



UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANÁLISE DOS DISTÚRBIOS ELÉTRICOS PROVOCADOS EM DECORRÊNCIA DO
ACOPLAMENTO DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO

ARLECIO DE SOUZA BARBOSA
DANILO ADORNO PORTELA
EDSON SANTOS COSTA

Arlecio de Souza Barbosa
Danilo Adorno Portela
Edson Santos Costa

ANÁLISE DOS DISTÚRBIOS ELÉTRICOS PROVOCADOS EM DECORRÊNCIA
DO ACOPLAMENTO DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Engenharia Elétrica da Unidade de
Ensino Superior de Feira de Santana, em
cumprimento as exigências para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Professor Me. Reginaldo Barnabé
Gonzalez Grimaldi

Feira de Santana
2020

Arlecio de Souza Barbosa
Danilo Adorno Portela
Edson Santos Costa

ANÁLISE DOS DISTÚRBIOS ELÉTRICOS PROVOCADOS EM DECORRÊNCIA
DO ACOPLAMENTO DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO

Feria de Santana, 23 / 12 / 2020

Banca Examinadora:

Professor Me. Reginaldo Barnabé Gonzalez Grimaldi
Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana
Orientador

Professor Me. Flávio Couvo Teixeira Maia
Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana
Avaliador

Professor Me. Rafael da Silva Gusmão Cardoso
Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana
Avaliador

Dedicamos este trabalho aos familiares e todos que nos incentivaram na busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por se fazer presente em todos os momentos nos permitindo concluir este curso.

Os agradecimentos também as nossas famílias pelo carinho, inventivo e dedicação, por terem se esforçado para nos proporcionar uma boa educação, pela força e coragem que nos foi dada, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradecemos aos nossos amigos de graduação e professores, em especial ao nosso orientador Reginaldo Grimaldi, que durante o curso foram conselheiros, incentivadores em momentos difíceis nos apoiando quando pensávamos que não iria dar mais, estes, continuaram conosco nessa infinita caminhada de aprendizado.

E no fim decidimos nos parabenizar por toda determinação, pois vencemos obstáculos, quebramos barreiras, superamos nossos próprios limites. Durante a jornada do conhecimento reaprendemos lidar com nós mesmos, vencemos desafios a fim de conseguir um mérito maior, ser graduado em Engenharia Elétrica, muitos tentaram, outros ficaram no caminho, nós vencemos, a Glória é de Deus!

“Aprender é a única coisa de que a mente não se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende”

Leonardo da Vinci.

RESUMO

Com o cenário energético em crescente demanda e o surgimento de novas tecnologias, muito tem se falado em desenvolvimento sustentável e energia renovável. A geração distribuída de fontes renováveis seja eólica, fotovoltaica ou híbrida tem tornado diversificada a matriz energética. Entre estas, a energia solar fotovoltaica vem consolidando-se no mundo como uma das formas mais inteligentes de produção de energia, sendo destaque dentre as tecnologias de geração de energia limpa e renovável, e, no Brasil, o modelo de geração distribuída fotovoltaica *on-grid*, ou conectada à rede em baixa tensão tem crescido muito nos últimos anos. Sendo assim é necessário conhecer as configurações dos equipamentos do sistema e avaliar a qualidade da energia utilizada pelo consumidor. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo conceituar o sistema fotovoltaico, analisando os distúrbios gerados com tecnologia *on-grid* conectada à rede. Para tal, foi utilizado um analisador de energia para coletas de dados instalado no medidor bidirecional da concessionária de energia, onde foi possível analisar as medições do sistema elétrico e fazer comparações das medições tomando como referência valores estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica através do Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico – módulo 8. A análise foi realizada observando a resposta do sistema, mediante as diferentes medições encontradas considerando sistema bifásico e sua carga. Os resultados encontrados e demonstrados graficamente apresentam um diagnóstico com as características dos distúrbios. Entretanto, nesta unidade consumidora as medições analisadas apresentaram pequenos desvios de medição. Contudo, foi percebido que a qualidade de energia sobre o sistema permite apontar conclusões importantes sobre o problema analisado.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, qualidade da energia elétrica, prodist, distúrbio de energia.

ABSTRACT

With an energy scenario with growing demand and the emergence of new technologies, much has been said about sustainable development and renewable energy. The distributed generation of renewable sources, whether wind, photovoltaic or hybrid, has made the energy matrix diversified. Among these, photovoltaic solar energy has been consolidated in the world as one of the most intelligent ways of producing energy, it is highlighted among the technologies of clean and renewable energy generation, and, in Brazil, the photovoltaic distributed generation model on grid, or connected to the low voltage network has grown a lot in recent years, so it is necessary to know the configurations of the system equipment and how is the quality of the energy used by the consumer. In this context, this work aims to conceptualize the photovoltaic system, analyzing the disturbances generated with on grid technology connected to the network. For this purpose, we use an energy analyzer for data collections installed in the bidirectional meter of the energy concessionaire, where it is possible to analyze the measurements of the electrical system and make comparisons of the measurements taking as reference values established by the National Electric Energy Agency through the Electricity Distribution Procedure in the Electric System - module 8. The analysis was performed observing the system's response, through the different measurements found considering the two-phase system and its load. The results found and demonstrated graphically present a diagnosis with the characteristics of the disturbances, however, in this consumer unit the measurements analyzed presented small measurement deviations, however, it is perceived that the quality of energy on the system allows to point out important conclusions about the analyzed problem.

Keywords: photovoltaic solar energy, electricity quality, prodist, energy disturbance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Participação de renováveis na matriz elétrica	14
Figura 2 – Esquema de Ligação do analisador.	20
Figura 3 - Instalação anuais de capacidade de geração de energia renováveis do ano de 2013 a 2019.	22
Figura 4 - Instalação anuais de capacidade de geração de energia renováveis do ano de 2013 a 2019.	23
Figura 5 - Planta de geração de eletricidade.....	26
Figura 6 - Planta de geração de eletricidade.....	27
Figura 7- Determinação da posição do sol.	31
Figura 8- Estrutura de uma célula fotovoltaica	33
Figura 9 - Lingote e Wafer de silício monocristalino.....	34
Figura 10 - Célula de silício monocristalino	35
Figura 11 - Célula fotovoltaica de silício	35
Figura 12- Módulos fotovoltaicos de filme fino de silício	36
Figura 13 – Organização e componentes de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica.....	39
Figura 14 - Redes primária e secundária de distribuição.....	42
Figura 15 - Onda senoidal pura proveniente de cargas lineares	43
Figura 16 - Onda senoidal com conteúdo harmônico causado por cargas não-lineares... ..	43
Figura 17 - Flutuação da Tensão	44
Figura 18 - Cunha de Tensão.....	45
Figura 19 - Afundamento de Tensão	48
Figura 20 - Tensão alternada senoidal com ruído.....	49
Figura 21 - Onda senoidal com harmônica.....	53
Figura 22 - Sinal com inter-harmônica.....	55
Figura 23 - Variação de tensão	60
Figura 24 - Gráficos das Correntes.....	61
Figura 25 - Corrente I_A	62
Figura 26 - Corrente I_B	62
Figura 27 - Gráfico fator de potência	63
Figura 28 - Distorções Harmônicas em Função da Tensão Fase A.....	64

Figura 29 - Distorções Harmônicas em Função da Tensão Fase B	64
Figura 30 - Distorções Harmônicas 3° e 5°	65
Figura 31 - Distorção Harmônica Corrente Fase A	66
Figura 32 - Distorção Harmônica Corrente Fase B	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - <i>Installation and safety manual of the bosch solar modules.</i>	31
Tabela 2 - Latitudes geográficas das capitais brasileiras.....	32
Tabela 3 - Tabela limites de distorções harmônicas totais	55
Tabela 4 - Padrões Tensão Nominal.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
GW	Giga Watt
INB	Indústrias Nucleares Brasileiras
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GD	Geração Distribuída
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
SEP	Sistema Elétrico de Potencia

SUMÁRIO

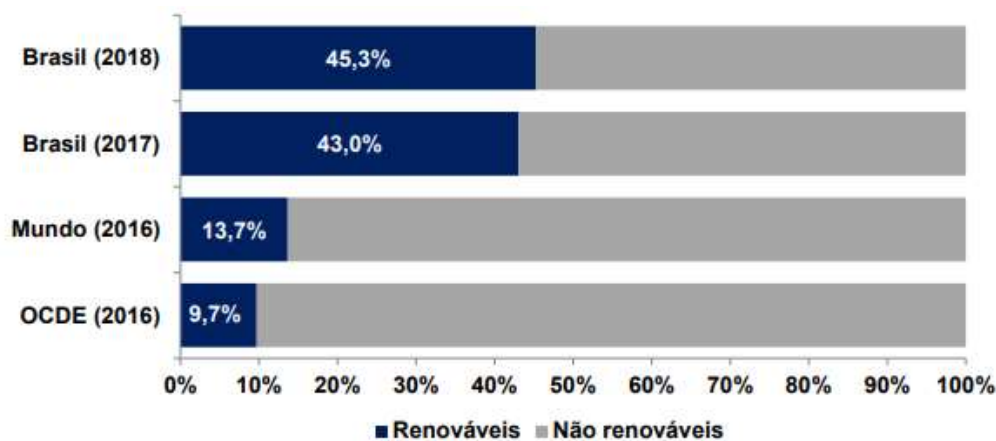
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Abreviaturas e Siglas	xii
Sumário.....	xiii
1 Introdução	14
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 Justificativa	17
1.3 Estrutura do Trabalho de Conclusão de Curso	18
2 Metodologia	19
3 Referencial Teórico.....	21
3.1 Atual Cenário Energético Mundial	21
3.1.1 Cenário Atual da Geração de Eletricidade das Fontes Renováveis no Brasil.	22
3.1.2 Cenário Atual da Geração de Eletricidade das Fontes Renováveis na Bahia	24
3.2 Fontes de Geração Distribuída.....	24
3.2.1 Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	25
3.2.2 Geração Térmica, via Cogeração por Bagaço de Cana-de-açúcar.....	25
3.2.3 Geração Térmica, via Cogeração por Biogás.....	26
3.2.4 Geração Eólica, Energia Gerada do Vento.....	27
3.2.5 Energia Solar Fotovoltaica	28
3.2.5.1 Sistema Fotovoltaico	28
3.2.5.2 Radiação Solar.....	29
3.2.5.3 Orientação dos Módulos Fotovoltaicos	30
3.2.5.4 Células Fotovoltaicas.....	33
3.2.5.5 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.....	37
3.2.5.6 Sistema Ligados à Rede Elétrica	38

3.2.5.7	Módulos Fotovoltaico.....	39
3.3	Inversores.....	39
3.4	Rede de Distribuição Elétrica	41
3.5	Qualidade de Energia.....	42
3.5.1	Cintilação ou <i>FLICKER</i>	44
3.5.2	Cunha de Tensão ou <i>Voltage Notch</i>	45
3.5.3	Desequilíbrio de tensão	45
3.5.4	Elevação de Tensão.....	46
3.5.5	Afundamento de Tensão.....	47
3.5.6	Ruído	48
3.5.7	Interferência Eletromagnética	49
3.5.8	Harmônicas.....	52
3.5.9	Inter-Harmônica	55
3.6	Indicadores Qualidade de Energia	56
4	Resultados.....	59
4.1	Análise dos dados coletados	59
4.1.1	Análise da tensão.....	59
4.2	Análise de corrente	61
4.3	Fator de potência.....	63
4.4	Análise harmônica	64
5	Conclusão.....	68
	Referências	69

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é fundamental para a sociedade atual que consome cada vez mais esse tipo de energia. Com a crescente demanda e em virtude do desenvolvimento de um país, surge a necessidade de fontes alternativas sustentáveis nas quais possibilitam a redução dos impactos ambientais. No cenário brasileiro, a maior parte da energia é gerada hidricamente. No entanto, para complementar e tornar o sistema sustentável, a matriz energética brasileira é formada principalmente por fontes eólica, nuclear, térmica e solar. Segundo dados estatísticos do Balanço Energético Nacional de 2019 (BEN), o Brasil possui 45,3% de fontes sustentáveis na sua matriz energética contra apenas 13,7% na média mundial conforme apresentado na Figura 1 (Energética, 2020).

Figura 1 – Participação de renováveis na matriz elétrica



Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN, 2019.

O crescimento econômico brasileiro afeta diretamente o crescimento da demanda de energia em virtude da melhoria de qualidade de vida da população e em função da evolução da renda, influenciando o acesso da população à infraestrutura básica como moradia, saneamento e transporte. Devido ao consumo de energia per capita, principalmente, a energia elétrica vem incrementando a utilização de fontes renováveis para produção de energia elétrica (Pereira, et al., 2017).

Muitas fontes de energias renováveis podem ser utilizadas sendo necessário a diversificação da matriz energética, resultado que os recursos energéticos disponíveis para fim de geração de energia elétrica não podem ser armazenados na sua forma original, como é o caso da energia eólica e solar (Empresa de Pesquisa Energética, 2012)

A energia eólica, que utiliza o vento como a fonte de energia primária, no Brasil ainda apresenta uma pequena participação no mercado de energia em relação a outros países no mundo. Entretanto, essa matriz energética vem expandindo significativamente a sua capacidade de geração devido aos incentivos governamentais destinados ao setor e ao incremento do desenvolvimento tecnológico (Lage & Processi, 2013).

A energia solar é provida da luz solar possibilitando duas formas de geração de eletricidade. Uma a partir dos raios solares: a heliotérmica, utilizando espelho e lentes para concentrar raios solares em um ponto específico, aquecendo uma solução que gera vapor para acionar turbinas, e a fotovoltaica, que consiste na incidência de raios solares em tecnologia embarcada de semicondutores e dispositivos eletrônicos que converte a onda eletromagnética em eletricidade (Dantas & Pompermayer, 2018).

A energia solar vem desempenhando um papel importante na expansão da matriz energética brasileira sendo que o uso desta tecnologia vem crescendo mundialmente a taxas elevadas. A capacidade instalada mundialmente de sistemas fotovoltaicos cresceu em média 40% contra 16% da eólica e aproximadamente 3% da hidráulica entre os anos de 2010 a 2016 (Consolidated Financial Statements, 2020).

A implantação do sistema fotovoltaico possibilita a implantação da geração distribuída de eletricidade desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, possibilitando ao consumidor brasileiro produzir a sua própria energia elétrica a partir de fontes alternativas renováveis e fornecer o excedente para a rede de distribuição da concessionária de energia. A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou mini geração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados (ANEEL, 2015).

A geração solar conectada ao circuito de distribuição levanta novas questões operacionais associada a qualidade de energia fornecido pelo sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição. Sendo assim, é importante avaliar os princípios distúrbios que a geração fotovoltaica pode provocar ao circuito de distribuição, permitindo a análise da qualidade de energia e identificando harmônicos, sobre tensões, flutuação de tensão e desequilíbrio de tensão e corrente. (Zilles, Macêdo, Galhardo, & Oliveira, 2012)

Nas últimas décadas realizou-se diversos estudos relacionados a qualidade de energia devido à grande utilização e produção de energia elétrica pelos seres humanos em

inúmeras situações, pois a mesma pode ser convertida em luz, calor, movimento e informação, além de promover melhor convívio social e alavancar o progresso de atividades (Pereira, et al., 2017). Entretanto, é de suma importância realizar uma adequação dos estudos analisando o contexto de possíveis problemas que podem gerar distúrbios elétricos nas redes de distribuição e com isso surge o interesse de desenvolver sistemas de monitoramento da qualidade e o aperfeiçoamento de técnicas para detecção dos distúrbios estabelecidas pelo PRODIST.

O PRODIST determina e estabelece diretrizes e especificações para manter a qualidade da energia, no qual compreende a qualidade das formas de onda da tensão e corrente em um sistema elétrico. E para isso foram criados indicadores de desempenhos e limites aceitáveis para os mesmos a fim de avaliar a qualidade de energia de um determinado ponto do sistema (ANEEL, 2016).

Contudo, o principal objetivo é medir, monitorar e avaliar alguns dos parâmetros associados à qualidade da energia elétrica injetada à rede pela cogeração fotovoltaica, nesse caso, distorções harmônicas de tensão e de corrente, Fator de Potência (FP), e distúrbios elétricos: transitórios, variação de tensão de curta e longa duração, todos verificados após a saída do inversor de frequência. Para alcançar os objetivos foram realizadas medições em um sistema fotovoltaico instalado em unidade consumidora residencial localizado em Feira de Santana – BA. A influência da interação entre o sistema fotovoltaico e a rede elétrica nos parâmetros de qualidade de energia definido pelo PRODIST foi avaliado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os distúrbios elétricos provocados em decorrência do acoplamento da microgeração fotovoltaica na rede de distribuição através de análise de dados.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar análise dos distúrbios elétricos: transitórios, variação de tensão de curta e longa duração e harmônicos;
- Identificar os possíveis impactos causados pelos distúrbios elétricos no acoplamento da micro geração fotovoltaica na rede de distribuição;
- Caso seja desenvolver estratégias para reduzir os possíveis efeitos de distúrbios elétricos.

1.2 Justificativa

Nas últimas décadas realizou-se diversos estudos relacionados a qualidade de energia. No entanto, esses estudos abordam problemas presentes em cenários no exterior. Assim, devido ao aumento do interesse na instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, é de suma importância realizar uma adequação dos estudos analisando o contexto de possíveis problemas que podem gerar distúrbios elétricos nas redes de distribuição.

Entretanto, para que seja analisado o comportamento das redes de distribuição com geradores distribuídos fotovoltaicos acoplados, inicialmente é importante conhecer os indicadores que influenciam na qualidade de energia, identificando os impactos dos distúrbios elétricos e desenvolvendo estratégias para reduzir os efeitos desses distúrbios na rede de distribuição.

