



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO – PROGRAD
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDSON PAULO GOMES GUILHERME JUNIOR

**ANÁLISE DA ROBUSTEZ DO SISTEMA ELÉTRICO DO AMAPÁ
INTERLIGADO AO SIN FRENTE A PREVISÃO DE INSERÇÃO DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Macapá – AP

2018

Edson Paulo Gomes Guilherme Junior

**ANÁLISE DA ROBUSTEZ DO SISTEMA ELÉTRICO DO AMAPÁ
INTERLIGADO AO SIN FRENTE A PREVISÃO DE INSERÇÃO DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, como requisito para a conclusão do Curso de Engenharia Elétrica.

Orientador: Ms. Felipe Monteiro

Macapá – AP

2018

Dedico este trabalho aos meus avôs, Edson Vidal e Maria Durvalina, que sempre me apoiaram e deram todo o suporte necessário para que pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTO

Martha Medeiros diz que se leva um minuto para conhecer uma pessoa especial, uma hora para apreciá-la, um dia para amá-la e mais que uma vida inteira para esquece-la. E é para essas pessoas especiais que estiveram em toda a minha trajetória que gostaria de agradecer e dedicar este trabalho.

Minha Família, Edson Paulo, Leila Cristina, Luanne Talita, Alexandre Evangelista e todos que sempre estiveram em minha volta apoiando sempre que necessário, sendo um pilar para essa conquista.

Aos meus amigos de graduação pela companhia diária, meu amigo Tércio Gonçalves pela parceira dentro e fora da graduação desde o início dela.

Ao meu orientador Felipe Monteiro pela dedicação e parceria durante toda a realização desse trabalho.

Há muito dessa pessoas especiais que conhecemos durante nossas trajetórias que contribuíram em muito para o nosso agradecimento, mesmo que com uma palavra gentil em um momento de dúvida ou dificuldade por menor que ela fosse, a vocês também dedico este trabalho.

A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

Albert Einstein

RESUMO

O crescimento da população e o aumento do seu desenvolvimento tecnológico o crescimento da demanda de energia torna-se muito maior, dentro desta atual conjuntura a Geração Distribuída (GD) avança sobre a matriz energética. Porém esse grande aumento de inserção de GD na rede elétrica necessita de mais estudos de como a rede se comportará perante esta inserção, já que o aumento de potência gerada por essas tecnologias é algo recente. E é com este objetivo que este trabalho inicia abordando a Geração Distribuída, com o enfoque de como a rede elétrica do estado do Amapá reage a inserção de GD. Tais análises ocorrerão com o auxílio do software ANAREDE, é o mais utilizado no Brasil para análise de Sistemas Elétricos de Potência, será utilizado para estudo da tensão do sistema frente ao critério de contingência N-1, onde foi adotado a saída de uma linha, e com a inserção de GD. Com as realizações das simulações pode observar o comportamento da rede primeiramente sem inserir GD já operando em regime de contingência e depois com inserção de GD e em regime de contingência. Houve a necessidade da utilização de um novo banco de capacitores para manter a margem de tensão nos níveis adequados. Mas foi possível ter uma primeira noção de como se comporta a rede do estado frente a essa inserção, pois foi visível a melhora das violações de tensões a medida que é inserida GD na rede e que há necessidade de considerar outros elementos da rede para manter a margem de estabilidade.

Palavras-chaves: Geração Distribuída, Inserção de GD, Contingência, Amapá, ANAREDE

ABSTRACT

The growth of the population and the increase of its technological development the growth of the energy demand becomes much bigger, within this current conjuncture the Distributed Generation (DG) advances on the energy matrix. However, this large increase in DG insertion in the electric network requires further studies of how the network will behave in this insertion, since the increase in power generated by these technologies is a recent development. And it is with this objective that this work begins approaching the Distributed Generation, with the focus of how the electric network of the state of Amapá reacts the insertion of DG. These analyzes will be carried out with the help of the ANAREDE software, which is the most used in Brazil for the analysis of Electrical Power Systems, will be used to study the voltage of the system against the N-1 contingency criterion, and with the insertion of DG. With the realizations of the simulations, it is possible to observe the behavior of the network first without inserting DG already operating in a contingency regime and then with DG insertion and in a contingency regime. It was necessary to use a new capacitor bank to maintain the voltage range at the appropriate levels. But it was possible to have a first notion of how the state network behaves against this insertion, since the improvement of the voltage violations was visible as DG is inserted in the network and that there is a need to consider other elements of the network to maintain the margin of stability.

Keywords: Distributed Generation, DG Insertion, Contingency , Amapá, ANAREDE

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa Eletrogeográfico considerando o corredor de interligação Tucuruí-Macapá-Manaus.....	12
Figura 2: Exemplificação de Geração Convencional e Geração Distribuída.....	18
Figura 3: Elementos principais de um Motor de Combustão Interna.....	20
Figura 4: Funcionamento de uma Turbina a Gás.....	21
Figura 5: Ciclo de BRAYTON.....	23
Figura 6: Esquema de uma Microturbina.....	24
Figura 7: Esquema de uma Microturbina com Regenerador.....	25
Figura 8: Esquema de uma Célula à Combustível.....	27
Figura 9: Desenho Técnico de Aerogerador.....	24
Figura 10: Matriz de Produção de Energia Elétrica – Setembro/2018.....	28
Figura 11: Efeito fotovoltaico na junção p-n.....	30
Figura 12: Barras com maior números de violações.....	45
Figura13: Ramificação barra 8230.....	49
Figura 14: Banco de capacitor localizado na barra 8251 SANTAN.....	53
Figura 15: Banco de capacitor instalado na barra 8257 STA.RI-AP069.....	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Relação de barras com maior número de Violações.....	44
Tabela 2: Barras com violações para Carga Leve.....	46
Tabela 3: Barras com violações para Carga Pesada.....	46
Tabela 4: Valores de tensão em PU com inserção de GD - Carga Leve.....	48
Tabela 5: Valores de tensão em PU com inserção de GD - Carga Pesada.....	50
Tabela 6: Tensão com banco de capacitores - Carga Leve.....	54
Tabela 7: Tensão com Banco de Capacitores - Carga Pesada.....	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tensão para barra afetada 8257 (Contingência entre 8281/8257) - Carga Leve.....	48
Gráfico 2: Tensão para barra afetada 8230 (Contingência entre 8281/8257) - Carga Leve.....	49
Gráfico 3: Tensão para barra afetada 8230 Circ. 1 e 2 (Contingência entre 8272/8274) - Carga Leve.....	50
Gráfico 4: Tensão das barras afetada com a Contingência entre 8281/8257 - Carga Pesada.....	51
Gráfico 5: Tensão para barra afetada 8230 Circ. 1 e 2 (Contingência entre 8272/8274) - Carga Pesada.....	52
Gráfico 6: Tensão para barra afetada 8230 Circ. 1 e 2 (Contingência entre 8272/8274) - Carga Leve com BC.....	55
Gráfico 7: Tensão para barra afetada 8230 Circ. 1 e 2 (Contingência entre 8272/8274) - Carga Pesado com BC.....	56

SUMÁRIO

RESUMO.....	05
ABSTRACT	06
ÍNDICE DE FIGURAS	07
ÍNDICE DE TABELAS	08
ÍNDICE DE GRÁFICOS	09
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Contexto.....	12
1.2 Motivação	14
1.3 Objetivos.....	15
<i>1.3.1 Objetivo Geral</i>	<i>15</i>
<i>1.3.2 Objetivo Específico.....</i>	<i>15</i>
1.4 Justificativa	16
2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA - GD.....	17
2.1 Conceito	17
2.2 Principais Tecnologias de Geração Distribuída.....	19
<i>2.2.1 Motores de Combustão Interna.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.2 Turbina a Gás.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3 Microturbina a Gás</i>	<i>23</i>
<i>2.2.4 Célula a Combustível</i>	<i>24</i>
<i>2.2.5 Aerogeradores.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.6 Gerador fotovoltaico</i>	<i>29</i>
2.3 Regulamentação e Incentivo para Micro e Minigeração Distribuída.....	30
<i>2.3.1 Histórico da Regulamentação</i>	<i>30</i>

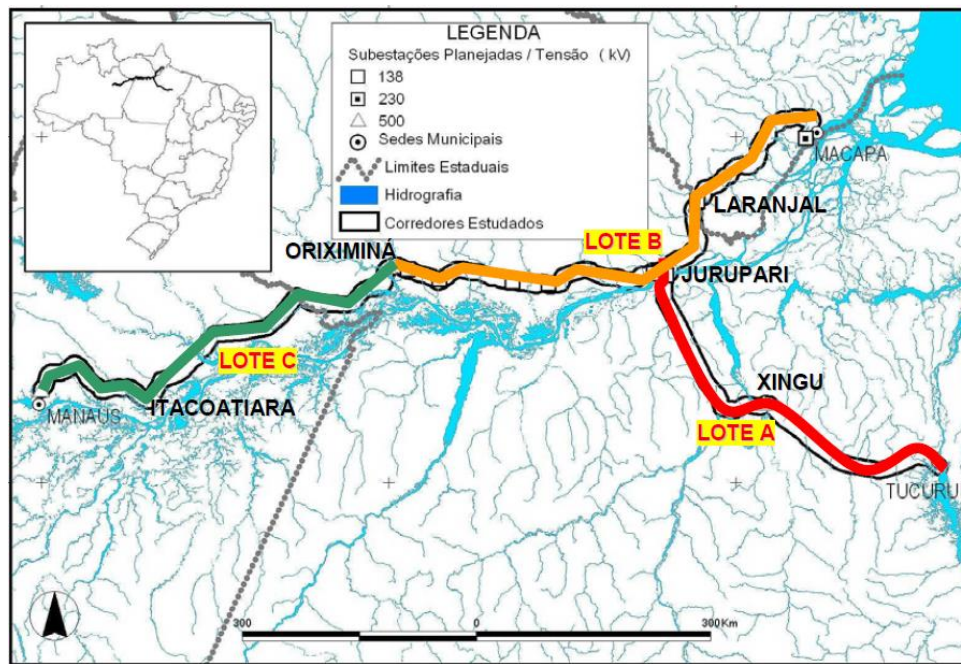
2.3.2	<i>Compensação de Energia Elétrica</i>	31
2.3.3	<i>Impostos Federais e Estaduais</i>	33
3	EFEITOS E REQUISITOS DA CONEXÃO DE GD EM BAIXA TENSÃO	35
3.1	Contexto	35
3.2	Efeitos e Requisitos da Conexão de GD em Baixa Tensão	36
3.2.1	<i>Interrupções na Geração Principal</i>	36
3.2.2	<i>Desequilíbrio de Tensão</i>	36
3.2.3	<i>Distorções Harmônicas</i>	37
3.2.4	<i>Afundamentos de Tensão</i>	38
3.3	Requisitos Técnicos para Conexão GD em Baixa Tensão	38
3.3.1	<i>Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional</i>	39
4	MÉTODOS E RESULTADOS	41
4.1	Introdução	41
4.2	Análise de Contingência	41
4.3	Análise de Sensibilidade	42
4.4	Dados Utilizados	43
4.5	Caso Base	44
4.6	Caso com GD para Carga Leve e Pesada	47
4.7	Caso com GD e Banco de Capacitores para Carga Leve e Pesada	53
5	CONCLUSÃO	57
6	REFERÊNCIA	59
7	ANEXO A	67
8	ANEXO B	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Um dos principais projetos estratégicos necessários para o desenvolvimento do Estado do Amapá, iniciou em 1º de março de 2016, esse projeto é o de interligação do Sistema Elétrico do estado do Amapá ao Sistema Interligado Nacional – SIN, (figura 1). Onde foi consolidado em 13 de setembro de 2016, com a interligação de 15 dos 16 municípios ao SIN, apenas o município de Oiapoque localizado no extremo norte do estado do Amapá, permanece com o fornecimento energético através de óleo diesel.

Figura 1: Mapa Eletrogeográfico considerando o corredor de interligação Tucuruí-Macapá-Manaus



Fonte: ANEEL (2008)

A interligação Tucuruí-Macapá-Manaus constitui-se num projeto formulado dentro do contexto de desenvolvimento regional, uma vez que está atendendo a três estados brasileiros cujo insumo energia elétrica era um fator inibidor de desenvolvimento, possibilitando um grande impulso à dinâmica social e econômica da Amazônia (DOMINGUES, 2003).

O nível de segurança de um SEP é definido a partir da sua capacidade de suportar os impactos decorrentes de possíveis contingências, sem que haja violação de limites operativos ou interrupção dos serviços aos consumidores. Esta capacidade pode ser determinada a partir do grau de perturbação que a contingência causaria para diversos cenários de geração e

intercâmbio. A partir deste resultado, o analista (na operação ou no planejamento) pode realizar uma série de medidas para tornar o SEP capaz de suportar a contingência testada (GUHLE, 2017).

A análise de segurança de um SEP é naturalmente dividida em duas fases: a análise de segurança estática e a análise de segurança dinâmica. Na análise de segurança estática a principal preocupação é verificar se dada a ocorrência de uma perturbação e a sua respectiva mitigação, o sistema vai ou não possuir um ponto de operação onde todos os seus limites de tensão, carregamento e frequência são atendidos. Na análise de segurança dinâmica, a preocupação é se o sistema é capaz de suportar a ocorrência de uma perturbação, ou seja, se o SEP é capaz de assimilar a energia proveniente da mesma e atingir um novo ponto de operação normal após a sua eliminação (THEODORO, 2010).

Todo sistema deve estar preparado para a contingência de qualquer equipamento, sendo de transmissão ou geração, sem que ocorram danos e prejudique o fornecimento de energia elétrica. A lista de contingências em um Sistema Elétrico de Potência – SEP, inclui a retirada de linhas de transmissão, geradores e transformadores, podendo existir ocorrências simples com apenas uma contingência ou múltipla (SANTOS *et al*, 2013). Porém, apenas algumas delas são severas o suficiente para causar danos relevantes (colapso de tensão, por exemplos) ao sistema (MATARUCCO, 2010).

As análises de contingências são importantes para avaliar o sistema em um ponto de operação e para saber se é possível minimizar o impacto das contingências sobre os outros equipamentos. Os sistemas elétricos de potência normalmente trabalham com folga, para que o caso ocorra uma contingência se evite falhas em cadeia, provocando o desabastecimento de energia elétrica (BATISTA, 2008)

Após décadas de consolidação das usinas centralizadas de geração de energia, foi observada, a aparição da geração distribuída como alternativa renovável para substituir ou complementar a produção de energia mundial devido, principalmente, às pressões ambientais relacionadas às emissões dos gases poluentes na atmosfera, originárias, em sua maioria, de grandes usinas geradoras e dos grandes consumidores industriais (NARUTO, 2017).

A geração distribuída associada à energia renovável foi uma maneira encontrada pelos investidores, empresários e governantes para minimizar a pressão ambientalista e atender o elevado consumo energético mundial sempre crescente. Dessa forma, o principal fator impulsionador da geração distribuída foi a possibilidade de gerar energia elétrica através de

fontes renováveis como a eólica e a solar e, adicionalmente, reaproximar a geração do seu consumidor final, principalmente nas áreas industrial e comercial, onde estão localizados os maiores volumes de carga e produção de gases tóxicos ao meio ambiente (NARUTO, 2017). Concessionárias de energia podem alcançar uma maior confiabilidade empregando Geração Distribuída – GD, pois podem:

- **Postergar Investimentos:** pois a conexão de GD em pontos definidos através de estudos técnicos, possibilita um alívio do carregamento do sistema, permitindo à concessionária postergar investimentos para compra de novos equipamentos e construção de subestações e alimentadores;
- **Reduzir perdas:** quando a energia é transmitida através dos sistemas de transmissão e distribuição, ocorrem perdas devido à impedância de alimentadores e transformadores, essas perdas podem ser significativas sob condição de sobrecarga, a concessionária é forçada a repassar o custo das perdas para todos os consumidores na forma de aumento de tarifa. Com a inclusão da GD, as perdas na distribuição podem ser reduzidas. Obviamente a redução das perdas se deve à redução do fluxo de potência resultante da introdução da GD;
- **Aumentam a qualidade da energia e assegura o fornecimento sem interrupções:** a GD pode contribuir para a melhoria na qualidade da energia em áreas congestionadas, no final de linha de trechos longos e em locais onde uma alta qualidade de energia é exigida; e pode também prover capacidade de geração local sob o controle de clientes que demandam serviço ininterrupto.

1.2 Motivação

Com a inserção de geração distribuída na rede elétrica, têm-se múltiplos pontos de geração de energia. Esta geração dispersa, não centralizada, gera impactos positivos e negativos no sistema elétrico (DEMATTE, 2017)

Apesar dos atrativos que fomentam grandes esforços mundiais, os estudos e a aplicação de diferentes tecnologias à geração distribuída se encontram em fase de desenvolvimento. Neste contexto, embora haja um constante interesse em novas fontes alternativas de energia elétrica, tendo em vista a crescente preocupação com a confiabilidade do sistema e com a sustentabilidade ambiental, para que os geradores distribuídos possam de fato beneficiar a

operação das redes elétricas, seus impactos técnicos devem ser cuidadosamente estudados, sobretudo em sistemas de distribuição (PESSOA, 2017).

