

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Estudo de Qualidade da Energia Elétrica e  
de Análise de Curto-Circuito para Complexo Eólico

**Pedro Henrique Marquez Tonim**

**Uberlândia**  
**2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Estudo de Qualidade da Energia Elétrica e  
de Análise de Curto-Circuito para Complexo Eólico**

Trabalho apresentado por **Pedro Henrique Marquez Tonim** à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: **Prof. Dr. Isaque Nogueira Gondim**

Banca examinadora:

**Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares**

**Prof. Dr. Isaque Nogueira Gondim**

**Prof. Dr. Paulo Henrique Oliveira Rezende**

**Uberlândia**

**2021**

Dedico este trabalho à minha tia Silvana Guimarães Marquez, que infelizmente não conseguirá me ver formado, mas que em todo momento ao longo da minha vida, em especial durante a graduação, até a sua partida me incentivou, apoiou, cuidou de mim como se fosse um filho, chamando atenção quando não queria estudar, incentivando quando estava triste, acalmando quando estava ansioso, e que pelo resto da minha vida serei grato por essas ações, assim como meus pais, irmão e todos os familiares por ter proporcionado as condições de eu estar aqui hoje.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Marco Antonio Tonim e Cláudia Guimarães Marquez Tonim, meu irmão Lucas Marquez Tonim, meus avôs e familiares por todo apoio, carinho, e incentivo para a conclusão do curso, que me incentivaram nos momentos difíceis e que compreenderam as dificuldades que enfrentei durante esta trajetória.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a realização desta graduação.

A todos os professores que me ajudaram nesta trajetória, pelas correções, ensinamentos, conselhos, aprendizado, que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso, em especial ao professor Isaque Nogueira Gondim, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação, ter dado assistência ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, e paciência.

A quem mais não foi citado, mas que possa ter auxiliado de alguma forma no meu desenvolvimento acadêmico, pessoal ou profissional, e na trajetória de vida até este momento.

## RESUMO

Com o grande crescimento pela busca de energia renováveis, no Brasil, com sua grande capacidade energética dessas fontes, surgiu-se o interesse e o crescimento da Inserção de Parques Eólicos na rede básica de transmissão. Assim, os estudos de suas consequências no que tange ao fluxo de potência transitório eletromecânico, bem como ao transitório elétrico, aos níveis de curto-circuito, e à qualidade da energia, tornam-se essenciais.

Atualmente, são exigidos esses estudos pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), através de suas normas vigentes em relação à inserção dessas novas fontes de energia, como o Complexo Eólico do Delta do Parnaíba, o qual é analisado neste trabalho.

Então, para a realização desse estudo, serão utilizados os softwares ANAFAS e HARMZS, na versão acadêmica, e um sistema elétrico compacto (radial) com dados reais de rede do SIN(Sistema Interligado Nacional).

Os resultados obtidos denotam que, ao inserir o Complexo Eólico do Delta do Parnaíba na rede elétrica, não se violarão os índices de distorção harmônica. Além disso, analisaram-se os equipamentos adequados devem suportar os níveis de curtos-circuitos apresentados.

*Palavras-chaves: ONS, Qualidade da Energia Elétrica, SIN, Curto-Circuito.*

## ABSTRACT

With the great growth in the search for renewable energy, in Brazil, with its great energy capacity from these sources, the interest and growth of the Insertion of Wind Farms in the basic transmission network arose. Thus, studies of its consequences with respect to the electromechanical transient power flow, as well as the electrical transient, short-circuit levels, and energy quality, are essential.

Currently, these studies are required by ONS (National Electric System Operator), through its current rules regarding the insertion of these new energy sources, such as the Delta do Parnaíba Wind Complex, which is analyzed in this work.

Then, to carry out this study, the software ANAFAS and HARMZS will be used, in the academic version, and a compact electrical system (radial) with real data from the SIN network (Sistema Interligado Nacional).

The results obtained show that, when inserting the Delta do Parnaíba Wind Complex in the electric grid, the harmonic distortion indexes will not be violated. In addition, it was analyzed that the appropriate equipment must withstand the levels of short circuits presented.

*Keywords: ONS, Energy Quality, SIN, Short-Circuit .*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Representação do Equivalente de Norton [ONS, 2016] .....	16
Figura 2.2: Ilustração Gráfica de uma representação de Lugar Geométrico - Setor Anular [ONS, 2016] .....	18
Figura 2.3: Ilustração Gráfica do método do LG do polígono de "n" lados [ONS, 2016] .....	19
Figura 2.4: Ordem harmônica superior e inferior [ONS,2016] .....	19
Figura 2.5: Passo a passo para o estudo de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) .....	20
Figura 2.6: Passo a Passo para o estudo de Análise de Curto Circuito .....	23
Figura 3.1: Diagrama Unifilar do sistema elétrico PIRIPIRI .....	24
Figura 4.1: Lugar Geométrico (LG) - Setor Anular (plano GB) da 2 até 50 ordem harmônica .....	34
Figura 4.2: Lugar Geométrico (LG) - Método do Polígono de "n" lados (plano GB) da 2 até a 50 ordem harmônica .....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Nível de curto .....	25
Tabela 3.2: Parâmetros equivalentes dos alimentadores .....	25
Tabela 3.3: Parâmetros equivalentes dos transformadores.....	25
Tabela 3.4: Características das cargas .....	26
Tabela 3.5: Parâmetros dos capacitores.....	26
Tabela 3.6: Parâmetros Aerogeradores.....	26
Tabela 4.1: Indicadores de desempenho considerados para estudos de acesso.....	28
Tabela 4.2: Limites individuais para os indicadores DTHI e DTHTS95%.....	29
Tabela 4.3: Parâmetros equivalentes corrigidos dos alimentadores .....	31
Tabela 4.4: Parâmetros equivalentes corrigidos dos transformadores .....	31
Tabela 4.5: Características das cargas corrigidas .....	32
Tabela 4.6: Parâmetros dos capacitores corrigidos .....	32
Tabela 4.7: Parâmetros dos Aerogeradores corrigidos.....	32
Tabela 4.8: Síntese dos resultados-Distorção Harmônica - Setor Anular e Polígono de "n" lados (plano GB) - Carga Leve, Média e Pesada.....	36
Tabela 5.1: Curtos-Circuitos integrais nas barras da região para cargas leves.....	39
Tabela 5.2: Relação X/R das barras da região do Complexo Eólico Delta do Parnaíba para cargas leves.....	40
Tabela 5.3: Curtos-Circuitos integrais nas barras da região para cargas médias .....	40
Tabela 5.4: Relação X/R das barras da região do Complexo Eólico Delta do Parnaíba para cargas médias.....	41
Tabela 5.5: Curtos-Circuitos integrais nas barras da região para cargas pesadas .....	41
Tabela 5.6: Relação X/R das barras da região do Complexo Eólico Delta do Parnaíba para cargas pesadas.....	42
Tabela 5.7: Curtos-Circuitos máximos integrais nas barras da região .....	42

# SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1-Motivação.....	11
1.2 - Objetivos .....	13
<b>2 – ESTUDOS DE ACESSO EM SISTEMAS PARA REDE BÁSICA</b>	<b>15</b>
2.1- Qualidade de Energia (QEE).....	15
2.2- Estudo de Distorção Harmônica.....	15
2.2.1- Determinação do “Equivalente de Norton” .....	16
2.2.2- Método do Lugar Geométrico (LG) .....	17
2.3- Análise de Curto-Circuito .....	21
<b>3 – ESTUDO DE CASO: ACESSO DE UM PARQUE EÓLICO</b>	<b>24</b>
<b>4- DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO NO PAC</b>	<b>28</b>
4.1- Regulamentação Brasileira para o Acesso de Parque Eólicos à Rede de Conexão.....	28
4.1.1-Submódulo 2.9 – Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica .....	28
4.1.2- PARAMETRIZAÇÃO DO SISTEMA .....	30
4.2- Lugares Geométricos das Impedâncias da Rede .....	34
<b>5 – ANÁLISE DE CURTO-CIRCUITO</b>	<b>39</b>
<b>6 – CONCLUSÃO</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES HARMZS</b>	<b>45</b>
Configuração do HARMZS para cargas leves:.....	45
Configuração HARMZS para cargas médias: .....	47
Configuração para arquivo HARMZS para cargas pesadas: .....	49
Configuração para arquivo HARMZS para rede interna:.....	51
<b>APÊNDICE B – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES ANAFAS</b>	<b>53</b>
Configuração para arquivo ANAFAS carga leve: .....	53

Configuração para arquivo ANAFAS carga média: .....	55
Configuração para arquivo ANAFAS carga pesada: .....	57

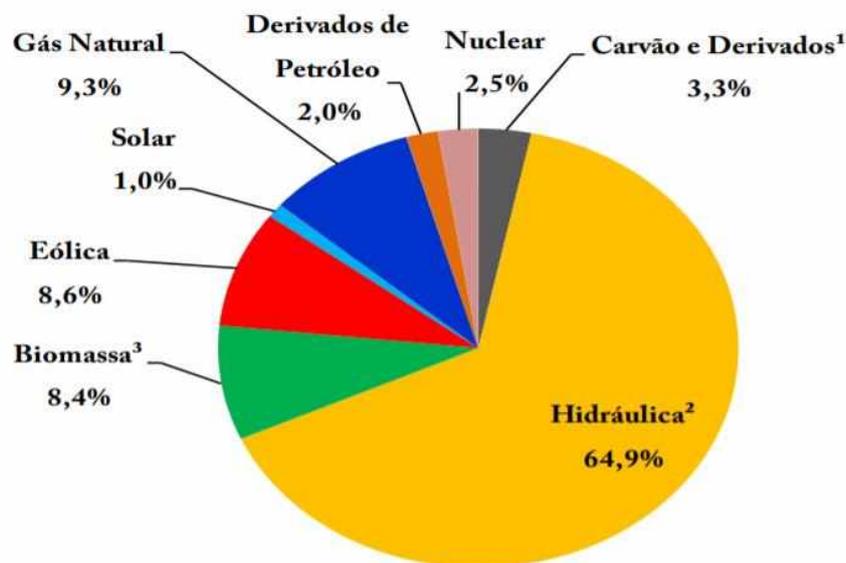
# 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1-Motivação

Atualmente, a maioria dos países do mundo dependem dos combustíveis fósseis (gás natural, petróleo, carvão mineral, entre outros), em diferentes porcentagens, para geração de energia elétrica. Entretanto, esses recursos não são renováveis. Assim sendo, com a diversificação da ideia da sustentabilidade no mundo, cresceu o interesse em investimentos em energias renováveis (eólica, solar, hidrelétrica, biogás, biomassa, geotérmica, entre outras) para geração de energia elétrica, assim como a diversificação de matriz energética dos países.