Esses distúrbios elétricos causadores de baixa qualidade de energia elétrica podem gerar perdas consideráveis aos consumidores de energia, sendo indústrias as mais afetadas, uma vez que tais distúrbios podem causar o funcionamento incorreto ou até mesmo a queima e danificação de equipamentos conectados à rede elétrica e, conseqüentemente até o interrompimento de um processo de produção. Com isso, desperta-se uma preocupação por parte das concessionárias de energia elétrica em garantir a qualidade da energia como também, o interesse dos usuários dessa mesma energia em monitorar a qualidade da mesma.

A partir dos estudos atuais relacionados à qualidade de energia em função da geração distribuída, a contribuição deste projeto é de utilidade pública e privada, determinando a relevância dos possíveis distúrbios que podem ocorrer com a implementação de sistemas de geração fotovoltaicas ligado às redes de distribuição.

Contudo, este interesse tem motivado o desenvolvimento de sistemas de monitoramento da qualidade de energia elétrica e o aperfeiçoamento de técnicas para detecção dos distúrbios estabelecida pelo PRODIST.

1.3 Estrutura do Trabalho de Conclusão de Curso

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, no qual, o primeiro capítulo foi situado a demanda de energia elétrica no Brasil, a maior fonte de geração no país e sua matriz energética, fontes de energias renováveis e a participação do Brasil e do mundo na produção das mesmas. Foi abordado também os objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo é apresentado o embasamento teórico para a realização do mesmo, mostrando o cenário atual energético mundial, geração distribuída e suas fontes, a apresentação do sistema de geração fotovoltaica, questões envolvendo qualidade de energia e seus distúrbios, como também é apresentada a metodologia utilizada.

No terceiro capítulo é aprofundada a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho. O quarto capítulo, são apresentados os resultados a partir dos dados obtidos pela coleta de campo com a devida análise de cada dado coletado que gerou algum distúrbio na geração do sistema fotovoltaico.

E, por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões a partir das análises obtidas.

2 METODOLOGIA

Com o intuito de analisar o perfil da rede de distribuição com acoplamento de microgeração fotovoltaica, foram considerados trabalhos de diversos autores relacionados ao tema de geração distribuída. No entanto, para solidificar a compreensão dos conceitos sobre o assunto e para auxiliar na idealização da metodologia empregada no estudo de caso, é de suma importância realizar levantamento de dados e análise dos resultados obtidos através deste trabalho.

Foi realizado um levantamento de dados sobre os distúrbios eletromagnéticos e os comportamentos na rede de distribuição considerando o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, utilizando o analisador de energia RE4000. Foram coletados dados do dia 07 de dezembro de 2020 das 16:50 até o dia 10 de dezembro de 2020 às 10:42, em uma residência bifásica 220 V que possui instalado um sistema fotovoltaico.

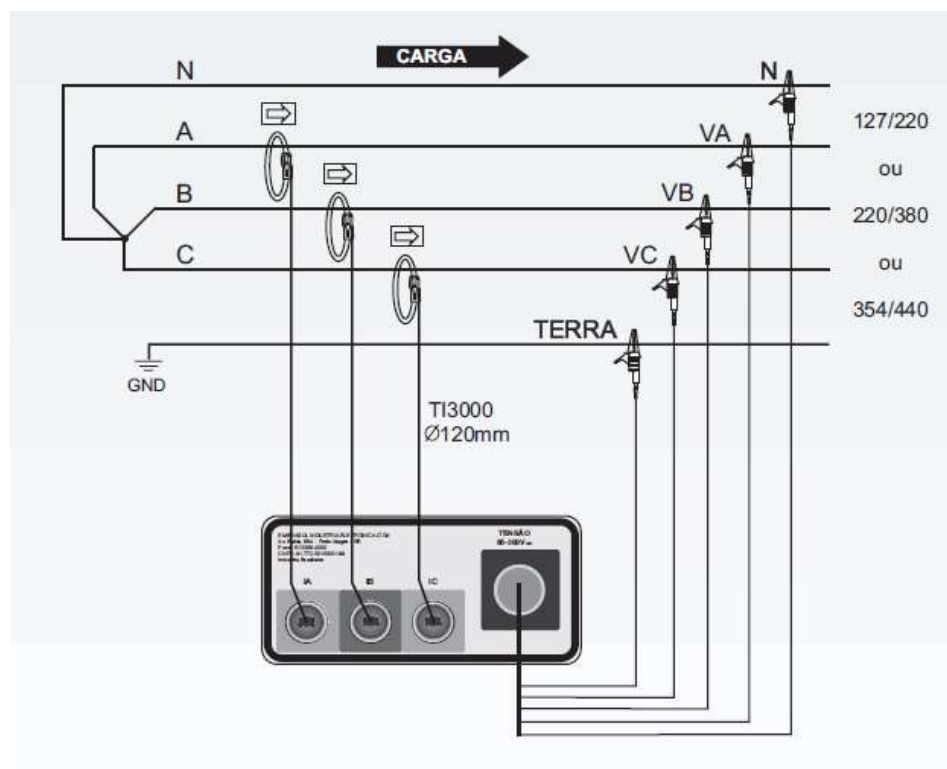
Esse sistema fotovoltaico instalado nessa residência possui inversor REFUSOL modelo 5K-2T com potência máxima de saída 5000 Watts, com tensão de entrada 600 Volts.

Foram coletados os seguintes dados utilizando o analisador de energia Embrasul RE4000, fator de potência, tensão, corrente e harmônica.

O instrumento foi instalado no quadro de distribuição do circuito, na residência situada em Feira de Santana. O mesmo permaneceu instalado do dia 07/12/2020, a partir 16:50, até o dia 10/12/2020 às 10:42, foram efetuadas 273133 leituras com duração de 1 segundo a cada leitura realizada.

Na Figura 2 é apresentado o esquema de ligação utilizado para a medição do analisador.

Figura 2 – Esquema de Ligação do analisador.



Fonte: (Embrasul, 2018)

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o cenário elétrico mundial, as fontes de geração de energia elétrica brasileira como a geração distribuída principalmente a geração fotovoltaica. Foi realizado levantamento bibliográfico sobre qualidade de energia, seus distúrbios e indicadores usados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

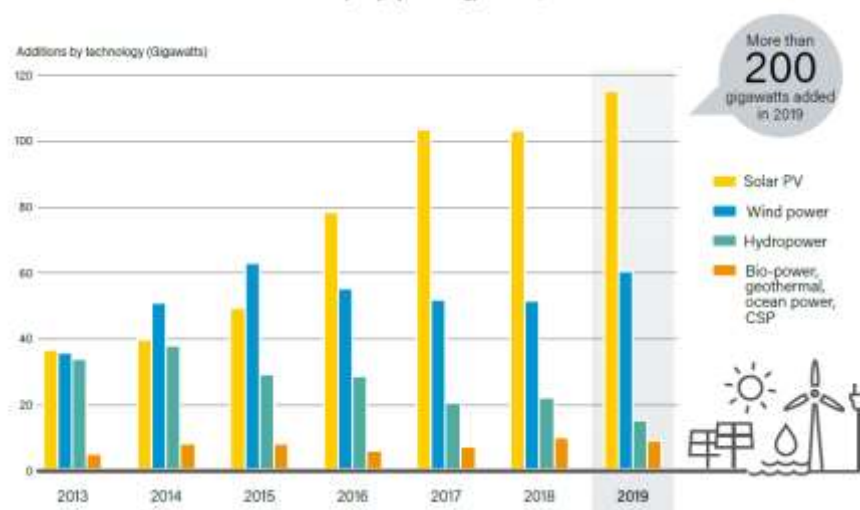
3.1 Atual Cenário Energético Mundial

Na atualidade, a transição energética mundial vem implementando políticas a fim de reduzir a utilização dos combustíveis fósseis para geração de energia. Em função disso, o objetivo é diminuir a volumosa emissão de dióxido de carbono na atmosfera terrestre. O setor energético mundial está vivenciando uma corrida pela implementação das fontes renováveis de energia elétrica, em decorrência da busca do desenvolvimento sustentável com ações produtivas que reduz os impactos provocados ao meio ambiente e contenha danos a gerações futuras. (Consolidated Financial Statements, 2017)

A crescente escalada dos investimentos ligados à geração de energias renováveis é decorrente do desenvolvimento de novas tecnologias ligada ao setor energético e do contínuo crescimento da demanda energética mundial que aumentou 56% de 1990 à 2014 com uma taxa média de crescimento anual de 1,9% (Consolidated Financial Statements, 2017), provocado pela crescente demanda das economias emergentes, resultado do reflexo da qualidade de vida da pessoa em consequência dos padrões de produção e consumo da sociedade.

Em destaque, na produção mundial da energia renováveis no ano de 2019 houve um crescimento 200 GIGAWATTS (GW), com notoriedade na produção de energias renováveis que vêm se destacando entre as demais: eólicas e solar fotovoltaica, conforme Figura 3, resultado da queda considerável do custo da produção de energia que estas matrizes oferecem atualmente devido ao desenvolvimento tecnológico (Consolidated Financial Statements, 2020).

Figura 3 - Instalação anual de capacidade de geração de energia renováveis do ano de 2013 a 2019.



Tradução:

Additions by technology (gigawatts) = Adições por tecnologia (gigawatts);

More than 200 gigawatts added in 2019 = Mais de 200 gigawatts adicionados em 2019;

Solar PV = Solar fotovoltaica;

Wind power = Força dos ventos;

Hydropower = Hidroenergia;

Bio-power, geothermal, ocean power, CPS = Bio energia, geotérmica, maremotriz, outras fontes.

Fonte: (Consolidated Financial Statements, 2020)

Em 2019 a capacidade instalada de energia renovável foi de 2588 GW mantendo o crescimento de mais de 8% da capacidade instalada nos 5 anos anteriores. A geração solar fotovoltaica contribuiu com 115GW, cerca de 57%. Em seguida a contribuição da geração eólica foi de 60GW cerca 30% e a hidroelétrica 16GW cerca de 8% e o restante das adições foram de bio-potência, e geotérmica (Consolidated Financial Statements, 2020). A expansão na produção se dá devido aos leilões de energias renováveis que vem se tornando mais comum em todo o mundo.

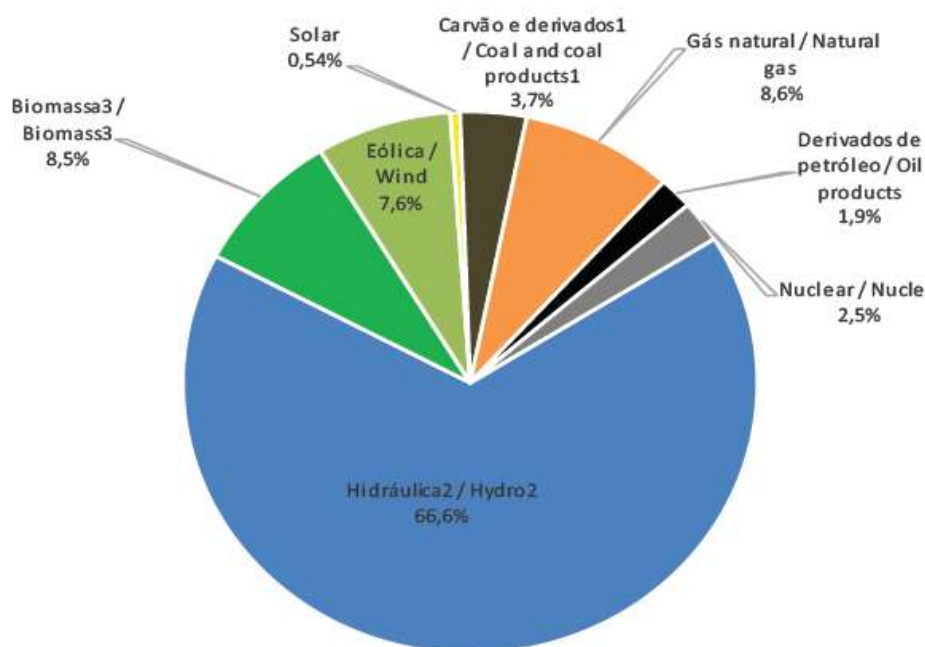
Países que atualmente utilizam carvão para produção de eletricidade, como no caso da Índia, a Espanha e os Estados Unidos, se comprometeram a reduzir a produção em 2019 e a zerar a produção de eletricidade a partir do carvão havendo uma transição para a energias renováveis.

3.1.1 Cenário Atual da Geração de Eletricidade das Fontes Renováveis no Brasil.

A economia brasileira vem em constante desenvolvimento e demanda uma crescente produção de energia para um desenvolvimento sustentável e aproveitamento dos recursos energéticos naturais existentes em abundância (Pereira, et al., 2017).

A participação da matriz energética brasileira proveniente das fontes renováveis é bastante significativa e representa 83,5% com predominância da geração hidráulica que representa 66,6% com conforme ilustrado na Figura 4. Em virtude do cenário energético mundial, o Brasil se apresenta em uma situação de comodidade a frente de países desenvolvidos relacionada a produção de energia limpa (Empresa de Pesquisa Energética, 2019).

Figura 4 - Instalação anuais de capacidade de geração de energia renováveis do ano de 2013 a 2019.



Fonte: (Energética, 2020).

A inserção de novas fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira vem se destacando devido à instabilidade na produção de energia a partir das hidroelétricas em períodos de estiagem, pois os reservatórios podem atingir níveis de acúmulo de água mínimos influenciando diretamente na segurança energética do país, provocando instabilidade na oferta de energia e acarretando a elevação do preço da energia no país (Pereira, et al., 2017).

Em função do cenário hídrico, a produção de energia elétrica deve ser compensada de forma que os recursos disponíveis renováveis apresentem uma notável opção para complementar as centrais hídricas já consolidadas. Portanto, as desertificações das fontes renováveis, como é o caso da geração eólica e fotovoltaica, vem em constante crescimento. A geração eólica alcançou 48.475 GWH em 2018, o equivalente a 14,4%

em relação ao ano anterior, quando se atingiu 42.373 GWH. A energia solar representou 526GWh de potência gerada e 562 de potência instalada (Energética, 2020).

3.1.2 Cenário Atual da Geração de Eletricidade das Fontes Renováveis na Bahia

A estimativa do IBGE projetava uma população no ano de 2017 no estado da Bahia de 15.344.447 habitantes, resultado de um crescimento populacional médio de 1,3% entre os anos de 2010 e 2016. Por conta disso, o setor energético demanda um aumento do consumo em função do crescimento populacional. O consumo de energia elétrica na Bahia no ano de 2015 foi de 28,1 TWh. Ao setor residencial foi destinado 46,1% da demanda, que representa 851 kWh/ano por habitante (SENAI, 2018).

A Bahia vem mantendo notoriedade devido o potencial de geração de energia provenientes de fontes renováveis, com uma grande densificação na produção onde mescla principalmente solar e eólica que representa 88% da matriz energética do estado. A geração fotovoltaica no território baiano se destaca com a maior parcela de produção de eletricidade no Brasil, um potencial 608 MW responsável por atender a demanda de 680 mil domicílios (Secretaria de Infraestrutura Governo da Bahia, 2018).

3.2 Fontes de Geração Distribuída

A Geração Distribuída (GD) é definida como fonte de geração localizada próxima aos centros de carga, onde o consumidor deixa de ser passivo e passa atuar com um mini ou microgerador de energia, dependendo da potência instalada. Além de ser uma peça-chave para a sustentabilidade e geração de energia limpa, a geração distribuída vem ganhando importância no mercado de energia, especialmente em países desenvolvidos. O crescente investimento em fontes renováveis vem contribuindo para a queda dos custos dessas tecnologias de geração, tornando-as mais acessíveis ao consumidor final (Lucchese, Martins, Anselmini, & Sperandio, 2018).

Nos últimos anos, o aumento do consumo de energia no Brasil e no mundo vem prosperando, devido ao crescimento populacional, expansão territorial, além de novas tecnologias e aplicações dessas. Tal fato estimulou a maior inclusão da geração distribuída no SEP tradicional. Países como Holanda, Finlândia e Dinamarca já utilizam a geração distribuída para produzir mais do que um terço do total de geração de energia.

Entretanto, esse aumento do número de GD resulta no aumento da concentração de elementos ativos com variáveis dinâmicas no sistema de transmissão e distribuição. Isto acarreta numa preocupação com a segurança dinâmica do sistema elétrico de forma geral. Entre as várias questões que rodeiam a segurança dinâmica, a estabilidade transitória angular é de suma importância, pois esta pode alterar os tempos críticos de atuação dos sistemas de proteção do sistema de transmissão (Romani, 2014).

Embora o avanço seja significativo, no que tange a alguns aspectos relativos à imersão da GD em redes de distribuição, as diretrizes e normas aprovadas ainda são pequenas diante da enorme mudança que a GD pode ocasionar no sistema elétrico existente (ABINEE, 2011). As novas regras que estabelecem o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, a qual permite que o consumidor instale 21 pequenos geradores em sua unidade consumidora trocando tal energia com a concessionária distribuidora local, estão dispostas na resolução normativa nº 687/2015.

3.2.1 Pequenas Centrais Hidrelétricas

As implantações das pequenas centrais hidrelétricas (PCH) na geração de energia elétrica geralmente apresentam menor capacidade instalada em megawatts (MW). Entretanto ainda não existe uma definição quanto ao valor máximo de capacidade instalada desse tipo de usina. Apesar da pequena capacidade instalada, as PCHs ainda requerem a construção de uma barragem, seja para direcionar o fluxo d'água ou para a criação de um reservatório para fornecer a vazão necessária ao funcionamento da PCH (Eletrobras, 2016). No Brasil, são considerados PCHs os aproveitamentos hidrelétricos com potência entre 1 e 30 MW, que são destinados à produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com áreas de reservatório menores do que 3,0 km², havendo certa flexibilização quanto à dimensão do mesmo (CLEMENTE, 2003).