Um artigo da comunidade europeia publicado na IEEE Power & Energy Magazine realizado por Luis (Nando) Ochoa em parceria com cientistas da União Europeia, reconheceu que as penetrações de GD não devem ser estudadas apenas como um problema da rede elétrica de distribuição. De fato, altas penetrações de GD pode expor todo o sistema a sérios desafios: de adequação e segurança do sistema, para garantir quantidades adequadas de reservas, para o risco de perder uma quantidade significativa de GD devido à sensível perda de alimentação. Apesar das melhorias significativas alcançadas até agora, a discussão sobre as necessidades de uma rede inteligente ainda está aberta.

1.3 Objetivos

Dado que a GD já é uma realidade em diversos países e deve ser uma realidade muito próxima do sistema elétrico brasileiro, torna-se necessário um estudo para um levantamento dos impactos que a inserção destas novas unidades geradoras podem apresentar sobre o sistema elétrico atual do estado do Amapá. Definiu-se portanto, neste trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar os principais efeitos da inserção da GD no fluxo de carga da rede elétrica do Estado do Amapá durante a ocorrência de uma contingência N-1

1.3.2 Objetivos Específicos

- Análise do comportamento da rede elétrica do estado do Amapá com a inserção de 5% e 10% de GD;
- Verificação da redução de perdas após a inserção de GD no sistema elétrico do estado;
- Verificação da estabilidade estática de $N_{linha} - 1$, com 5% e 10% de GD.

1.3 Justificativa

Com a interligação de 15 dos 16 municípios, exceto município de Oiapoque, que compõem a rede elétrica do Estado do Amapá interligada ao SIN, é essencial a busca do comportamento local da rede elétrica frente ao critério N-1 de perda simples, definidos nos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema – ONS, e a necessidade de expor a uma análise do comportamento do sistema do estado do Amapá na presença das tecnologias GD.

A partir do momento em que estas pequenas unidades geradoras passam a representar uma parcela significativa da energia gerada em determinada região, torna-se necessário, o estudo das características desta geração, uma vez que estas diferem da geração centralizada que é tradicionalmente oferecida pelas concessionárias. Além, de recentemente ter sido reconhecido que as questões relacionadas com altas penetrações de GD não podem ser consideradas apenas como um problema de rede de distribuição.

Então, este trabalho visa apontar as principais características destas novas unidades geradoras, além de investigar os principais efeitos da sua inserção na rede de distribuição do estado do Amapá. Pois, a GD se apresenta como uma possível e bem próxima, alternativa ao atual modelo de planejamento da expansão do sistema energético brasileiro, podendo ser uma alternativa de uso mais eficiente de recursos energéticos, econômico-financeiro e ambientais.

2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – GD

2.1 Conceito

Em seu trabalho Dias (2005), citou que o termo geração distribuída pode parecer novo, mas sua concepção não é tão recente assim. Thomas A. Edison concebeu e instalou o primeiro sistema de geração de energia em Nova York no ano de 1882. Na rua chamada *Pearl Street* ele construiu a primeira central de geração que fornecia energia para lâmpadas incandescente de cerca de 59 clientes em uma área de aproximadamente 1 km². Essencialmente, este é o conceito mais simples de Geração Distribuída (GD), divergindo normalmente no que diz respeito ao ponto de conexão do gerador na rede. Nos níveis máximos de potência instalada e na subclassificação dos empreendimentos.

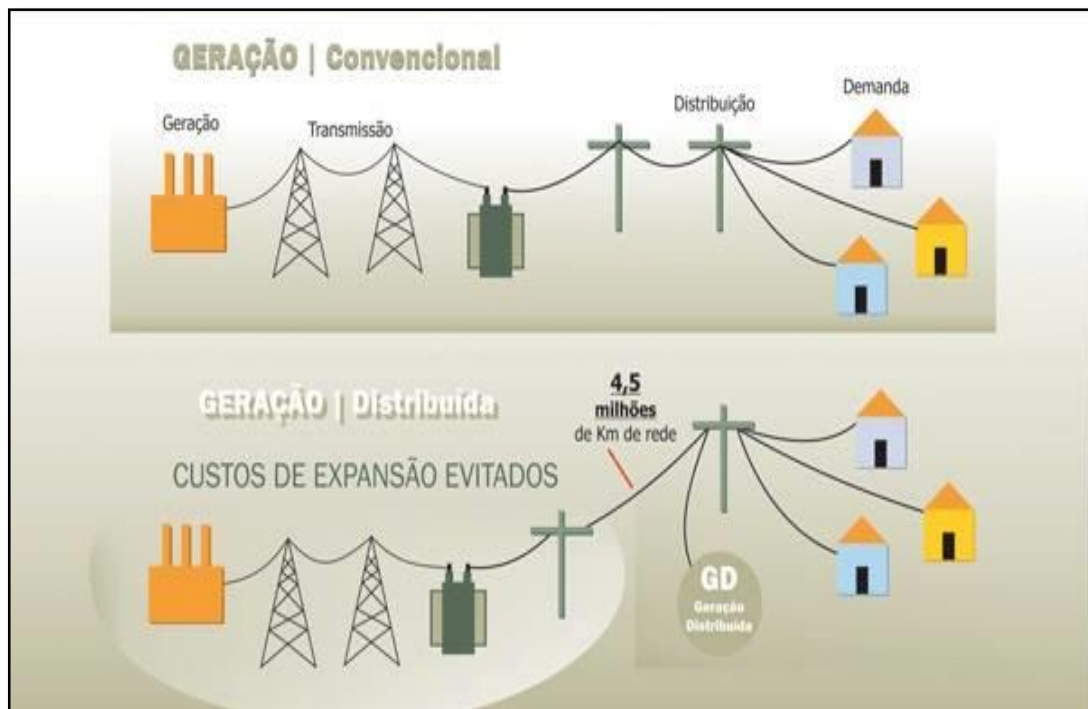
Não há um consenso na definição de GD, divergindo normalmente no que diz respeito ao ponto de conexão do gerador na rede, nos níveis máximos de potência instalada e na subclassificação dos empreendimentos (DRIEMEIER, 2009). Mas segundo a ANEEL (2016), a GD é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica.

No Brasil, GD foi definida de forma oficial através do Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004, e foi definida da seguinte forma:

Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

A GD é a denominação genérica de um tipo de geração elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional (figura 2), contribuindo assim para aumentar a distribuição geográfica de geração de energia elétrica em determinada região (COGEN, 2013).

Figura 2: Exemplificação de Geração Convencional e Geração Distribuída



Fonte: Brasil (2016)

A Resolução Normativa N° 482, de 17 de Abril de 2012, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica:

- I. Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, atualização dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.);
- II. Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW para fonte hídrica e npara as demais fontes e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, atualização dada pela REN ANEEL 786, de 17.10.2017).

2.2 Principais Tecnologias de Geração Distribuída

2.2.1 Motores de Combustão Interna

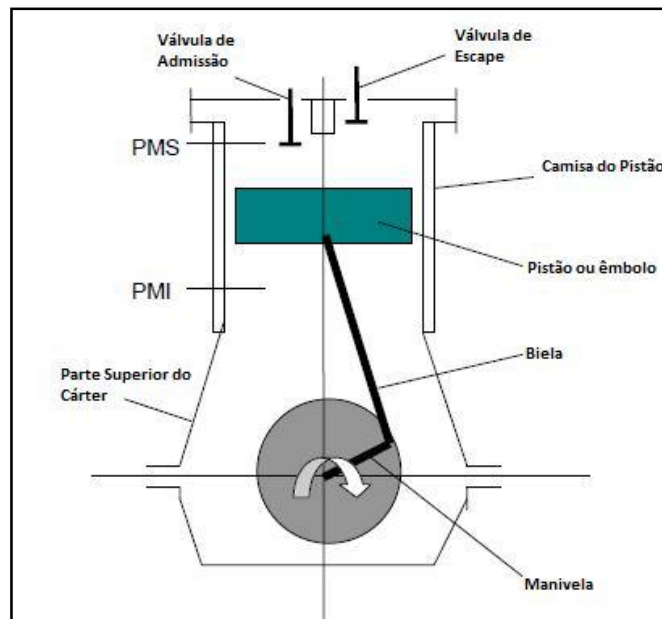
Os primeiros relatos sobre o surgimento dos motores afirmam que os motores de combustão tiveram início com a invenção das armas de fogo, pois a energia térmica da explosão transformava-se em trabalho. Na realidade, as primeiras tentativas de desenvolvimento de um motor ocorreram na segunda metade do século XVII, com o uso da pólvora para movimentar um pistão dentro de um cilindro (TILLMANN, 2013). De acordo com Bimestre (2012), os motores de combustão interna (MCI) são máquinas térmicas cujo objetivo é transformar a energia proveniente da combustão em energia mecânica.

Brunetti (2012), classifica os MCI quanto à forma de se obter trabalho mecânico:

- Motores alternativos: quando o trabalho é obtido pelo movimento de vaivém de um pistão, transformando em rotação contínua por um sistema biela-manivela;
- Motores rotativos: quando o trabalho é obtido diretamente por um movimento de rotação. São exemplos: turbina a gás e o motor Wankel;
- Motores de impulso: quando o trabalho é obtido pela força de reação dos gases expelidos em alta velocidade pelo motor. Neste caso são exemplos: motores a jato e foguetes

Os motores têm componentes rotativos e estáticos. O elemento principal de um motor de combustão interna é seu conjunto de pistões, unidos mediante mecanismo de biela e manivela ao sistema exterior de transmissão do trabalho mecânico por meio de um eixo. Os pistões se deslocam em seu movimento alternado associados do pistão entre o ponto mais elevado alcançado pela superfície do pistão, o ponto morto superior (PMS) e o ponto mais baixo, o ponto morto inferior (PMI), (figura 3) (TUNA, 2011).

Figura 3: Elementos principais de um Motor de Combustão Interna



Fonte: TUNA (2011)

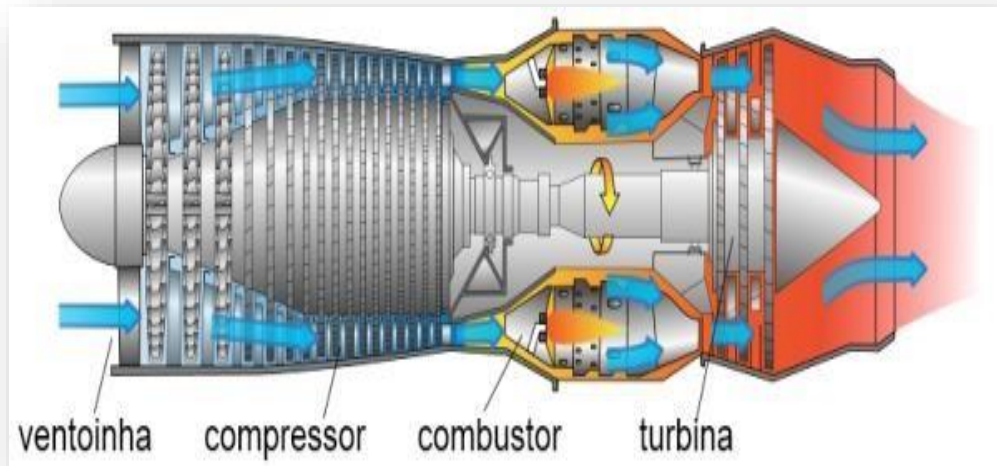
O MCI apresenta como vantagens o arranque rápido, trabalho em rotações relativamente baixas, fácil manutenção e pequeno tamanho. Como desvantagem apresenta limitação de potência, elevado número de peças, baixa eficiência, não utilização de combustíveis sólidos e peso elevado para potência.

2.2.2 Turbinas a gás

As turbinas a gás (TG) são equipamentos pertencentes ao grupo de motores de combustão interna e têm faixa de operação que varia desde pequenas potências como 100kW até grandes potências como 180 MW, concorrendo assim tanto com os motores de combustão interna (DIESEL E OTTO) quanto com as instalações a vapor (MENESES, 2011). Segundo Brunetti (2012), a configuração mais simples de uma turbina a gás é obtida pelo agrupamento de três subsistemas (figura 4).

- Um compressor que comprime ar numa câmara de combustão;
- Uma câmara de combustão onde o combustível queima com o oxigênio do ar;
- Uma turbina, propriamente dita, que gira, acionada pelos gases de combustão.

Figura 4: Funcionamento de uma Turbina a Gás

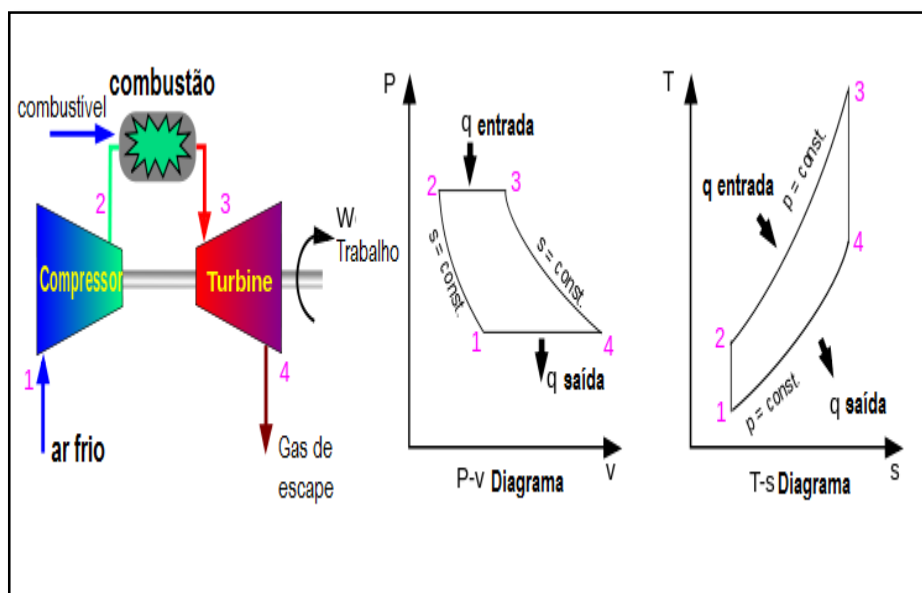


Fonte: JORDÃO (2012)

O ar atmosférico é aspirado do meio ambiente e comprimido pelo compressor, sendo depois injetado nas câmaras de combustão, onde é misturado ao combustível (muito comumente, e até preferencialmente, gás natural). Esta mistura é queimada, formando os gases de combustão (principalmente gás carbônico e vapor de água) com alta energia para impulsionar a turbina, e depois os gases são liberados para atmosfera (GOMES, 2010).

Uma turbina a gás produz energia a partir do resultado das seguintes etapas contínuas do ciclo BRAYTON (figura 5):

Figura 5: Ciclo de BRAYTON



Fonte: Adaptada de OTILIO (2014)

1. Compressão: o ar é admitido e comprimido em um compressor onde as energias de pressão e temperatura do fluido aumentam;
2. Combustão: O ar comprimido flui para as câmaras de combustão, onde o combustível, a alta pressão é injetado e queimado a uma pressão aproximadamente constante. A ignição da mistura ar/combustível ocorre durante a partida, através ignitores;
3. Expansão: Gases em alta temperatura e pressão são expandidos a uma alta velocidade através dos estágios da turbina geradora de gás, que converte parte da energia dos gases em potência no eixo para acionar o compressor de ar (aproximadamente 2/3 da energia gerada com a queima);
4. Exaustão: Na aplicação industrial, os gases são direcionados para uma turbina de reação ou potência onde a energia residual (aproximadamente 1/3) da energia gerada, dos gases é convertida em potência no eixo para acionar um componente como um compressor de gás, gerador elétrico ou uma bomba. Finalmente os gases fluem para o duto de exaustão, onde sua energia remanescente pode ainda ser aproveitada em um sistema de recuperação de calor (aquecimento de água, geração de vapor, aquecimento do ar de combustão e etc.)

A turbina a gás é uma máquina térmica na qual se aproveita diretamente a energia liberada na combustão, armazenada nos gases produzidos que se expandem, de forma parecida que o vapor nas turbinas a vapor, sobre as palhetas móveis de um rotor.