O Brasil, assim como os outros países do mundo está buscando essa diversificação da matriz energética, com ênfase nas energias renováveis, como pode-se observar no Gráfico 1.1.

Gráfico 1.1: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte no Brasil



Fonte: Balanço Energético Brasileiro (BEN), 2020

Com a diversificação da matriz energética brasileira, surgiram novos problemas no que tange à inserção dessas novas fontes energéticas, as quais utilizam da eletrônica de potência para serem conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), a exemplo de Parques Eólicos, Usina Fotovoltaicas (UFV), entre outros.

Algumas destas mudanças são: surgimento de harmônicos, flutuações de tensão, aumento dos níveis de curto-circuito, mudança dos fluxos de potência, instabilidades

eletromecânicas, entre outros. Assim sendo, surgiu a necessidade de estudos prévios antes da conexão dessas matrizes energéticas ao SIN, que são exigidas pelas concessionárias de energia, utilizando os Softwares desenvolvidos pela CEPEL, os quais são:

HARMZS (Estudos de Comportamento Harmônico e Análise Modal de Redes Elétricas) é um software desenvolvido para realizar estudos de comportamento harmônico de sistemas de potência de grande porte, permitindo alguns tipos de análises: a modal e a convencional. Atualmente, destaca-se pela finalidade de avaliar o impacto harmônico da conexão de novas cargas não lineares à Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN), utilizando diversas topologias de rede, níveis e modelos de cargas e contingências.

ANAREDE (Análise de Redes Elétricas), software que reúne programas de fluxo de potência, equivalente de redes, análises de contingências, análises de sensibilidade de tensão e de fluxo, análise de segurança de tensão. Atualmente, destaca-se como o programa mais utilizado no Brasil para análise de Sistemas Elétricos de Potências em regime permanente, sendo que os principais usuários são entidades setoriais, como Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME), entre outros.

ANATEM (Análise de Transitórios Eletromecânicos), software que destaca-se por estudos que levam em considerações modelos de máquinas síncronas, máquinas de indução, cargas funcionais, elos de Corrente Contínua em Alta Tensão (CCAT), geradores eólicos, entre outros, analisando grandes perturbações nos sistemas de potência, compreendendo os períodos de estabilidades transitórias e dinâmicas. Atualmente é o software mais utilizado para essas análises, possuindo como principais usuários entidades setoriais como ONS, EPE, MME, entre outros.

ANAFAS (Análise de Falhas Simultâneas) é utilizado para cálculos de curtos-circuitos na rede elétrica, permitindo a execução de grandes números de faltas, resultados orientados a pontos de falta ou de monitoração, estudo automático de superação de disjuntores, obtenção de equivalentes e cálculo automático da evolução dos níveis de curto.

Com o aumento da Inserção de Parques Eólicos na rede básica de transmissão, estudos de seu impacto no que tange ao fluxo de potência transitório eletromecânico, transitório elétrico, aos níveis de curto-circuito, e à qualidade de energia, se tornam de extrema importância para analisar os impactos possíveis de acontecer. Tais estudos são atualmente exigidos pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) através de suas normas antes da ligação destes parques à rede elétrica.

---

Para a realização dos estudos mencionados, os dados da rede são disponibilizados no portal SINTEGRE no site da ONS de todo o SIN com grandes quantidades de barras e informações, sendo possível ser analisados somente na versão completa, devido a limitação imposta pelas outras versões como a acadêmica, no quesito quantidade de barras.

Para a realização deste trabalho serão utilizados os softwares ANAFAS, e HARMZS, na versão acadêmica, e um sistema elétrico compacto (radial) com dados reais de rede do SIN.

## **1.2 - Objetivos**

O presente trabalho avalia os impactos na Qualidade de Energia Elétrica (QEE) resultantes da conexão dos parques eólicos, e das Usinas Fotovoltaicas, com aprofundamento nas distorções harmônicas de tensão no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) com a Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN). Ademais, avalia-se o estudo de curto-circuito, com o objetivo de verificar as mudanças dos níveis de curto-circuito nas barras, para proporcionar os ajustes e a coordenação de sistemas de proteção para a interrupção de corrente simétrica, bem como subsidiar os estudos de estabilidade eletromecânica e de transitórios eletromagnéticos, nos possibilitando o cálculo de equivalente da rede, dimensionamento elétrico e mecânico de disjuntores, chaves seccionadoras, barramentos, linhas de transmissão, transformadores, aterramento de instalações e outros equipamentos, a especificação de transformadores de corrente, bobinas de bloqueio e sistemas de proteção, e estudos relativos ao ajustes e coordenação da proteção.

A realização dos estudos de QEE possibilita uma verificação do efeito da nova instalação no sistema, considerando diversas configurações sistêmicas no horizonte de operação disponível, incluindo condições de emergência (N-1), que poderão não acontecer, necessariamente, durante as campanhas de medição.

A realização dos estudos de curto-circuito tem por objetivo avaliar os impactos no sistema elétrico da região geradora sob o ponto de vista de curto-circuito. O estudo abrange a avaliação dos níveis de curto-circuito na região em estudo e verificação da capacidade de interrupção simétrica dos disjuntores das SE (Subestações). Além disso,

---

será avaliada a evolução dos estudos de níveis de curto-circuito e calculada a relação X/R nas barras da região.

Ambos os estudos seguem as normas vigentes pela ONS, mais especificamente a de Procedimentos de Rede [ONS, 2020], e a de Instruções para Realização de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Acessos à Rede Básica ou nos Barramentos de Fronteira com a Rede Básica para Parques Eólicos, Solares, Consumidores Livre e Distribuidoras [ONS,2016].

O presente trabalho irá analisar esses impactos na qualidade de energia elétrica (QEE) resultantes da conexão do parque eólicos de Piripiri (Potência instalada de 70MW) ao SIN, assim como o estudo dos níveis de curto-circuito nas barras da subestação de Piripiri e adjacentes.

## **2 – ESTUDOS DE ACESSO EM SISTEMAS PARA REDE BÁSICA**

### **2.1- Qualidade de Energia (QEE)**

No âmbito da qualidade de energia, este trabalho tem como finalidade avaliar os impactos resultantes da conexão do parque eólico de Piripiri (Potência Instalada de 70MW), analisando-se o conteúdo harmônico produzido pela instalação, bem como a flutuação de tensão junto ao ponto de acoplamento comum (PAC) com a Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN).

De acordo com o Submódulo 2.9 dos Procedimentos de Rede [ONS, 2020], a solicitação de acesso para a geração, as quais instalações não lineares possam comprometer o desempenho da rede básica e Demais Instalações de Transmissão, devem ser realizadas análises fundamentadas em indicadores de qualidade de energia elétrica (QEE), sendo os efeitos de flutuação de tensão, distorção harmônica e desequilíbrio de tensão os de maior interesse.

### **2.2- Estudo de Distorção Harmônica**

Os estudos de avaliação quanto à distorção harmônica no PAC têm como referência as diretrizes indicadas nos procedimentos de Rede [ONS,2020] e nas instruções específicas publicadas pelo ONS, na NT 009/2016, Rev.02, datada de março de 2018 [ONS, 2016]

Dessa maneira, a análise do desempenho harmônico permite avaliar os impactos de qualquer característica não linear (parques eólicos, SVC, usinas fotovoltaicas, entre outros) no PAC. Para tanto, avalia-se os impactos na qualidade da energia elétrica (QEE) sobre a transmissão (Rede Básica e DITs), mediante análise de distorções harmônicas de tensão, quando da operação do parque eólico em regime de operação permanente, e em contingências simples não simultâneas utilizando o critério (N-1), considerando até a terceira vizinhança. Assim, faz-se o uso destes valores de impedâncias, nas diferentes ordens harmônicas (até a 50ª harmônica).

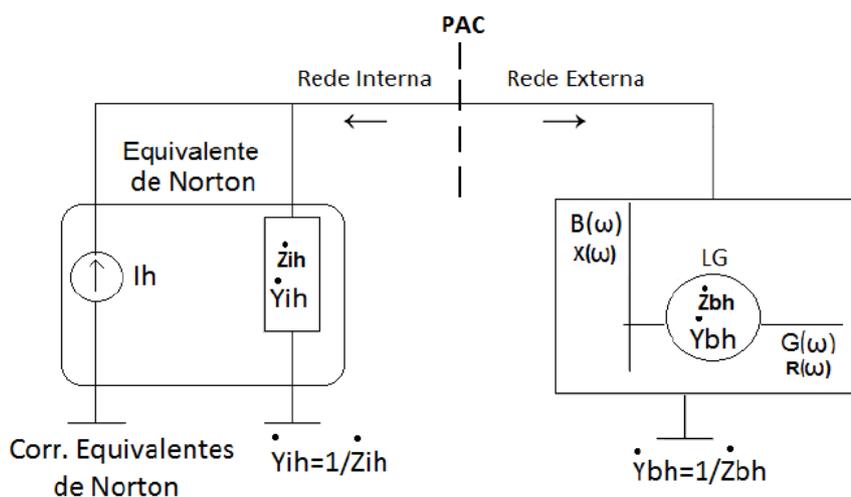
Para cargas lineares, recomenda-se pela ONS, para a modelagem, o método do LG (Lugar Geométrico) da impedância harmônica da Rede Básica no plano complexo X versus R.

Entretanto, para calcular os piores valores de tensão harmônica, não é viável calcular o fluxo para cada LG, por isso, determina-se o “equivalente de Norton” da Rede Interna do Agente visto do PAC, para cada harmônica relevante. Sendo assim, usa-se o método do LG para representar a Rede Externa por meio das admitâncias harmônicas da Rede Básica ( $Y_{bh}$ ) vista do PAC, e para a Rede Interna utiliza-se a representação por meio do equivalente de Norton ( $I_h$  e  $Y_{ih}$ ). O LG das impedâncias gerado para representar a rede básica é convertido em uma admitância (Plano GB – condutância x susceptância). Essas exigências de distorção harmônicas de tensão devem ser atendidas para qualquer valor de admitância, para cada harmônica ou grupo de harmônicas.

### 2.2.1- Determinação do “Equivalente de Norton”

Para determinar o “equivalente de norton” utiliza-se as correntes harmônicas ( $I_h$ ) geradas pelos equipamentos, os quais são desenvolvidos através da eletrônica de potência, como: os aerogeradores, inversores solares, entre outros equipamentos não lineares, onde essas correntes são utilizadas para o cálculo do  $V_{hm\acute{a}x}$ . Em geral essas correntes harmônicas geradas por esses equipamentos, devem ser fornecidas pelos fabricantes, devido à falta de um modelo fiel, por meio de campanha de medição realizada seguindo as orientações da IEC 61400-21. Ele é representado de acordo com a imagem a seguir.