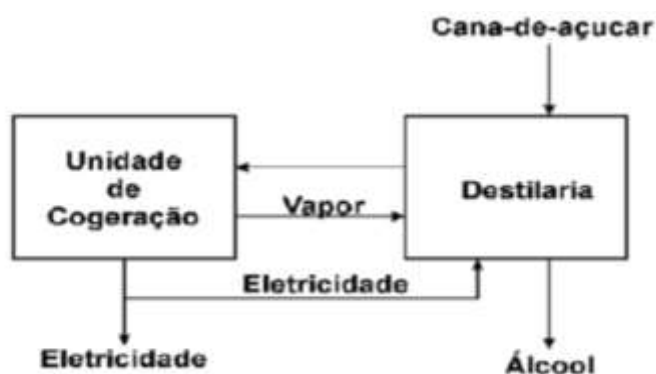
3.2.2 Geração Térmica, via Cogeração por Bagaço de Cana-de-açúcar

O cultivo da cana possibilita o aproveitamento dos resíduos excedentes utilizando o bagaço e a palha da cana onde destaca-se os estados de São Paulo, Paraná e Pernambuco como maiores produtores.

O recurso com maior potencial de geração de energia é o bagaço. A alta produtividade da cultura da cana-de-açúcar, aliada à colheita contínua durante a conversão sucroalcooleira da biomassa, tem permitido que usinas e vinícolas forneçam uma grande quantidade de matéria orgânica na forma de bagaço, que é convertida em energia elétrica através da geração termica e conectada à rede elétrica e atende a região Sul e grandes centros consumidores nos estados do Sudeste.

Para a cogeração de energia elétrica com bagaço de cana-de-açúcar, tem-se as seguintes relações: em média, 280 kg de bagaço, que contém 50% de mistura, são produzidos por tonelada de cana, que é equivalente a 2,1 GJ de energia por tonelada; 90% do bagaço é queimado para produzir vapor (450 kg a 500 kg de vapor podem ser gerados com 1 tonelada de cana) que, por sua vez, pode ser usado para cogerar eletricidade e potência mecânica para os motores da usina. Esta sequência pode ser observada na Figura 5 a seguir (CLEMENTE, 2003).

Figura 5 - Planta de geração de eletricidade



Fonte: Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT,2000, apud ANEEL 2020.

3.2.3 Geração Térmica, via Cogeração por Biogás.

A geração distribuída de energia elétrica a partir da recuperação do biogás proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto, (ETEs), esterco bovino, de aves e suínos são apenas algumas alternativas cujas características possibilitam a diversificação da matriz energética, a produção de energia limpa e renovável e o aumento da oferta de energia descentralizada e próxima aos centros de carga. O metano, principal constituinte do biogás, é um composto inflamável, inodoro, incolor, com densidade menor que aquela atribuída ao ar e com alto poder calorífico. Em condições normais de temperatura e pressão, a massa específica do metano é 0,717 kg/m³ e seu poder calorífico inferior é

35,9 MJ/Nm³. Dessa maneira, o teor de metano define a quantidade de energia que pode ser extraída do biogás (MARIANI, 2018).

A conversão energética do biogás em energia elétrica ocorre a partir da conversão da energia química contida nas moléculas do biogás em energia mecânica por meio da combustão. Essa energia mecânica é, então, convertida em energia elétrica com a utilização de um gerador (LIMA & PASSAMANI, 2012), conforme ilustrado na Figura 6.



Fonte: (LIMA & PASSAMANI, 2012).

O processo de combustão do biogás envolve reação exotérmica, liberando energia na forma de calor. O gás resultante da combustão é expandido, disponibilizando energia mecânica para o acionamento do gerador de energia elétrica (MARIANI, 2018).

3.2.4 Geração Eólica, Energia Gerada do Vento

Micro e minigeradores eólicos são sistemas de geração elétrica a partir da força dos ventos com potência suficiente para produzir eletricidade para o abastecimento de pequenos consumidores, como casas, comércios ou, até mesmo, um galpão de uma indústria. Microgeradores são sistemas com potência igual ou de até 75 kW, e mini geradores, acima de 75 kW e até 5 MW, segundo a Resolução Normativa REN 482/2012 da ANEEL, que foi recentemente alterada pela REN 687-2015 (Dias, 2017).

Uma turbina eólica gera eletricidade pela extração de energia cinética dos ventos que passam por suas pás. Essa tecnologia está se consolidando na matriz energética brasileira, devido, principalmente, às grandes evoluções operacionais que acarretaram um declínio do preço de aerogeradores, além de outros fatores, como o custo nulo de seu combustível (vento) e baixo valor monetário de manutenção. Apesar do grande uso de micro aerogeradores como geração distribuída para produzir uma energia livre de emissões, o que vêm aumentando o interesse da implementação de energia eólica é

impulsionada principalmente pela produção de energia a larga escala de megawatts. (Borém & Vasconcelos, 2016).

3.2.5 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade ocasionado pelo efeito da radiação (calor e luz) em função dos semicondutores. Em decorrência destes destacam dois efeitos, o termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro efeito ocorrer em função da concentração da energia solar através de espelhos, de forma a aquecer um fluido de trabalho que pode ser um gás ou líquido pressurizado, que no caso de torres termossolares para produzir vapor a elevadas temperaturas. O vapor é utilizado para mover turbinas conectadas a geradores elétricos. No segundo o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. (Alves, 2008).

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (Villavia & Gazoli, 2020).

3.2.5.1 Sistema Fotovoltaico

Nas últimas décadas o sistema fotovoltaico evoluiu de pequenas aplicações para se tornar uma fonte de energia distribuída extremamente atraente devido ao uso da radiação solar para gerar eletricidade utilizando materiais semicondutores, usando o efeito fotovoltaico, fenômeno que permite a conversão direta da luz em eletricidade. Com desenvolvimento tecnológico, principalmente dos materiais semicondutores, este sistema passou a ser economicamente viável potencializando um aumento acentuado de unidades geradoras de energia solar (Pinho & Goldino, 2014). A geração de energia elétrica através deste sistema apresenta vantagens e desvantagens, como apresentado a seguir.

Vantagens dos sistemas fotovoltaicos

- i. Simplicidade – Equipamento articulado com módulos móveis no sistema.
- ii. Confiabilidade – Funciona mesmo com baixa intensidade da radiação solar, sistema extremamente seguro.
- iii. Durabilidade – Tempo médio de vida é cerca de 25 anos, fabricante oferece garantia igual ou maior.
- iv. Manutenção – Reduzido custo, com facilidade no aumento de potência.
- v. Meio ambiente – Não deixa resíduos em sua instalação, zero poluição sonora.
- vi. Norma e regulamentação – A resolução nº 482 da Aneel permite a entrada da geração fotovoltaica no sistema de distribuição.(Villavia & Gazoli, 2020)

Desvantagens dos sistemas fotovoltaicos

- vii. Investimento inicial – O investimento inicial é elevado, e fica a cargo dos incentivos governamentais, como: concessões de subsídios ou linhas de créditos para instalação do sistema fotovoltaico.
- viii. Recurso solar – Limitado a locais com boa radiação solar.
- ix. Armazenamento de energia – Em sistemas off grid uso de baterias que aumenta os custos e complexidade;
- x. Rendimento – Possuem baixo rendimento, consoante o tipo de tecnologia, comparando com energia hidrelétrica, situação quase que inexistente para micro e mini usinas rurais. (Pinho & Goldino, 2014).

3.2.5.2 Radiação Solar

O Sol é uma fonte indispensável para a existência de vida na Terra, irradiando a sua energia por todo o sistema solar. A quantidade de energia irradiada, anualmente pelo mesmo, sobre a superfície do planeta é cerca de 10 000 vezes superior ao consumo energético de todo o planeta, para o mesmo período (Alves, 2008).

No estudo da radiação solar e dos sistemas fotovoltaicos é muito importante quantificar a energia recebida do sol. A irradiação solar é uma grandeza empregada para

definir a potência por unidade de área recebida do sol sob a forma de radiação eletromagnética. Parte da radiação que atinge um objeto é absorvida e o restante refletido. As ondas eletromagnéticas vindas do sol podem produzir efeitos diversos sobre os objetos e os seres vivos. Uma pequena parte das ondas pode ser captadas pelo olho humano e representa o que chamamos de luz visível. O espectro de radiação solar é o conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas emitidas pelo sol, visíveis ou não visíveis ao olho humano, essas ondas transportam energia que pode ser captada na forma de calor ou luz (Villavia & Gazoli, 2020).

A radiação solar sofre diversas alterações quando atravessa a Terra. A espessura da camada de ar atravessada pelos raios solares depende do comprimento do trajeto até o solo. Uma distância maior corresponde a uma camada de ar mais espessa, portanto há maior influência da atmosfera sobre a radiação solar. A massa de ar AM 1,5 tornou-se padrão para estudo e a análise dos sistemas fotovoltaico, é usada como referência em praticamente todos os catálogos de fabricantes de células e módulos fotovoltaico, por essa tecnologia ser desenvolvida principalmente na Europa. Os países dentro da zona tropical do planeta, situada entre os trópicos de câncer e capricórnio, caso do Brasil, ficam sujeito às massas reduzidas. Por essa razão as zonas tropicais são mais iluminadas e quentes do que as temperadas (Alves, 2008).

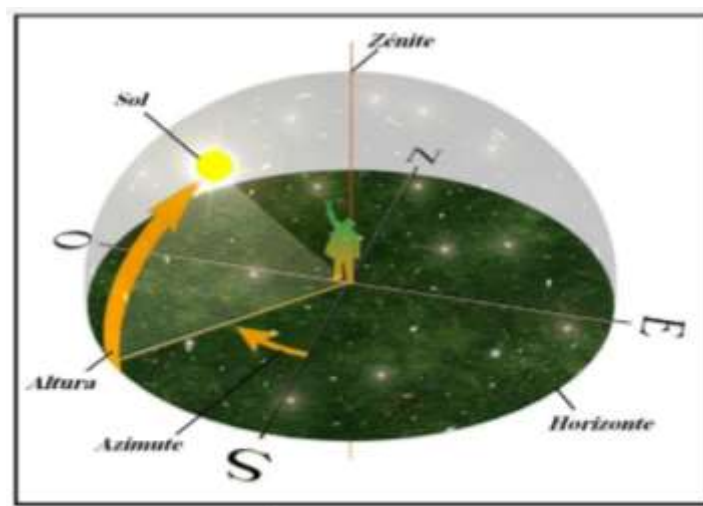
Como grandeza utilizada para quantificar a radiação solar, a irradiância é expressa em W/m^2 , afetada pela distância média entre o Sol e a Terra. A radiação pode ser medida por instrumentos como: piranômetro, pireliômetro ou por sensores baseados em célula fotovoltaica de silício. Esses sensores captam espectro de radiação solar. Essas medições são utilizadas na análise do sistema para quantificar a potência da energia recebida do sol, a irradiância de 1000 W/m^2 é adotada como padrão na indústria fotovoltaica para a especificação e avaliação de células e módulos fotovoltaicos (Villavia & Gazoli, 2020).

3.2.5.3 Orientação dos Módulos Fotovoltaicos

É importante compreender o modo como os raios solares chegam à terra, o conhecimento sobre a incidência dos raios solares é necessário para que os módulos solares sejam instalados de maneira correta. Os raios solares são ondas eletromagnética paralelas entre si que chegam à terra em linha reta. Em cada ponto do planeta a radiação direta incide no solo com uma inclinação diferente. Essa inclinação varia de acordo com

dias e meses do ano, de acordo com a posição da terra e do sol no espaço (movimento de translação). A posição do sol fica perfeitamente definida para qualquer local através do conhecimento da altura e do azimuth correspondente (Figura 7). Azimute representa a direção, medida em graus, a que se encontra o sol face a seu observador (Pinho & Goldino, 2014).

Figura 7- Determinação da posição do sol.



Fonte: (Alves, 2008).

Não existe um consenso sobre o melhor método de escolher o ângulo de inclinação para instalação de um módulo solar. A inclinação vertical privilegia a produção de energia no inverno enquanto a horizontal no verão. O que é possível é determinar para uma latitude geográfica um ângulo de inclinação que possibilite uma boa produção média de energia ao longo do ano. A partir da latitude geográfica são recomendadas diversas faixas de ângulo de inclinação, para saber o ângulo de latitude de uma localidade, conforme apresentado nas Tabelas 1e 2. Pode recorrer a um atlas, ou ferramenta de mapas do google (Villavia & Gazoli, 2020).

Tabela 1 - *Installation and safety manual of the bosch solar modules.*

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$a = 10^\circ$
11° a 20°	$a = \text{latitude}$
21° a 30°	$a = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$a = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$a = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: (Villavia & Gazoli, 2020)

Tabela 2 - Latitudes geográficas das capitais brasileiras

	UF	Latitude	Capital	UF	Latitude
Capital					
Aracaju	SE	10° S	Manaus	AM	03°S
Belém	PA	01° S	Natal	RN	05°S
Belo Horizonte	MG	19° S	Palmas	TO	10°S
Boa vista	RR	02° N	Porto alegre	RS	30°S
Brasília	DF	15° S	Porto velho	RO	08°S
Campo Grande	MS	22°S	Recife	PE	08°S
Cuiabá	MT	15°S	Rio Branco	AC	09°S
Curitiba	PR	25°S	Rio de Janeiro	RJ	22°S
Florianópolis	SC	27°S	Salvador	Ba	12°S
Fortaleza	CE	03°S	São Luiz	MA	02°S
Goiânia	Go	16°S	São Paulo	SP	23°S
João Pessoa	PB	07°S	Terezinha	PI	05°S
Macapá	AP	00° N	Vitória	ES	20°S
Maceió	AL	09°S			

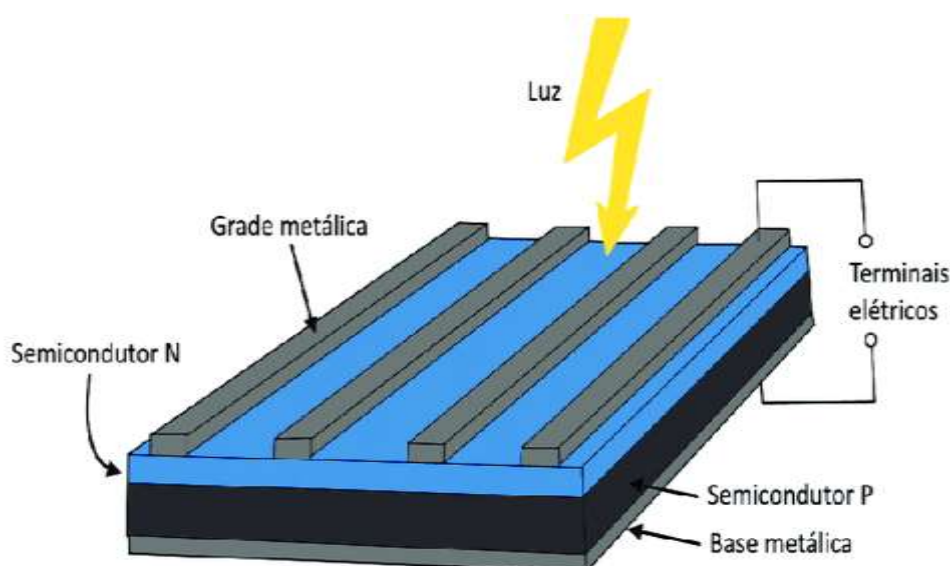
Fonte: (Villavia & Gazoli, 2020).

É importante evidenciar que os painéis fotovoltaicos necessitam ser instalados segundo a direção dos raios solares, as instalações das placas solares dos continentes localizadas no hemisfério norte devem ser direcionadas para o sul e vice-versa (Pinho & Goldino, 2014).

3.2.5.4 Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são responsáveis pela conversão da energia direta do sol em eletricidade. Esse fenômeno ocorre quando a luz ou radiação eletromagnética do sol incide sobre a célula composta de materiais semicondutores normalmente feita de nitrito de silício ou de dióxido de titânio com propriedades específicas. Uma célula fotovoltaica é composta por duas camadas de material semicondutores, silício “N”, que tem excesso de elétron e corresponde ao polo negativo, e silício “P”, com a falta de elétrons que corresponde ao polo excesso de elétrons carga positiva, uma grade de condutores metálicos superior, formadas por um conjunto de finos condutores, e três condutores principais ligados a eles como demostra a Figura 8 (Villavia & Gazoli, 2020).

Figura 8- Estrutura de uma célula fotovoltaica



Fonte: (Villavia & Gazoli, 2020)

As células fotovoltaicas são fabricadas por diversas tecnologias. Os elementos utilizados para o fabrico das células são: silício cristalino; silício amorfo; telureto de cádmio; disseleneto de cobre e índio; e células híbridas. A tecnologia mais implementada no sector fotovoltaico é o silício cristalino, pois é aquela que apresenta uma maior eficiência e que necessita de menor área para instalar painéis com potência igual. O silício usado na fabricação das células e painéis fotovoltaicos é extraído de uma fonte de mineral chamado quartzo, que é produzido no Brasil, mas apesar do mesmo ser o maior produtor de quartzo, a purificação do silício não é feita aqui. Cerca de 70% de todas as células

solares e módulos são produzidos na China e Taiwan, deixando apenas 5% para os fabricantes europeus e norte-americanos (Villavia & Gazoli, 2020).

- Célula de Silício Monocristalino

Blocos de silício ultrapuro são aquecidos em altas temperaturas e submetidos a um processo de formação de cristal chamado o método de *Czochralski*. O resultado final desse processo é o lingote de silício monocristalino que constituído de uma estrutura cristalina única e possui organização molecular homogênea que caracteriza o aspecto brilhante e uniforme, este é fatiado para que seja produzido *wafers*, que são finas bolachas de silício puro, as quais ainda possuem as propriedades de uma célula fotovoltaica, ilustrado na Figura 9 (Villavia & Gazoli, 2020).