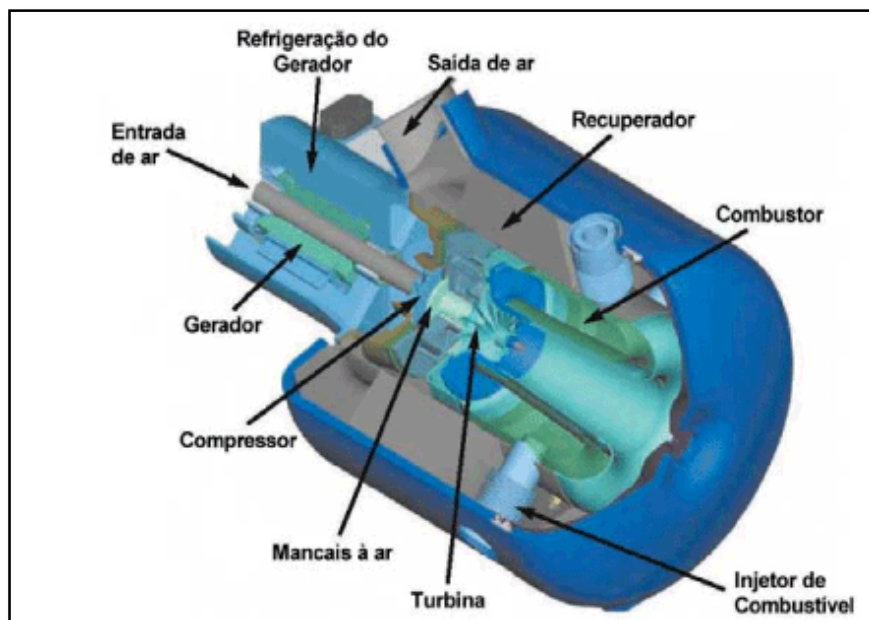
Podendo ser utilizada como uma turbomáquina (máquinas rotativas) as TG possuem grande vantagem comparada com motores de combustão interna uma vez que nelas há ausência de movimentos alternativos e de atrito entre superfícies metálicas (pistão/camisa do cilindro). Há também um baixo consumo de óleo lubrificante (pois não entra em contato direto com as partes de temperatura mais elevada, nem com os produtos de combustão). Além disso, observamos outra vantagem: alta confiabilidade deste equipamento (MENESES, 2011).

Tem como desvantagens possuem rendimento baixo, comparadas com motores de pistão de mesmo tamanho, são caras, são de difícil projeto, operam a altas temperaturas e tende a consumir mais combustível quando estão em marcha lenta e, com carga normal, a geração tem melhor eficiência

2.2.3 Microturbinas a Gás

São turbinas a gás com capacidade de geração de potência abaixo de 200kW e devido à baixa vazão mássica requerida (apenas algumas centenas de g/s de ar) por possuírem turbomáquinas radiais (compensadores e turbinas), (figura 6), possuem baixa razão de pressão, até 6 bar (JANSOHN, 2013). Estes tipos de turbinas se caracterizam por serem bastante compactas e por permitirem a geração de energia próxima as fontes consumidoras, mesmo em pequenos estabelecimentos (PINTO, 2017).

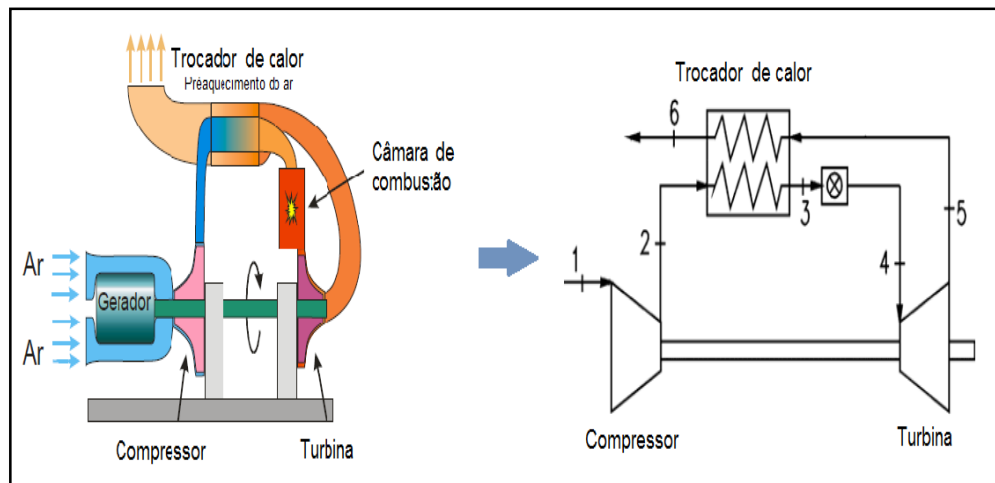
Figura 6: Esquema de uma Microturbina



Fonte: BONA; RUPPERT FILHO (2012)

As microturbinas têm como princípio de funcionamento o ciclo Brayton (se não está equipada com regenerador) ou ciclo Brayton Regenerativo que corresponde às turbinas a gás equipada com regenerador (figura 7). No ciclo Brayton, o compressor (centrífugo) comprime o ar que passa por um regenerador para o pré-aquecimento antes de ser enviado à câmara de combustão; na câmara de combustão forma-se uma mistura de ar comprimido e combustível que alimenta um processo de combustão contínua. Os gases quentes provenientes do combustor se expandem na turbina, transformando a energia térmica em energia mecânica de eixo

Figura 7: Esquema de uma Microturbina com Regenerador



Fonte: SAKATSUME (2008)

De acordo com Carvalho *et al.* (2006), as principais vantagens das microturbinas podem se citar: Alta durabilidade; Projeto simples, permitindo redução de custos e grandes volumes de fabricação; trabalham com baixas pressões; São compactas, fáceis de instalar e de reparar; Eficiência razoável (30-33%); baixas emissões; permitem cogeração e modularidade

2.2.4 Células a Combustível

Historicamente, desde sua descoberta em 1839, por Sir William Grover, a tecnologia das Células a combustível evoluiu sensivelmente e tem sido utilizada, desde 1960, em voos espaciais tribulados dos programas Apolo e Gemini como fonte de energia e água potável para as necessidades de bordo (REIS, 2015).

Contrariamente ao que ocorre nas máquinas e motores convencionais, as células a combustível convertem a energia química do combustível diretamente em energia elétrica sem que se processe a combustão. Em consequência, as células a combustível são capazes de produzir energia elétrica com maior eficiência. Mais silenciosamente e sem poluição (REIS, 2015).

Segundo Perles (2008), a célula a combustível é constituída por dois eletrodos (meia-células) separados por um eletrólito e conectados eletricamente a um circuito externo, por onde flui a corrente elétrica (figura 8). A reação que ocorre nas superfícies dos eletrodos, em cada

meia célula, pode variar de acordo com o tipo de célula a combustível estudada, porém, nas células de membrana polimérica (PEM) as reações redox são as seguintes:

- *Reação Anódica:*



- *Reação catódica:*

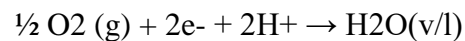
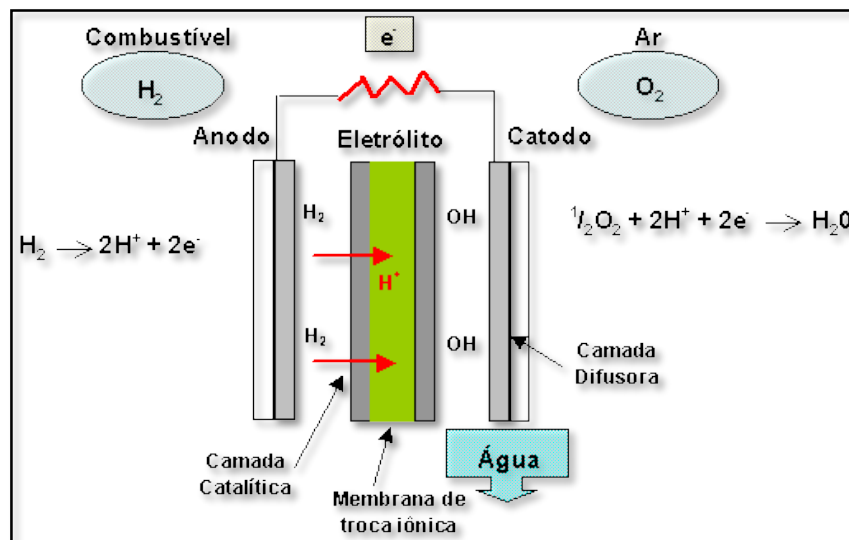


Figura 8: Esquema de uma Célula à Combustível



Fonte: CLÁUDIO (2014)

Embora seja um tema em evidência na atualidade, a célula a combustível foi inventada há mais de 150 anos, mais precisamente em 1839, pelo advogado e cientista Willian Robert Grove. Seu invento consistia de uma célula alimentada com H_2 e O_2 , utilizando ácido sulfúrico diluído como eletrólito, num princípio semelhante ao utilizado nas atuais Células de Ácido Fosfórico (PAFC). Grove nomeou seu invento de *gas battery* (bateria a gás), sendo o termo *fuel cell* ou “célula a combustível” introduzido 50 anos depois pelos químicos Ludwig Mond e Charles Langer (PERLES, 2008).

Há diferentes tipos de FCs, sendo classificadas, principalmente, quanto ao tipo de eletrólito e temperatura de operação. Dentre os tipos de FCs, a célula de membrana eletrólito

polimérica (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) (PEMFC) destaca-se por operar em baixa e média temperatura (80 – 130 °C), por apresentar elevada densidade de potência e alta estabilidade, ser compacta, leve, e de operação simples. O principal componente da PEMFC é o conjunto eletrodo-membrana-eletrodo (MEA – *Membrane Electode Assembly*), composto pela camada catalítica anódica, eletrólito polimérico, e camada catalítica. Justaposta aos eletrodos, na interface oposta ao eletrólito polimérico, tem-se a camada de difusão de gasosa (GDL – *Gas Diffusion Layer*) responsável pela dispersão homogênea do combustível e do oxigênio em toda a interface com o eletrodo. Os eletrodos ou a camada eletrocatalítica (GDE – *Gas Diffusion Electode*) contém carbono ativo responsável pela saída dos elétrons em direção ao circuito externo, e entrada em direção a interface eletrodo-eletrólito polimérico (MARCZYNSKI *et al*, 2014).

Os custos relacionados com a produção também baixam, pois o rendimento das células de combustível é substancialmente mais elevado. A grande barreira que atualmente há a vencer tem a ver com o custo ainda elevado desta tecnologia, resultando da investigação, do preço dos materiais e dos processos de fabricação, o que tem restringido o uso da tecnologia das células de combustível.

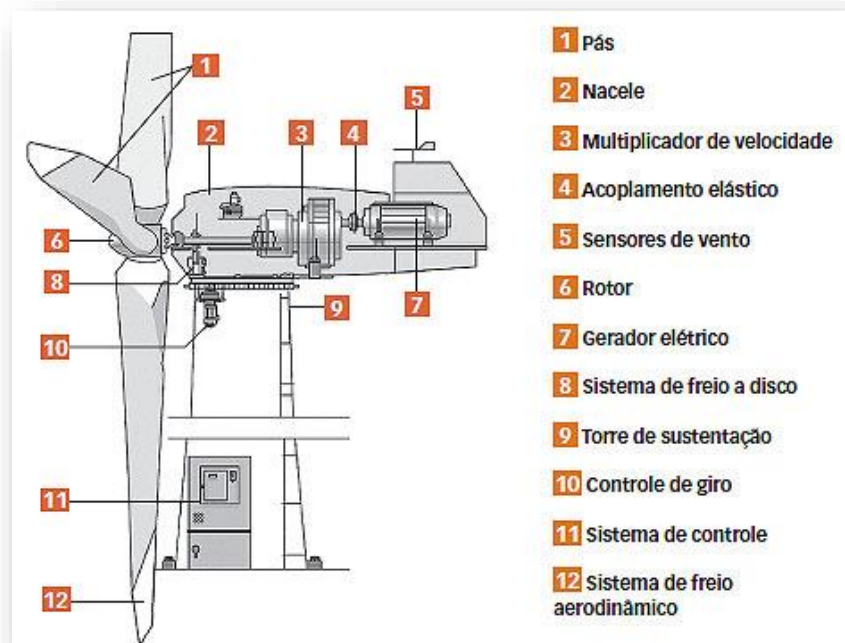
2.2.5 Aerogeradores

Uma das fontes de energia renováveis que vem se destacando nos últimos anos é a eólica. A energia eólica é produzida através da energia cinética criada pela movimentação das massas de ar (vento). A sua captação é realizada pela transformação dessa energia cinética em energia elétrica, através dos movimentos de rotação de turbinas eólicas. Além disso, as fontes de energia eólica podem funcionar durante o ano todo, tanto pelo dia quanto pela (ANEEL, 2005)

As turbinas eólicas são máquinas que fazem a conversão de energia cinética do vento em energia mecânica e posteriormente de energia mecânica para energia elétrica, utilizando para isso um conjunto de equipamentos, tais como: rotor, eixo e gerador. Podemos classificar as turbinas eólicas seguinte forma: por meio da sua quantidade de pás, pela sua rotação, pela sua velocidade de ponta, pela sua potência nominal e em relação a sua altura e diâmetro (GASCH e TWELE, 2002).

As principais partes que compõem uma turbina eólica são: o Rotor (Faz a transformação da energia cinética do vento em energia mecânica de rotação), o Cubo (Peça que faz o acoplamento das pás ao eixo principal de rotação), o Sistema de Transmissão (Faz a transmissão do torque e da rotação para o gerador elétrico), o Sistema de giro (Faz a rotação da Nacele em 360°, mantendo o rotor alinhado com a direção do vento), a Torre (Tem a função de dar suporte para o rotor e para a Nacele), o Gerador Elétrico (Faz a conversão do torque e da rotação em energia elétrica), os Sensores (Tem a função de medir a velocidade e a direção do vento, auxiliando o sistema de controle), a Nacele (Responsável por abrigar os principais componentes do sistema eólico) e o Transformador (Responsável pelo acoplamento elétrico entre a turbina eólica e a rede elétrica) (ENERGY.GOV, 2015).

Figura 9: Desenho Técnico de Aerogerador



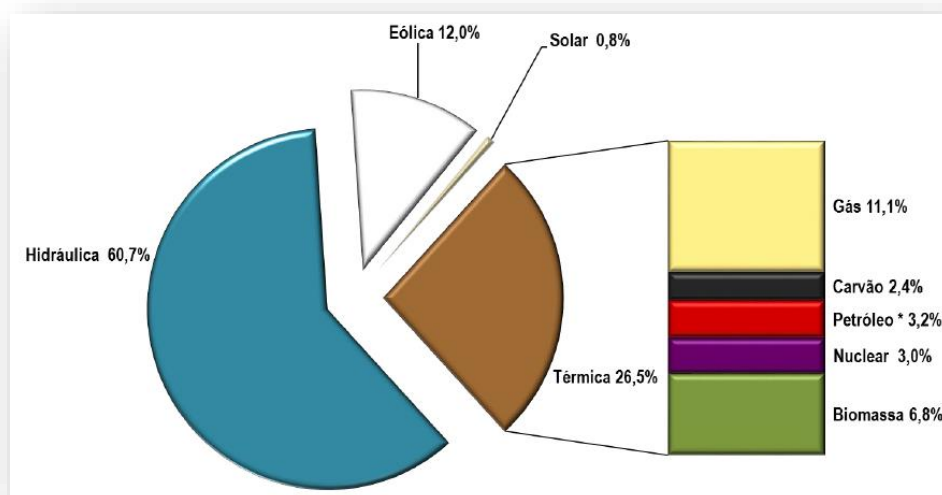
Fonte: STAVISS (2011)

As turbinas comerciais utilizadas para geração de energia elétrica são tipicamente as turbinas de sustentação de eixo horizontal. Os rotores de eixo horizontal precisam se manter perpendiculares à direção do vento para capturarem o máximo de energia (CUSTÓDIO, 2013).

Dependendo da posição do rotor em relação à torre, as turbinas eólicas de eixo horizontal podem ser classificadas em upwind e downwind. A diferença entre os modelos de turbinas downwind e upwind está na forma de incidência do vento na área de varredura do rotor. Nas turbinas downwind o vento incide na parte de trás da turbina, enquanto nas turbinas upwind o vento incide na parte da frente da turbina. (BURTON e SHARPE, 2001). Os modelos de turbinas downwind, devido aos problemas de ruídos causados pelas fortes turbulências entre o vento e a torre, não são muito utilizados próximos de áreas urbanas. As configurações de turbinas mais utilizadas nos parques eólicos modernos são do tipo eixo horizontal, upwind, com um rotor e três pás (CASTRO, 2003).

Segundo Ministério de Minas e Energia (2018) o Brasil possui uma capacidade de 13.744 MW. Isso significa que a projeção da produção de energia eólica contribuirá significativamente para o aumento da matriz energética nacional. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2018), o país, tornou-se o 6º país no ranking mundial de expansão de energia eólica. Conta com 360 usinas eólicas instaladas e é o 8º em capacidade mundial instalada. Até o mês de setembro de 2018 a energia eólica já representa 12% da matriz energética brasileira (figura 10).

