emergenciais com diferentes fontes de energia. Com redução de custos, a depender da disponibilidade de tipos alternativos de geração.

O trabalho abordou, com ampla revisão bibliográfica, diversos conceitos e explicações a respeito de energias alternativas e automação, dando base para projetos nesses temas.

5.1 Perspectivas futuras

O projeto da oportunidade de melhorias futuras:

- É possível a implementação de controladores lógicos para substituir o circuito alimentado pela bateria. Dessa forma pode-se prever um tempo para resfriamento do GMG e até uma interface mais dinâmica, onde o usuário possa ter dados de geração e alimentação das suas cargas;
- Outra oportunidade é de promover a alimentação com reais fontes fotovoltaicas e de GMG, para que assim possam ter dados mais apurados;
- A execução pode ser realizada com componentes novos e dimensionados para a devida carga e cabos. E assim, colocar o quadro em funcionamento efetivo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004 versão corrigida, 2008.

ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA n° 482/2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso 22 jun. 2018.

ANEEL, NOTA TÉCNICA n° 0129/2012-SRD/ANEEL. Retificação da Seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição, 2012. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Nota_Tecnica_0129_SRD.pdf>. Acesso 27 jun. 2018.

ANDRADE, engenheira Camila. Como funciona um disjuntor e suas categorias de aplicação. Disponível em: <<https://www.saladaeletrica.com.br/disjuntores/>>. Acesso em 27 jun. 2018.

BRONZEADO, HS. et. al. (1997). Uma proposta de nomenclatura nacional de termos e definições associados à Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em: <file:///E:/01%20-%20Downloads/Correa_Felipe_Ivan_Malta.pdf>. Acesso 05 jul. 2018.

CAMARGO, J. “Medidas do Potencial Fotovoltaico na região das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari” Mestrado diss., Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

CEB NTD 6.09, Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição ceb-d, conexões em baixa tensão, 2016. Disponível em <<http://www.ceb.com.br/index.php/informacoes-ceb-separator/normas-tecnicas-col-200>>. Acesso 22 jun. 2018.

CEMIG ND.5.30, Requisitos para a conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig – Conexão em Baixa Tensão, 2012. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Documents/ND-5_30_Requisitos%20para%20a%20conex%C3%A3o%20de%20Acessantes%20ao%20Sistema%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20Cemig%20%20Conex%C3%A3o%20em%20Baixa%20Tens%C3%A3o.pdf>. Acesso em 28 jun. 2018.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). Energia solar: princípios e aplicações: Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em 13 fev. 2005.

CELISO, Disjuntores de BT, Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfLpkAJ/disjuntores-bt>>. Acesso 27 jun. 2018.

CIASOLAR ENERGIA SUSTENTÁVEL. Disponível em: <<http://www.ciasolarenergia.com.br/solar-fotovoltaico/>>. Acesso 27 jun. 2018.

ENERGIA SOLAR. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-da-energia-solar-como-tudo-comecou.html>>. Acesso 22 jun. 2018.

ESTEBANEZ, E. J. et al. An overview of anti-islanding detection algorithms in photovoltaic systems in case of multiple current-controlled inverters. In: 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics (IECON), 2009. **Anais...** Porto: IEEE, 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5414870>>. Acesso 22 jun. 2018.

EWALDO L.M. Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>". Acesso 22 jun. 2018.

FRONTIN, Sergio de Oliveira; JÚNIOR, Antônio Cesar Pinho Brasil; CARNEIRO, Maria Tereza Diniz; GODOY, Nara Rúbia Dante de. (Organizadores). Usina Fotovoltaica Jaíba Solar: Planejamento e Engenharia. Brasília, 2017.

GONÇALVES, Francisco; GARBELINI, Luigi; IZYCKI, Luis. Estudo de caso para implantação de Grupo Moto-Gerador na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Projeto de Pesquisa – Engenharia Elétrica, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2003. Disponível em:< <https://ieeexplore.ieee.org/document/1225051/>>. Acesso 20 fev. 2018

INEE – Instituto nacional de Eficiência energética. Disponível em: <<http://www.inee.org.br/>>. Acesso 22 jun. 2018.

MUSEU DAS COMUNICAÇÕES. Disponível em: http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_4_1_ACGenerator.html. Acesso 21 jun. 2018.

NASCIMENTO, G., Comandos Elétricos, Teoria e Atividades, 1ª edição, editora Érica, 2011.

FERRARO, Nicolau Gilberto, Os fundamentos da física, Dilatação térmica, 2011. Disponível em: <<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2011/03/cursos-do-blog-respostas-0103.html>>. Acesso 27 jun. 2018.