Figura 9 - Lingote e Wafer de silício monocristalino



Fonte: www.researchgate.net/figure/Figura-31-Exemplos-de-Lingotes-de-Silicio-monocristalino, visitado em 10/09/2020.

Os *wafers* são submetidos a processos químicos onde recebem impurezas em ambas as faces, formando uma camada de silício “P” e “N”, que constituem a base para o funcionamento da célula fotovoltaica. Por último, a célula semiacabada recebe uma película metálica em uma das faces, uma grande metálica na outra face e uma camada de material antirreflexo no lado que recebe a luz na Figura 10 é mostrada como é a finalização da célula de silício monocristalina (Villavia & Gazoli, 2020).

Figura 10 - Célula de silício monocristalino



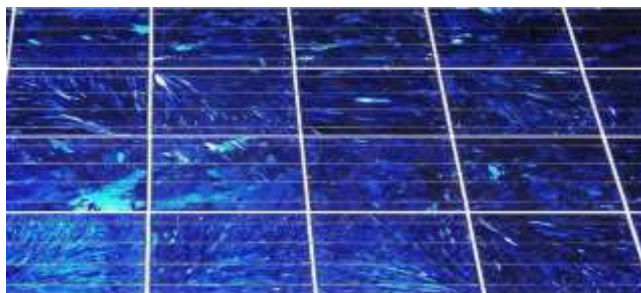
Fonte: (Portal solar , s.d.)

As células de silício monocristalino, são uniformes tem coloração azul ou preto podendo obter uma coloração diferente, dependendo do tipo de tratamento antirreflexivo que irá receber. Essas células são as mais eficientes produzidas em larga escala e disponível para comercializar, podem alcançar 15% a 18% mas o custo de sua produção é mais alto comparado a outros tipos de células, são consideradas rígidas e quebradiças e para que tenham mais resistência devem ser montadas em módulos (Villavia & Gazoli, 2020).

- Células de Silício Policristalino

As células de silício policristalino Figura 11 são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso, o lingote de silício policristalino é formado por um aglomerado de pequenos cristais de vários aspectos, porém o baixo custo e forma de produção diminui um pouco a eficiência da célula, o processo de purificação do silício utilizada na produção das células de silício policristalino é semelhante ao processo do Si monocristalino, o que permite deixar mais compatível com relação aos níveis de eficiência, as técnicas de fabricação de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalinas, porém com menores rigores de controle, tornando assim mais baratas (Villavia & Gazoli, 2020).

Figura 11 - Célula fotovoltaica de silício



Fonte: Portal Lux Nova, visitado em 10/09/2020.

Por seu processo de fabricação ser mais barato, comparado às células de silício monocristalino, as células de silício policristalino têm eficiência comercial entre 13% a 15%, inferiores às células monocristalinas, também são células rígidas e quebradiças, que necessitam ser montadas em módulos para ter resistência mecânica (Villavia & Gazoli, 2020).

- Células fotovoltaicas filmes

Os filmes finos são uma nova tecnologia, diferente das células cristalinas, que são produzidas através de fatias de lingotes de silício. Os dispositivos filmes finos são fabricados através da deposição de finas camadas de silícios e outros materiais, sobre uma base rígida ou flexível. O processo de deposição ocorre por vaporização ou através de outros métodos, em que pequenas quantidades de matéria-prima são empregadas na fabricação de módulos evitando desperdícios que ocorre na serragem dos *wafers* cristalinos (Villavia & Gazoli, 2020).

As temperaturas para fabricação dos filmes finos variam entre 200°C e 500°C, muito menor que as temperaturas necessárias para fabricação de células cristalinas, consomem menos matéria-prima, têm um custo muito mais acessível, podendo ser produzidos em qualquer dimensão e a única restrição é a área da base para a fabricação do módulo. Por ter um custo baixo os dispositivos de filmes finos têm baixa eficiência, de modo que precisam de uma área de módulos maior para produzir a mesma energia que produzem as outras tecnologias. Os filmes finos aproveitam muito melhor a luz solar para baixos níveis de radiação e para radiações de tipos difusas, o coeficiente também é mais favorável, a tecnologia de filmes fino é mais adequada para locais com temperaturas elevadas, os módulos de filmes finos sofrem degradação muito mais acelerado, quando não são corretamente aterrados (Villavia & Gazoli, 2020). A Figura 12 são apresentados módulos fotovoltaicos de filme fino de silício.

Figura 12- Módulos fotovoltaicos de filme fino de silício



Fonte: Portal Solar, visitado em 10/09/2020.

Uma das vantagens dos módulos de filmes finos está relacionada a sua produção em massa, sendo potencialmente mais baratos de fabricar do que as células solares de base cristalinas, possuem aparência homogênea, que a deixa esteticamente bonita, podem ser flexíveis, favoráveis a lugares de altas temperaturas, as desvantagens dessas tecnologias são que eles também exigem uma grande quantidade de espaço, menos eficiente, significa que o seu custo com estrutura de instalação, mão-de-obra, matérias e maior. Devido ser mais fino que os convencionais tendem a degradar mais rapidamente do que os painéis solares mono e policristalino, Figura 12 acima mostra como são os módulos de filme fino de silício, instalados. (PINHO, 2014)

3.2.5.5 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos

O Sistema Fotovoltaico Autônomo (SAF ou off-Grid), também chamados sistemas isolados geralmente é mais utilizado em locais não atendidos por uma rede elétrica. Também é utilizado em equipamentos onde o fornecimento de energia não deve ser interrompido, mesmo quando ocorre falta de energia elétrica. O sistema autônomo é isolado, ou seja, é independente da rede. Nesse caso não há necessidade de autorizações da concessionária e nem tem legislação que proíba produção para consumo desse sistema (VILLAIVA, 2020). Assim, o Sistema Fotovoltaico Autônomo, em casos de queda temporária devido à baixa radiação, mantém o abastecimento de energia, devido a um conjunto de baterias que tem a função de acumular energia, possibilitando atender e abastecer localidades nas áreas remotas, ajudando em tarefas essenciais, como bombeamento, irrigação, iluminação de galpões, entre outros, possibilitando autonomia na geração de energia elétrica, e as falhas de energia na rede de serviços públicos não afetam os sistemas isolados (Villavia & Gazoli, 2020). Não é recomendado a utilização do sistema fotovoltaico autônomo para residências localizadas em grandes centros urbanos, embora isso possa ser realizado, pois o custo é alto.

Geralmente os sistemas de geração de energia fotovoltaica autônomos, são compostos por: módulos fotovoltaicos, controlador de energia, dispositivo que conecta o painel fotovoltaico à bateria, evitando a sobrecarga ou descarga excessivamente; inversor, equipamento eletrônico capaz de transformar a corrente contínua (CC), em corrente alternada (CA), usado nos sistemas fotovoltaico para alimentar consumidores em corrente

alternada a partir da energia elétrica de corrente contínua gerada pelo painel fotovoltaico ou armazenada na bateria (PINHO e GOLDINO, 2014).

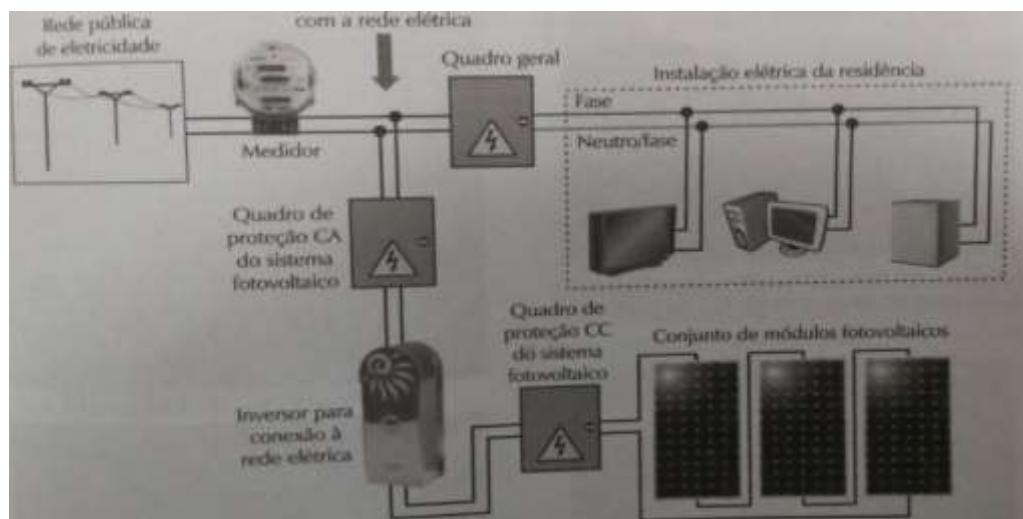
3.2.5.6 Sistema Ligados à Rede Elétrica

Nos sistemas ligados à rede elétrica não é necessário a utilização de baterias, sendo a própria rede elétrica utilizada para esse fim. Podem ser centrais fotovoltaicas ou sistemas integrados em edifícios. Os sistemas integrados em edifícios podem ser incorporados na fachada ou no telhado, com uma orientação solar favorável. Em sistemas fotovoltaicos residenciais ligados à rede elétrica, sempre que a energia produzida exceder o consumo da habitação, o excesso deverá ser injetado na rede. As instalações com estes sistemas têm de ser capazes de medir a energia elétrica que a habitação está efetivamente a consumir ou a fornecer à rede. Esta mediação é realizada por dois contadores unidirecionais ou apenas por um contador bidirecional (ALVES, 2008).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica podem ser classificados em três categorias, de acordo com seu tamanho. Segundo as definições utilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEE), são elas: micro geração, com potência instalada até 100KW; mini geração, com potência instalada entre 100KW e 1MW; usinas de eletricidade, com potência acima de 1MW (Villavia & Gazoli, 2020).

O sistema de microgeração fotovoltaica é composto de um conjunto de módulos fotovoltaico, um inversor especial para conexão à rede, quadros elétricos e um medidor de energia, um conjunto de módulos e inversores podem ser acrescentados em paralelo em qualquer quantidade, de acordo com o tamanho do sistema fotovoltaico desejado. A Figura 13 apresentação um diagrama da conexão de um sistema conectado à rede elétrica.

Figura 13 – Organização e componentes de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica.



Fonte: (Villavia & Gazoli, 2020)

3.2.5.7 Módulos Fotovoltaico

Um módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos para produzir tensão e corrente suficientes para a utilização prática da energia, ao mesmo tempo em que promove a proteção das células. Anteriormente foram descritas as principais células fotovoltaicas conhecidas, que têm, individualmente, uma tensão muito baixa, sendo da ordem de 0,5 a 0,8V, para as células de Silício. Assim, para se obterem níveis de tensão adequados, as células são conectadas em série, produzindo uma tensão resultante equivalente à soma das tensões individuais de cada célula. Ao mesmo tempo, as células são muito frágeis e seu encapsulamento em placas rígidas ou flexíveis traz uma importante proteção mecânica e contra as intempéries. O número de células conectadas em um módulo e seu arranjo, que pode ser série e/ou paralelo, depende da tensão de utilização e da corrente elétrica desejada. É importante ter cuidado com a seleção das células a serem reunidas no momento da fabricação do módulo, devido às suas características elétricas (Pinho & Goldino, 2014).

3.3 Inversores

Um inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (c.a.) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (c.c.) coletada dos módulos fotovoltaicos. Segundo Pinho e Goldino (2014), a tensão c.a., na

forma de onda senoidal de saída, deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas. Adicionalmente, no caso de sistemas conectados à rede elétrica, a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede. Existe uma diversidade grande de tipos de inversores em função das peculiaridades de suas aplicações. No caso de sistemas fotovoltaicos, os inversores podem ser divididos em duas categorias com relação ao tipo de aplicação: SFI - Sistema Fotovoltaico isolado e SFCR - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Embora os inversores para SFCRs compartilhem os mesmos princípios gerais de funcionamento que os inversores para SFIs, eles possuem características específicas para atender às exigências das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade da energia injetada na rede (Villavia & Gazoli, 2020).

Os inversores modernos utilizam chaves eletrônicas de estado sólido e o seu desenvolvimento está diretamente ligado à evolução da eletrônica de potência, tanto em termos de componentes (especialmente semicondutores) quanto das topologias de seus circuitos de potência e controle. Enquanto os primeiros inversores para uso em sistemas fotovoltaicos eram meras adaptações de circuitos já existentes, os circuitos mais modernos são desenvolvidos levando em conta a complexidade e as exigências de sua aplicação específica. Desta forma, no decorrer de poucas décadas, as topologias foram sendo otimizadas e os custos de fabricação reduzidos, enquanto as eficiências de conversão evoluíram até chegar a valores próximos a 99 % em alguns inversores para conexão à rede elétrica (Pinho & Goldino, 2014).

Quase todos os inversores para conexão à rede existentes no mercado possuem incorporadas funções de monitoração e aquisição de dados, de forma a disponibilizar ao usuário informações operacionais. Entre os dados que podem ser cobertos estão: energia diária gerada, estado do equipamento e histórico de falhas, valores instantâneos de P_{cc} (potência c.c.), P_{ca} (potência c.a.), V_{cc} (tensão c.c.), V_{ca} (tensão c.a.), etc. Alguns equipamentos aceitam inclusive a conexão de sensores externos (radiação solar, temperatura etc.), seja diretamente ou através de equipamentos externos auxiliares. Além de consultados no próprio painel do equipamento, tais dados podem ser transferidos através de meios como interface USB, modem GSM e rede wireless para análise detalhada em um computador, facilitando sobremaneira a detecção de falhas. Para SFCRs com potências de até algumas dezenas de kWp, tais recursos são equivalentes a um pequeno sistema de supervisão e controle tipo SCADA (Pinho & Goldino, 2014).

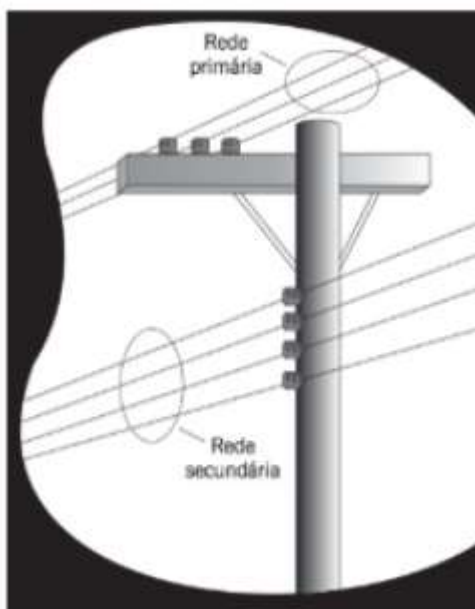
3.4 Rede de Distribuição Elétrica

Após percorrer a extensão geográfica existente entre a geração e os centros consumidores por meio das linhas de transmissão, a energia elétrica chega as Estações Transformadoras de Distribuição (ETD). As ETD's constituem as subestações que rebaixam os níveis de tensão utilizados na transmissão, permitindo, assim, que seja iniciada a etapa de distribuição. No entanto, apesar de menor, o nível de tensão ainda não é o adequado para o consumo imediato da maioria dos consumidores. Por isso, transformadores são instalados nos postes para adequar o nível de tensão disponibilizado para as residências, comércio, hospitais, escolas e aplicações específicas, como iluminação pública e sinalização (Barros, 2014).

O sistema de distribuição de energia elétrica é composto por fios condutores, transformadores e equipamentos diversos de fixação, controle e proteção dos circuitos de distribuição. As redes de distribuição são compostas por circuitos de alta, média e baixa tensão. As distribuidoras operam em circuitos que constituem as redes primária e secundária de distribuição. Os circuitos primários são aqueles com nível de tensão entre 2,3 kV e 44 kV, enquanto, nas redes secundárias, o nível de tensão pode variar entre 110 e 440 V. Normalmente as residências e pequenos comércio são conectados à rede secundária de distribuição. Os consumidores que demandam da rede uma potência maior, a exemplo das indústrias e shopping centers, são conectados diretamente à rede de média tensão (Barros, 2014).

A Figura 14 ilustra as redes primária e secundária de distribuição. Denomina-se rede primária ao conjunto de condutores apoiados horizontalmente sobre a cruzeta fixada no poste; enquanto a rede secundária está fixada verticalmente na estrutura. As redes de distribuição existentes no Brasil apresentam diversos valores de tensão, podendo variar em função da região geográfica. Entre os valores comumente encontrados nas redes de distribuição primária, destacam-se: 11,9 kV, 13,2 kV, 13,8 kV, 20 kV, 34,5 kV. Os valores de tensão normalmente encontrados na rede de distribuição secundária são 380 V, 220 V, 230, 127 V e 115 V, conforme figura 4 (Barros, 2014).

Figura 14 - Redes primária e secundária de distribuição.



Fonte:(BARROS,2014)

O aumento da eficiência na fase de distribuição de energia elétrica está intrinsecamente relacionado à redução das perdas que ocorrem nessa fase do sistema elétrico. As perdas em uma rede de distribuição podem ser divididas entre perdas técnicas e comerciais. As perdas técnicas são aquelas associadas ao aquecimento dos condutores e equipamentos por onde circula a energia elétrica. Com o propósito de reduzir as perdas técnicas também é possível analisar os transformadores existentes na rede de distribuição (Barros, 2014).