Figura 10: Matriz de Produção de Energia Elétrica – Setembro/2018



Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2018)

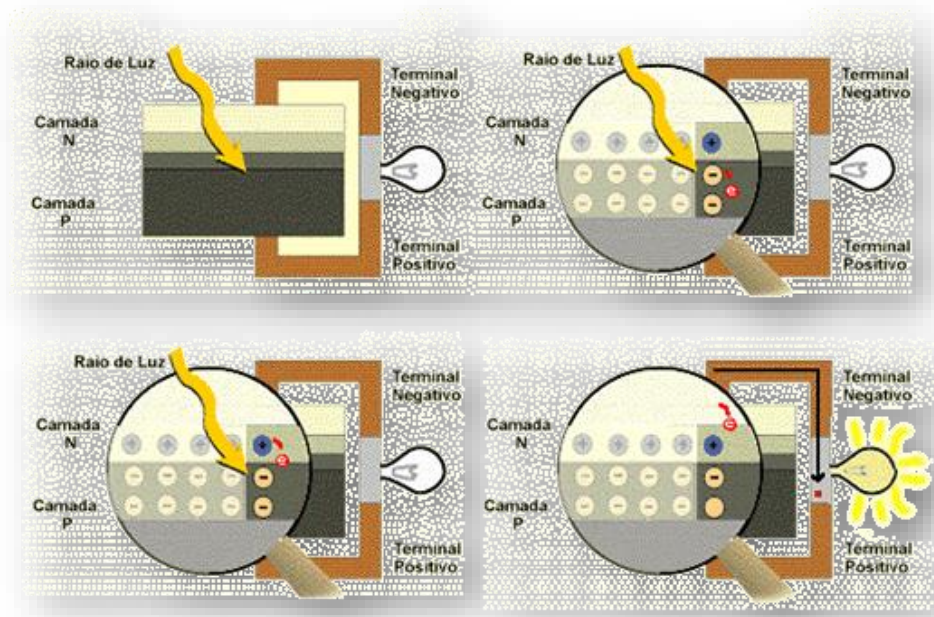
2.2.6 Gerador Fotovoltaico

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, sendo uma das tecnologias renováveis que vem sendo cada vez mais utilizada nos países desenvolvidos (RUTHER, 2004). A unidade fundamental desse processo de conversão é a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor. (SANTOS, 2016).

Quando a luz solar atinge determinados materiais, usualmente semicondutores como sílico, promove a excitação dos elétrons nas células solares ou fotovoltaicas. Assim, quando maior for a incidência de radiação solar nos módulos ou painéis, maior será a produção (ANEEL, 2005). Produzir eletricidade através da energia solar não é exatamente uma novidade. Em 1839, Edmond Becquerel, um físico francês, observou que duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido produziam eletricidade quando expostas à luz solar. A esse fenômeno deu-se o nome de efeito fotovoltaico (ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAÍCA, 2015)

O silício em seu estado puro não apresenta boas propriedades de condução, sendo necessário acrescentar outros materiais que favorecem a obtenção de energia. Esse processo é denominado dopagem, que adiciona cristais de fosforo (tipo n) ou boro (tipo p) junto ao silício. Quando o silício é dopado com fósforo, forma-se um material com elétrons de ligações fracas aos átomos de origem que se desprendem rapidamente na presença de pouca energia. Já quando o silício é dopado com o boro, ocorre uma insuficiência de elétrons que levam a formação de espaços ocupados por elétrons de camadas próximas. Assim, quando se juntam os dois materiais em um único, ocorre a junção p-n. Entre a junção p-n forma-se uma espécie de campo elétrico que ao ser exposto a fótons (provenientes de espectro de luz) com energia maior que a sua, promovem a movimentação dos elétrons formando um campo elétrico diferente de zero. Este campo, por sua vez, acelera as cargas que geram corrente elétrica entre a junção p-n. Este processo é denominado efeito fotovoltaico. As células são agrupadas em módulos, com vidro transparente na superfície superior e um material à prova de intempéries nas costas e muitas vezes possuem um quadro circundante. Os módulos são então combinados para formar cadeias, matrizes e sistemas (CEREUS, 2017).

Figura 11: Efeito fotovoltaico na junção p-n



Fonte: CRESSES (2008)

O Brasil é um país privilegiado no contexto da energia fotovoltaica já que apresenta altos níveis de radiação solar. A irradiação média anual varia entre 1200 e 2400 KWh/m² /ano, enquanto na Alemanha fica entre 900 e 1250 KWh/m² /ano. Além disso, temos uma das maiores reservas de quartzo de qualidade e somos o quarto maior produtor de silício grau metalúrgico do mundo, que é a primeira etapa para produção de silício grau solar. Apesar dessas características, no Brasil, a capacidade atual em geração de energia por sistemas fotovoltaicos é estimada em 2.078 MW, sendo que 80% aproximadamente desses sistemas instalados correspondem ao atendimento de áreas isoladas onde a rede de distribuição não consegue alcançar (REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA, 2014)

2.3 Regulamentação e Incentivos para Micro e Minigeração Distribuída

2.3.1 Histórico da Regulamentação

Em 2004, ocorre um grande avanço quando a GD é mencionada na Lei 10.848/04 como uma das possíveis fontes de geração de energia.

A lei 10.848/04 dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis n.º 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.

No Brasil, a geração distribuída foi definida de forma oficial através do Decreto n.º 5.163, de 30 de Julho de 2004, publicado pela ANEEL, e foi definida da seguinte forma:

“Decreto N.º 5.163 de 30 de Julho de 2004 regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências”. No exercício das suas competências legais, a Agência promoveu a Consulta Pública n.º 15/2010 (de 10/09 a 9/11/2010) e a Audiência Pública n.º 42/2011 (de 11/08 a 14/10/2011), as quais foram instauradas com o objetivo de debater os dispositivos legais que tratam da conexão de geração distribuída de pequeno porte na rede de distribuição.

De acordo com ANEEL (2016), o resultado desse processo de consulta e participação pública na regulamentação do setor elétrico, a Resolução Normativa – REN n.º 482, de 17/04/2012, estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente.

Dessa forma, com o objetivo de reduzir os custos e o tempo para a conexão da micro e minigeração, compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (Resolução Normativa n.º 414/2010), aumentar o público alvo e melhorar as informações na fatura, a ANEEL realizou Audiência Pública n.º 26/2015 (de 7/5/2015 a 22/6/2015) que culminou com a publicação da Resolução Normativa – REN n.º 687/2015, a qual revisou a REN n.º 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (ANEEL-B, 2018).

2.3.2. Compensação de Energia Elétrica

Uma importante inovação trazida pela Resolução Normativa n.º 482/2012 é o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Esse sistema permite que a energia excedente gerada pela

unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente (ANEEL, 2016).

Desde 17 de abril de 2012, quando ANEEL criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses (ANEEL, 2016).

Essa atualização trouxe novas possibilidades para o consumidor utilizar os créditos de energia em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão e caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios), em local diferente do ponto de consumo, definidas da seguinte forma (ENEL SOLUÇÕES, 2016):

- *Geração compartilhada*: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- *Autoconsumo remoto*: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada;
- *Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (condomínios)*: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento.

2.3.3. Impostos Federais e Estaduais

Segundo o Cadernos Temáticos da Aneel (2016), Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica 2º edição, a definição sobre a cobrança de impostos e tributos federais foge das competências da ANEEL, cabendo à Receita Federal do Brasil e às Secretarias de Fazenda Estaduais tratar da questão. A seguir, são apresentadas informações relativas ao ICMS e PIS/COFINS:

A. ICMS:

O imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços – ICMS é um tributo Estadual aplicável à energia elétrica. Com respeito à micro e minigeração distribuída, é importante esclarecer que o Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ aprovou o Convênio ICMS 6, de 5 de abril de 2013, estabelecendo que o ICMS apurado teria como base de cálculo toda energia que chega à unidade consumidora proveniente da distribuidora, sem considerar qualquer compensação de energia produzida pelo microgerador. Com isso, a alíquota aplicável do ICMS incidiria sobre toda energia consumida no mês.

Após interações da Agência com o Ministério da Fazenda, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério de Minas e Energia e com o Congresso Nacional, o Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ publicou o Convênio ICMS 16, de 22/4/2015, que revogou o Convênio ICMS 6/2013 e autorizou as unidades federadas a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia. Dessa forma, nos Estados que aderiram ao convênio ICMS 16/2015, o ICMS incide somente sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede no mês

Para aqueles estados que não aderiram ao novo Convênio, é o caso do Estado do Amapá, mantém-se regra anterior, na qual o ICMS é cobrado sobre todo o consumo, desconsiderando assim a energia injetada na rede pela micro ou minigeração.

B. PIS/COFINS

Com relação à apuração do Programa de Integração Social – PIS e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS, não existia até outubro de 2015 uma legislação ou orientação da Receita Federal esclarecendo como deveria ser realizada a cobrança para os casos de micro e minigeração distribuída.

No entretanto, com a publicação da Lei nº 13.169/2015, de 6/10/2015, resultado de várias gestões da ANEEL junto ao Ministério de Minas e Energia e ao Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão, a incidência do PIS e COFINS passou a acontecer apenas sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada pela unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída. Tendo em vista que o PIS e a COFINS são tributos federais, a regra estabelecida pela lei vale igualmente para todos os Estados do país.

3. EFEITOS E REQUISITOS DA CONEXÃO DE GD EM BAIXA TENSÃO

3.1 Contexto

Com o novo cenário incluindo GD, mostrou-se necessário uma avaliação dos impactos técnicos que podem ocorrer na operação de sistemas de distribuição. De acordo com Thong *et al.* (2005), o sistema elétrico de energia foi tradicionalmente desenhado e ainda é operado para transportar uma grande quantidade de energia de uma forma unidirecional a partir das fontes de geração, através das linhas de transmissão e sistemas de distribuição até chegar, finalmente, aos consumidores finais desta energia.

A GD consiste em unidades consumidoras que instalam pequenas unidades de geração e ficam, portanto, conectados ao sistema, junto com às cargas, na própria rede de distribuição. Essa conexão de geração próxima às cargas pode trazer problemas para o sistema elétrico, uma vez que ele foi projetado para que o fluxo de energia ocorresse em um único sentido, das usinas em direção às cargas. Quando a potência gerada é superior à potência consumida, as unidades consumidoras passam a se comportar como pequenas usinas e injetam energia na rede, invertendo o fluxo de potência original. (SHAYANI, 2010).

Entretanto, a conexão de geradores distribuídos na rede de distribuição deve ser precedida de uma série de estudos técnicos visando determinar condições de operação, controle e proteção desses geradores de forma a minimizar eventuais impactos negativos aos sistemas de energia elétrica como um todo (LEONARDO, 2014). Segundo diversos autores a GD exerce uma influência na qualidade de energia elétrica, principalmente devido a quatro fatores:

1. Interrupções na Geração Principal;
2. Desequilíbrio de Tensão;
3. Distorções Harmônicas;
4. Afundamentos de tensão.

3.2 Efeitos da Geração Distribuída em sistemas de baixa tensão

3.2.1 Interrupções na Geração Principal

A. Interrupções Curta

É nome dado à interrupção total do fornecimento de energia elétrica por um período que pode ir de milissegundo até um ou dois segundos. Dentre as causas das interrupções curtas estão as abertura e fechamento automático de sistemas de proteção de ramificações com falhas do sistema. Estas aberturas e fechamentos são, por sua vez, em sua maioria, causadas por falhas em isoladores e descargas atmosféricas. Como consequência de interrupções curtas, pode haver o mau funcionamento de sistemas de proteção, perdas de informações e mau funcionamento de processadores, vários equipamentos com papéis importantes na operação de sistemas elétricos, como, por exemplo, computadores e PLCs, que não são preparados para suportar estes tipos de interrupção (TREVISAN, 2011).

B. Interrupções Longas

Estas interrupções possuem tempos de duração superiores a um ou dois segundos, que diferem das interrupções curtas. De forma semelhante às interrupções curtas, as interrupções longas também representam uma interrupção total de suprimento de energia elétrica. Dentre as principais causas destes tipos de problemas, encontram-se: falhas de equipamentos no sistema de energia, tempestades, objetos (árvores, carros, dentre outros) que colidem com componentes da rede (como por exemplo, cabos ou poste), fogo, falha humana e má coordenação do sistema. A principal consequência e característica das interrupções longas é a interrupção do funcionamento de todos os equipamentos conectados à rede atingida (TREVISAN, 2011).

3.2.2 Desequilíbrio de Tensão

O desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema (ANEEL, 2016). De acordo com Thong *et al.*, (2005), a inserção de fontes monofásicas de GD, como por exemplo,

geradores fotovoltaicos, pode gerar um desequilíbrio de tensão em sistemas trifásicos de energia elétrica.

Tais fatores prejudicam a qualidade no fornecimento de energia idealizada pela concessionária, e desta forma, alguns consumidores encontram na sua alimentação um desequilíbrio de tensão, a qual pode se manifestar sob três formas distintas: Amplitudes diferentes; Assimetria nas fases; Assimetria conjunta de amplitudes e fases. Desta, apenas a primeira é frequentemente evidenciada no sistema elétrico (ARRUDA, 2003).

3.2.3 Distorções Harmônicas

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental (ANEEL, 2018). As causas típicas de distorções harmônicas podem ser divididas como clássicas e modernas. Como causa clássica, pode-se citar: máquinas elétricas operando na região de saturação magnética, fornos elétricos de arco voltaico, retificadores e motores de corrente contínua com escovas. Por outro lado. Cargas não lineares aparecem como as causas modernas das distorções harmônicas. Exemplos de cargas não lineares são: aparelhos eletrônicos, inversores, fontes chaveadas, equipamentos de processamento de dados e luzes de alta eficiência (TREVISAN, 2011).

Com relação a GD, cita-se a utilização de inversores como a principal causa de distorções harmônicas na rede. O tipo de distorções e a severidade desta dependem da tecnologia utilizada pelo inversor e das configurações de interconexão da GD à rede (THONG *et al.*; 2005).

Texeira (2009), aponta em seu trabalho os principais equipamentos e componentes sensíveis aos harmônicos:

- Máquinas elétricas (geradores e motores): as distorções podem induzir correntes harmônicas no rotor. Este efeito gera, além da diminuição do rendimento, sobreaquecimento, vibração e barulho audível;
- Transformadores: Quando alimentados com consideráveis distorções harmônicas, gera consequências que vão desde ruído audível até elevadas perdas

nos enrolamentos do transformador, o que causa sobreaquecimento e consequentemente a diminuição da sua vida útil;

- Banco de Capacitores: Causa aquecimento. Perda da vida útil e até explosões devido à ressonância paralela;
- Sistema de Proteção: Os relés utilizados para a proteção do sistema elétrico podem ser influenciados pela presença de harmônicos na rede e gerar uma atuação indevida;
- Sistema de Comunicação: As consequências geradas por essa interferência vão desde um ruído irritante no sistema telefônico (quando a interferência é baixa) até a perda de informações em sistemas de transferência de dados, quando há alta interferência.

3.2.4 Afundamento de Tensão

Afundamentos de tensão podem ocorrer devido a chaveamentos na rede, partidas de motores elétricos, em casos de curtos-circuitos e, também, durante o ligamento de uma fonte de GD fora da velocidade síncrona. Ainda, afundamentos de tensão podem levar ao mau funcionamento dos sistemas de proteção da GD, especialmente dos baseados em microprocessadores, o que pode, por conseguinte, ocasionar a interrupção do funcionamento de algumas destas fontes ou de outros equipamentos conectados ao sistema em questão (e, inclusive, agravar o problema) (TREVISAN, 2011).

3.3 Requisitos Técnicos para Conexão de GD em baixa tensão

Para se evitar uma interconexão inadequada, que pode vir a afetar tanto a unidade geradora como a rede elétrica na qual a GD está conectada, a unidade geradora deve seguir um conjunto de requisitos que em grande parte são definidos pelas concessionárias locais, desta forma tenta se evitar futuros problemas. Algumas concessionárias possuem sua própria regulamentação para o processo de interconexão de GD no sistema elétrico local, Para o estado do Amapá a concessionária local, CEA – Companhia de Eletricidade do Amapá, possui a norma

NTD-08: Norma Técnica de Distribuição para Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição da CEA - Conexão em Baixa Tensão, como regulamentação para a interconexão de GD a sua rede e a NTD-09: Norma Técnica de Distribuição para Conexão de Acessantes a Rede de Distribuição da CEA – Conexão em Baixa Tensão.

De acordo com Trevisan (2011), ainda não há no Brasil uma regulamentação específica e unificada da Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL (vinculada ao Ministério das Minas e Energia e criada com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica), para interconexão de GD na rede de energia elétrica. Existem, entretanto, os Procedimentos de Distribuição - PRODIST da ANEEL, que regulamentam alguns aspectos da conexão de geração na rede de distribuição, que podem servir de base para esta interconexão de GD na rede de baixa tensão.