Figura 2.1: Representação do Equivalente de Norton [ONS, 2016]



Fonte: ONS (2016)

Devido a dificuldade de se estabelecer o ângulo entre as correntes geradas por essas fontes (aerogeradores, inversores, entre outros), para uma harmônica de mesma ordem, a norma IEC 61000-3-6 propôs uma formulação para determinar a corrente resultante desta ordem, a qual está reproduzida abaixo conforme ONS NT 009/2016 (2018, p.13)

$$I_{n, total} = \sum_{i=1}^m (I_{n, i^a})^{(1/a)} \quad (1)$$

Onde,

n- Ordem harmônica

m- Número total de fontes

a- Fator de agregação:

a	Ordem Harmônica
1	n<5
1,4	5 ≤ n ≤ 10
2	n>10

Fonte: ONS (2016)

### 2.2.2- Método do Lugar Geométrico (LG)

Um das formas de avaliar os impactos harmônicos devido a conexão à rede básica de um novo acessante que possua cargas não lineares significativas, consiste na utilização do método dos Lugares Geométrico (LG) [ONS, 2016]

A utilização deste método tem como resultado uma avaliação conservadora do impacto provocado pelas cargas não lineares do novo acessante, onde a rede interna do mesmo é representada por um equivalente de Norton e a rede básica é por um lugar geométrico de impedâncias, ou admitâncias sendo mais usual a utilização por admitância (plano GB – condutância x susceptância). Sendo que a metodologia do LG leva em consideração as possíveis alterações ou mudanças das admitâncias devido às imprecisões na representação dos elementos que compõem o sistema, possibilitando representar a variação da admitância vista do PAC durante parte da vida útil da instalação.

A finalidade desse método é procurar situações que minimizem o valor da admitância equivalente (carga, rede) vista do PAC, de maneira a gerar o maior valor de tensão harmônica resultante. Assim, o maior valor da distorção harmônica depende da forma geométrica determina para o LG, no plano GB.

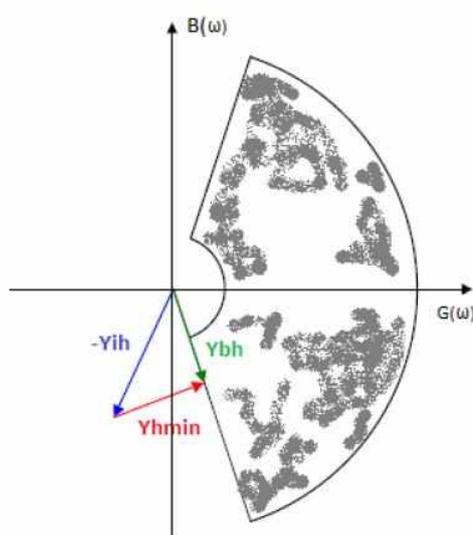
O Lugar Geométrico pode ser representado por círculos, setores anulares, polígonos, áreas limitadas por retas e arcos de circunferências, entre outros, os quais englobam de maneira conservadora todos os pontos de impedância/admitância calculados para cada harmônica ou conjuntos de harmônicos adjacentes. A ONS recomenda o uso do LG de setor angular, ou o do tipo polígono de “n” lados.

Para determinar o LG equivalente da Rede Básica, determina-se as impedâncias, e admitâncias harmônicas vistas do PAC, para cada harmônico, imaginando sua conexão desligada, logo desconsiderando o efeito do circuito interno da instalação.

O grupo de impedâncias, e admitâncias determinado, avalia diferentes situações para Rede Básica, presentes e futuros, para diversos tipos de cargas (leve, média, pesada), assim como situações de funcionamento degradadas (N-1). Adicionalmente permite avaliar o desempenho no PAC devido à instalação de novos filtros ou perda de filtros existentes.

Para o método do setor anular determina-se os módulos e os ângulos do  $Z_{bh}$ , quando do parque eólico em regime de operação normal e em contingências simples não simultâneas (critério N-1), considerando até a terceira vizinhança, e com as piores condições com as distorções harmônicas. Sendo assim utiliza-se o maior ângulo e o menor ângulo dos  $Z_{bh}$ , e o de maior módulo, traçando uma semi-circunferência resultando-se no lugar geométrico do método setor angular, como está representado na Figura 2.2.

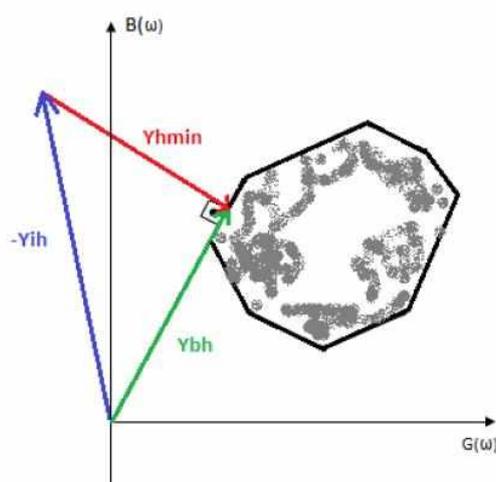
Figura 2.2: Ilustração Gráfica de uma representação de Lugar Geométrico Setor Anular [ONS, 2016]



Fonte: ONS (2016)

O método do LG do tipo polígono de “n” lados, dentre todos encontrados na literatura para a representação da Rede Externa é uma alternativa que apresenta resultados menos conservadores para a realização de estudos de desempenho harmônicos. Para determinar esse lugar geométrico, marca-se todos os valores obtidos de  $Y_{hmin}$  em função de  $Y_{ih}$  e  $Y_{bh}$ , conforme indicado na Figura 2.3, ao obter-se os valores e interligar os pontos periféricos, obtém um polígono, o qual é a representação do lugar geométrico pelo método do polígono de “n” lados.

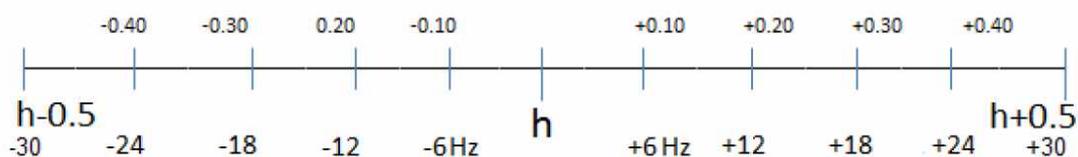
Figura 2.3: Ilustração Gráfica do método do LG do polígono de "n" lados [ONS, 2016]



Fonte: ONS (2016)

Nas simulações com o programa Harmzs, consideram-se as harmônicas e inter-harmônicas adjacentes, posteriores e inferiores,  $(h-0,5)$ ,  $h$  e  $(h+0,5)$ , com passo intermediário de  $\pm 0,1 \text{ xh}$  (ou  $\pm 6,0\text{Hz}$  com respeito à frequência fundamental), para darem a origem ao LG [ONS, 2016]. Como pode-se observar na Figura 2.4.

Figura 2.4: Ordem harmônica superior e inferior [ONS,2016]

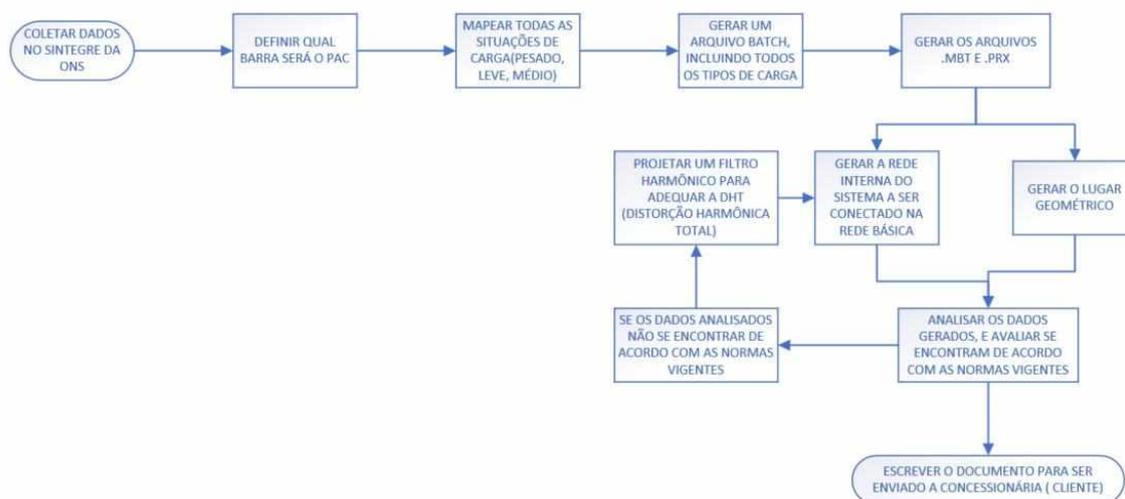


Fonte: ONS (2016)

## 2 – ESTUDOS DE ACESSO EM SISTEMAS PARA REDE BÁSICA

Mostra-se abaixo um fluxograma representando o passo a passo a ser executado para a análise de Qualidade de Energia Elétrica, utilizando o HARMZS, a ser enviado ao cliente, ou à concessionária para autorização da inserção da nova fonte de geração de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Figura 2.5: Passo a passo para o estudo de Qualidade de Energia Elétrica (QEE)



Fonte: O Autor

## **2.3- Análise de Curto-Circuito**

Um curto-circuito corresponde a uma alteração estrutural abrupta em um sistema elétrico de energia, caracterizada por contato elétrico não planejado de um circuito de baixa impedância entre dois pontos de potenciais diferentes, podendo ocorrer em:

- Barramentos de Subestações, quadros elétricos, geralmente devido à ação de elementos externos;
- Linhas aéreas, devido a sobretensões oriundas de descargas atmosféricas ou ações de elementos externos (aves, ramos de árvores, entre outros), ruptura de condutores, isoladores e apoios;
- Cabos subterrâneos, transformadores e máquinas rotativas e aparelhagem de corte, devido a falhas de isolamento (aquecimento, efeitos mecânicos, envelhecimento, campos elétricos elevados).

Como consequências dos curtos-circuitos pode-se citar.

- Correntes elevadas (substancialmente superiores às correntes de cargas verificadas em condições normais), que se durarem mais que o normal provocam o aquecimento dos condutores e a deterioração irreversível do equipamento;
- Correntes elevadas, que provocam esforços eletrodinâmicos entre fases dos elementos condutores dos equipamentos (barramentos, enrolamentos, entre outros);
- Variações de tensão, com grandes quedas de tensão em algumas fases e em outras ocasionando grandes elevações de tensão.