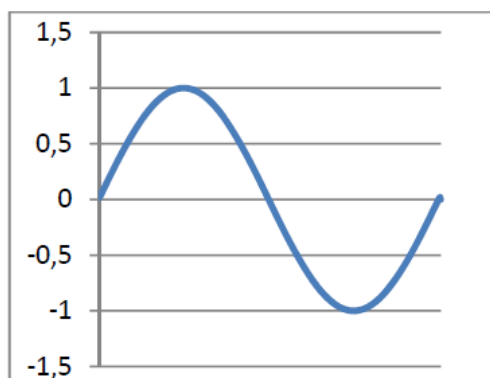
Os documentos elaborados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas a desempenho e funcionamento das redes de distribuição de energia elétrica, recebem o nome de procedimentos de distribuição (PRODIST), os quais tem a intenção de prever a existência de centros de despachos de geração distribuída (GD) com as seguintes funções (ANEEL, 2016).

3.5 Qualidade de Energia

Durante muitos anos a maioria das cargas acopladas na rede de distribuição de energia elétrica consistia em cargas lineares. Desta forma, as tensões de alimentação geradas em grande parte são provenientes de um sinal senoidal, por sua vez as correntes

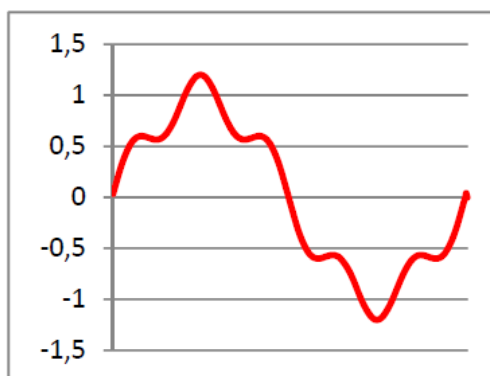
consumidas possuíam a mesma forma de sinal e frequência, tendo a possibilidade de encontrar defasagem da corrente em relação a tensão conforme Figuras 15 e 16 abaixo (AFONSO et. al., 2003; SILVA, 2008).

Figura 15 - Onda senoidal pura proveniente de cargas lineares



Fonte: (PUFAL, 2012).

Figura 16 - Onda senoidal com conteúdo harmônico causado por cargas não-lineares



Fonte: (PUFAL, 2012).

O distúrbio de energia produz resultados indesejáveis para o sistema conectado como carga. Também chamado de problema de energia, que é um conjunto de distúrbios, ele aparece no sistema devido a fatores externos e internos. Os fatores externos são os produzidos pelos subsistemas elétricos de geração, transmissão e distribuição (Lopez, 2013).

Os distúrbios elétricos são eventos que podem ser medidos ou registrados por instrumentos utilizados para monitorar sistemas elétricos. Esses instrumentos são, geralmente, voltímetros de precisão que podem medir magnitudes e polaridades de voltagens instantâneas (Lopez, 2013).

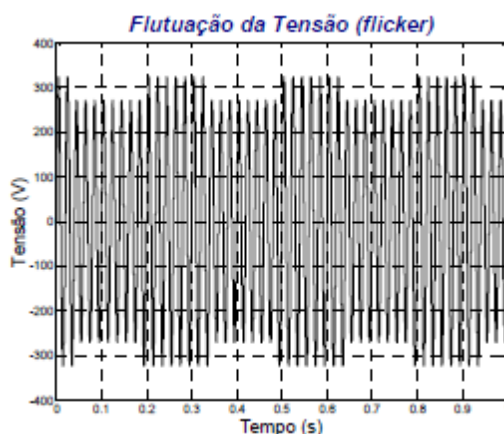
Dentro dos distúrbios referentes às oscilações de tensão, tem-se os distúrbios tipo impulso, oscilações transitórias, variações no valor eficaz (de curta ou longa duração), desequilíbrio de tensão e distorções na forma de onda. Estes distúrbios representam desvios em regime da forma de onda, em relação a onda teórica puramente senoidal (Lopez, 2013).

Os parâmetros relacionados a qualidade de energia são pautados em norma internacional e nacional, que estabelecem níveis de qualidade que deve ser entregue aos consumidores. Estes são relacionados em quais o sistema deve operar, a fim que novos equipamentos reduzam os distúrbios provocados a rede (ANEEL, 2015).

3.5.1 Cintilação ou *FLICKER*

É uma flutuação de tensão com uma frequência que varia entre 0,5 a 25 Hz que provoca uma variação de tensão que pode ser visível a olho nu. Em virtude de pequenas e repetitivas quedas de tensão provocadas por cargas elevadas que solicitam altas correntes em pequenos períodos. Este distúrbio é percebido devido a variação do fluxo luminoso das lâmpadas, principalmente as lâmpadas incandescentes. Portanto os fenômenos citado e proveniente de cargas com ciclo variável, com uma frequência de operação gera uma modulação da magnitude de tensão da rede de distribuição na faixa de 0 a 30Hz conforme Figura 17. O *flicker* provoca um efeito visual fisiológico desagradável em ambiente com a presença de lâmpada incandescente consequentemente ele não oferece nenhum efeito sobre os aparelhos e circuitos eletrônicos (LOPEZ, 2013).

Figura 17 - Flutuação da Tensão

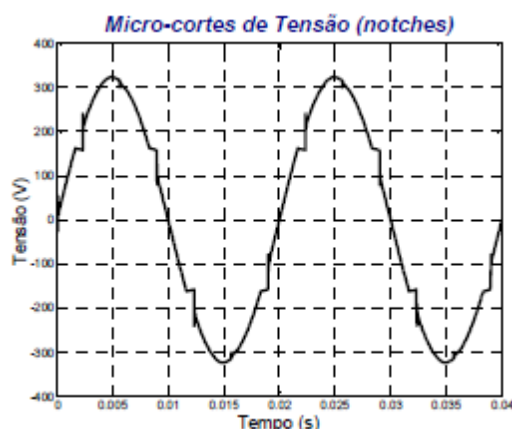


Fonte: (Martins, Couto, & Afonso, 2003).

3.5.2 Cunha de Tensão ou *Voltage Notch*

A cunha de tensão é decorrente de pequenos cortes periódicos na forma da onda senoidal da tensão, com efeito de queda de tensão nos indutores interligados ao circuito, em função de cargas que provocam um consumo de corrente com variação bruscas e periódica no caso dos componentes como os retificadores com filtros capacitivos e indutivos. Decorrente da operação de componentes eletrônicos de potências quando a corrente é comutada de uma fase para a outra. A detecção destes distúrbios é identificada pelo conteúdo harmônico da tensão afetada conforme Figura 18.

Figura 18 - Cunha de Tensão



Fonte: (Martins, Couto, & Afonso, 2003).

3.5.3 Desequilíbrio de tensão

Os sistemas elétricos trifásicos são gerados através de tensões senoidais de mesma magnitude em todas as fases e defasadas de 120° entre si, nesta condição consideramos que as tensões de fases estão equilibradas. Uma carga está em equilíbrio quando as impedâncias por fase são iguais em magnitude e fase (Sadiku & Alexandre, 2013). Define-se desequilíbrio entre fases em um sistema elétrico trifásico como sendo uma condição na qual as três fases apresentam diferentes valores de tensão em módulo ou defasagem angular entre fases diferentes de 120° elétricos ou, ainda, as duas condições simultaneamente (Paulillio, Teixeira, Bacca, & Filho, 2013) considerando cargas trifásicas e monofásicas em um sistema elétrico, ele é equilibrado quando circulem correntes equilibradas.

O grau de desequilíbrio é definido pela relação entre módulos da tensão de sequência negativa e da tensão de sequência positiva, este fator é dado em porcentagem conforme a dado (ANEEL , 2016). A Equação 1 apresenta o cálculo do fator de desequilíbrio da tensão.

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

FD% - Fator de desequilíbrio de tensão em porcentagem;

V- - Módulo da tensão de sequência negativa.

V+ - Módulo da tensão de sequência positiva.

Na maioria das vezes a origem destes desequilíbrios são nos sistemas de distribuição, os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de sequência negativa. Este problema cresce exponencialmente quando consumidores alimentados de forma trifásica possuem uma má distribuição de carga em seus circuitos internos, impondo correntes desequilibradas no circuito da concessionária. Tensões desequilibradas provocam consequências danosas no funcionamento de alguns equipamentos elétricos, comprometendo, na maioria dos casos, o seu desempenho e a sua vida útil. Um exemplo são os motores elétricos que quando as tensões de alimentação apresentam desequilíbrios, seja em módulo ou em ângulo, ocorrem alterações nas características térmicas, elétricas e mecânicas dos motores de indução, afetando o seu desempenho e comprometendo a sua vida útil, citamos motores porque aproximadamente 60% da energia produzida é consumida por motores nos sistemas industriais. Um outro exemplo é em sistemas de transmissão de energia elétrica, devido às características das impedâncias das linhas, aparecem desequilíbrios de tensão. Uma das maneiras de se minimizar os seus efeitos é fazer a transposição das fases nas torres de transmissão de energia elétrica. Em sistemas de distribuição, porém, isso é uma prática não usual, o que contribui para que o sistema permaneça desequilibrado (Paulillio, Teixeira, Bacca, & Filho , 2013).

3.5.4 Elevação de Tensão

Variações de tensão de curta duração (VTCD) são desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos (ANEEL , 2016).

Elevação momentânea de tensão, também chamada de Voltage Swell, são distúrbios que podem ser caracterizados por um aumento da tensão eficaz do sistema (aumento este entre 10% e 80% da tensão, na frequência da rede, com duração de meio ciclo a 1 min), ocorrendo frequentemente nas diferentes fases de um circuito trifásico. Ocorre em situações de elevações oriundas de saídas de grandes cargas ou energização de grandes bancos de capacitores, o tempo de duração das elevações depende do tempo de resposta dos dispositivos reguladores de tensão das unidades geradoras. Como consequência das elevações de curta duração em equipamentos, pode ocorrer falhas dos componentes, dependendo da frequência de ocorrência do distúrbio, dispositivos eletrônicos, computadores e controladores eletrônicos, podem apresentar falhas imediatas durante estas condições, já os transformadores, cabos, barramentos, dispositivos de chaveamento, TPs, TCs e máquinas rotativas podem ter a vida útil reduzida (Paulillio, Teixeira, Bacca, & Filho , 2013).

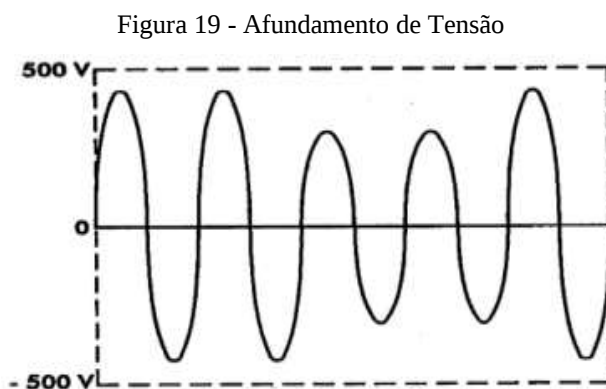
A elevação tensão é classificada como momentânea quando o seu tempo de duração é superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos. Ela é classificada como temporária quando o seu tempo de duração é superior a três segundos e inferior a três minutos. A severidade da VTCD, medida entre fase e neutro, de determinado barramento do sistema de distribuição é também caracterizada pela frequência de ocorrência e não só pela sua amplitude e duração (ANEEL , 2016).

3.5.5 Afundamento de Tensão.

Fenômeno conhecido como *Voltage Sag* ou simplesmente *Sag*, este distúrbio causa afundamentos momentâneos de tensão, destacam-se como os mais significantes distúrbios da qualidade da energia que se manifestam nas redes elétricas, conforme apresentado na Figura 19. Tem essa relevância pelo fato de que os afundamentos de tensão, quer sejam de curta ou de longa duração, são os que mais notadamente se fazem presentes na operação dos complexos elétricos. Um afundamento de tensão consiste numa redução no valor eficaz da tensão por um curto período, causada por curtos-circuitos,

sobrecargas, energização de transformadores de grande porte ou partidas de grandes motores (Paulillio, Teixeira, Bacca, & Filho, 2013).

O afundamento é classificado como momentâneo quando o seu tempo de duração é superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos, como temporário quando o seu tempo de duração é superior a três segundos e inferior a três minutos (ANEEL, 2016). Os afundamentos podem ser causados por faltas no sistema elétrico da concessionária, partida de grandes motores ou a corrente de *inrush* de transformadores.



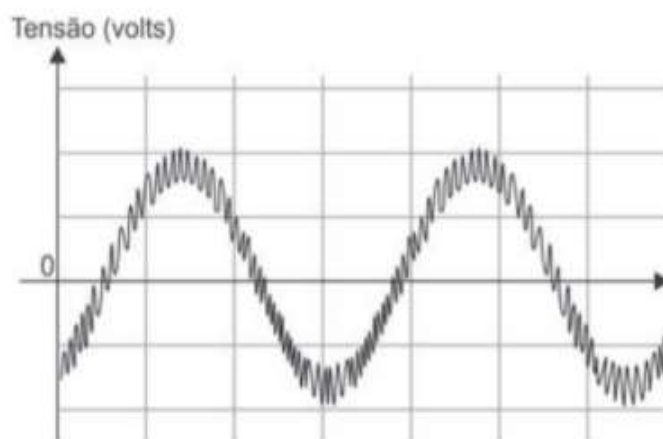
Fonte: (Mehl, 2000).

3.5.6 Ruído

O ruído caracteriza-o como um sinal elétrico com frequência menor que 200kHz, superpondo-se ao sinal de potência, seja corrente ou tensão, que circula pelos condutores fase ou neutro de uma instalação elétrica, causando problemas na rede. O ruído também pode ocorrer em uma linha de sinais, causando problemas maiores ainda (martinho, 2009).

Este distúrbio causa problemas em sistemas onde o sinal deve ter a mínima interferência, para manter a integridade dos dados transmitidos. Ele pode ser gerado de várias maneiras, como, por exemplo ser de natureza interna, quando o ruído já vem incorporado ao sinal na transmissão, ou por influências externas, como, por exemplo a indução de um motor ou o chaveamento de cargas direta, o aterramento quando mal projetado e executado pode ser umas das formas de indução do ruído (martinho, 2009). Na Figura 20 é apresentado um sinal de tensão com ruído.

Figura 20 - Tensão alternada senoidal com ruído



Fonte: Distúrbios de energia elétrica (MARTINHO, 2009).

A imagem acima mostra um exemplo de tensão senoidal com a presença de ruído, vemos que o ruído vai criando deformações na onda assim tendo interferência no sinal da tensão ou corrente.

Algumas outras fontes de ruído podem ser citadas, como é o caso dos arcos elétricos, principalmente os gerados por fornos a arco, os inversores também participam da geração de ruído e equipamentos de radiofrequência, entre outros (martinho, 2009).

O ruído pode ser classificado em dois tipos, o de modo comum a diferença da tensão ocorre entre o condutor neutro e a terra. E o de modo normal a diferença de tensão ocorre entre o condutor fase e neutro (martinho, 2009).

Os efeitos do ruído podem ser minimizados por meio de técnicas adequadas, como melhoria do aterramento, blindagem eletromagnética dos equipamentos (gaiola de Faraday), acoplamentos de sinais (indutivo e capacitivo) e etc (martinho, 2009).

3.5.7 Interferência Eletromagnética

É um distúrbio de emissão provocado pelos circuitos internos dos equipamentos e por eventos naturais que atingem a rede elétrica causando uma resposta indesejada, mau funcionamento ou degradação de performance de equipamentos. Por sua vez, a interferência por radiofrequência é uma energia elétrica contida dentro do espectro das transmissões de ondas de rádio. A Interferência de Radiofrequência RFI conduzida é mais facilmente encontrada nas frequências de alguns KHz até 30MHz. A RFI por irradiação é encontrada na faixa de frequência que vai dos 30MHz até 10GHz (Lopez, 2013).

O maior problema causado pela Eletromagnética Interferência (EMI) são as situações esporádicas e que degradam aos poucos os equipamentos e seus componentes. Os mais diversos problemas podem ser gerados pela EMI, por exemplo, em equipamentos eletrônicos, podemos ter falhas na comunicação entre dispositivos de uma rede de equipamentos e/ou computadores, alarmes gerados sem explicação, atuação em relés que não seguem uma lógica como também não obedecem os respectivos comandos, queima de componentes e circuitos eletrônicos etc. É muito comum a presença de ruídos na alimentação pelo mau aterramento e blindagem, ou mesmo erro de projeto (Santos, 2017).

Segundo Durval Sanches origem da interferência eletromagnética pode ser:

- Externa ao sistema (interferência entre sistemas) - quando um sistema interfere em outro (considerando nesse caso as fontes naturais de interferência, tais como descargas atmosféricas, radiações cósmicas, radiações solares, etc.
- Interna ao próprio sistema (intra-sistema) - quando partes de um sistema interfere em outras partes desse mesmo sistema.

As principais causas de interferência eletromagnéticas podem ser agrupadas conforme a seguir.

Transientes quando em um equipamento ocasiona distúrbios de sobretensão, subtensão, são provocados por chaveamento de potência; operação de semicondutores de potência; acionamento de: disjuntores, relés e chaves; abertura de fusíveis; tensão induzida por queda de raios, etc. Os procedimentos de proteção para tal tipo de problema são: instalar filtros de linha, blindar os cabos de alimentação, utilizar transformadores com blindagem de Faraday no circuito de alimentação do equipamento, diminuir a influência dos ruídos na malha de aterramento (SANCHES, 2003).

Pulsos Eletromagnéticos - EMP (Eletromagnetic Pulses) e Interferência de Radiofrequência - RFI (Radio-Frequency Intertefence) – equipamentos que produzam pulsos e ou arcos elétricos criam EMP ou RFI. Os procedimentos de proteção para tal tipo de problema são: reduzir a intensidade do campo recebido pelo equipamento por meio de: acondicionamento do sistema em recipientes que atuem como blindagem; blindar os cabos que entram e saem do equipamento; utilizar blindagens internas em volta das partes mais suscetíveis do equipamento; modificar a posição e / ou a orientação do equipamento; blindar a sala onde o equipamento está instalado (LOPEZ, 2013).