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

Segundo o Módulo 1 do PRODIST (ANEEL-A, 2018), os Procedimento de Distribuição são documentos elaborados pela ANEEL, com a participação dos agentes de distribuição e de outras entidades e associação do setor elétrico nacional, que normalizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Os principais objetivos do PRODIST (ANEEL-A, 2018) são:

1. Garantir que os sistemas de distribuição operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade;
2. Proporcionar o acesso aos sistemas de distribuição, assegurando tratamento não discriminatório entre agentes;
3. Disciplinar os procedimentos técnicos para as atividades relacionadas ao planejamento da expansão, à operação dos sistemas de distribuição, à medição e à qualidade da energia elétrica;
4. Estabelecer requisitos para os intercâmbios de informações entre os agentes setoriais;
5. Assegurar o fluxo de informações adequadas à ANEEL;

6. Disciplinar os requisitos técnicos na interface com a Rede Básica, complementando de forma harmônica os Procedimentos de Rede.

O módulo 3 do PRODIST (ANEEL-B, 2018) é o que trata sobre os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Tem como objetivo, estabelecer as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, ao sistema de distribuição, não abrangendo as Demais Instalações de Transmissão – DTI, e definir os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes bem como aos existentes. (ANEEL, 2018 3). As etapas para acesso de micro e minigeração distribuída participam do Sistema de Compensação de Energia Elétrica ao sistema de distribuição, estão descrito na tabela 1:

O Módulo 8 do PRODIST (ANEEL-C, 2018), estabelece os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica - QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço. Assim todo acessante deve garantir os níveis mínimos de QEE requeridos pelo Módulo 8, são estes:

- a) Tensão em regime permanente;
- b) Fator de potência;
- c) Harmônicos;
- d) Desequilíbrio de tensão;
- e) Flutuação de tensão
- f) Variação de frequência.

4 MÉTODOS E RESULTADOS

4.1 Introdução

A proposta deste trabalho é a de analisar o sistema elétrico do Amapá interligado ao SIN frente a inserção de GD e como se comporta em caso de contingência N-1. Para essa análise serão avaliadas as análises de contingência e análise de sensibilidade, análise estas que serão realizadas no software ANAREDE, levando em consideração como contingência a saída de uma linha sem que ocorresse o ilhamento do Estado.

O ANAREDE é de grande importância nos estudos do sistema elétrico brasileiro, pois disponibiliza informações de todo o nosso sistema no formato adequado ao programa. (PATAKA, 2012). Reúne programas de fluxo de potência, equivalente de redes, análise de contingências, análise de sensibilidade de tensão e de fluxo, e análise de segurança de tensão. Entre os principais usuários do ANAREDE estão: entidades setoriais, como Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME); empresas Eletrobrás; agentes de geração, transmissão e distribuição; grandes consumidores industriais; produtores independentes; universidades (versões acadêmicas); empresas de consultoria. (CEPEL, 2017). Neste trabalho foram utilizadas as aplicações Análise de Contingências para o fator N-1 e Análise de Sensibilidade do programa ANAREDE.

4.2 Análise de Contingência

Um sistema de potência pode sofrer modificações repentinas em seu estado operativo como consequência de anormalidades que nele ocorrem, tais como: surtos, curtos-circuitos e sobrecargas. A proteção do sistema é ajustada de forma a desconectar, no menor intervalo de tempo possível, os componentes diretamente afetados pela anormalidade, para que os mesmos não sejam danificados e para que as demais partes do sistema possam continuar operando. Assim, busca-se fazer com que os consumidores, se não todos, pelo menos o maior número possível, continuem a receber normalmente o suprimento requerido de energia elétrica (TIBÚCIO, 2008).

De acordo com o Manual do Programa ANAREDE (2011), o software possui o Programa de Análise de Contingências, o qual processa sequencialmente um conjunto de casos de contingências com a finalidade de detectar dificuldades operativas severas. Para cada caso de contingência é executada uma solução de fluxo de potência e efetuada a monitoração do estado operativo simulado da rede elétrica. A monitoração da rede é traduzida em termos de índice de severidade que, ao final do processamento, são ordenados decrescentemente para indicar os casos mais severos. A simulação de cada caso de contingência é efetuada a partir das condições operativas estabelecidas por um caso de fluxo de potência, denominado caso base. Assim sendo, todas as grandezas deste caso base que possam ser afetadas durante os cálculos de contingências são armazenadas em uma área auxiliar para permitir, ao final do processamento de cada caso, o restabelecimento das condições operativas iniciais.

Para a realização do trabalho foi adotado como contingência a saída de uma linha da rede elétrica do estado sem que ocasionasse o ilhamento total do estado. As análises de contingência ocorrerão primeiramente sem a inserção de GD na rede e após esta primeira análise será inserido porcentagens de GD na rede desde 1% de GD até o máximo de 15% de GD e para cada porcentagem uma nova análise será realizada.

4.3 Análise de sensibilidade

Na análise de sistemas de potência torna-se comum, seja no planejamento ou na operação, determinar o comportamento do sistema frente a variações nos valores das várias grandezas que intervêm no funcionamento do mesmo, Tibúrcio [10]. Por exemplo, pode ser necessário verificar os efeitos produzidos no estado do sistema devido a alterações no perfil das cargas conectadas em uma ou mais barras do sistema. Também, pode-se desejar estabelecer, no caso da ocorrência de violações nos limites operativos de uma determinada grandeza, quais variáveis de controle são as mais indicadas para, através da modificação de seus valores, tentar eliminar essas violações (CHAVES, 2008).

O software ANAREDE apresentam também o Programa de Análise de Sensibilidade de Fluxo, que tem como objetivo o cálculo de fatores de sensibilidade de primeira ordem que traduzem o comportamento dos fluxos nos diversos circuitos da rede elétrica, denominados

circuitos monitorados, em relação a variação de uma potência ativa especificada (opção SPLI) ou reativa específica (opção SQLI) ou ainda a retirada de um circuito (opção RETC). Para o cálculo dos fatores de sensibilidade, o sistema de equações que representa o comportamento da rede elétrica é linearizado em torno do ponto de operação. O modelo linear é obtido pela expansão destas equações em uma série de Taylor e da qual são considerados somente os termos de primeira ordem.

Para a conclusão do trabalho a Análise de Sensibilidade será utilizada sempre em conjunto com as Análises de Contingência a serem realizadas, para que assim possa se definir quais as barras que receberão a inserção de GD, afim de solucionar os índices de violações de tensão na rede do estado do Amapá.

4.4 Dados Utilizados

O estudo foi realizado a partir dos dados fornecidos pela ONS. Estes dados são de domínio público, ou seja, não há restrição para a sua utilização, os dados são encontrados na página do órgão na internet. O material é fornecido mensalmente e também possui arquivo com a carga anual, exatamente este arquivo que foi utilizado para a realização das análises no ANAREDE. Os arquivos já se encontram no formato .SAV, o qual é o utilizado no software ANAREDE, não necessitando assim de alguma alteração para sua utilização no software.

Entre os dados fornecido pela ONS, definiu-se a utilização dos dados de carga leve e pesado do Estado para a realização das análises. O sistema teste escolhido apresenta as características descritas no Apêndice A. O apêndice apresenta os dados de barras e de linha identificados em uma tabela. No Apêndice B, é demonstrado o diagrama unifilar da rede elétrica do Estado do Amapá, tal diagrama é como os dados se apresentando durante a utilização do software ANAREDE. O circuito apresenta:

- 2 barras do tipo PV;
- 35 barras do tipo PQ;
- Nenhuma barra de referência.

4.5 Caso Base

Os testes iniciaram com o sistema em sua condição normal, sem o incremento de GD ou alguma alteração na rede elétrica do estado. Primeiramente realizou-se a Análise de Contingências, onde foi adotado o critério N-1 para a saída de linha sem que se ocasiona o ilhamento da rede do estado, o objetivo disto é de verificar como a rede do estado estar frente a uma contingência sem a inserção de GD na sua rede.

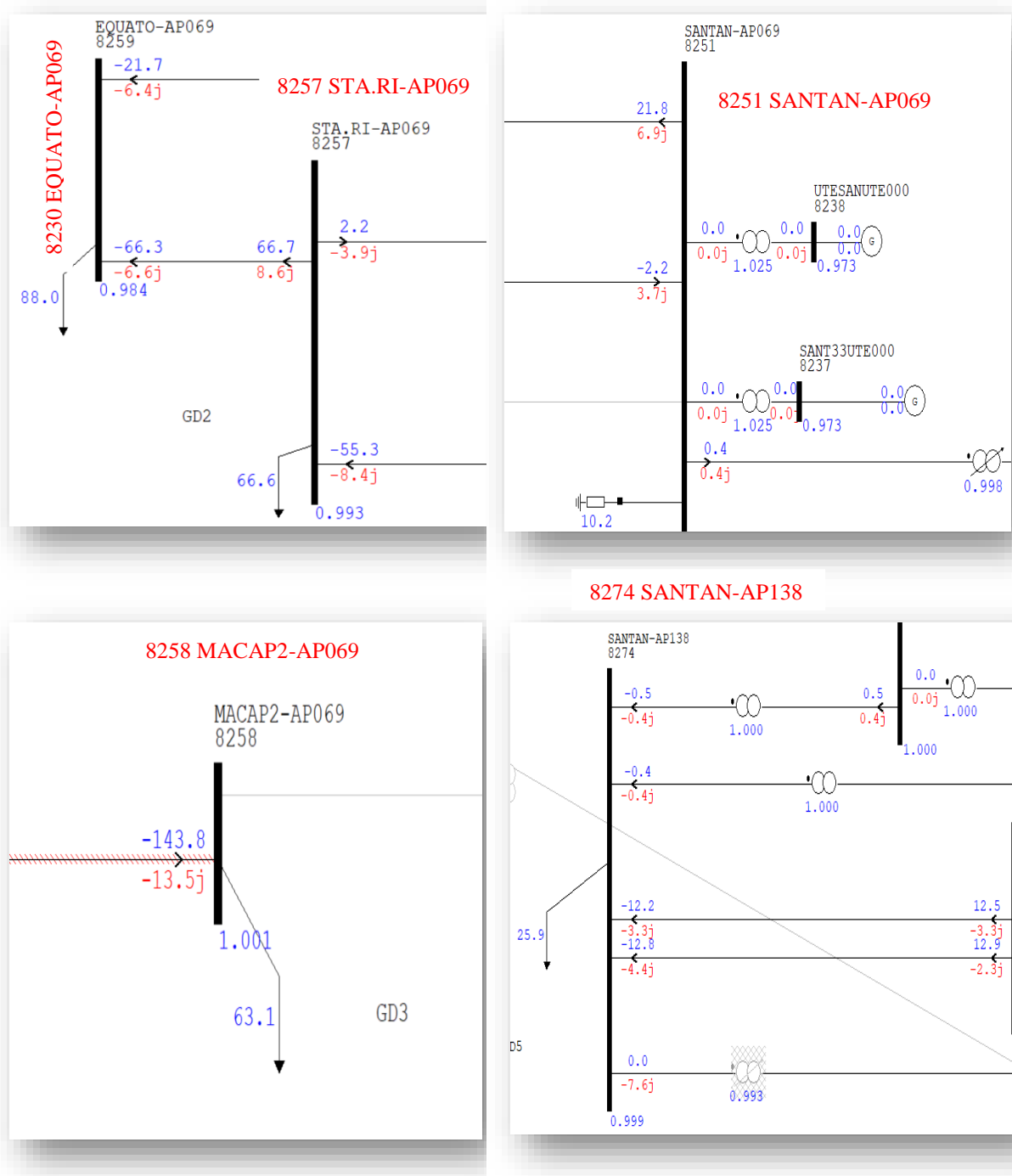
As simulações ocorreram em duas etapas, a primeira simulação analisou o sistema com a rede apresentando carga leve. A segunda etapa ocorreu a mesma análise, mas agora com o sistema apresentando carga pesada. Juntamente com o relatório de contingência foi realizada a análise de Sensibilidade, para que com o auxílio de ambas análises tanto para carga leve como pesada fosse possível definir as barras que apresentavam maior incidência de violações de tensão (tabela 2), em ambos os casos estudados, logo abaixo é apresentando a imagens das barras selecionada (figura 12).

Tabela 1: Relação de barras com maior número de Violações

<i>NÚMERO DA BARRA</i>	<i>NOME</i>
<i>Barra 8259</i>	<i>Equato - AP069</i>
<i>Barra 8257</i>	<i>Sta.Ri – AP069</i>
<i>Barra 8258</i>	<i>Macap2 – AP069</i>
<i>Barra 8251</i>	<i>Santan – AP069</i>
<i>Barra 8274</i>	<i>Santan – AP138</i>

Fonte: Relatórios das simulações ANAREDE

Figura 12: Barras com maiores números de violações



Fonte: Simulação ANAREDE

As barras citadas na tabela 2, foram as que demonstraram ter o maior número de violações de tensão em P.U ao seu redor, tanto para o circuito em carga leve quanto pesado. Estas barras selecionadas irão receber a inserção de potência ativa simulando a inserção de GD

na rede. O objetivo é solucionar as violações que ocorrem em sua volta quando ocorre uma contingência. As tabelas abaixo apresentam os valores das violações. Foi tomado como valor limite tensão em P.U. maior ou igual a *0,950 e menor ou igual 1,050*. A tabela 3 apresenta os valores para carga leve e a Tabela 4 apresenta para carga pesada.

Tabela 2: Barras com violações para Carga Leve

CONTINGÊNCIA DE/PARA	BARRA AFETADA	VIOLAÇÃO SEM GD
8281/8257	8230	1.067
	8257	0.950
8272/8274	8230 (CIRC 1)	1.063

Fonte: Relatórios das simulações ANAREDE

Tabela 3: Barras com violações para Carga Pesada

CONTINGÊNCIA DE/PARA	BARRA AFETADA	VIOLAÇÃO SEM GD	
8257/8259	8230	1.054	
	8230	1.101	
	8236	0.943	
	8235	0.943	
	8281/8257	8237	0.943
	8238	0.943	
	8259	0.880	
8272/8274	8257	0.868	
	8230 (CIRC 1)	1.060	
	8230 (CIRC 2)	1.064	

Fonte: Relatórios das simulações ANAREDE

Na tabela 3, pode se ver três situações de violação, isso quando a contingência ocorre entre a barra 8281 para 8257, a barra 8257 apresentou um quadro de subtensão no valor de 0.950 pu. Já as duas outras ocorrências foram de sobretensão, sendo a barra 8230 – Santan–AP013, também afetada pela contingência que ocorreu entre o trecho que vai da 8281 para 8257, apresentou a maior violação com uma tensão de 1.067 pu.

A tabela 4 que demonstra as violações para o sistema operando com carga pesada, a simulação apresentou a ocorrência de 6 (seis) casos de subtensão, sendo a barra 8257, afetada pela contingência ocorrida entre a barra 8281 para 8257 a de maior violação com um valor de tensão de 0.868 em relação ao limite mínimo aceitável de tensão, e 3 (três) casos de sobretensão, onde a barra 8230 apresentou a maior violação, em relação a margem máxima de tensão, apresentando 1.101 pu de tensão.

4.6 Caso com GD para Carga Leve e Pesada

Com a análise preliminar e definição das barras que receberiam o incremento de GD, reiniciou a simulações com a inserção de 1% de GD em todos os pontos definidos. As simulações foram feitas com o incremento de 1% de GD até incremento máximo de 15% de GD.

Para a melhor estruturação dos resultados obtidos a cada simulação realizada, definiu-se que a análise final das tabelas e gráficos ocorreria nos valores de 5%, 10% e 15% de GD além da análise do caso base sem inserção de GD. Foi definido assim pois se tornou muito mais didático a visualizações dos resultados a partir da fixação dessas faixas de valores. Esse percentual de inserção de GD foi definido levando em conta o total de carga consumida na rede de acordo com o caso estudo, esse percentual foi dividido por igual entre as barras definidas para receber a inserção de GD.

A tabela 5 apresenta os casos de violação quando a rede se encontra com carga leve em seu sistema, a tabela apresenta de acordo com as faixas de GD definidas anteriormente, para este estudo com um todo, houve apenas a inserção de potência ativa simulando energia proveniente de GD.