O estudo de análise de curto-circuito tem como objetivo verificar a evolução desses níveis de curto-circuito nas barras da região da instalação da nova geração de energia, verificar a compatibilidade dos disjuntores para a rede quanto à capacidade de interrupção da corrente simétrica, proporcionar os ajustes e a coordenação de sistemas de proteção, bem como servir para embasamento dos estudos de estabilidade eletromecânica e de transitórios eletromagnéticos. Logo, a partir de um estudo de curto-circuito é possível:

- O cálculo de equivalente da rede;
- O dimensionamento elétrico e mecânico de disjuntores, chaves seccionadoras, barramento, linhas de transmissão, transformadores, aterramento de instalação e outros equipamentos;

- O dimensionamento de transformadores de corrente, bobinas de bloqueio e sistemas de proteção e;
- Estudos relativos ao ajuste e coordenação da proteção.

As diretrizes e os critérios aplicados são estabelecidos no item 7 do Submódulo 23.3 dos procedimentos de rede do ONS “Diretrizes e Critérios para Estudos de Curto-Circuito”.

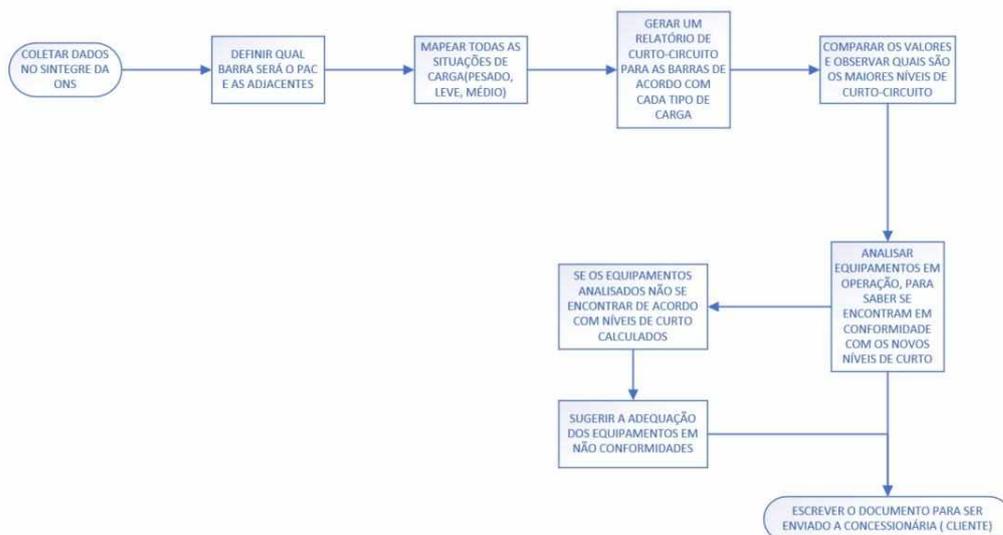
Esta análise de curto-circuito tem como objetivo analisar as alterações da entrada em operação do parque eólico de Piripiri no sistema elétrico da região sob a perspectiva de curto-circuito.

Sendo assim, será feita a análise desses níveis de curto-circuito, e a recomendação da capacidade de interrupção simétrica dos disjuntores da SE Piripiri. Além disto, são avaliados os novos níveis de curtos-circuitos, nas barras adjacentes e no PAC do parque eólico. Para essa análise será utilizado o software ANAFAS desenvolvido pela CEPEL.

O parque eólico de Piripiri terá capacidade de geração de 70MW ( são 35 aerogeradores com geração de 2,3 MW cada) e se conectará ao sistema de transmissão em 138kV. Será construída uma subestação elevadora (34,5/138kV) na região do parque eólico e será conectada ao SIN.

Abaixo mostra-se um fluxograma representando o passo a passo a ser executado para a análise curto circuito, utilizando o ANAFAS, a ser enviado ao cliente, ou à concessionária para autorização da inserção da nova fonte de geração de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Figura 2.6: Passo a Passo para o estudo de Análise de Curto Circuito

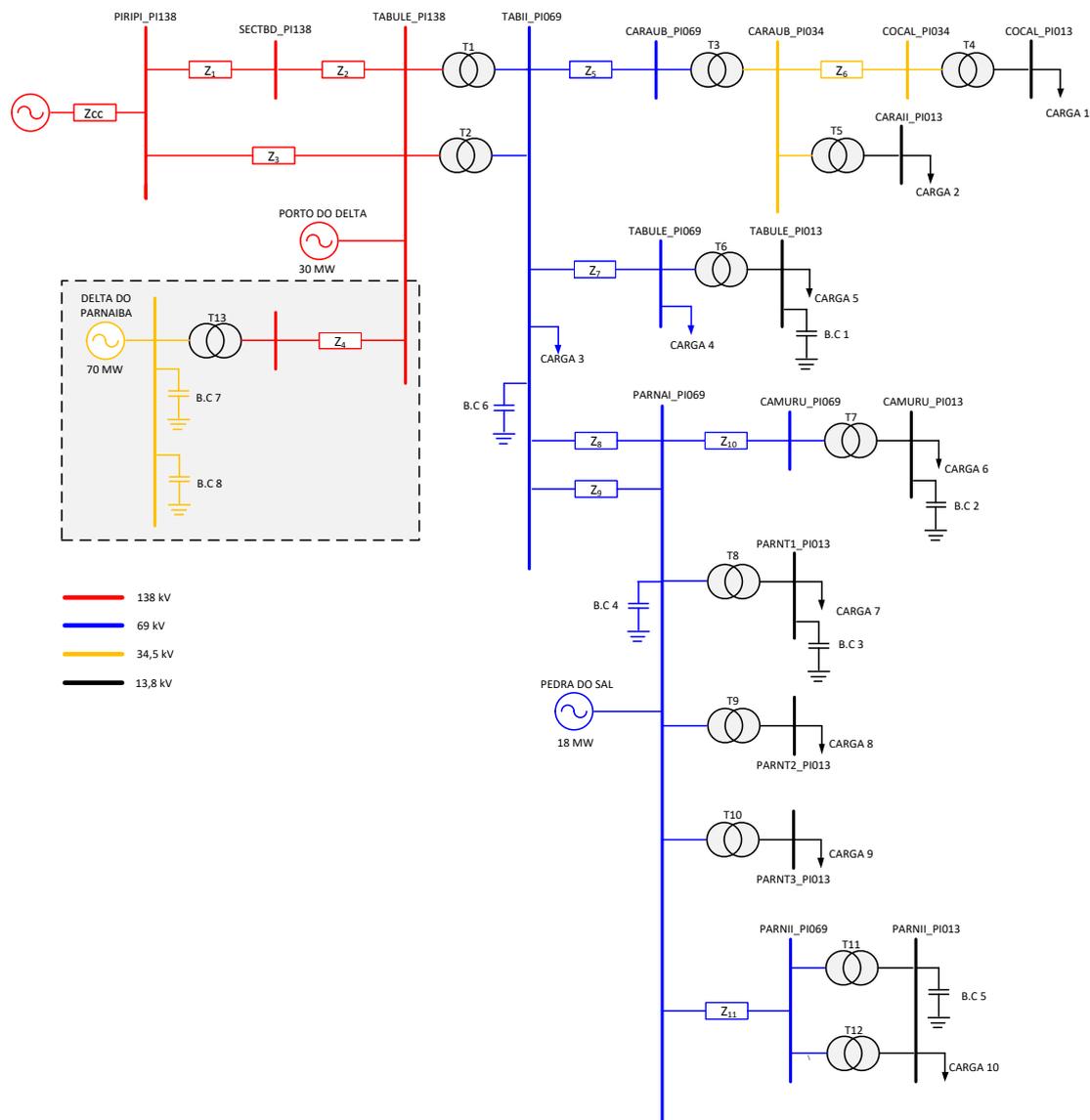


Fonte: O Autor

### 3 – ESTUDO DE CASO: ACESSO DE UM PARQUE EÓLICO

Para um aprofundamento das normas expostas, este capítulo tem por objetivo análise e estudo de acesso de um parque eólico existente na rede básica. Para isso, a Figura 3.1 apresenta uma síntese do arranjo elétrico contemplado nos estudos computacionais. Como indicado, este sistema consiste basicamente do complexo de PIRIPIRI 138kV, e outros, até o nível de 13,8kV. Nesta, pode-se observar, em destaque, o complexo eólico Delta do Parnaíba, que se apresenta como centro dos estudos aqui reportados.

Figura 3.1: Diagrama Unifilar do sistema elétrico PIRIPIRI



Fonte: O Autor

### 3 – ESTUDO DE CASO: ACESSO DE UM PARQUE EÓLICO

Os principais parâmetros atrelados com o diagrama acima, com os distintos componentes que perfazem o sistema em pauta, nos termos necessários à modelagem estabelecida no HARMZs e ANAFAS, são fornecidos nas tabelas 3.1 a 3.6.

Tabela 3.1: Nível de curto

<b>Barra PIRIPI</b>	
Tensão	138 kV
Corrente de curto-circuito	4,30 kA
Ângulo	$\angle -84,35^\circ$

Fonte: O Autor

Tabela 3.2: Parâmetros equivalentes dos alimentadores

<b>Condutores</b>			
<b>Condutores</b>	<b>Resistência (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Reatância (mH)</b>	<b>Capacitância (<math>\mu</math>F)</b>
Z1	17,05	152,55	1,14
Z2	2,51 $\Omega$	22,43	0,167
Z3	16,72 $\Omega$	172,51	1,33
Z4	4,08 $\Omega$	45,25	0,30
Z5	9,88 $\Omega$	60,34	0,48
Z6	8,39 $\Omega$	27,32	0,31
Z7	0,06 $\Omega$	0,36	0,003
Z8	2,37 $\Omega$	14,48	0,11
Z9	2,09 $\Omega$	18,19	0,14
Z10	13,05 $\Omega$	54,52	0,37
Z11	0,7 $\Omega$	6,06	0,05

Fonte: O Autor

Tabela 3.3: Parâmetros equivalentes dos transformadores

<b>Transformadores</b>			
<b>Transformador</b>	<b>Potência Nominal</b>	<b>TAP</b>	<b>Reatância (Base 100 MVA)</b>
T1	60 MVA	138 kV / 69 kV	25,9 %
T2	60 MVA	138 kV / 69 kV	26,0 %
T3	12 MVA	69 kV / 34,5 kV	51,4 %
T4	6 MVA	34,5 kV / 13,8 kV	136,0 %
T5	1 MVA	34,5 kV / 13,8 kV	5,6 %
T6	12 MVA	69 kV / 13,8 kV	38,65 %
T7	5 MVA	69 kV / 13,8 kV	120,2 %

**3 – ESTUDO DE CASO: ACESSO DE UM PARQUE EÓLICO**

T8	20 MVA	69 kV / 13,8 kV	38,65 %
T9	12 MVA	69 kV / 13,8 kV	71,5 %
T10	12 MVA	69 kV / 13,8 kV	69,6 %
T11	12 MVA	69 kV / 13,8 kV	51,28 %
T12	12 MVA	69 kV / 13,8 kV	51,28 %
T13	60 MVA	34,5 kV / 138,0 kV	22,22 %