Descarga Eletrostática (ESD - Electrostatic Discharge) - É a transferência de carga eletrostática entre corpos em diferentes potenciais de eletricidade estática - as correntes elétricas e / ou o arco elétrico proveniente dessas descargas provocam EMI nos circuitos eletrônicos. Os procedimentos de proteção para tal tipo de interferência são: aterrar os corpos condutores carregados; isolar os corpos isolantes carregados, isto é, evitar aproximar corpos isolantes carregados do equipamento; neutralizar as cargas dos corpos isolantes carregados, isto é, formar caminhos de ar ionizado entre os corpos isolantes carregados e o terra; controlar a umidade relativa (SANCHES, 2003).

Campos gerados por transmissores de ondas contínuas: campo elétrico abaixo de 10milivolts/metro (20dBmV/m) não provoca risco de EMI; campo elétrico entre 100milivolt/metro (40dBmV/m) e 3volt/metro (9,5dBV/m), dependendo da frequência e das dimensões físicas do circuito vítima, pode ser potencialmente problemático na geração de EMI; campo elétrico acima de 3volts/metro (9,5dBV/m), esses valores provocarão problemas de interferência eletromagnéticas senão forem tomadas precauções. Os procedimentos de proteção para tal tipo de interferência são: usar o equipamento acondicionado em recipiente utilizado como blindagem, blindar os cabos que entram e saem do equipamento, blindar as partes internas mais suscetíveis do equipamento. Modificar a posição e / ou a orientação do equipamento, blindar a sala em que o equipamento está instalado (LOPEZ, 2013).

Descargas atmosféricas - raios - as descargas são responsáveis por indução de surtos de tensões nas linhas de energia e de comunicações (vídeo, telefones, etc.), bem como da geração de fortes campos eletromagnéticos próximos a região em que esses raios ocorrem. Os procedimentos de proteção para tal tipo de problema são: instalar nas linhas de energia protetores de transientes (diodo Zener, diodo supressores, varistores, centelhadores, etc.) para prevenir os surtos de sobretensão gerados; instalar filtros de linha; absorver as energias residuais no interior dos equipamentos, pela utilização de diodos (Zener e supressores) e varistores (SANCHES, 2003).

Movimento de condutores - quando existir um movimento relativo entre um condutor e um campo espúrio (magnético ou elétrico) será gerado uma tensão induzida nos condutores, situação que explica porque uma vibração mecânica pode provocar um ruído elétrico. O procedimento de proteção para tal tipo de problema é afixação dos cabos, preferencialmente a um plano aterrado (SANCHES, 2003).

Anel de corrente / loop / espira - a geometria de disposição dos cabos; isto é, a área definida pela forma da disposição em que os cabos do sistema estão arranajados; se

essa disposição formar um anel possibilitará a geração e/ou captação de ruídos nos circuitos que compõe o anel, pois o anel será uma fonte ou área de captação de um fluxo variável de campo magnético. Sendo um dos principais meios de acoplamento básico da EM I. Por esse motivo os condutores (de alimentação), que transportam correntes iguais e em direções opostas, devem ser mantidos os mais próximos possíveis, pois produziriam um campo magnético nulo em pontos afastados do mesmo. O procedimento de proteção para tal tipo de problema é minimizar a área da espira de corrente, minimizando a influência provocada e recebida por esse conjunto de condutores (LOPEZ, 2013).

Diferença de potencial entre os pontos de aterramento dos sistemas. O procedimento de proteção para tal tipo de problema é prover algum tipo de isolamento dos sistemas para “quebrar” esse anel de corrente formado por cabos dos sistemas e a diferença de potencial do sistema de aterramento. (SANCHES, 2003).

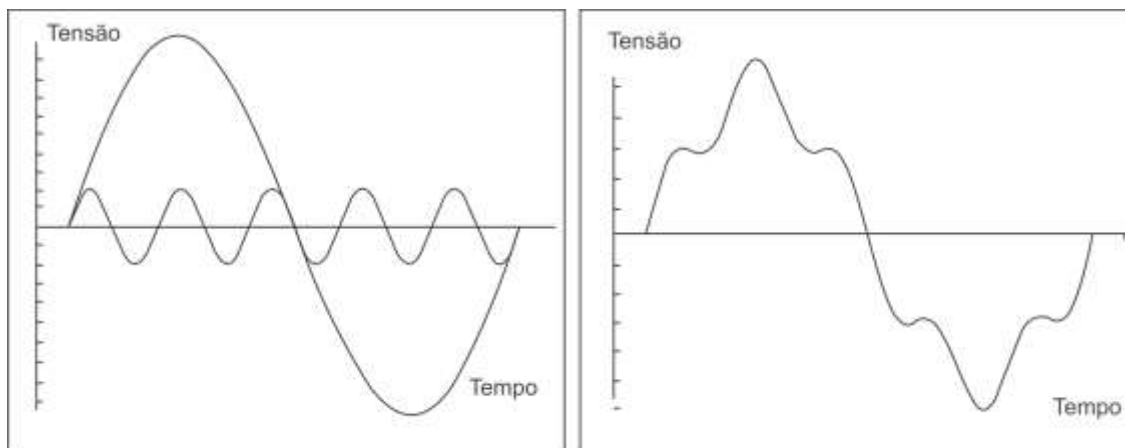
3.5.8 Harmônicas

Harmônicos constituem-se em uma das formas de distorção de onda para tensões e correntes elétricas, caracterizadas por sinais senoidais com frequências múltiplas e inteiras da frequência fundamental.

O distúrbio de qualidade de energia conhecido como harmônico (Figura 21), ao contrário da maioria dos distúrbios apresentados, é de natureza constante e não temporário por ser um fenômeno permanente merece um destaque maior no tratamento e por isso os cuidados devem passar de soluções mais críticas (martinho, 2009).

Este distúrbio é relativamente novo, surgiu na década de 1980 com o avanço da indústria começou a surgir equipamentos não lineares, assim estes equipamentos começaram a produzir harmônica pois os mesmos são gerados por cargas não lineares.

Figura 21 - Onda senoidal com harmônica



Fonte: (Lopez, 2013)

Na Figura 21 mostra a distorção harmônica em uma onda fundamental, na qual, a primeira mostra as duas ondas e na segunda a onda com fundamental integração da harmônica na onda.

Quando as correntes harmônicas atingem uma magnitude suficiente, ocorre a interação com o subsistema de distribuição elétrica e com outras cargas na vizinhança. A simples presença de harmônicas numa instalação não representa um problema. O problema é a sua interação com o sistema de distribuição, causando distorções e perdas na tensão (Lopez, 2013).

Quando a distorção de tensão alcança nível elevado, podem ocorrer diferentes tipos de problemas nos equipamentos eletrônicos. Se os picos de tensão são suprimidos, as fontes de tensão podem não acumular a energia suficiente para suprir *sags* momentâneos. Se os picos de tensão são amplificados, detectores de sobretensão podem atuar desligando a carga. Outros tipos de problemas: aquecimento e vibração excessivos em motores, aquecimento e ruídos excessivos em transformadores, erros de frequência, nível de tensão elevado entre neutro e terra e campos magnéticos significativos na vizinhança de transformadores e disjuntores (Lopez, 2013).

Harmônicas são integrais múltiplas da frequência de origem, e formas de onda não lineares são constituídas de componentes de alta frequência. Para a onda senoidal de 60 Hz frequência usado no Brasil, as harmônicas de ordem ímpar, são as mais comuns, são a terceira (180 Hz), a quinta (300 Hz), a sétima (420 Hz) e assim por diante (Lopez, 2013). Também existe harmônicas de ordem par, elas causam grande impacto nas instalações elétricas pois criam resquícios de tensão contínua (CC), são geradas por componentes DC

no circuito. A Equação 2 apresenta o cálculo para a distorção harmônica individual. (Lopez, 2013)

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

DIT_h% - Distorção harmônica individual de tensão de ordem h

V_h - Tensão harmônica de ordem h

h - Ordem harmônica

V₁ - Tensão fundamental medida

A Distorção Harmônica Total (DHT) é a medida em graus que uma forma de onda pode se afastar em relação à forma puramente senoidal. A Equação 3 apresenta o cálculo para a distorção harmônica total.

$$DTT \% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

DTT% - Distorção harmônica total de tensão

h = todas as ordens harmônicas de 2 até h_{máx}.

h_{máx} = conforme a classe A ou S.

V_h - Tensão harmônica de ordem h

V₁ - Tensão fundamental medida

Características da presença de harmônicas segundo Ricardo Aldabó Lopez (2013): Condutores de neutro muito quentes e com corrente elevada; Transformadores quentes e ruidosos; Motores com falhas frequentes e trabalhando com temperatura elevada; no-break com falhas frequentes; Geradores de energia com baixo rendimento (50 a 60% da capacidade nominal); Baixo fator de potência na instalação; Relógios elétricos adiantando constantemente.

No caso do distúrbio relacionado sobre harmônica cada caso tem uma solução diferente onde as mais usadas são: a aplicação de filtros ativos e passivos de harmônicas, aplicar fontes de alimentação com controle de harmônicas internos, balancear cargas das

fontes de harmônicas, utilizar transformadores com fator k que tem a capacidade de tolerar os efeitos harmônicos, redimensionando a rede entre outros.

A ANEEL por meio do módulo 8 – Qualidade de energia elétrica do PRODIST determina o limite para as distorções harmônicas totais mostrado na tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Tabela limites de distorções harmônicas totais

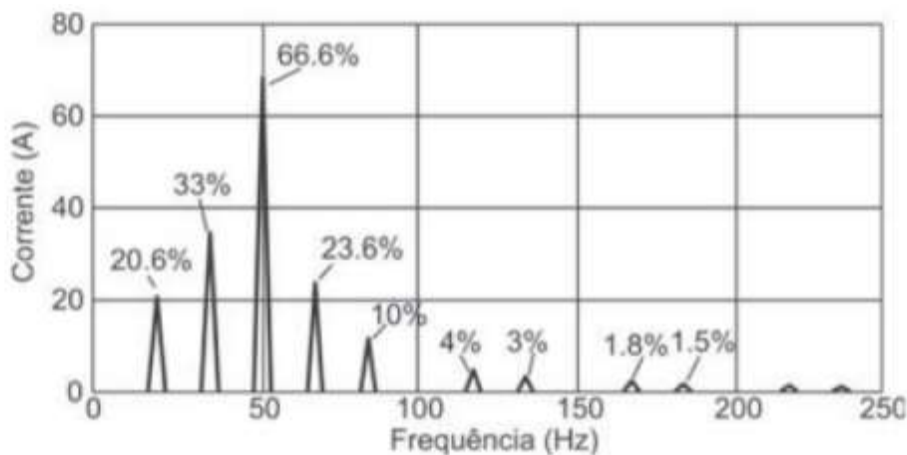
TENSÃO NOMINAL (Vn)	DTT tensão
$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	10,0%
$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	8,0%
$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$	5,0%

Fonte: (ANEEL,2016)

3.5.9 Inter-Harmônica

O distúrbio inter-harmônico é caracterizado pela presença de formas de ondas de tensão ou corrente com valores que não são múltiplos inteiros da frequência fundamental (no caso Brasil 60Hz). As frequências podem aparecer de forma discreta ou com uma larga faixa espectral, em diferentes classes de tensão. Apesar de serem distúrbios pouco conhecidos e estudados, é sabido que podem afetar os sinais de portadoras dos sinais (carriers) e também a visualização em sinais de display como TVs de raios catódicos e induzindo os conhecidos flickers. Alguns estudos mostram que os inter-harmônicos são produzidos por equipamentos a arco, motores de indução, inversores e conversores estáticos (martinho, 2009). Na Figura 22 é apresentado um sinal com inter-harmônicos.

Figura 22 - Sinal com inter-harmônica.



Fonte: MARTINHO, 2009.

3.6 Indicadores Qualidade de Energia

No Brasil com a privatização da maioria das concessionárias de energia a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou indicadores para verificar a qualidade de energia em que está sendo passada para o consumidor final.

De acordo com os conceitos gerais de qualidade da energia descritos por diversos autores e pelas normas aplicáveis, deve-se considerar a avaliação dos indicadores de qualidade da energia nos diversos pontos de uma instalação (barramentos, por exemplo) em uma análise temporal. Em outras palavras, espera-se que todos os barramentos de uma instalação possuam seus indicadores de qualidade da energia em níveis adequados durante todo o período de operação das cargas (Starosta, 2014).

Existem os indicadores de continuidade coletivos, DEC duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em horas e centésimos de hora e FEC frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em número de interrupções e centésimos do número de interrupções e os indicadores de continuidade individuais, onde as metas são definidas em resolução específica da ANEEL, DIC Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras, FIC Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras. e DMIC Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora.

DEC indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, geralmente mensal (ANEEL, 2016).

Equação 1 - CÁLCULO DEC

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i) \times T(i)}{Cs}$$

Sendo:

i = número de interrupções, de 1 a n

$T(i)$ = tempo de duração de cada interrupção do conjunto de consumidores considerados, em horas

$Ca(i)$ = número de consumidores do conjunto considerado, atingido nas interrupções

Cs = número total de consumidores do conjunto considerado.

FEC indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora (residência, comércio, indústria etc) (ANEEL , 2016).

Equação 2 - CÁLCULO FEC

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i)}{Cs}$$

Onde:

i = número de interrupções, de 1 a n

$T(i)$ = tempo de duração de cada interrupção do conjunto de consumidores considerados, em horas

$Ca(i)$ = número de consumidores do conjunto considerado, atingido nas interrupções

Cs = número total de consumidores do conjunto considerado.

Sob o ponto de vista de operação confiável, todos os indicadores de qualidade da energia devem estar dentro de limites de operação de forma que as cargas sejam sempre alimentadas em seus limites estabelecidos. Se, em algum instante, a fonte não possui esta capacidade, a instalação deve estar provida de dispositivo que promova esta compensação. Observa-se que é comum a instalação de dispositivos destinados a algum tipo de correção nas instalações (como banco de capacitores, UPSs ou filtros e, mesmo, geradores de emergência), contudo, efeitos paralelos podem ocorrer e outros indicadores acabam por serem prejudicados, não permitindo a operação das cargas de forma adequada (Starosta, 2014).

Poderemos definir diversos indicadores de qualidade de energia no QGBT nos outros quadros da instalação e esta lista pode ser incrementada ou reduzida caso a caso em função da necessidade. O módulo 8 do Prodlist recomenda, em princípio, a avaliação

das sete variáveis listadas, a seguir, no tocante à qualidade do produto. Outras variáveis poderiam fazer parte desta relação, como as sobrecorrentes, os transientes e outras. (Starosta, 2014).

Lista de indicadores de qualidade do produto proposta pelo módulo 8 do Prodist:

- Tensão em regime permanente;
- Fator de potência;
- Harmônicos;
- Desequilíbrio de tensão;
- Flutuação de tensão;
- Variações de tensão de curta duração;
- Variação de frequência.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia apresentada no capítulo 2. A análise foi realizada através dos dados coletados pelo equipamento analisador de energia Embrasur RE4000 e visualizado através do software ANL6000 Embrasur, os dados foram coletados em uma residência com sistema fotovoltaico instalado.

Inicialmente serão apresentados os resultados referentes a análise da tensão na qual foi verificado o comportamento da mesma referente ao afundamento de tensão e elevamento da tensão, análise da corrente devido a carga instalada do consumidor residencial, fator de potência importante como parâmetro a ser analisado considerando que seu valor é normatizado pela ANEEL e as harmônicas que podem ser geradas por cargas não lineares a exemplo dos conversores do sistema fotovoltaico instalado.

4.1 Análise dos dados coletados

Os dados coletados referentes às correntes e tensões estão em domínio do tempo, seguindo os parâmetros de referência PRODIST módulo 8. A medição foi realizada com relação as fases em função do neutro, o tempo de coleta dos dados pelo equipamento foi de um segundo durante três dias. Foi possível identificar as harmônicas do circuito possibilitando um estudo mais detalhado da qualidade da energia utilizada.

Os gráficos obtidos foram definidos através de parametrização do analisador. Após identificados os distúrbios gerados de medição, eles serão discutidos a seguir.

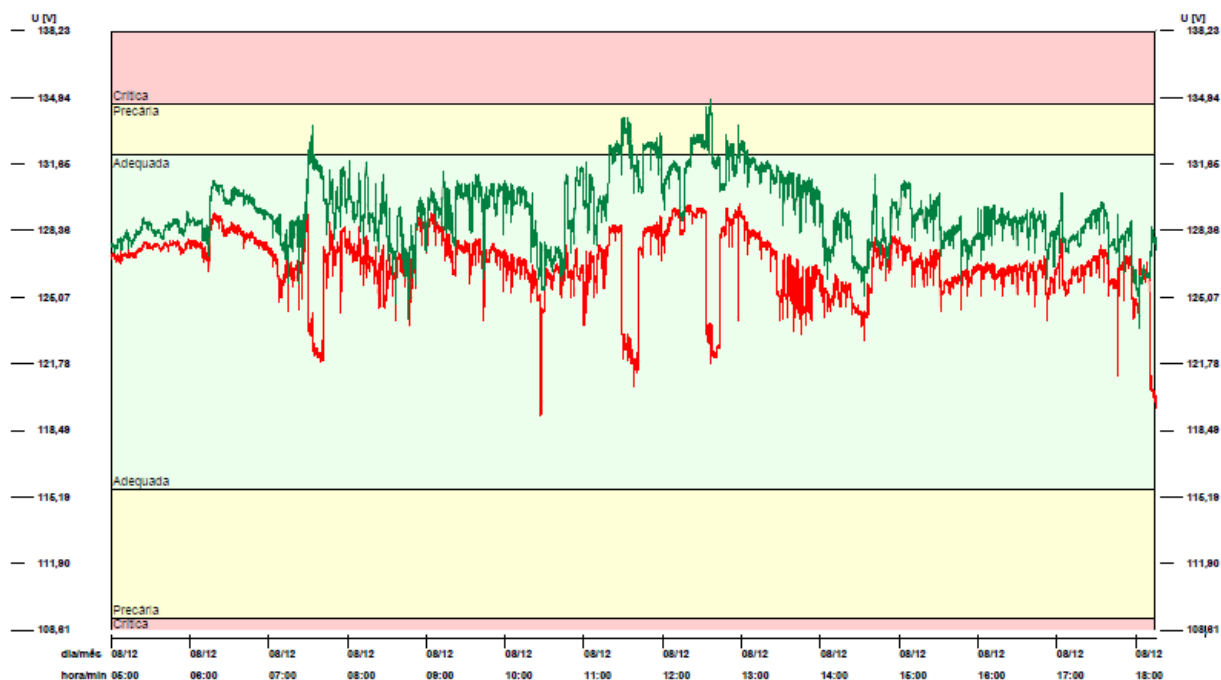
4.1.1 Análise da tensão

As amostras de tensão apresentadas servem de parâmetro para a definição da qualidade de energia conforme PRODIST, onde os parâmetros analisados são referentes aos valores máximo e mínimo de tensão.