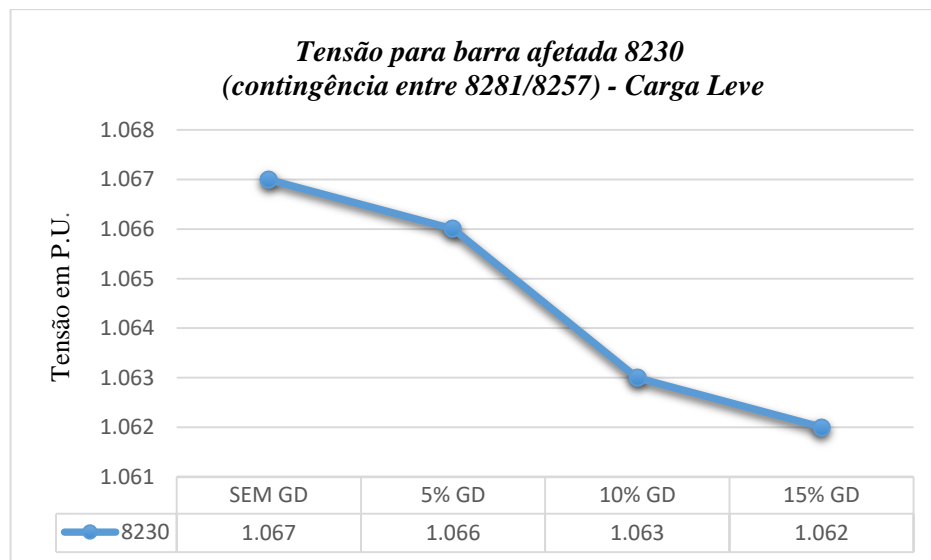
Tabela 4: Valores de tensão em PU com inserção de GD - Carga Leve

CONTINGÊNCIA DE/PARA	BARRA AFETADA	VIOLAÇÕES			
		SEM GD	5% GD	10% GD	15% GD
8281/8257	8230	1.067	1.066	1.063	1.062
	8257	0.949	SEM VIOLAÇÕES		
8272/8274	8230 (CIRC 1)	1.063	1.062	1.062	1.067
	8230 (CIRC 2)	1.063	1.067	1.067	1.067

Fonte: Relatórios das simulações ANAREDE

Fazendo a comparação com o caso base, aquele sem inserção de GD, até o caso com inserção de 15% de GD na rede do estado pode se observar avanços na melhora das violações em relação a margens de tensão, isto é visto desde o incremento de 5% de GD no sistema como demonstrado no gráfico 1.

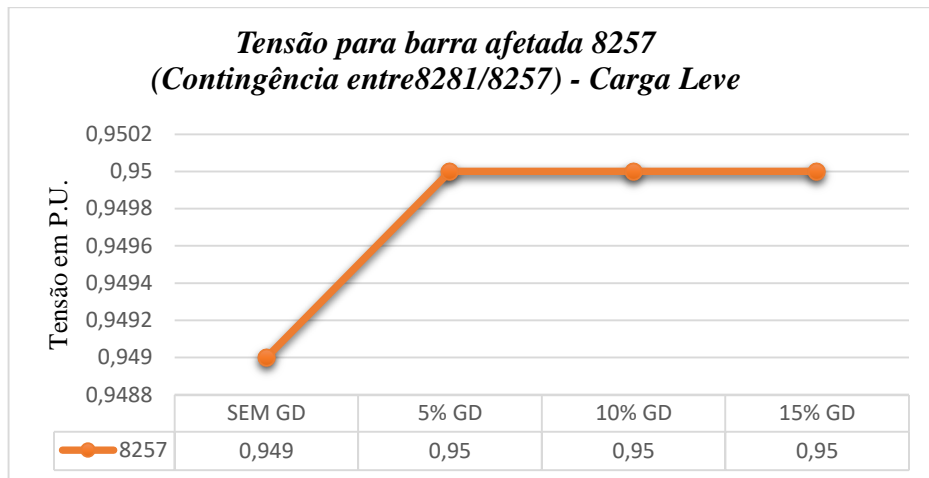
Gráfico 8: Tensão para barra afetada 8230 (Contingência entre 8281/8257) - Carga Leve



Fonte: Fonte Própria

Assim como demonstrado na tabela 5 o gráfico 1 nos permite observar melhor essa diminuição de tensão onde com a inserção de 15% de GD se chegou bem próximo da margem máxima aceitável de tensão de 1.050 pu de tensão. O gráfico 2 expõem a barra 8257 que assim como a barra 8230 são afetadas pela contingência ocasionada entre as barras 8281 e 8257, porém o quadro de subtensão que apresentava foi solucionado logo com o acréscimo de 5% de GD, onde saiu de 0.949 pu e chegou a margem mínima de tensão de 0.950 .

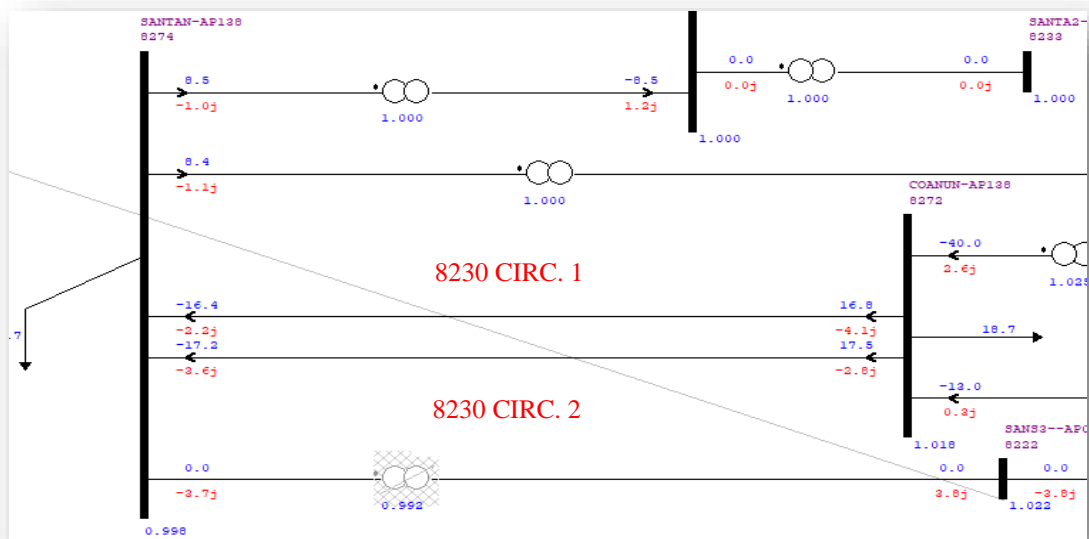
Gráfico 9: Tensão para barra afetada 8257 (Contingência entre 8281/8257) - Carga Leve



Fonte: Fonte Própria

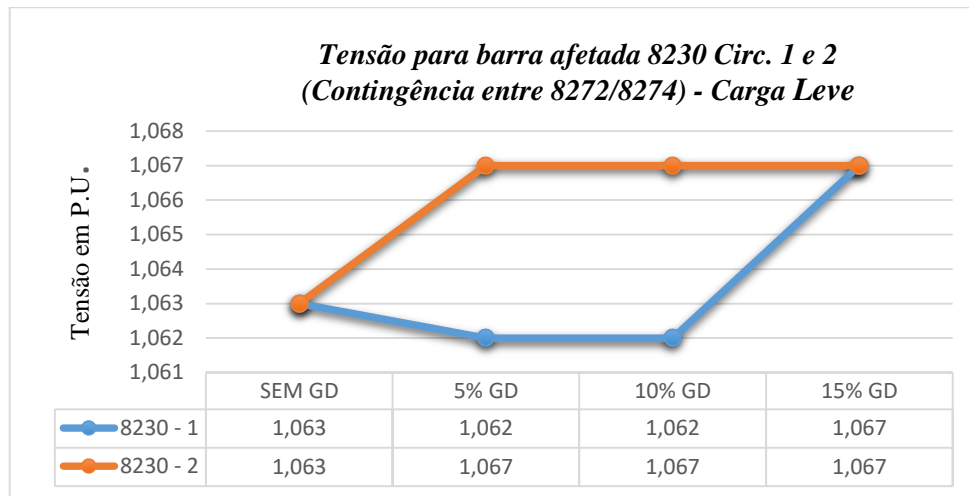
A barra 8230 (figura 13) apresenta duas ramificações localizadas entre as barras 8272 e 8274, essas ramificações denominamos de 8230 Circ. 1 e 8230 Circ. 2. Em ambas ramificações há ocorrência de aumento de suas violações como observado no gráfico 3. A barra 8230 Circ. 1 saiu de uma violação de 1.063 pu para 1.067 pu e a barra 8230 Circ. 2 que apresentava uma tensão de 1.063 pu logo com o acréscimo de 5% de GD chegou a uma tensão de 1.067 pu. Todos os valores apresentados nessa barra ficaram acima da margem máxima de tensão adotado no trabalho a medida que ocorria a inserção de GD na rede.

Figura 13: Ramificação barra 8230



Fonte: Simulação ANAREDE

Gráfico 10: Tensão para barra afetada 8230 Circ. 1 e 2 (Contingência entre 8272/8274) - Carga Leve



Fonte: Fonte Própria

Prosseguindo com as análises, as simulações foram refeitas agora para a rede do estado apresentando carga pesada em seu circuito. Com a rede com carga pesada se observa de forma mais evidente a melhora da rede com a inserção de GD nas barras definidas. A tabela 6 apresenta os valores obtidos das simulações realizadas com inserção de GD no circuito trabalhando com carga pesada.

Tabela 5: Valores de tensão em PU com inserção de GD - Carga Pesada

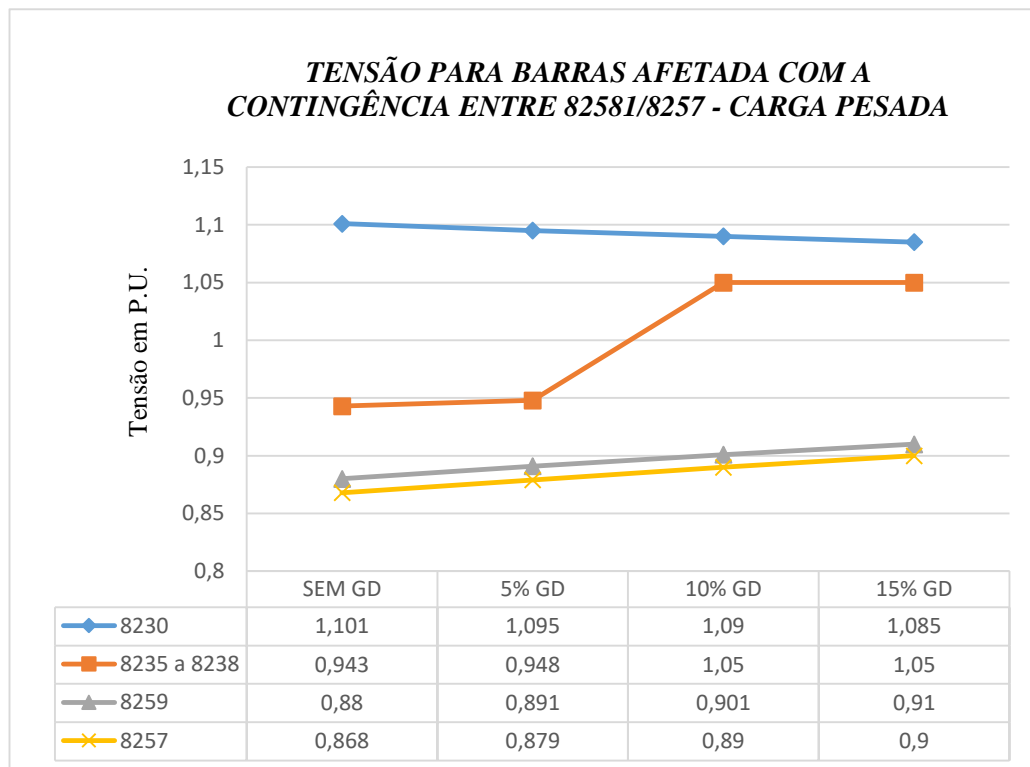
CONTINGÊNCIA DE/PARA	BARRA AFETADA	VIOLAÇÕES			
		SEM GD	5% GD	10% GD	15% GD
8257/8259	8230	1.054	1.052	1.061	SEM VIOLAÇÃO
	8230	1.101	1.095	1.090	1.085
8281/8257	8236	0.943	0.948	SEM VIOLAÇÃO	
	8235	0.943	0.948	SEM VIOLAÇÃO	
	8237	0.943	0.948	SEM VIOLAÇÃO	
	8238	0.943	0.948	SEM VIOLAÇÃO	
	8259	0.880	0.891	0.901	0.910
	8257	0.868	0.879	0.890	0.900
8272/8274	8230 (CIRC 1)	1.060	1.059	1.059	1.058
	8230 (CIRC 2)	1.064	1.064	1.063	1.063

Fonte: Relatórios das simulações ANAREDE

Os maiores números de violações ocorreram no caso base, que é o sem incremento de GD, quando a rede estava trabalhando com carga pesada. Diferentemente do caso com GD para carga leve que já demonstrou melhoras com a inserção de 5% de GD para carga pesada as melhoras foram vistas a partir da inserção de 10% de GD na rede. A barra afetada 8230 – Santan-AP013 que nas simulações para carga leve ficou bem próxima da margem máxima de tensão, aqui teve a adequação de seu valor com 15% de GD.

No gráfico 3, está exposto as violações ocorridas quando a contingência ocorria entre as barras 8281 e 8257, pois foi onde se demonstrou o maior número de barras com violações. As barras afetadas 8236, 8235, 8237, 8238 que no caso base para carga pesada apresentaram um quadro de subtensão, tiveram a adequação a margem mínima de tensão com a inserção de 10% de GD na rede.

Gráfico 11: Tensão para barras afetadas com a Contingência entre 8281/8257 - Carga Pesada



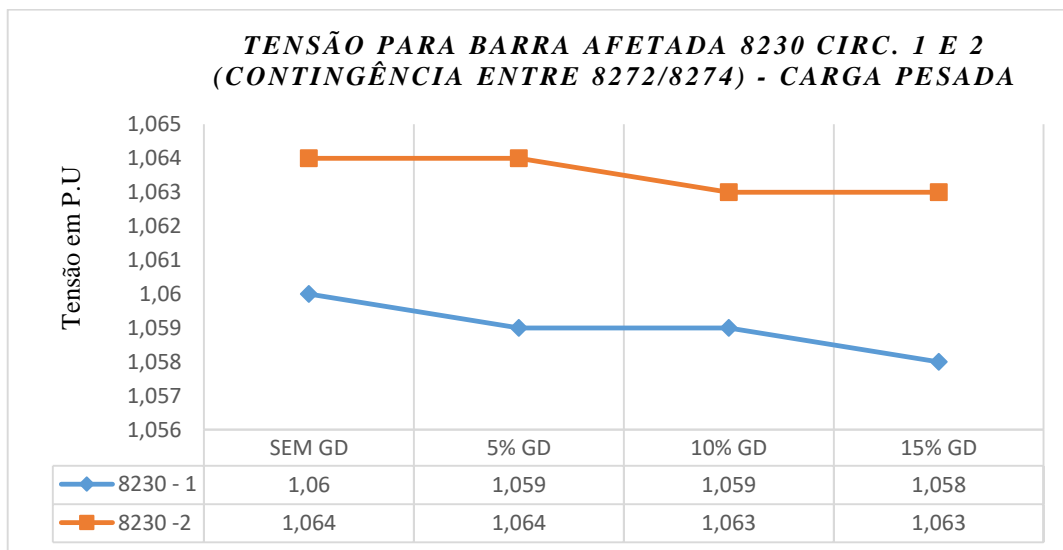
Fonte: Fonte Própria

O gráfico 4 é muito mais visível a melhora nos valores da barra afetada 8230 que apresenta um quadro de sobretensão, sua violação se apresentava no caso base para carga pesada com 1.101 pu de tensão, um valor muito acima do valor padrão de 1.050, com 15% de GD na rede sua violação ficou em 1.085 bem mais próxima da margem máxima de tensão. As

barras afetadas 8259 e 8257 que apresentavam subtensão tiveram também melhoras visíveis em seus valores de tensão chegando bem próximo a margem mínima de tensão.

Assim como exposto no gráfico 3, a barra afetada 8230 com suas ramificações não apresentaram sua adequação as margem de tensão definidas. No gráfico 3 pode se observar o aumento em sua violação, agora no caso com GD para carga pesado, gráfico 5, pode se observar melhoras em suas tensões, porém, ainda não atingindo sua adequação a margem de tensão aceita.

Gráfico 12: Tensão para barra afetada 8230 Circ. 1 e 2 (Contingência entre 8272/8274) - Carga Pesada



Fonte: Fonte Própria

Cruzando os resultados das análises para rede com carga leve e carga pesada pode se observar que a futura inserção de GD no sistema elétrico do estado do Amapá, decorrente da modernização e maior acessibilidade das fontes de energia elétrica, demonstra-se promissora, pois pode se observar a diminuição das violações a partir da inserção desta.