Fonte: O Autor

Tabela 3.4: Características das cargas

Cargas						
Carga	Leve		Médio		Pesado	
	Ativa (MW)	Reativa (Mvar)	Ativa (MW)	Reativa (Mvar)	Ativa (MW)	Reativa (Mvar)
Carga 1	0,6	0,2	1,7	0,7	2,2	0,9
Carga 2	0,3	0,1	0,6	0,3	0,8	0,3
Carga 3	6,3	3,6	14,6	12,9	18,8	10,7
Carga 4	3,8	1,6	5,0	2,1	1,8	0,8
Carga 5	2,3	2,0	6,3	5,6	4,9	3,0
Carga 6	2,1	1,3	2,2	1,3	1,8	1,0
Carga 7	5,0	3,1	7,4	4,2	6,7	3,8
Carga 8	0,9	0,6	0,9	0,5	1,2	0,6
Carga 9	1,8	1,1	2,2	1,3	2,8	1,4
Carga 10	11,3	5,8	16,6	8,5	15,0	7,7

Fonte: O Autor

Tabela 3.5: Parâmetros dos capacitores

Banco de Capacitores	
Banco de Capacitor	Potência ( MVar)
B.C 1	1,02
B.C 2	1,02
B.C 3	1,015
B.C 4	1,015
B.C 5	2,54
B.C 6	1,837
B.C 7	5,5
B.C 8	5,5

Fonte: O Autor

Tabela 3.6: Parâmetros Aero geradores

Frequência Hz	Magnitude IWTGN (p.u na base de 2,3MW)
120	0,0008
180	0,0004
240	0,0003
300	0,0016
360	0

**3 – ESTUDO DE CASO: ACESSO DE UM PARQUE EÓLICO**

420	0,0021
480	0
540	0
600	0
660	0
720	0
780	0,0004
840	0
900	0
960	0
1020	0
1080	0
1140	0
1200	0
1260	0
1320	0
1380	0
1440	0
1500	0
1560	0
1620	0,0003
1680	0
1740	0
1800	0
1860	0
1920	0,0003
1980	0
2040	0
2100	0
2160	0
2220	0
2280	0
2340	0
2400	0
2460	0
2520	0
2580	0
2640	0
2700	0,0003
2760	0
2820	0
2880	0
2940	0,0004
3000	0

Fonte: O Autor

## 4- DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO NO PAC

### 4.1- Regulamentação Brasileira para o Acesso de Parque Eólicos à Rede de Conexão

Em relação ao que é abordado pela regulamentação técnica do setor elétrico brasileiro, a conexão de parques eólicos e os respectivos indicadores de desempenho, no contexto da qualidade de energia elétrica, são definidos pelos Procedimentos de Rede do Sistema de Transmissão, elaborados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS).

#### 4.1.1-Submódulo 2.9 – Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica

Este documento, o qual integra o “*Módulo 2 – Critérios e Requisitos*” apresenta os indicadores de desempenho da rede básica e dos barramentos dos transformadores de fronteira relacionados à qualidade de energia elétrica, bem como os valores limites de referência no aspecto tanto global ou sistêmico, como individual ou por agente, para os diferentes distúrbios que afetam a qualidade do serviço/produto.

A Tabela 4.1 apresenta uma síntese das definições aplicáveis aos indicadores de qualidade da energia abordados no presente estudo. Deve-se destacar que o acesso de centrais de geração eólicas às instalações de transmissão e às redes de distribuição, em tensão superior a 69 kV, devem atender os limites individuais dos indicadores de desempenho da rede básica e dos barramentos dos transformadores de fronteira definidos neste submódulo.

Tabela 4.1: Indicadores de desempenho considerados para estudos de acesso.

<b>Tipo de indicador</b>	<b>Indicador</b>	<b>Considerações gerais</b>
Indicadores de tensão	Distorção de Tensão Harmônica	O indicador para avaliar o desempenho global quanto a harmônicos, em regime permanente, nos barramentos da rede básica e nos barramentos dos transformadores de fronteira, corresponde à distorção de tensão harmônica.

Fonte: O Autor

No que se refere à Distorção de Tensão Harmônica Total (DTHT), esta é calculada como a raiz quadrada do somatório quadrático das tensões harmônicas de ordens 2 a 50, conforme indicado pela equação 2. Esse conceito procura quantificar o conteúdo harmônico total existente em um determinado barramento da rede básica ou nos barramentos dos transformadores de fronteira.

$$DTHT = \sqrt{\sum V_H^2} \text{ (em \%)} \quad (2)$$

onde:  $V_H = 100 V_h / v_1$  é a tensão harmônica de ordem h em porcentagem da tensão à frequência fundamental obtida durante a medição;  $v_h$  é a tensão harmônica de ordem h em volts;  $v_1$  é a tensão à frequência fundamental obtida durante a medição em volts.

Nesse contexto, os limites individuais de tensões harmônicas de ordens de 2 a 50, bem como o limite de Distorção de Tensão Harmônica Total (DTHTS95%), são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Limites individuais para os indicadores DTHI e DTHTS95%

13,8 kV ≤ V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
DTHI, h ímpar		DTHI, h par		DTHI, h ímpar		DTHI, h par	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3 a 25	1,5%			3 a 25	0,6%		
		todos	0,6%			todos	0,3%
≥27	0,7%			≥27	0,4%		
DTHTS95% = 3%				DTHTS95% = 1,5%			

Fonte: ONS (2020)

### 4.1.2- PARAMETRIZAÇÃO DO SISTEMA

Tendo em vista o grande número de informações obtidos a partir de simulações no programa HARMZS, de forma a contemplar todas as particularidades exigidas nos estudos de acesso, os valores de módulo das impedâncias harmônicas são encontrados na Tabela 4.1, sendo que os valores neste anexo se encontram no sistema “por unidade” e consideram uma potência base de 100MVA e tensão base de acordo com a barra que está ligada, sendo obtidos conforme a figura 5, e a impedância base conforme a equação 1.

$$Z_{base} = \frac{(V_{base})^2}{S_{base}} (\Omega) \quad (3)$$

Para obter a informação da resistência em “por unidade” (p.u) usa-se a fórmula a seguir:

$$R_{(p.u)} = \frac{R}{Z_{base}} (p.u) \quad (4)$$

Para transformar os valores de reatância, e susceptância para a unidade em ohms siemens, e depois transformar em “por unidade” usa-se as seguintes fórmulas:

-Reatância:

$$X_L = 2 * \pi * f * L (\Omega) \quad (5)$$

Para transformar esse valor em “por unidade” (p.u):

$$X_{L(p.u)} = \frac{X_L}{Z_{base}} (p.u) \quad (6)$$

-Susceptância:

$$B = 2 * \pi * f * C (S) \quad (7)$$

Para transformar esse valor em “por unidade” (p.u):

$$B_{(p.u)} = B * Z_{base} (p.u) \quad (8)$$

Para obter as informações de potência em “por unidade” usa-se a fórmula a seguir:

$$Potência_{(p.u)} = \frac{Potência}{Potência_{base(100MVA)}} (p.u) \quad (9)$$

Transformando todos os dados em “por unidade”, esses dados se encontram nas tabelas abaixo. Tendo como base os resultados obtidos anteriormente, considerando as seguintes características:

Horizontes de estudos: Cargas leves, médias, e pesadas;

Condições de rede: completa e degradada (critério N-1).

Tabela 4.3: Parâmetros equivalentes corrigidos dos alimentadores

Condutores			
Condutores	Resistência (p.u)	Reatância (p.u)	Susceptância (p.u)
Z1	0,089529511	0,301984851	0,81845375
Z2	0,013180004	0,044401968	0,11989629
Z3	0,087796681	0,341497258	0,95486271
Z4	0,021424071	0,089575972	0,21538257
Z5	0,207519429	0,477791306	0,08615303
Z6	0,704893930	0,865313787	0,01391012
Z7	0,001260239	0,002850594	0,00053846
Z8	0,049779458	0,114657244	0,01974340
Z9	0,043898341	0,144034204	0,02512797
Z10	0,274102079	0,431706696	0,06640962
Z11	0,014702794	0,047985007	0,00897427

Fonte: O Autor

Tabela 4.4: Parâmetros equivalentes corrigidos dos transformadores

Transformadores			
Transformador	Potência Nominal (p.u)	TAP	Reatância (p.u)
T1	0,6	138 kV / 69 kV	0,259
T2	0,6	138 kV / 69 kV	0,26
T3	0,12	69 kV / 34,5 kV	0,514
T4	0,06	34,5 kV / 13,8 kV	1,36
T5	0,01	34,5 kV / 13,8 kV	0,056
T6	0,12	69 kV / 13,8 kV	0,3865
T7	0,05	69 kV / 13,8 kV	1,202

#### 4- DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO NO PAC

T8	0,2	69 kV / 13,8 kV	0,3865
T9	0,12	69 kV / 13,8 kV	0,715
T10	0,12	69 kV / 13,8 kV	0,696
T11	0,12	69 kV / 13,8 kV	0,5128
T12	0,12	69 kV / 13,8 kV	0,5128
T13	0,6	34,5 kV / 138,0 kV	0,2222

Fonte: O Autor

Tabela 4.5: Características das cargas corrigidas

Cargas						
Carga	Leve		Médio		Pesado	
	Ativa (MW)	Reativa (Mvar)	Ativa (MW)	Reativa (Mvar)	Ativa (MW)	Reativa (Mvar)
Carga 1	0,006	0,002	0,017	0,007	0,022	0,009
Carga 2	0,003	0,001	0,006	0,003	0,008	0,003
Carga 3	0,063	0,036	0,146	0,129	0,188	0,107
Carga 4	0,038	0,016	0,050	0,021	0,018	0,008
Carga 5	0,023	0,020	0,063	0,056	0,049	0,030
Carga 6	0,021	0,013	0,022	0,013	0,018	0,010
Carga 7	0,050	0,031	0,074	0,042	0,067	0,038
Carga 8	0,009	0,006	0,009	0,005	0,012	0,006
Carga 9	0,018	0,011	0,022	0,013	0,028	0,014
Carga 10	0,113	0,058	0,166	0,085	0,150	0,077

Fonte: O Autor

Tabela 4.6: Parâmetros dos capacitores corrigidos

Banco de Capacitores	
Banco de Capacitor	Potência (p.u)
B.C 1	0,0102
B.C 2	0,0102
B.C 3	0,01015
B.C 4	0,01015
B.C 5	0,0254
B.C 6	0,01837
B.C 7	0,0550
B.C 8	0,0550

Fonte: O Autor

Tabela 4.7: Parâmetros dos Aero geradores corrigidos

Frequência	Magnitude IWTGN (p.u na base de 100MVA para 35 aero geradores)
Hz	
120	0,000644
180	0,000322
240	0,000242
300	0,001288

**4- DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO NO PAC**

360	0
420	0,001691
480	0
540	0
600	0
660	0
720	0
780	0,000322
840	0
900	0
960	0
1020	0
1080	0
1140	0
1200	0
1260	0
1320	0
1380	0
1440	0
1500	0
1560	0
1620	0,000242
1680	0
1740	0
1800	0
1860	0
1920	0,000242
1980	0
2040	0
2100	0
2160	0
2220	0
2280	0
2340	0
2400	0
2460	0
2520	0
2580	0
2640	0
2700	0,000242
2760	0
2820	0
2880	0
2940	0,000322
3000	0

Fonte: O Autor

À luz do exposto e fundamentado nos valores das impedâncias harmônicas são apresentados, na sequência, os correspondentes lugares geométricos obtidos para o sistema abordado.