Após a obtenção dos meios de tensão através de medições foi possível identificar variações de curta duração evidenciadas na fase B ocorrendo com tempos de aproximadamente 10 segundos. Foram comparados os resultados com o PRODIST

considerando-se eventos simultâneos associados a pontos de monitoração com registro bifásico, conforme Figura 23 onde a fase A está em vermelho e a B em verde.

Figura 23 - Variação de tensão



Fonte: Próprio autor

Com a análise da Figura 23 foi verificado que a fase A permaneceu adequada dentro dos padrões estabelecidos pelo PRODIST, mantendo uma variação em média entre 120 V à 129 V. Na fase B houve uma variação de tensão *swells* na qual a elevação foi 134 V caracterizando uma medição de regime crítico. Vale ressaltar que a leitura dos dados é da fase em relação ao neutro, segundo preconiza os padrões estabelecidos pelo PRODIST, conforme Tabela 4 para residência com ligação bifásica 220 V.

Tabela 4 - Padrões Tensão Nominal

Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kv (220/110)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação de leitura (Volts)
Adequado	$(202 \leq TL \leq 231) / (101 \leq TL \leq 116)$
Precário	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233) / (96 \leq TL < 101 \text{ ou } 116 < TL \leq 117)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 96 \text{ ou } TL > 117)$

Fonte: Autor próprio

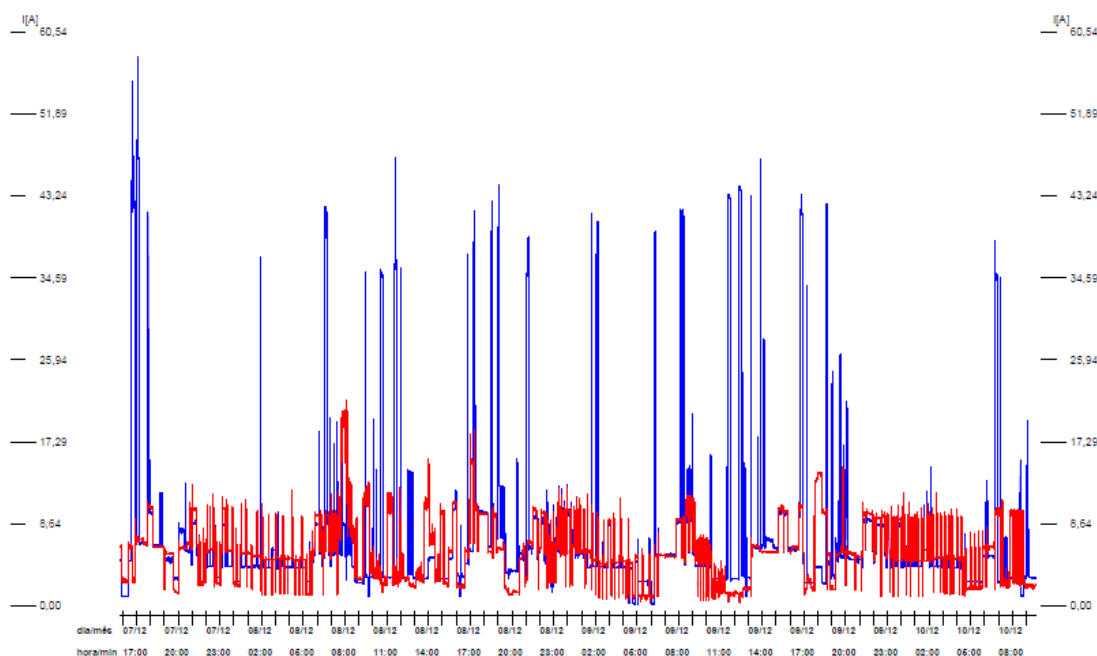
A elevação da tensão é caracterizada pelo distúrbio de tensão do tipo *swells* proveniente da retirada de cargas pesadas do circuito. É importante na análise das medições por estar diretamente relacionada à continuidade de operação dos equipamentos instalados. Uma vez que as cargas possuem restrita tolerância em relação à tensão de alimentação, não foi identificado na medição do analisador mostrando que a leitura dos níveis de tensão por afundamento de tensão está conforme estabelecidos no PRODIST.

Este distúrbio esteve presente nos momentos da geração fotovoltaica.

4.2 Análise de corrente

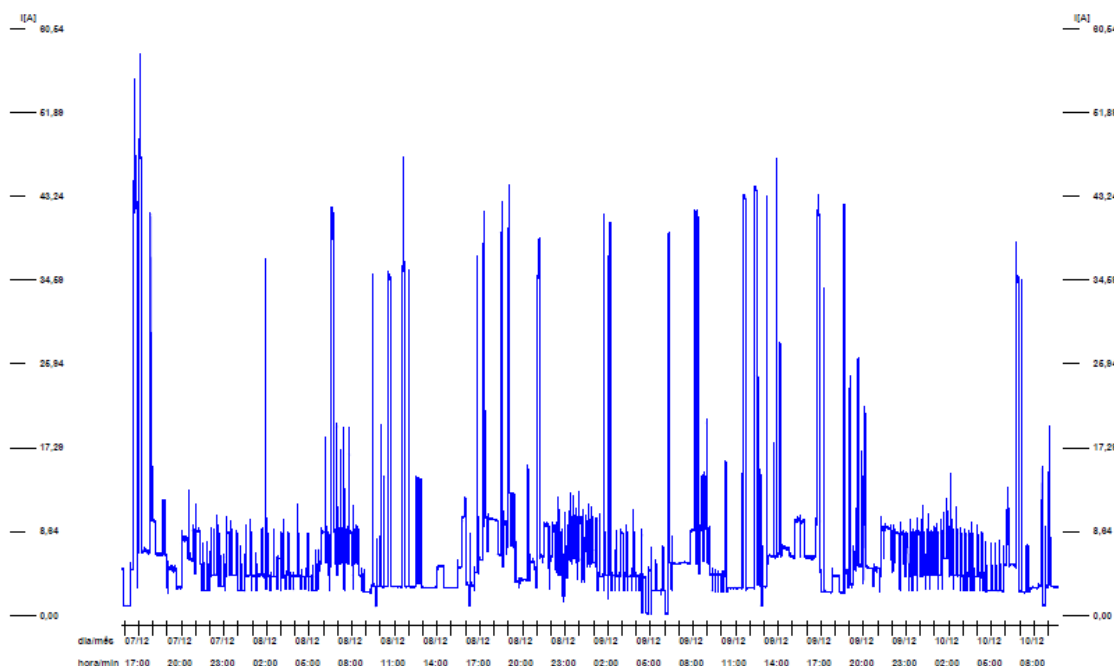
Nas Figuras 24 e 25 são apresentados os resultados obtidos a partir da coleta dos dados, analisando os gráficos das correntes A e B da residência.

Figura 24 - Gráficos das Correntes



Fonte: Autoria própria

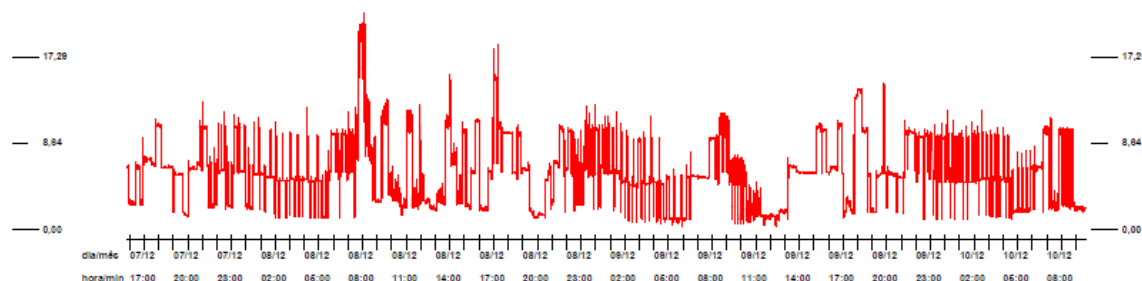
Dando continuidade à análise, percebe-se que os resultados obtidos relacionados as correntes I_A e I_B apresenta um desbalanceamento em decorrência do desequilíbrio das cargas instaladas.

Figura 25 - Corrente I_A 

Fonte: Autoria própria

Nota-se que durante a geração fotovoltaica não apresentou influência nas correntes das fases, mantendo o comportamento típico dos momentos de não geração.

Analisando a Figura 25, constata-se que a fase A em função da corrente (I_A), apresentou comportamento variado durante o tempo de medição em momentos em que a demanda residencial é elevada. Desta maneira-se destaca que durante o período da geração fotovoltaica, houve o suprimento da própria sem interrupção de energia.

Figura 26 - Corrente I_B 

Fonte: Autoria própria

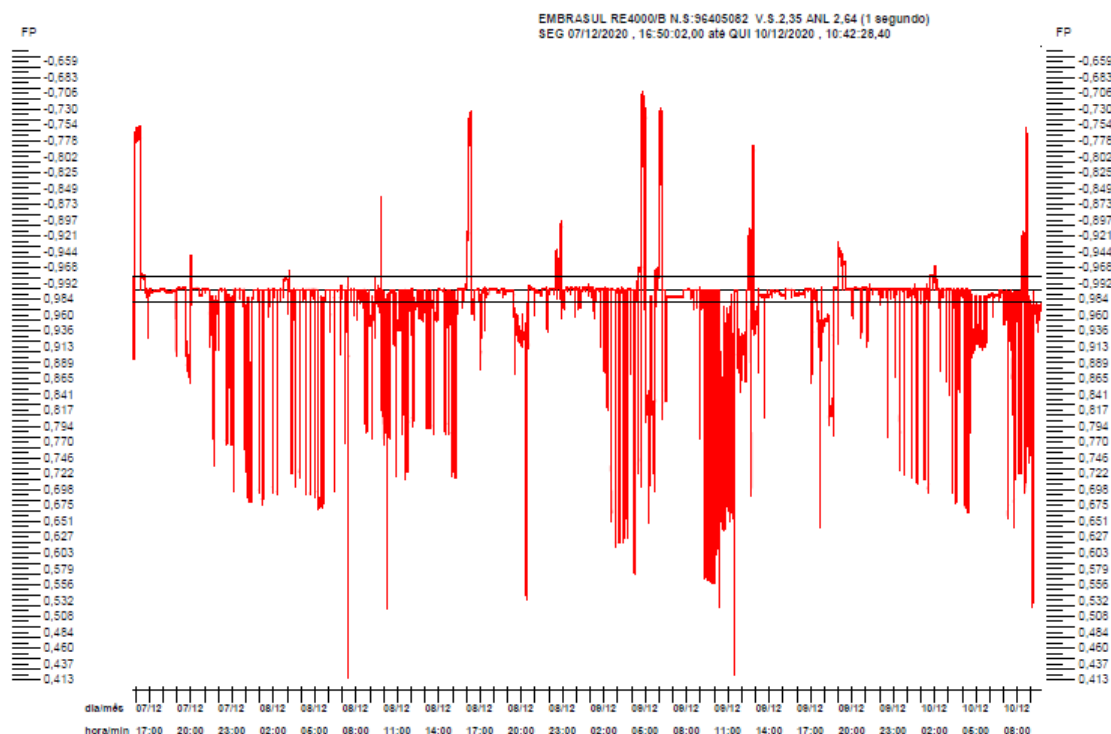
O comportamento da fase B relacionado a corrente I_B conforme a Figura 26 retratou um comportamento variado de menor intensidade em função da demanda solicitada na residência. Desta forma salienta-se que a cogeração fotovoltaica desempenha o seu papel de suprimento de energia de forma interrupta no período de

geração e de forma que o desbalanceamento das correntes não interferiu no seu funcionamento.

4.3 Fator de potência

A Figura 27 apresenta o gráfico do fator de potência (FP) coletado na residência entre os dias 07 de dezembro de 2020 à 10 de dezembro de 2020. O fator de potência é uma variável responsável por influenciara na potência solicitada pelas cargas instaladas. Observa-se que o fator de potência da residência apresentou uma grande variação mantendo-se sempre fora dos padrões de referência. Consequentemente, quanto menor o fator de potência, menor será a energia ativa proporcional injetada na rede,

Figura 27 - Gráfico fator de potência



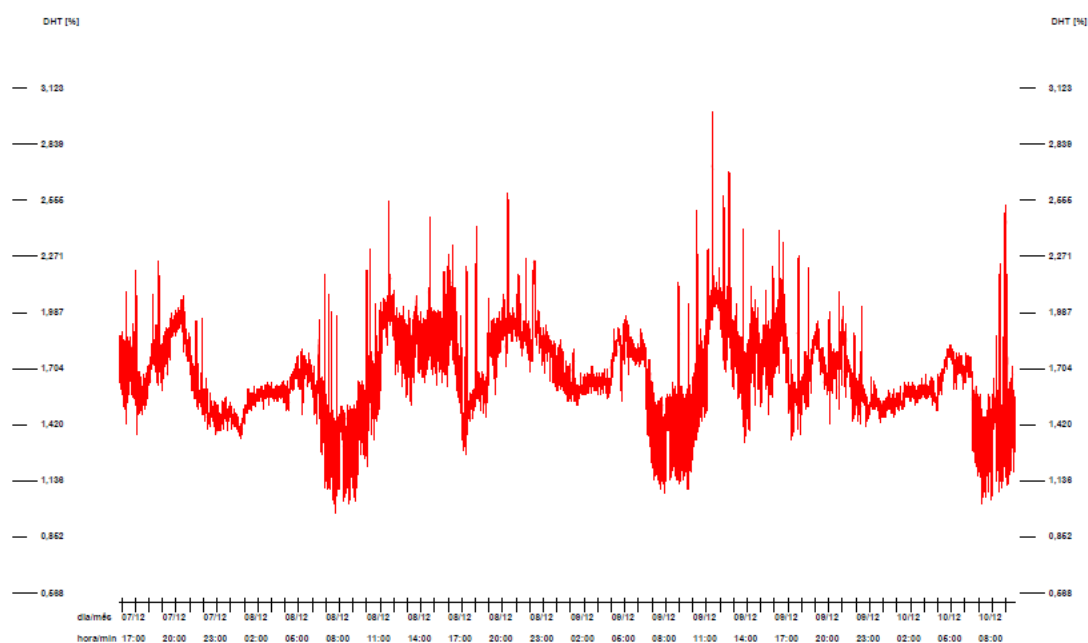
Fonte: Autoria própria.

Os valores FP ultrapassou os limites estabelecidos pela Resolução Normativa nº 414, que determina limite de FP capacitivo de 0,92 e o FP indutivo de 0,92 foram identificados mais valores positivos (capacitivos) em relações aos negativos (indutivos). Como no Brasil consumidores residenciais do grupo B não são taxados pelo fator de potência fora dos valores permissíveis.

4.4 Análise harmônica

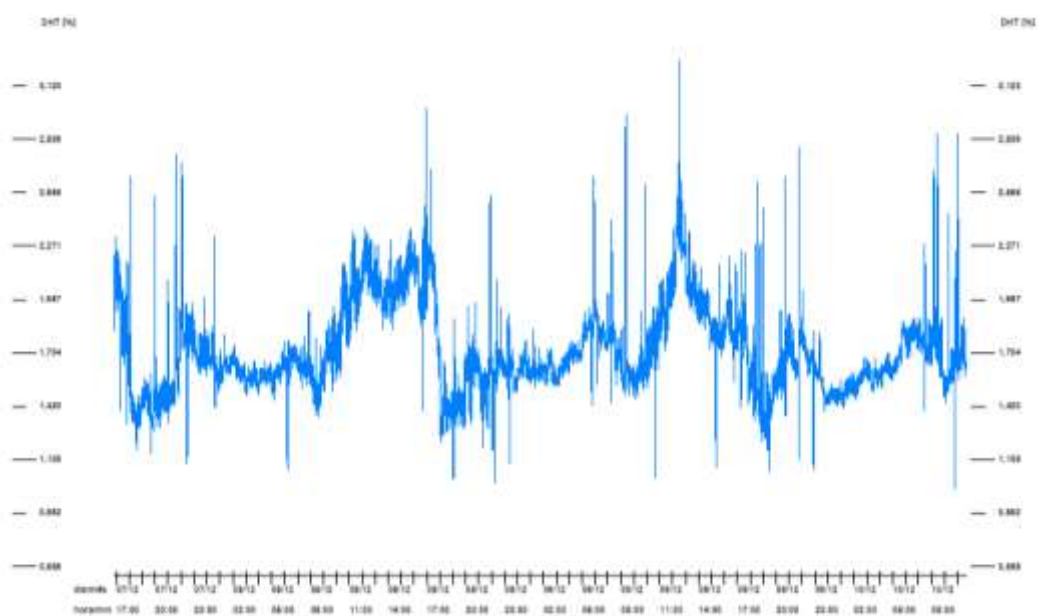
Os dados coletados referente as distorções harmônicas em função da tensão que estão definidas no módulo 8 do PRODIST na tabela 3 estão dispostos a seguir nas Figuras 28 e 29.