Porém, o aumento das violações observado em algumas barras após a inserção de GD, fez com que todos a análises feitas fosse refeitas para retirar qualquer dúvida de erro durante o processo. Após refeita todas analises de contingência e de sensibilidade viu-se que não ocorreram erros durante a realização das simulações no software ANAREDE.

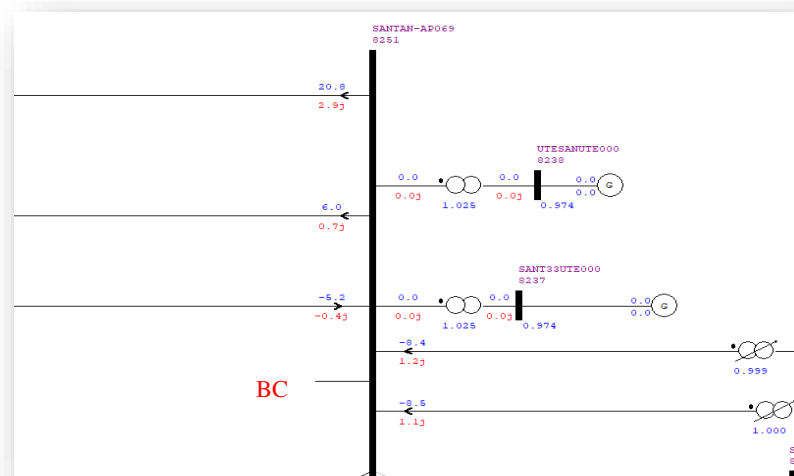
Reanalizando os relatórios de contingência e sensibilidade pode se observar que o banco de capacitores localizado no município de Santana, na barra 8251 (figura 14), era o responsável do aumento dessas violações ocorridas com o acréscimo de GD. Levando agora em conta esse banco de capacitores – BC, as análises foram refeitas.

4.7 Caso com GD e Banco de Capacitores para carga leve e pesada.

Ao iniciarem os testes com o incremento de GD algumas barras como a 8230, afetada pela contingência ocorrida entre a 8272 e 8274, demonstram um comportamento contrário aquele desejado com a inserção de GD, os valores de suas violações aumentaram em relação ao valor padrão definido para o sistema. Realizando um estudo minucioso dos relatórios de contingência e com os de sensibilidade realizados pode se observar que as violações diminuía quando uma barra localizada no município de Santana era desligada.

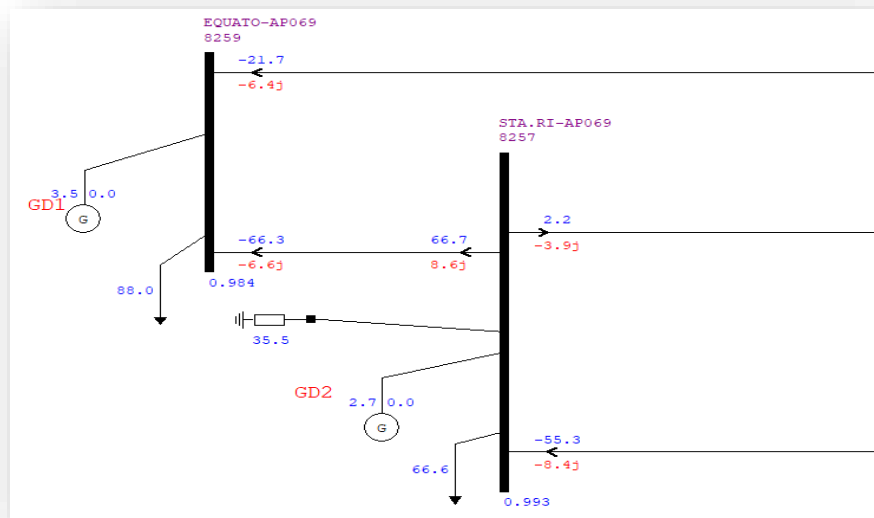
Com o desligamento da barra 8251 SANTAN-AP069 localizada no município de Santana, pode se observar que o BC de 10.2MVA, figura14, ali localizado que ocasionava esse aumento do valor das violações com o incremento de GD. Como há diversos sistemas elétricos que utilizam os BC para corrigir o fator de potência, se fez necessário fazer a pesquisa o levando em consideração.

Figura 14: Banco de capacitor localizado na barra 8251 SANTAN-



Então foi necessária uma otimização deste BC, pois estes são fabricados e especificados para trabalhar em determinado limite. Por este fato tornou-se necessário o a inserção de um BC a fim de auxiliar a robustez do sistema. O BC foi inserido na Barra 8257 STA.RI-AP069 (figura 15), no município de Macapá. Para essa anexação foi levado em conta o número de ocorrência de violações ocorridas nessa barra, pois esta barra é que apresenta o maior número de violações frente a ocorrência de contingências.

Figura 15: Banco de capacitor instalado na barra 8257 STA.RI-AP069



Fonte: Simulação ANAREDE

A análise refeitas com o BC agora localizado em Macapá e com 35 MVA, como valor definido para atuar da melhor forma tanto com carga leve, quanto carga pesada. As simulações se deram com os mesmos valores utilizados no começo do estudo. Valores obtidos para carga leve encontra-se na tabela 7 e para carga pesada na tabela 8.

Tabela 6: Tensão com banco de capacitores - Carga Leve

CONTINGÊNCIA DE/PARA	BARRA AFETADA	VIOLAÇÕES			
		SEM GD	5% GD	10% GD	15% GD
8281/8257	8257	SEM VIOLAÇÃO	1.052	1.057	1.058
8272/8274	8230 (CIRC 1)	1.058	1.057	1.057	1.057
	8230 (CIRC 2)	1.063	1.063	1.062	1.062

Fonte 7: Relatórios das simulações ANAREDE

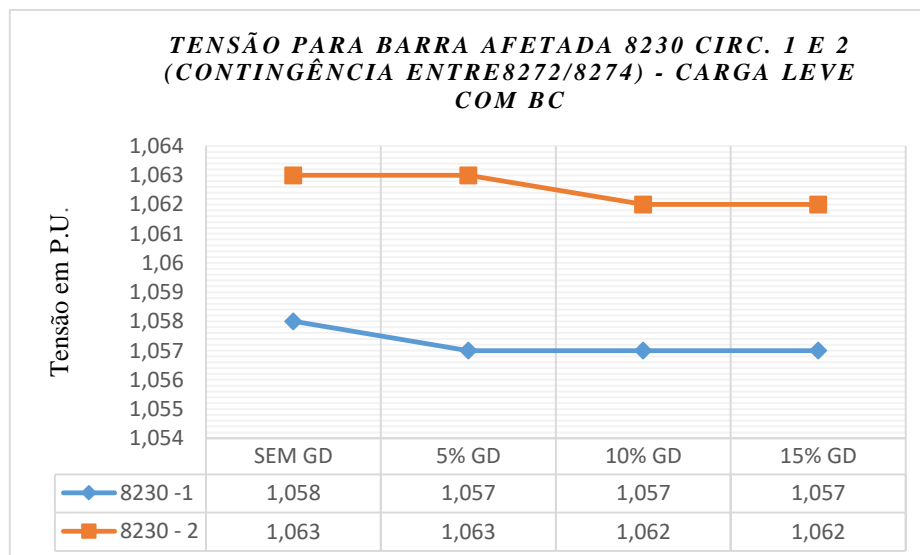
Tabela 7: Tensão com Banco de Capacitores - Carga Pesada

CONTINGÊNCIA DE/PARA	BARRA AFETADA	VIOLAÇÕES			
		SEM GD	5% GD	10% GD	15% GD
8257/8259	8230	1.054	1.053	SEM VIOLAÇÃO	
8281/8257	8230	1.067	1.062	1.057	1.053
8272/8274	8230 (CIRC 1)	1.054	1.053	1.053	1.052
	8230 (CIRC 2)	1.059	1.059	1.058	1.058

Fonte 8: Relatórios das simulações ANAREDE

A partir das novas medidas tomadas se observa a melhora considerável do sistema, o que leva a concluir que a inclusão do BC em Macapá foi acertada, pois a sua falta no sistema fazia que o BC utilizado em Santana ocasionasse o desequilíbrio das tensões. Uma demonstração da sua melhora é observada no gráfico 6 e gráfico 7. Todos os teste foram realizado com a inclusão do novo BC e sem a inserção de GD, por primeiro, e realizados novamente com a inclusão do no BC e a inserção de GD.

Gráfico 13: Tensão para barra afetada 8230 Circ. 1 e 2 (Contingência entre 8272/8274) - Carga Leve com BC

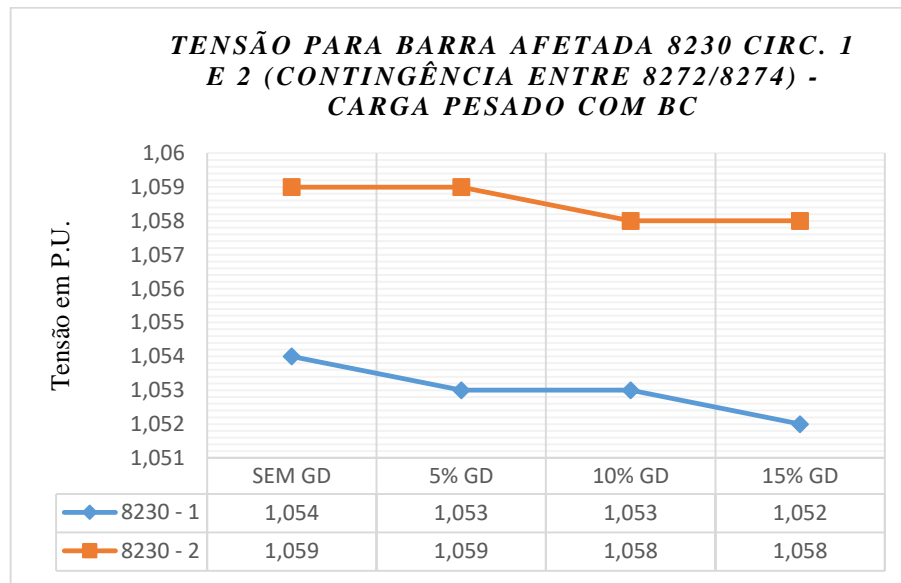


Fonte: Fonte Própria

O gráfico 6 apresenta melhora significativa após a inclusão do BC na barra 8257 STA.RI-AP069 e inserção de GD. A barra 8230 SANTAN-AP013 Circ. 1, que não teve a sua violação solucionada com incremento de GD sem a inclusão de um novo BC, gráfico 3, agora teve um valor muito próximo da margem máxima de tensão, o mesmo ocorreu com o circuito

2 dessa barra, enquanto teve um aumento de sua tensão a medida que era inserida GD na rede, durante o primeiros testes, agora passou a ter a sua diminuição de acordo com a inserção de GD, nesse novo teste.

Gráfico 14: Tensão para barra afetada 8230 Circ. 1 e 2 (Contingência entre 8272/8274) - Carga Pesado com BC



Fonte: Fonte Própria

Analisando o mesmo circuito do gráfico 6, mas agora para carga pesada e com BC anexado em Macapá, pode se observar o avanço na melhora da tensão nessa barra. Se comparada ao gráfico 5, onde temos a rede com carga pesada e apenas a inserção de GD, pode se observar no gráfico 7 que os valores ficaram próximo da margem de tensão desejada.

5 CONCLUSÃO

É inquestionável a importância que a energia tem para o desenvolvimento de qualquer indústria e até de um país, ambos os sucessos estão assegurados na energia que eles dispõem. Qualquer nação que busque garantir seu crescente desenvolvimento tem o dever de buscar um crescimento de forma sensata e racional de sua matriz energética que venha dar a sustentação necessária e viável para o seu desenvolvimento

A GD se demonstra uma forma viável para a diversificação da matriz energética, perante aos avanços desta tecnologia e abertura no mercado. A norma 482 estabelecida pela ANEEL é um exemplo da regulamentação que dar espaço para esta tecnologia no mercado brasileiro, pois ela vem a estabelecer as condições de acesso, como a regra de acesso a geração distribuída e a de compensação de energia.

O sistema elétrico brasileiro ainda apresenta uma predominância do sistema hidrotérmico com o grande predomínio de usinas hidrelétricas, figura 10, onde estão conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Os avanços das tecnologias GD demonstram uma alternativa viável para aumento da potência energética nacional.

A abertura desse mercado que dar a possibilidade de unidades residências em rede de baixa tensão antes somente consumidoras atuem como geradoras, torna-se necessário os estudos de como a rede irá comporta-se com essa inserção de GD, neste estudo utilizamos apenas a inserção de potência ativa sem levar em consideração uma tecnologia GD específica, para afim de analisar o perfil de tensão e as perdas no sistema. Como auxílio deste trabalho pode se ter uma ideia de como a rede elétrica do Amapá se comportou com inserção de GD.

O incremento dessa potência na rede em regime de contingência demonstrou mais de um resultado, tanto para o sistema como carga leve quanto carga pesada. Mas os resultados principalmente para carga pesada com a inserção de GD no sistema são animadores, pois foi possível diminuir e até solucionar as violações de tensões, reduzindo assim o número de barras com violações no estado.

Porém ainda é observado problemas para manter estabilidade estática, como observado na tabela 5, sobre valores de tensão em PU com inserção de GD com Carga Leve no sistema, teve um aumento da violação na barra afetada 8230 à medida que aumentou a inserção de GD no sistema durante o regime de contingência, este é um dos principais motivos que leve a

necessidade de maiores estudos sobre a GD. Pois é alterado todo o sistema que deixará de ser um fluxo unidirecional e passará a ser bidirecional.

Contudo pode se observar a redução das violações após a inserção de GD no sistema foi alcançado à medida que pode se observar a melhora do sistema elétrico amapaense frente a violações de tensão ocorridas devido a contingências na rede elétrica. É visível o aumento da estabilidade da tensão perante a esses casos como a tabela 6, Valores de tensão em PU com inserção de GD - Carga Pesada, demonstra a cada porcentagem de GD inserida na rede.

Também é indiscutível a necessidade de mais estudo, como por exemplos levando em consideração os demais componentes que fazem parte da estrutura do sistema de distribuição. Pois como foi possível ver neste trabalho o BC de capacitores alocado no município de Santana provocou um aumento nas violações durante a inserção de GD, demonstram a necessidade do seu estudo a fim da sua otimização para rede elétrica.

6 REFERÊNCIAS

- ANEEL(Brasil). **Anexo 6B Lote B – Características e Requisitos técnicos básicos das instalações de Transmissão.** / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília : ANEEL, 2008
- ANEEL(Brasil). **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica** / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed – Brasília : ANEEL, 2016.
- ANEEL. 2005, Brasília. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** Brasília: Aneel,2005 26 p.
- ANEEL-A. **PRODIST: MÓDULO 1: Introdução.** 7 ed. Brasília: Aneel, 2018.
- ANEEL-B. **PRODIST: MÓDULO 3: Acesso Ao Sistema de Distribuição.** 7 ed. Brasília: Aneel, 2018.
- ANEEL-C. **PRODIST: MÓDULO 8: Qualidade de Energia Elétrica.** 7 ed. Brasília: Aneel, 2018.
- ARRUDA, Elcio Franklin de. **Análise de Distúrbios Relacionados com a Qualidade da Energia Elétrica Utilizado a Transformada Wavelet.** 2003. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- ASSIS, Anderson de. **A Energia Eólica para o Consumo Residencial.**2015. 33 f. Monografia (Especialização) - Curso de Economia e Meio Ambiente, Departamento de Economia Rural e Extensão, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Cap. 4.
- BARJA, Gabriel de Jesus Azevedo. **A Cogeração e Sua Inserção ao Sistema Elétrico.** 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Cap. 2.
- BONA, Felipe Samuel de; RUPPERT FILHO, Ernesto. **As Microturbinas e a Geração Distribuída.** 2012. 92 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Unicamp, Campinas, 2012.
- BRASIL. Constituição (2004). Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.. **Lex.** 4. ed. Brasília, DF, 30 jul. 2004.

BRASIL. Constituição (2012). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.. **Lex:** Legislação Federal e Marginalia. Brasília, DF, 17 abr. 2012.

BRASIL. SISTEMA FIEP. . **O que é Geração Distribuída.** 2016. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/o-que-e-geracao-distribuida-1-21893-327075.shtml>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

BRUNETTI, Franco, Mecânica dos Fluidos / 2ª Ed., São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2012, ISBN 9788576051824

BURTON, T., SHARPE, D. Wind energy Handbook. John Wiley and Son, LTD. 2001.

CARVALHO, A. M.; SILVA, C. H. F. da; LORA, E. E. S.. Microturbina a Gás, Motores Stirling e Células a Combustível para Geração Distribuída. 2006. 9 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Unifei, Minas Gerais, 2006.