OSVALDO L. S. Pereira; Felipe F. Gonçalves. DIMENSIONAMENTO DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE TUBARÃO – SC Revista Brasileira de Energia, Vol. 14, No. 1, 1º Sem. 2008. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/forum/media/kunena/attachments/4786/Dimensionamento-de-inversores-para-sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede-eletrica-estudo-de-caso-do-sistema-de-tubarao--sc.pdf>. Acesso 22 jun. 2018.

PAULILLO, Gilson. Conceitos gerais sobre qualidade da energia 2013. Disponível em: < http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/02/Ed84_fasc_qualidade_energia_cap1.pdf>. Acesso em 27 jun. 2018.

PEREIRA , engenheiro José Claudio. Motores e Geradores. 2018 A. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/PDF/diesel2.pdf>>. Acesso 22 jun. 2018.

PEREIRA, engenheiro José Claudio. Chaves de Transferência Automática. 2018 B. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/PDF/ATS2.pdf>>. Acesso 22 jun. 2018.

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.2016. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/prodist>>. Acesso 26 jun. 2018.

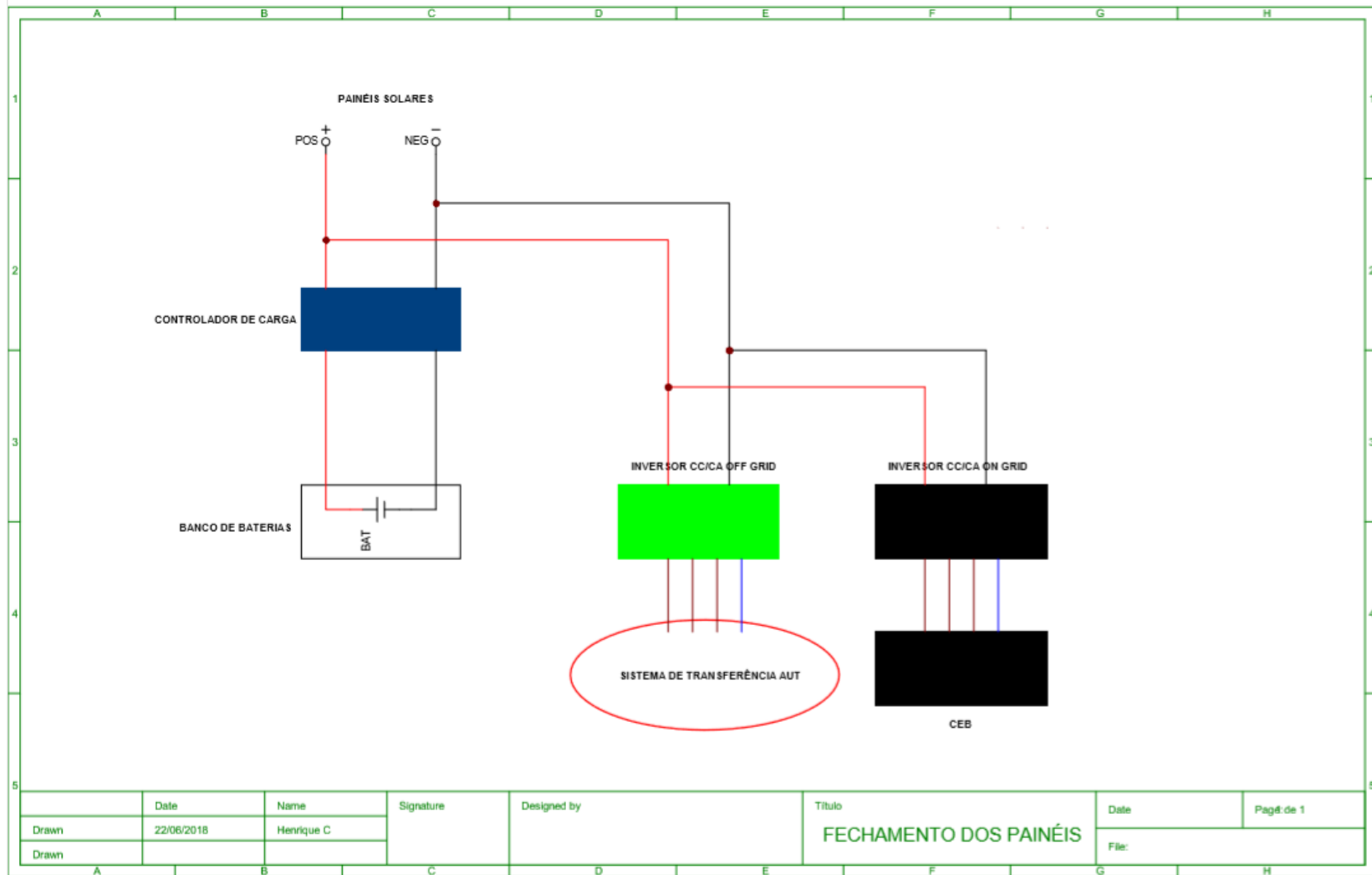
SEAN AUTOMAÇÃO, Disponível em:< <https://www.sean.com.br/cursos/comandos-eletricos-basico/apostila/>>. Acesso 27 jun. 2018.