## 4.2- Lugares Geométricos das Impedâncias da Rede

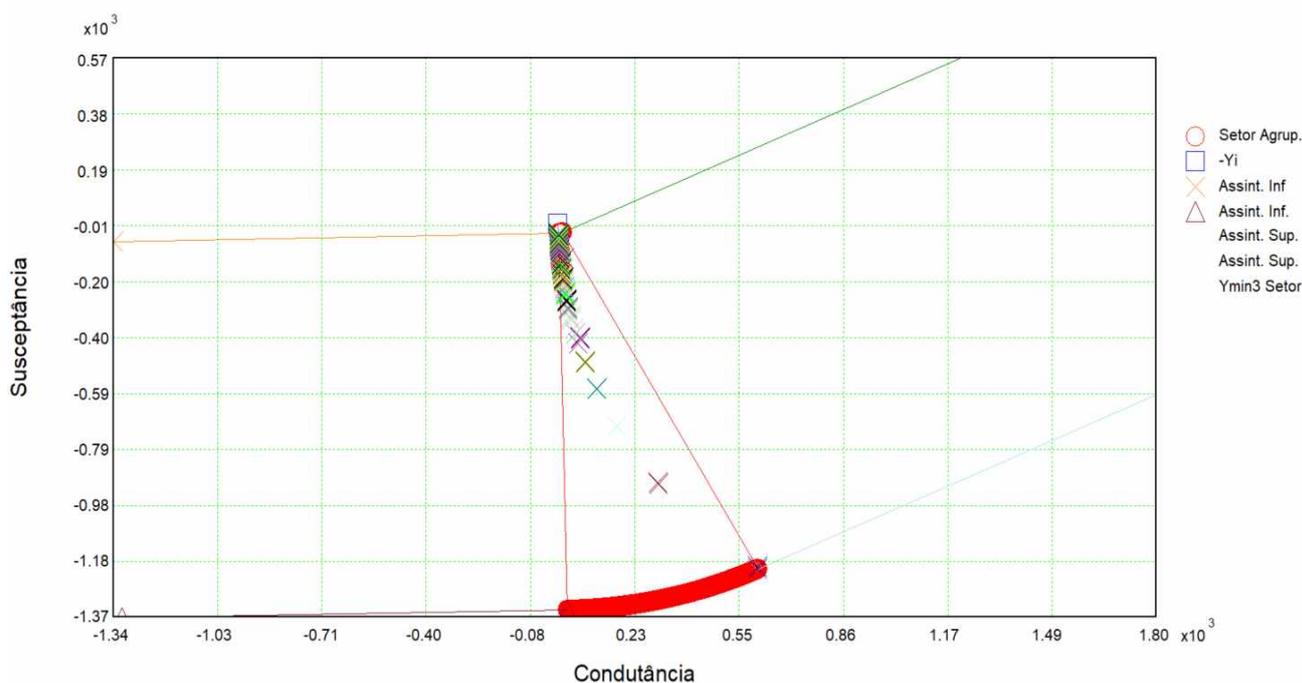
Considerando a integração do Complexo Eólico de Piripiri, calcula-se a distorção harmônica para o horizonte cargas leves, médias, e pesada, estando em sistema íntegro e degradado (contingências N-1).

Tem como Ponto de Acoplamento Comum (PAC) o barramento de 138kV da SE Tabuleiros II 138kV ou Tabule\_PII138 (Fronteira com a Rede Básica).

Para tanto, considera-se o Complexo Eólico com máxima geração, com todos os geradores eólicos conectados e em operação.

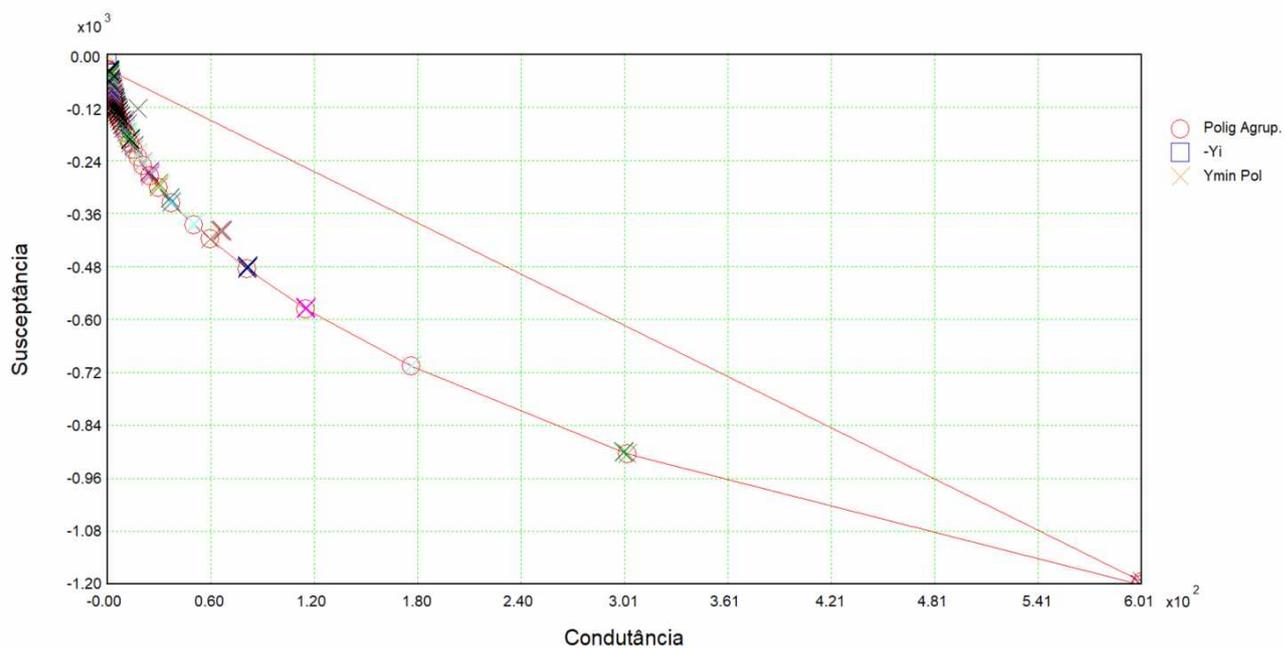
Os resultados para os LG de admitâncias (plano GB), fazendo uso do Setor Anular e do Polígono de “n” lados, são apresentados a seguir, para as harmônicas de 2 até a 50 ordem, entretanto por ser uma versão acadêmica do software HARMZs, fica-se limitado a 200 pontos para plotar o gráfico, sendo assim não foram consideradas as frequências inter-harmônicas, somente as múltiplas inteiras da frequência fundamental.

Figura 4.1: Lugar Geométrico (LG) - Setor Anular (plano GB) da 2 até 50 ordem harmônica



Fonte: O Autor

Figura 4.2: Lugar Geométrico (LG) - Método do Polígono de "n" lados (plano GB)  
da 2 até a 50 ordem harmônica



Fonte: O Autor

Apresenta-se na tabela a seguir uma síntese dos resultados, para as duas metodologias aqui utilizadas para o Lugar Geométrico, e analisando se os valores de distorções harmônicas se encontram de acordo com os limites impostos pela ONS (Operador Nacional do Sistema).

4- DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO NO PAC

Tabela 4.8: Síntese dos resultados-Distorção Harmônica - Setor Anular e Polígono de "n" lados (plano GB) - Carga Leve, Média e Pesada

Ordem (H)	Frequência (Hz)	I Norton  (pu)	a	Yi (pu)	Ymin Setor (pu)	Ymin Polig (pu)	DHI Máx Setor (%)	DHI Máx Polígono (%)	Limites ONS (%)
2	120	0,000067	1	0,0010740+j0,4392765	947,4150109	1112,813654	0,0000071	0,000006	0,3
3	180	0,0000353	1	0,0026800+j0,6767486	724,3601532	821,7997847	0,0000049	0,0000043	0,6
4	240	0,0000286	1	0,0055565+j0,9400082	582,7790958	646,3373099	0,0000049	0,0000044	0,3
5	300	0,0001697	1,4	0,0107822+j1,2477923	483,8031026	529,3605665	0,0000351	0,0000321	0,6
6	360	0	1,4	0,0209812+j1,6355350	400,7727864	442,604277	0	0	0,3
7	420	0,0003205	1,4	0,0437352+j2,1819475	365,4703283	376,3521395	0,0000877	0,0000852	0,6
8	480	0	1,4	0,1083475+j3,1077585	323,0526426	342,6322769	0	0	0,3
9	540	0	1,4	0,4171811+j5,3622275	287,3520721	303,2544893	0	0	0,6
10	600	0	1,4	13,9342120+j22,4366310	244,4487852	257,7241684	0	0	0,3
11	660	0	2	1,0510159-j5,7402120	247,6022837	258,7404946	0	0	0,6
12	720	0	2	0,2351452-j2,0123157	223,9645327	233,5224247	0	0	0,3
13	780	0,000051	2	0,1054717-j0,8162987	205,5220662	213,8553839	0,0000248	0,0000239	0,6
14	840	0	2	0,0613018-j0,1827633	189,6665046	197,0580494	0	0	0,3
15	900	0	2	0,0407708+j0,2364650	175,5122339	182,228342	0	0	0,6
16	960	0	2	0,0294364+j0,5512580	162,2940136	168,6984404	0	0	0,3
17	1020	0	2	0,0224539+j0,8072457	148,4160298	155,5175184	0	0	0,6
18	1080	0	2	0,0178127+j1,0267869	122,3093563	139,1610698	0	0	0,3
19	1140	0	2	0,0145510+j1,2221345	113,845416	113,9178078	0	0	0,6
20	1200	0	2	0,0121590+j1,4005712	113,6668968	135,1375445	0	0	0,3
21	1260	0	2	0,0103452+j1,5667016	124,1199355	127,5862425	0	0	0,6
22	1320	0	2	0,0089320+j1,7235821	117,4482493	120,639593	0	0	0,3
23	1380	0	2	0,0078062+j1,8733236	111,2818287	114,2322983	0	0	0,6
24	1440	0	2	0,0068925+j2,0174318	105,5594027	108,2975731	0	0	0,4
25	1500	0	2	0,0061391+j2,1570109	100,2293175	102,779507	0	0	0,6

4- DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO NO PAC

26	1560	0	2	0,0055095+j2,2928896	95,2480485	97,6305661	0	0	0,4
27	1620	0,000004	2	0,0049771+j2,4257028	90,5768638	92,8102375	0,0000044	0,0000043	0,6
28	1680	0	2	0,0045222+j2,5559452	86,1840476	88,2828477	0	0	0,4
29	1740	0	2	0,0041300+j2,6840086	82,0419358	84,0200524	0	0	0,6
30	1800	0	2	0,0037891+j2,8102073	78,1264378	79,9948662	0	0	0,4
31	1860	0	2	0,0034907+j2,9347968	74,4147479	76,1846296	0	0	0,6
32	1920	0,0000027	2	0,0032277+j3,0579867	70,8900775	72,5696276	0,0000038	0,0000038	0,4
33	1980	0	2	0,0029947+j3,1799513	67,5349904	69,1321635	0	0	0,6
34	2040	0	2	0,0027870+j3,3008361	64,3350081	65,8569189	0	0	0,4
35	2100	0	2	0,0026011+j3,4207641	61,2767909	62,729746	0	0	0,6
36	2160	0	2	0,0024339+j3,5398398	58,3493628	59,7389576	0	0	0,4
37	2220	0	2	0,0022829+j3,6581527	55,5425984	56,873385	0	0	0,6
38	2280	0	2	0,0021460+j3,7757799	52,8463316	54,1232832	0	0	0,4
39	2340	0	2	0,0020215+j3,8927882	50,252847	51,4798887	0	0	0,6
40	2400	0	2	0,0019079+j4,0092357	47,7546978	48,9354217	0	0	0,4
41	2460	0	2	0,0018039+j4,1251735	45,344691	46,4825491	0	0	0,6
42	2520	0	2	0,0017085+j4,2406462	43,0170408	44,1147986	0	0	0,4
43	2580	0	2	0,0016206+j4,3556935	40,7657222	41,8261397	0	0	0,6
44	2640	0	2	0,0015396+j4,4703505	38,5860227	39,6115433	0	0	0,4
45	2700	0,0000013	2	0,0014646+j4,5846485	36,4729992	37,4662018	0,0000036	0,0000035	0,6
46	2760	0	2	0,0013951+j4,6986155	34,4226847	35,3852851	0	0	0,4
47	2820	0	2	0,0013306+j4,8122763	32,430788	33,364899	0	0	0,6
48	2880	0	2	0,0012706+j4,9256537	30,4939671	31,4012771	0	0	0,4
49	2940	0,0000015	2	0,0012146+j5,0387678	28,6089167	29,491104	0,0000051	0,0000049	0,6
50	3000	0	2	0,0011624+j5,1516372	28,4960805	28,498655	0	0	0,4
Distorção Harmônica Total de Tensão (DHT)							0,0000985	0,0000948	1,5

Fonte: O Autor

A Tabela 4.8 sintetiza os resultados da distorção harmônica de tensão no PAC (barramento 138kV da SE Tabuleiros II 138kV), decorrentes das correntes harmônicas injetadas pelos aerogeradores do Complexo Eólico de Piripiri.

A distorção harmônica total de tensão (DTHT) é dada pela equação 1. Com base nos valores calculados, tem-se:

- Complexo eólico energizado.  
Setor Anular – DHT= 0,00000985%  
Polígono de “n” lados – DHT=0,00000948%

O limite para distorção harmônica total de tensão (DTHT=1,5%) não é violado em nenhum dos dois métodos de lugar geométrico, sendo assim no quesito distorção harmônica o Complexo Eólico de Piripiri, pode ser inserido na rede sem comprometer a qualidade da energia elétrica.

## 5 – ANÁLISE DE CURTO-CIRCUITO

O sistema elétrico representado nos estudos corresponde à área eletro geográfica do Sistema Interligado Nacional-SIN, com destaque no sistema de 138kV da região do complexo eólico do Delta do Parnaíba. A Figura 3.1 mostra o diagrama unifilar da região estudada.

A configuração e dados do SIN, para o estudo de curto-circuito, correspondem aos dados referentes aos tipos de cargas leve, médio, e pesado conforme mostrado na Tabela 3.4. Os dados de linha de transmissão, dos transformadores, dos bancos de capacitores, e do nível de curto circuito de Piripiri na Tabela 3.1, foram obtidos através das informações do site do Operador Nacional do Sistema (ONS).

A tabela a seguir apresenta os resultados dos curtos-circuitos integrais nas barras de 138kV da região do complexo eólico do Delta do Parnaíba assim como a relação X/R para os determinados tipos de curtos e barras, para as características de cargas leve.

Tabela 5.1: Curtos-Circuitos integrais nas barras da região para cargas leves

Barra Analisada	Máxima corrente de curto-circuito passante pelo disjuntor (I <sub>cc</sub> ) (kA)			
	Assimétrico	Monofásico	Bifásico	Trifásico
PIRIPI_PI138	8,56	4,02	4,13	3,92
SECTBD_PI138	2,49	0,92	1,33	1,42
TABULE_PI138	2,38	0,91	1,31	1,39

Fonte: O Autor

Tabela 5.2: Relação X/R das barras da região do Complexo Eólico Delta do Parnaíba para cargas leves

Barra Analisada	Relação X/R da região do Complexo			
Nome	Nível de tensão (kV)	Monofásico	Bifásico	Trifásico
PIRIPI_PI138	138	6,89	5,98	5,20
SECTBD_PI138	138	3,21	2,38	2,22
TABULE_PI138	138	3,04	2,19	2,03

Fonte: O Autor

A tabela a seguir apresenta os resultados dos curtos-circuitos integrais nas barras da região do complexo eólico do Delta do Parnaíba assim como a relação X/R para os determinados tipos de curtos e barras, para as características de cargas médias.

Tabela 5.3: Curtos-Circuitos integrais nas barras da região para cargas médias

Barra Analisada	Máxima corrente de curto-circuito passante pelo disjuntor (I <sub>cc</sub> ) (kA)			
Nome	Assimétrico	Monofásico	Bifásico	Trifásico
PIRIPI_PI138	8,78	4,08	4,20	4,00
SECTBD_PI138	2,63	0,94	1,39	1,49
TABULE_PI138	2,53	0,94	1,39	1,47

Fonte: O Autor

Tabela 5.4: Relação X/R das barras da região do Complexo Eólico Delta do Parnaíba para cargas médias

Barra Analisada	Relação X/R da região do Complexo			
Nome	Nível de tensão (kV)	Monofásico	Bifásico	Trifásico
PIRIPI_PI138	138	7,00	6,06	5,27
SECTBD_PI138	138	3,26	2,40	2,25
TABULE_PI138	138	3,10	2,20	2,05

Fonte: O Autor

A tabela a seguir apresenta os resultados dos curtos-circuitos integrais nas barras da região do complexo eólico do Delta do Parnaíba assim como a relação X/R para os determinados tipos de curtos e barras, para as características de cargas pesadas.

Tabela 5.5: Curtos-Circuitos integrais nas barras da região para cargas pesadas

Barra Analisada	Máxima corrente de curto-circuito passante pelo disjuntor (I <sub>cc</sub> ) (kA)			
Nome	Assimétrico	Monofásico	Bifásico	Trifásico
PIRIPI_PI138	8,73	4,06	4,17	3,97
SECTBD_PI138	2,59	0,94	1,37	1,46
TABULE_PI138	2,49	0,93	1,36	1,44

Fonte: O Autor

Tabela 5.6: Relação X/R das barras da região do Complexo Eólico Delta do Parnaíba para cargas pesadas

Barra Analisada	Relação X/R da região do Complexo			
Nome	Nível de tensão (kV)	Monofásico	Bifásico	Trifásico
PIRIPI_PI138	138	7,05	6,11	5,32
SECTBD_PI138	138	3,27	2,42	2,27
TABULE_PI138	138	3,11	2,23	2,08

Fonte: O Autor

Com os resultados obtidos anteriormente, os disjuntores das barras da região do complexo eólico do Delta do Parnaíba devem ser adequados para o maior nível de curto circuito simétrico. Os valores devem estar de acordo com o item 7.2.5.3 de [1], o qual determina que “Caso essa corrente atinja um valor de 100%, o disjuntor correspondente dever ser considerado em estado “superado” por capacidade de interrupção simétrica e, se a corrente passante estiver entre 90 e 100%, o disjuntor é considerado em estado de “alerta””. Sendo assim o nível de curto circuito simétrico que os disjuntores da região devem suportar no mínimo se encontra na tabela a seguir.

Tabela 5.7: Curtos-Circuitos máximos integrais nas barras da região

Barra Analisada	Máxima corrente de curto-circuito passante pelo disjuntor ( $I_{cc}$ ) (kA)
Nome	Nível de curto-circuito
PIRIPI_PI138	4,20
SECTBD_PI138	1,49
TABULE_PI138	1,34

Fonte: O Autor

## 6 – CONCLUSÃO

Um complexo eólico como o Complexo Eólico do Delta do Parnaíba, quando inserido ao Sistema Interligado Nacional (SIN) pode gerar alguns impactos nas barras de sua região, sendo assim este estudo de Qualidade de Energia e Análise de Curto-Circuito, tem como finalidade a verificação se o mesmo pode ser inserido à rede elétrica.

Ao realizar estes estudos, pode-se garantir que ao inserir este complexo eólico ao SIN ele não vai causar impactos nas áreas do complexo, quanto a qualidade da energia elétrica, como foi analisado com o estudo da Qualidade de Energia Elétrica (QEE), constatando que ao ligar o complexo a distorção harmônica total (DHT%) não superará os limites (Tabela 4.8) estabelecidos pelo Submódulo 2.9 dos Procedimentos de Rede [ONS, 2020], entretanto nesse caso não houve a necessidade de filtros harmônicos, sendo assim, não exigiu um estudo prévio para prevenir a ocorrência de ressonâncias no sistema com a inserção do filtro harmônico. Assim como os níveis de curto-circuito simulados (Tabela 5.7), auxiliam o dimensionamento no quesito suportabilidade elétrica dos equipamentos (transformadores, disjuntores, entre outros) a serem instalados ou adequados, garantindo o funcionamento sem danificá-los. Esses estudos são realizados em consonância com outros estudos que são exigidos pelas concessionárias que não foram abordados por esse trabalho, como análise de transitórios eletromecânicos com o auxílio da ferramenta computacional ANATEM, análise de redes elétricas (fluxo de potência) com o auxílio da ferramenta computacional ANAREDE, e estudos no período transitórios com o auxílio da ferramenta computacional ATPDraw, como por exemplo: picos de corrente ocasionado no período transitório pelo chaveamento de transformadores, cargas pesadas (forno a arco), entre outros eventos.