CASTRO, R M.G. Introdução a Energia Eólica. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. 2003.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Programa Análise de Redes - Manual do Usuário, Versão 09.07.05.** CEPEL/DSE – Departamento de Sistemas Elétricos, Rio de Janeiro, 2011

CEPEL, Eletrobas. **ANAREDE - Análise de Redes Elétricas.** 2017. Disponível em: <<http://www.cepel.br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

CEREUS: ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR INTEGRADA À REDE NA UFT CAMPUS GURUPI - TO. Tocantins: Cereus, v. 9, 2017.

CHAVES, Simone Bezerra. **ANÁLISE ESTÁTICA E DINÂMICA DE SISTEMAS DE POTÊNCIA VIA APLICATIVO COMPUTACIONAL INTEGRADO: ORGANON.** 2008. 250 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.

CLÁUDIO, José. **O uso racional dos recursos naturais será a prioridade número um para a humanidade neste século.**2014. Disponível em: <http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/celula_combustivel_OQ.html>. Acesso em: 20 out. 2018.

COELHO, Pedro. **ENERGIA EÓLICA E AEROGERADORES.** 2013. Disponível em: <<http://www.engquimicasantosp.com.br/2013/12/energia-eolica-e-aerogeradores.html>>. Acesso em: 05 out. 2018.

COGEN. ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. **Geração Distribuída – Novo Ciclo de Desenvolvimento.** Disponível em: http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao_Distribuida_Calabro_22052013.pdf. Acesso em 10 dez 2016

CRESESB. **Energia Solar Fotovoltaica.** 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em: 10 jan. 2019.

CUSTÓDIO, R. S. Energia eólica para produção de energia elétrica. Rio de Janeiro, 2007

Deepa, K. S.; Savier, J. S, 2017. Impact Analysis if Distributed Generation Integration on Distribution Network Considering Smar Grid Scenario. IEEE Region 10 Symposium. India

DEMATTÊ, Ricardo Dantas. **Avaliação da Inserção de Geração Distribuída no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica Brasileiro Utilizando Métodos Multicritério.** 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia da Informação, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017. Cap. 2.

DIAS, Marcos Vinícius Xavier. **Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras.** 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005. Cap. 1.

DOMINGUES, Paulo Cesar Magalhães. **A Interconexão Elétrica dos Sistemas Isolados da Amazônia ao Sistema Interligado Nacional.** 2003. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Cap. 5.

DRIEMEIER, Luís Henrique. **Geração Distribuída**. 2009. 76 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Cap. 1.

Eletrobas Cepel. **Tutorial de Energia Eólica**. 2017. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=3>. Acesso em: 12 jun. 2017.

ENEL SOLUÇÕES (Brasil). **Entenda o Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2016. Disponível em: <<http://www.pratil.com.br/blog/2016/06/entenda-o-sistema-de-compensacao-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAÍCA: UMA BREVE REVISÃO. Niterói: Rvq - Publisbq, v. 7, n. 1, 31 jan. 2015.

ENERGY.GOV. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. How wind Turbines Work. 2015. U.S. Department of Energy. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>>. Acessado em setembro de 2015.

FERREIRA, Júlio César de Carvalho. **Aplicação do Controle Vetorial e Teoria PQ no Controle de Aerogeradores Conectados à Rede Elétrica**. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GASCH, R; TWELE, J. Wind Power Palnts: Fundamentals, Design, Construction and Operation. Solarpraxis AG, 2002

GOMES, C. G. S., Noções de geração de energia utilizando algumas fontes de baixo impacto ambiental. Rio de Janeiro, Escola Politécnica da universidade federal do Rio de Janeiro, 2010.

GUHLE, Brenno Delorme. **Integração de uma ferramenta de análise de segurança estática e dinâmica a um sistema de gerenciamento de energia**. 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

IEEE POWER & ENERGY MAGAZINE: Embracing an Adaptable Flexible Posture. [reino Unido]: Ieee Power & Energy Society, 17 out. 2016.

JANSOHN, P. **Modern gas turbine systems, High efficiency, low emission, fuel flexibepower generation**. 1. ed. Cambridge: Adam Hooper, 2013

JORDÃO, Fábio. **Como funciona um motor com turbina a gás de um avião [infográfico]**. 2012. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/aviao/33110-como-funciona-um-motor-com-turbina-a-gas-de-um-aviao-infografico-.htm>>. Acesso em: 03 dez. 2018.

LEONARDO, Murilo Henrique Santos. **Análise do Impacto da Geração Distribuída nas Perdas e no Carregamento de Linhas de um Sistema de Subtransmissão**. 2014. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Cap. 1.

MARCZYNSKI, E. S.; FREITAS, M. A. de; SANTIAGO, E. I.. Usi de Emulsificante Eletrólito na Preparação de GDLS e GDES para Célula a Combustível Tipo PEMFC. In: CBECIMAT - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 21., 2014, Cuiabá. **Artigo**. Cuiabá: Cbecimat, 2014. p. 1 - 11.

MATARUCCO, Rogério Rocha. **Método da Continuação Aplicado na Análise de Contingência de Linhas de Transmissão**. 2010. 143 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

MENESES, Ernani do Livramento de. **O Uso de Turbinas a Gás para Geração de Energia Elétrica em Plataformas**. 2011. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Construção Naval, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011. Cap. 1.

Ministério das Minas e Energia. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro.[internet] Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Outubro+-+2018.pdf/c728865f-7a2a-46a9-b9e7-cc3db9c6e6a3>. Acesso em: 15 novembro 2018.

NARUTO, Denise Tieko. **VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA**. 2017. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

OTILIO, Bruno. **Ciclo de Brayton**. São José dos Campos: Unifesp, 2014. Color.

PATACA, Liciane Cândida. **Análise de Contingências com Critério N-1 em Sistemas Elétricos de Potência Utilizando Computação Paralela em MATLAB**. 2012. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

PERLES, C. E. . Propriedades físico-químicas relacionadas ao desenvolvimento de membranas de Nafion® para aplicações em células a combustível do tipo PEMFC. *Polímeros (São Carlos. Impresso)*, v. 18, p. 281-288, 2008.

PESSOA, Letícia Lúcia da Silva. **Impactos Provocados pelos Afundamentos de Tensão em Redes Elétricas com Geração Distribuída**. 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

PINTO, Carlos; CATARINO, Joana; CORREIA, Manuel. **Energia Solar**. 2015. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Porto, Porto, 2015

Pinto, Marcus Vinícius Adorno Borges. **Estudo paramétrico do comportamento de uma microturbina a gás em cargas parciais fora das condições ISO** . 2017.

REIS, Lineu Belico dos. *Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade*. 3. ed. Barueri, SP: Manole, 2003. 324 p. ISBN 85-204-1536-9

REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA: Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. Rio de Janeiro: Rvq, v. 7, 2014.

ROCHA, Joaquim Eloir. **Qualidade da Energia Elétrica**. Curitiba: Departamento de Eletrotécnica - Ufpr, 2016. 37 p.

SAKATSUME, H. F. (2008); “Uso de cogeração no setor residencial: a aplicação de mini e micro-cogeradores a gás natural”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

SANTOS, Diogo Leandro Nunes; DAHER, Renato; NAZARI, Wagner. **Análise Estática de Sistema Elétrico de Potência Utilizando o Software ANAREDE**. 2013. 100 f. TCC

(Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (daelt), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Cap. 2.

SANTOS, MÁrcio Azevedo dos. **DIMENSIONAMENTO E RETORNO DE INVESTIMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE LAGOA SANTA - MG.** 2016. 44 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SHAYANI, R. A. (2010). Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes de Distribuição Radial. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.TD051/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 161p

STAVISS, Bruna. **[Http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/artigo227165-2.aspx](http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/artigo227165-2.aspx)**. 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/artigo227165-2.aspx>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

TEXEIRA, Douglas Ângelo. **Análise das Distorções Harmônicas - Estudo de Caso de um Sistema Industrial.** 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

THEODORO, Edson Aparecido Rozas. **Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional para Análise de Segurança Dinâmica, no contexto da Estabilidade Transitória, de Sistemas Elétricos de Potência via Métodos Diretos.** 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

THONG, V. V., DRIESEN, J., BELMANS, R. Power quality and voltage stability of distribution system with distributed energy resources. International Journal of Distributed Energy Resources, ISSN 1614-7138, Volume 1 Number 3. Editora: Technology & Science Publishers, Kassel, Alemanha, 2005

TIBÚRCIO, J. C., **Análise de Sistemas de Potência II**, Notas de Aula da Disciplina Análise de Sistemas de Potência, ministrada no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Itajubá, EFEI, 2008.

TILLMANN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de combustão interna e seus sistemas.** Pelotas : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia ; Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ; Rede e-Tec Brasil, 2013

TREVISAN, Aramis Schwanka. **Efeitos da Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão.** 2011. 116 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

TUNA, Celso Eduardo. **Máquinas Térmicas: material de apoio à disciplina.** curso de Engenharia Mecânica: UNESP. Notas de aula. 2011.

YAMAMOTO S, Fonseca E, Pisni F. Abecélica. Boletim anual de geração eólica, 2015. Boletim de dados julho de 2015. Disponível em: Acesso em: 18 de nov. 2016.

ZANCHETTIN, Marcos Guilherme. **Análise da Inserção de Geração Eólica com Aerogeradores de Indução.** 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2012. Cap. 2.

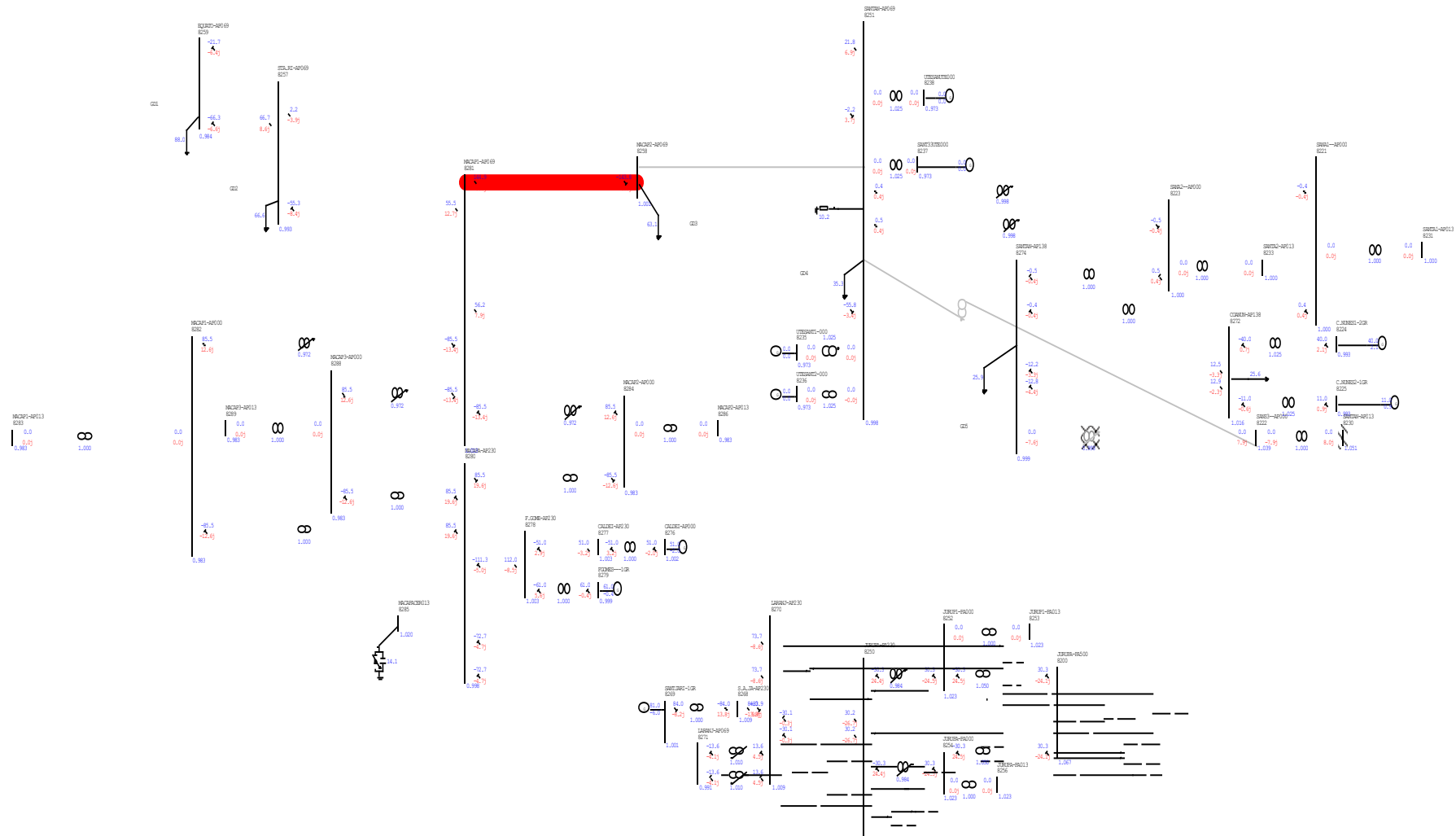
ANEXO A: DADOS DE BARRA DA REDE ELÉTRICA DO ESTADO DO AMAPÁ INTELIGADO AO SIN

Número	Tensão Base (kV)	Nome Barra	Limite Tensão (p.u.)	Tensão (p.u.)	Tensão (kV)	Geração Ativa (MW)	Geração Reativa (Mvar)	Geração Reativa Mínima (Mvar)	Geração Reativa Máxima (Mvar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (Mvar)
8200	500.0	JURUPA-PA500	1.000-1.100	1.067	533.5						
8201	500.0	JR-XI1CAP500	1.000-1.100	1.071	535.5						
8202	500.0	JR-XI2CAP500	1.000-1.100	1.071	535.5						
8203	500.0	JR-OX1CAP500	1.000-1.100	1.053	526.5						
8204	500.0	JR-OX2CAP500	1.000-1.100	1.053	526.5						
8221	991.0	SANA1--AP000	0.400-1.900	1.000	991.0						
8222	991.0	SANS3--AP000	0.400-1.900	1.039	1029.6						
8223	991.0	SANA2--AP000	0.400-1.900	1.000	991.0						
8224	13.2	C.NUNES1-2GR	0.950-1.050	0.993	13.1	40.	2.086	-15.8	15.8		
8230	13.8	SANTAN-AP013	0.950-1.050	1.051	14.5						
8231	13.8	SANTA1-AP013	0.950-1.050	1.000	13.8						
8238	13.8	UTESANUTE000	0.950-1.050	0.973	13.4	0.	0.	0.	0.		
8233	13.8	SANTA2-AP013	0.950-1.050	1.000	13.8						
8250	230.0	JURUPA-PA230	0.950-1.050	1.005	231.1						
8251	69.0	SANTAN-AP069	0.950-1.050	0.998	68.9					35.3	2.2
8252	991.0	JURUP1-PA000	0.400-1.900	1.023	1013.8						
8253	13.8	JURUP1-PA013	0.950-1.050	1.023	14.1						
8254	991.0	JURUPA-PA000	0.400-1.900	1.023	1013.8						
8256	13.8	JURUPA-PA013	0.950-1.050	1.023	14.1						
8257	69.0	STA.RI-AP069	0.950-1.050	0.993	68.5					66.6	5.1
8258	69.0	MACAP2-AP069	0.950-1.050	1.001	69.1					63.1	9.3

8259	69.0	EQUATO-AP069	0.950-1.050	0.984	67.9					88.	13.
8260	69.0	S.JOSE-AP069	0.950-1.050	0.996	68.7						
8265	990.0	JURUPACER013	0.950-1.050	1.047	1036.5						
8270	230.0	LARANJ-AP230	0.950-1.050	1.009	232.1						
8271	69.0	LARANJ-AP069	0.950-1.050	0.991	68.4						
8272	138.0	COANUN-AP138	0.950-1.050	1.016	140.2					25.6	5.5
8274	138.0	SANTAN-AP138	0.950-1.050	0.999	137.9					25.9	16.1
8280	230.0	MACAPA-AP230	0.950-1.050	0.998	229.5						
8281	69.0	MACAP1-AP069	0.950-1.050	1.013	69.9						
8282	991.0	MACAP1-AP000	0.400-1.900	0.983	974.2						
8283	13.8	MACAP1-AP013	0.950-1.050	0.983	13.6						
8284	991.0	MACAP2-AP000	0.400-1.900	0.983	974.2						
8285	990.0	MACAPACER013	0.950-1.050	1.020	1009.8						
8286	13.8	MACAP2-AP013	0.950-1.050	0.983	13.6						
8288	991.0	MACAP3-AP000	0.400-1.900	0.983	974.2						
8289	13.8	MACAP3-AP013	0.950-1.050	0.983	13.6						

Fonte: Dados ONS

ANEXO B: DIAGRAMA UNIFILIAR DA REDE ELÉTRICA DO ESTADO DO AMAPÁ INTERLIGADO AO SIN



Fonte: Simulação ANAREDE