SHAYANI, R.A. Medição do Rendimento Global de um Sistema Fotovoltaico Isolado Utilizando Módulos de 32 Células. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-265/06, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, DF, 2006.

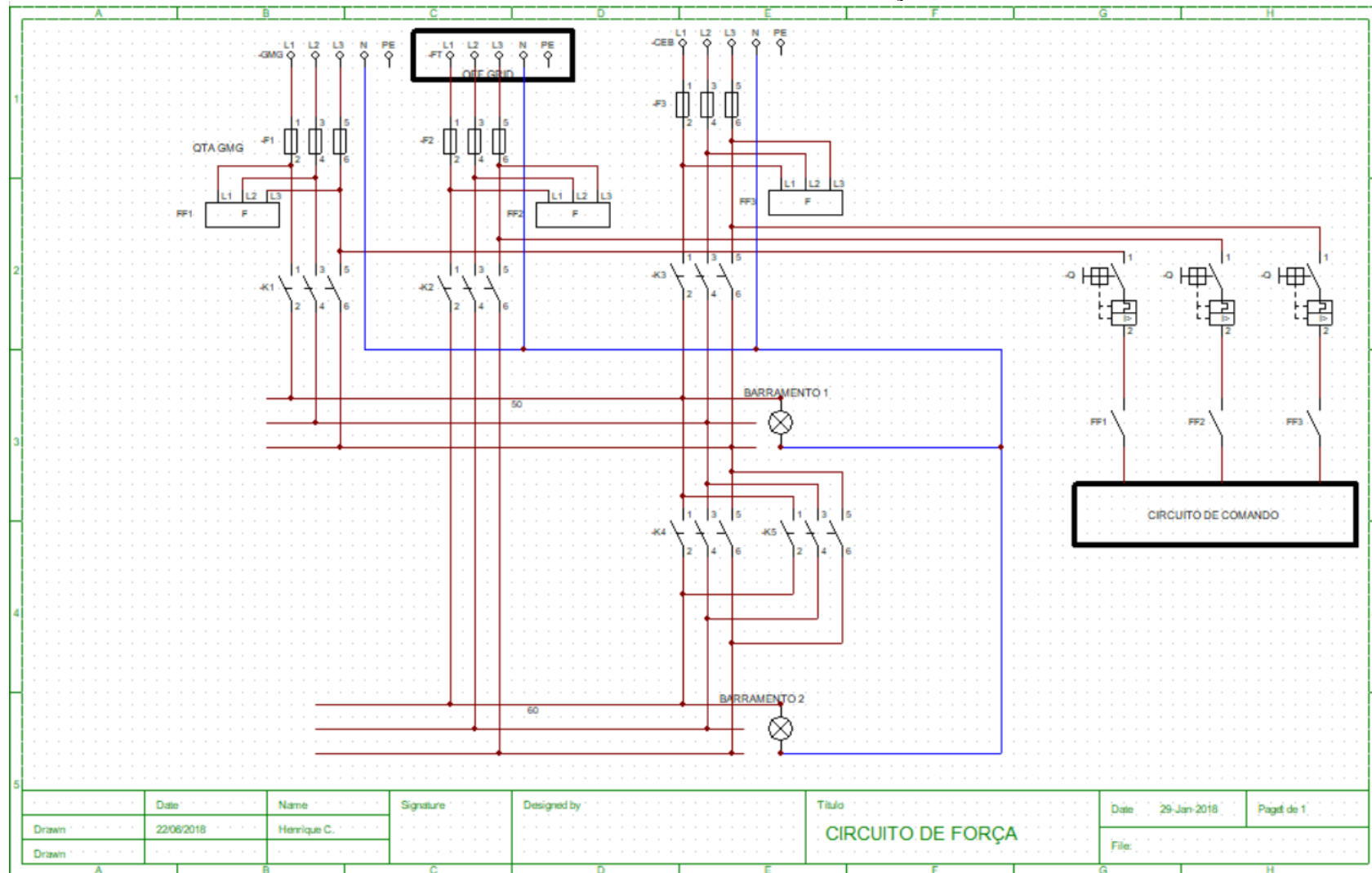
SILVA, Humberto Trindade da. Estudo sobre a interação de métodos anti-ilhamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de baixa tensão com múltiplos inversores / H. T. Silva – versão corr. -- São Paulo, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A - CONEXÃO DOS PAINÉIS



APÊNDICE B - CIRCUITO DE FORÇA



APÊNDICE C - CIRCUITO DE COMANDO