Figura 28 - Distorções Harmônicas em Função da Tensão Fase A



Fonte: Autoria própria

Figura 29 - Distorções Harmônicas em Função da Tensão Fase B



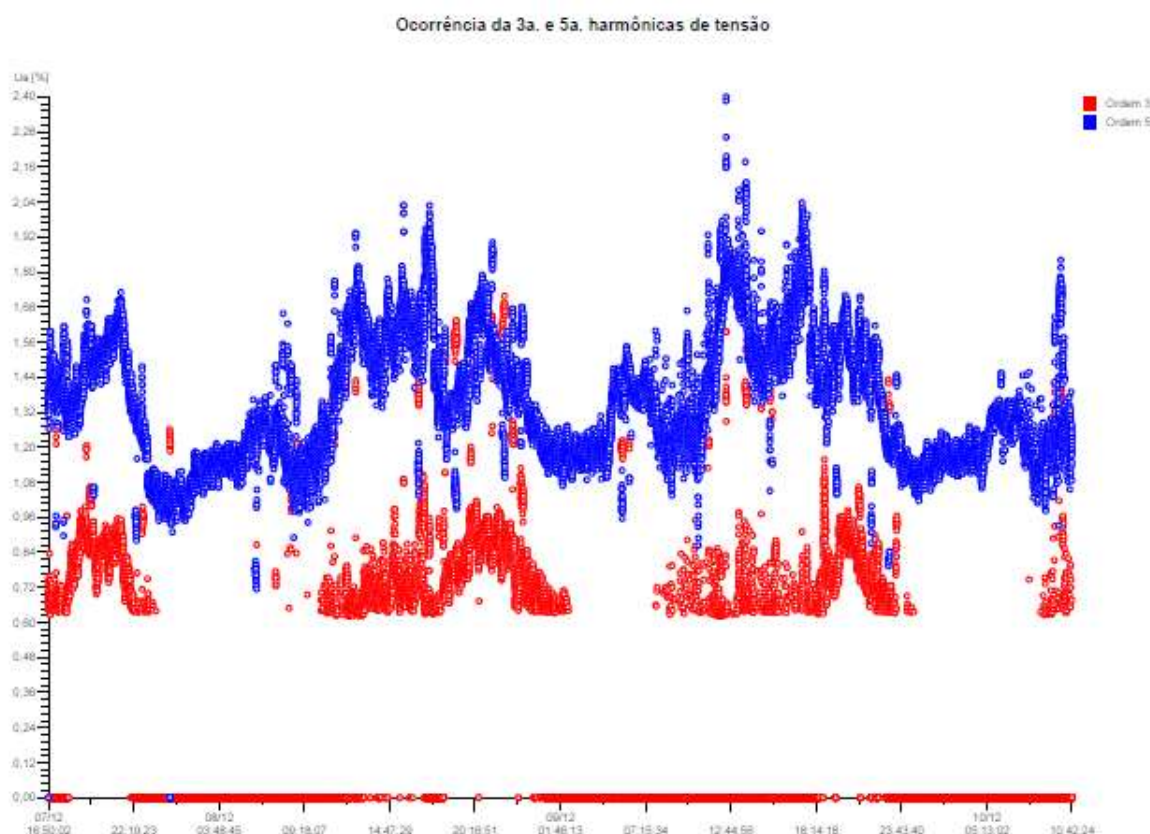
Fonte: Autoria própria

De acordo com a análise dos gráficos apresentados os limites de distorção harmônica da fase A e B, destaca que os valores analisados não ultrapassaram os limites de 10% estabelecido pelo PRODIST.

Percebe-se que durante a geração fotovoltaica foi possível verificar um aumento da distorção harmônica, dentro da faixa tolerável, valores que não prejudicam o funcionamento do sistema. Nota-se que fora do período de geração há presença de harmônicas.

As distorções harmônicas presentes nas tensões da Fase A e Fase B são apresentadas na Figura 30 a seguir. E constatada a presença de harmônicas de terceira e quinta ordem.

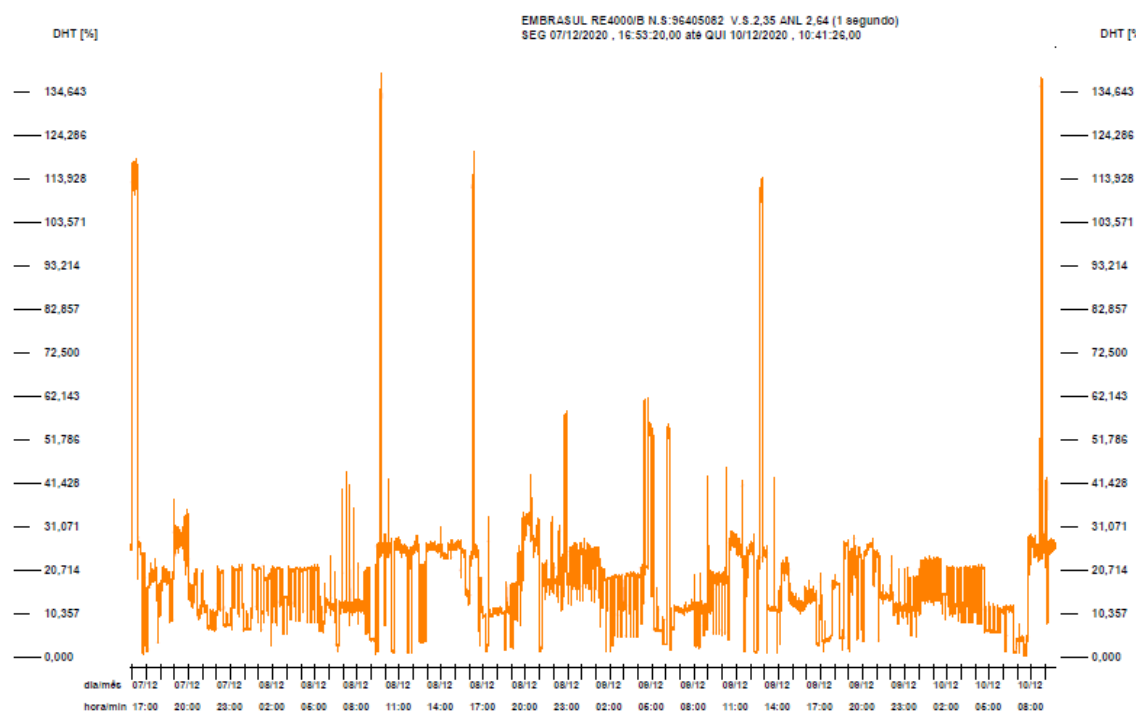
Figura 30 - Distorções Harmônicas 3º e 5º



Fonte: Autoria própria

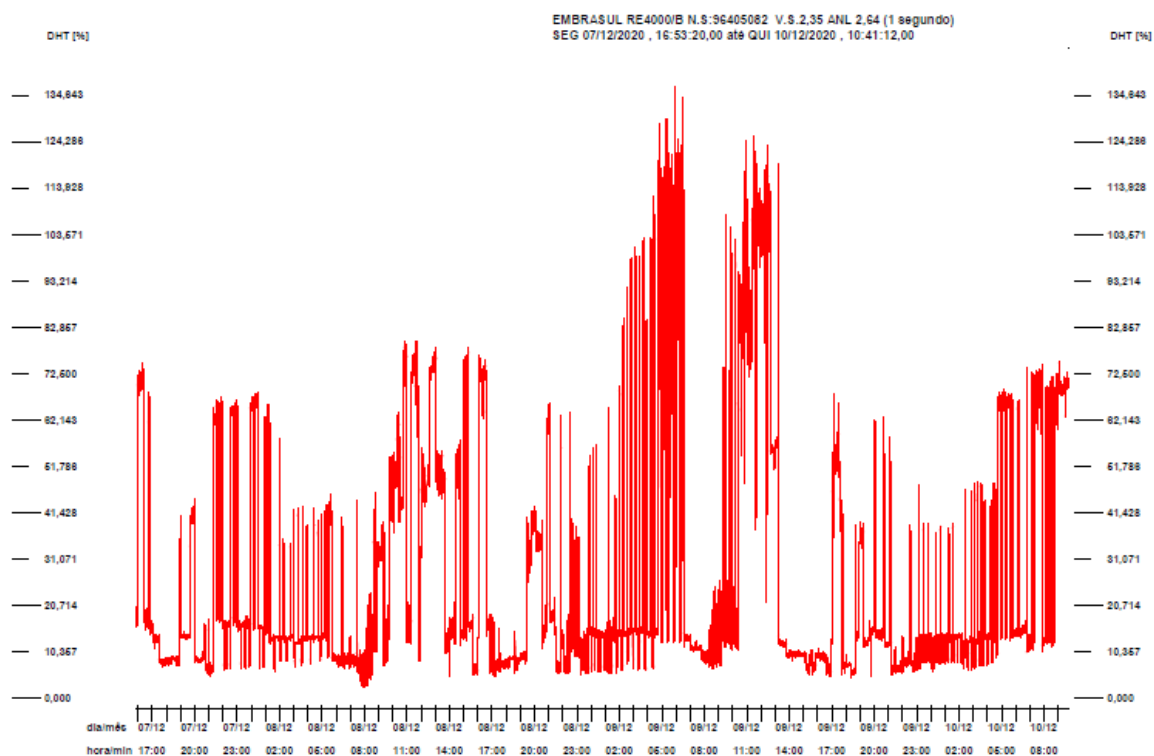
As distorções harmônicas presentes nas correntes da Fase A e B são apresentadas nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 - Distorção Harmônica Corrente Fase A



Fonte: autoria própria

Figura 32 - Distorção Harmônica Corrente Fase B



Fonte: Autoria própria

Conforme as imagens 31 e 32, ficou evidente a presença de Harmônicas nas correntes I_A e I_B durante todo o período. Observa-se que, durante o período de geração fotovoltaica evidenciamos picos de harmônicas na corrente elétrica nos momentos em que os índices de geração são maiores, resultante do inversor quando ocorre a conversão de CC para CA e com a adição dos equipamentos eletrônicos residenciais que estão em funcionamento.

A presença de harmônicas na corrente fora do período de geração é bastante presente onde pode-se destacar os momentos em que foram obtidos os maiores valores registrados nas medições. O horário da madrugada do dia 09/12 das 03:00h até as 06:00h período em que há redução bastante do consumo de energia, em os equipamentos eletrônicos interligados a rede de distribuição permanecer injetando harmônicas no circuito.

A circulação de correntes harmônicas proveniente da alimentação de cargas não lineares em um sistema de potência deve ser analisada como fator natural e não deve ser encarada como um problema. O PRODIST não estabelece parâmetros para a análise de harmônicas da corrente.

5 CONCLUSÃO

Com a crescente utilização de energia elétrica vem-se buscando novas fontes de geração para suprir a necessidade da sociedade contemporânea. Com isso pode-se destacar que com a microgeração distribuída traz benefícios pois diversifica a matriz energética do país.

A partir da análise dos dados coletados, é possível concluir que a implementação do sistema fotovoltaico, relacionado aos distúrbios elétricos tensão em regime permanente, análise da corrente e das harmônicas estão de acordo com os limites presentes no módulo 8 do PRODIST. Destaca-se que o fator de potência residencial apresenta valores fora dos parâmetros estabelecidos. As residências (grupo B) atualmente não são obrigadas cumprir o valor do fator de potência, diferentemente das indústrias que são obrigadas a cumprirem essa regra.

Conclui-se que o sistema de microgeração fotovoltaico instalado na residência não é suficiente para gerar grandes distúrbios para a rede de distribuição, percebe-se que estes distúrbios já estão presentes na rede de distribuição independente da microgeração.

Destaca-se que a qualidade da energia da microgeração fotovoltaica está relacionada diretamente a qualidade do inversor instalado, pois este é o responsável pela qualidade do sinal gerado que será utilizado tanto na residência quanto para a rede de distribuição.

Por fim, é determinante que, para uma boa qualidade de energia, é indispensável que os fatores externos e internos, ou seja, as cargas instaladas, a geração, a transmissão e a distribuição garantam a forma de onda da tensão a fim de evitar as distorções.

REFERÊNCIAS

- ABINEE. (Março de 2011). Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos.
- Alves, V. A. (Junho de 2008). Dimensionamento de sistemas de produção de electricidade baseados em energia solar fotovoltaica .
- ANEEL . (2016). PRODIST. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST*.
- ANEEL . (2016). *PRODIST - Módulo 8*. ANEEL .
- ANEEL. (2015). *Geração Distribuída*. Acesso em 24 de 04 de 2020, disponível em <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>
- Barros, B. F. (2014). *Geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica* (1º ed.). São Paulo : Érica.
- Borém, L., & Vasconcelos, R. A. (2016). *Análise do Impacto da Geração Distribuída na Estabilidade Transitória*. universidade de Brasilia , Brasilia.
- CLEMENTE, L. (2003). *AValiação dos Resultados Financeiros e Riscos Associados*. Universidade Federal do, CURITIBA .
- Consolidated Financial Statements. (Setembro de 2017). REN – Redes Energéticas Nacionais, SGPS, S.A.
- Consolidated Financial Statements. (2020). *RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT*. REN – *Redes Energéticas Nacionais, SGPS, S.A.*
- Dantas, S. G., & Pompermayer, F. M. (2018). Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicas no Brasil e Possíveis Efeitos no Setor Elétrico. *IPEA*.
- Dias, A. L. (2017). *MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA USO RESIDENCIAL COM BASE EM FONTES DE ENERGIA EÓLICA E SOLAR FOTOVOLTAICA*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Eletrobras. (2016). *DIRETRIZES PARA ESTUDOS E PROJETO DE PEQUENAS CENTRIS HIDRELETRICAS*. Acesso em 30 de Maio de 2020, disponível em <https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2fpt%2fAreasdeAtuacao%2fgeracao%2fDiretrizes%20para%20Estudos%20e%20Projetos%20de%20Pequenas%20Centrais%20Hidrel%20c3%a9tricas&FolderCTID=0x01200076A76028F857CB4BBBF716688CEBCD4F>

- Embrasul. (Abril de 2018). *MANUAL DE INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO*.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2012). *Fontes de Energia*. Acesso em 03 de Junho de 2020, disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2019). *Matriz Energética e Elétrica*. Acesso em 29 de Junho de 2020, disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>
- Energética. (2020). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 22 de 04 de 2020, disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>
- Lage, E. S., & Processi, L. D. (Junho de 2013). Panorama do Setor de Energia Eólico. *Revista BNDS*.
- LIMA , A. G., & PASSAMANI , F. C. (2012). *AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, VITÓRIA.
- Lopez, R. A. (2013). *QUALIDADE NA ENERGIA ELÉTRICA* (2ª ed.). São PAULO: Artliber Editora Ltda.
- Lucchese, F., Martins, C., Anselmini, F., & Sperandio, M. (Abril de 2018). *ANÁLISE DO IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA NA REDE ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA*.
- MARIANI, L. (2018). *Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil*. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, CAMPINAS.
- martinho, e. (2009). *Distúrbios da Energia Elétrica* (3ª ed.). ERICA/SARAIVA.
- Martins, J. S., Couto, C., & Afonso, J. (2003). *QUALIDADE DE ENERGIA ELÉCTRICA*. Universidade do Minho.
- Mehl, E. L. (2000). *Qualidade da Energia Elétrica*.
- Paulillio, G., Teixeira, M., Bacca, I., & Filho , J. M. (2013). Variações de tensão de curta duração. *O setor elétrico* (88).
- Pereira, E. B., Martins , F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J., Ruther, R., . . . Souza, J. G. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. (2º).

- Pinho , J. T., & Goldino, M. A. (2014). *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro .
- Portal solar . (s.d.). *Tipos de Pannel Solar Fotovoltaico*. Acesso em 9 de Setembro de 2020, disponível em <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-pannel-solar-fotovoltaico.html> /
- Romani, M. (2014). . *Impactos da geração distribuída na estabilidade a grande perturbações em sistemas de geração e transmissão de energia elétrica* . Tese de mestrado . Universidade Federal do Paraná, Paraná.
- Sadiku, M., & Alexandre, C. K. (2013). *Fundamentos de Circuitos Elétricos* (5ª ed.). Bookman.
- SANCHES, D. (2003). *Interferência Eletromagnética - EMI* (1º ed.). Interciencia.
- Santos, L. A. (2017). *Principais Distúrbios que afetam a Rede Elétrica e o funcionamento de Equipamentos Eletro Eletrônicos*. Acesso em 8 de Dezembro de 2020, disponível em LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/principais-dist%C3%BArbios-que-afetam-rede-el%C3%A9trica-e-o-de/>
- Secretaria de Infraestrutura Governo da Bahia. (12 de 2018). Bahia: 88% de geração de energia elétrica no estado tem origem em fontes.
- SENAI. (2018). Atlas Solar Bahia 2018.
- Starosta, J. (Outubro de 2014). Qualidade da energia – Considerações sobre a necessária integração dos indicadores. *O Setor Elétrico*(105).
- Villavia, M. G., & Gazoli, J. R. (2020). *Energia Fotovoltaica: conceito e aplicação sistema isolados e conectados à rede* (2ª ed.). Saraiva.
- Zilles, R., Macêdo, W. N., Galhardo, M. A., & Oliveira, S. H. (2012). *SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA*. (O. d. Textos, Ed.)