Neste contexto os documentos gerados pelas simulações realizadas são os mesmos que devem ser apresentados ao cliente (concessionária) para a aprovação da inserção do Complexo Eólico ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Procedimentos de Rede do ONS – Módulo 23 – Critérios para Estudos;
- [2] “Wind Turbine Generator Systems 1.x\*2.0 and 2.3 DFAG Series, 60Hz – WTG Representaiton – Harmonic Distortion”, Extract from test report, Janeiro 2021;
- [3] [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico528/BEN2020\\_sp.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico528/BEN2020_sp.pdf), acesso em 06/03/2021;
- [4] [http://www.cepel.br/pt\\_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/menu/anafas-analise-de-faltas-simultaneas.htm](http://www.cepel.br/pt_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/menu/anafas-analise-de-faltas-simultaneas.htm), acesso em 06/03/2021;
- [5] [http://www.cepel.br/pt\\_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/menu/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm](http://www.cepel.br/pt_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/menu/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm), acesso em 06/03/2021;
- [6] [http://www.cepel.br/pt\\_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/menu/anatem-analise-de-transitorios-eletromecanicos.htm](http://www.cepel.br/pt_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/menu/anatem-analise-de-transitorios-eletromecanicos.htm), acesso em 06/03/2021;
- [7] [http://www.cepel.br/pt\\_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/menu/harmzs-estudos-de-comportamento-harmonico-e-analise-modal-de-redes-eletricas.htm](http://www.cepel.br/pt_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/menu/harmzs-estudos-de-comportamento-harmonico-e-analise-modal-de-redes-eletricas.htm), acesso em 06/03/2021;
- [8] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, Disponível Online: <http://www.ons.org.br>. Acessando em janeiro de 2021;
- [9] Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Instruções para Realização de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica para Parques Eólicos, Solares e Consumidores Livres e Distribuidoras, ONS NT 009/2016 –REV.02, datado de março de 2018;
- [10] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, Harmzs, V3.7, Rio de Janeiro, Brasil, janeiro de 2021;
- [11] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, ANAFAS, V7.2.7, Rio de Janeiro, Brasil, janeiro de 2021;
- [12] Procedimentos de Rede do ONS – Submódulo 2.9 – Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica.

## APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES HARMZS

### Configuração do HARMZS para cargas leves:

```

DGERAIS
FREQUENCIA 60
SBASE 100
DADOS PU
INTERFACE PU
METODOLOGIA YS
IDBARRA NUMERO
FIM
DGBT
% Grupo Tensão(kV)
  1 138
  2 69
  3 34.5
  4 13.8

FIM
DARE
% Area Nome
  1 "Alta Tensão"
  2 "Média Tensão"

FIM
DBAR
% Num Nome Tensao Angulo Base Area
  1 "PIRIPI_PI138" 138 -83.55 1 1
  2 "SECTBD_PI138" 138 0 1 1
  3 "TABII_PI069" 69 0 2 1
  4 "CARAUB_PI069" 69 0 2 1
  5 "CARAUB_PI034" 34.5 0 3 2
  6 "COCAL_PI034" 34.5 0 3 2
  7 "COCAL_PI013" 13.8 0 4 2
  8 "CARAII_PI013" 13.8 0 4 2
  9 "TABULE_PI069" 69 0 2 1
  10 "TABULE_PI013" 13.8 0 4 2
  11 "PARNAI_PI069" 69 0 2 1
  12 "TABULE_PI138" 138 0 1 1
  13 "CAMURU_PI069" 69 0 2 1
  14 "CAMURU_PI013" 13.8 0 4 2
  15 "PARNT1_PI013" 13.8 0 4 2
  16 "PARNT2_PI013" 13.8 0 4 2
  17 "PARNT3_PI013" 13.8 0 4 2
  18 "PARNII_PI069" 69 0 2 1
  19 "PARNII_PI013" 13.8 0 4 2

FIM
    
```

**APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES HARMZS**

DLIN											
%	De	Para	Circ	Est	Resistencia	Reatancia	Suscep/Capac	Comprimento	PI	Identificador	
1	2	1	1		0.089529511	0.301984851	0.81845375	1	1	0	
2	12	1	1		0.013180004	0.044401968	0.11989629	1	1	0	
1	12	1	1		0.087796681	0.341497258	0.95486271	1	1	0	
3	4	1	1		0.207519429	0.477791306	0.08615303	1	1	0	
5	6	1	1		0.70489393	0.865313787	0.01391012	1	1	0	
3	9	1	1		0.001260239	0.002850594	0.00053846	1	1	0	
3	11	1	1		0.049779458	0.114657244	0.0197434	1	1	0	
3	11	1	1		0.043898341	0.144034204	0.02512797	1	1	0	
11	13	1	1		0.274102079	0.431706696	0.06640962	1	1	0	
11	18	1	1		0.01470294	0.047985007	0.00897427	1	1	0	
FIM											
DTR2											
%	De	Tensao_De	Ang_De	Para	Tensao_Para	Ang_Para	Resistencia	Reatancia	S_Base	Circ Est	
Identificador											
12	138	0	3	69	0	0	0.259	100	1	1	0
12	138	0	3	69	0	0	0.26	100	1	1	0
4	69	0	5	34.5	0	0	0.514	100	1	1	0
6	34.5	0	7	13.8	0	0	1.36	100	1	1	0
5	34.5	0	8	13.8	0	0	0.056	100	1	1	0
9	69	0	10	13.8	0	0	0.3865	100	1	1	0
13	69	0	14	13.8	0	0	1.202	100	1	1	0
11	69	0	15	13.8	0	0	0.3865	100	1	1	0
11	69	0	16	13.8	0	0	0.715	100	1	1	0
11	69	0	17	13.8	0	0	0.696	100	1	1	0
18	69	0	19	13.8	0	0	0.5128	100	1	1	0
18	69	0	19	13.8	0	0	0.5128	100	1	1	0
FIM											
DCRG											
% Barra	Circ	Est	Pot_Ativa	Pot_Reativa	Lig	Ident.Ramal					
7	1	1	0.006	0.002	s	0					
8	1	1	0.003	0.001	s	0					
3	1	1	0.063	0.001	s	0					
9	1	1	0.038	0.016	s	0					
10	1	1	0.023	0.02	s	0					
14	1	1	0.021	0.013	s	0					
15	1	1	0.05	0.031	s	0					
16	1	1	0.009	0.006	s	0					
17	1	1	0.018	0.011	s	0					
19	1	1	0.113	0.058	s	0					
10	1	1	0.000	-0.0102	s	0					
14	1	1	0.000	-0.0102	s	0					
15	1	1	0.000	-0.01015	s	0					
11	1	1	0.000	-0.01015	s	0					
19	1	1	0.000	-0.0254	s	0					
3	1	1	0.000	-0.01837	s	0					
FIM											
DMAQ											
% Barra	Est	Resistencia	Reatancia	SBase	Identificador						
1	1	0	0	100	0						
11	1	0	0	18	0						
12	1	0.0001	0.0001	30	0						
FIM											
FIM											

## Configuração HARMZS para cargas médias:

DGERAIS								
FREQUENCIA 60								
SBASE 100								
DADOS PU								
INTERFACE PU								
METODOLOGIA YS								
IDBARRA NUMERO								
FIM								
DGBT								
% Grupo	Tensão(kV)							
1	138							
2	69							
3	34.5							
4	13.8							
FIM								
DARE								
% Area	Nome							
1	"Alta Tensão"							
2	"Média Tensão"							
FIM								
DBAR								
% Num	Nome	Tensao	Angulo	Base	Area			
1	"PIRIPI_PI138"	138	-83.55	1	1			
2	"SECTBD_PI138"	138	0	1	1			
3	"TABII_PI069"	69	0	2	1			
4	"CARAUB_PI069"	69	0	2	1			
5	"CARAUB_PI034"	34.5	0	3	2			
6	"COCAL_PI034"	34.5	0	3	2			
7	"COCAL_PI013"	13.8	0	4	2			
8	"CARAII_PI013"	13.8	0	4	2			
9	"TABULE_PI069"	69	0	2	1			
10	"TABULE_PI013"	13.8	0	4	2			
11	"PARNAI_PI069"	69	0	2	1			
12	"TABULE_PI138"	138	0	1	1			
13	"CAMURU_PI069"	69	0	2	1			
14	"CAMURU_PI013"	13.8	0	4	2			
15	"PARNT1_PI013"	13.8	0	4	2			
16	"PARNT2_PI013"	13.8	0	4	2			
17	"PARNT3_PI013"	13.8	0	4	2			
18	"PARNII_PI069"	69	0	2	1			
19	"PARNII_PI013"	13.8	0	4	2			
FIM								
DLIN								
% De	Para	Circ	Est	Resistencia	Reatancia	Suscep/Capac	Comprimento	PI Identificador
1	2	1	1	0.089529511	0.301984851	0.81845375	1 1	0
2	12	1	1	0.013180004	0.044401968	0.11989629	1 1	0
1	12	1	1	0.087796681	0.341497258	0.95486271	1 1	0
3	4	1	1	0.207519429	0.477791306	0.08615303	1 1	0

**APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES HARMZS**

5	6	1	1	0.70489393	0.865313787	0.01391012	1	1	0
3	9	1	1	0.001260239	0.002850594	0.00053846	1	1	0
3	11	1	1	0.049779458	0.114657244	0.0197434	1	1	0
3	11	1	1	0.043898341	0.144034204	0.02512797	1	1	0
11	13	1	1	0.274102079	0.431706696	0.06640962	1	1	0
11	18	1	1	0.01470294	0.047985007	0.00897427	1	1	0
FIM									
DTR2									
%	De	Tensao_De	Ang_De	Para	Tensao_Para	Ang_Para	Resistencia	Reatancia	S_Base Circ Est
Identificador									
12	138	0	3	69	0	0	0.259	100	1 1 0
12	138	0	3	69	0	0	0.26	100	1 1 0
4	69	0	5	34.5	0	0	0.514	100	1 1 0
6	34.5	0	7	13.8	0	0	1.36	100	1 1 0
5	34.5	0	8	13.8	0	0	0.056	100	1 1 0
9	69	0	10	13.8	0	0	0.3865	100	1 1 0
13	69	0	14	13.8	0	0	1.202	100	1 1 0
11	69	0	15	13.8	0	0	0.3865	100	1 1 0
11	69	0	16	13.8	0	0	0.715	100	1 1 0
11	69	0	17	13.8	0	0	0.696	100	1 1 0
18	69	0	19	13.8	0	0	0.5128	100	1 1 0
18	69	0	19	13.8	0	0	0.5128	100	1 1 0
FIM									
DCRG									
% Barra	Circ	Est	Pot_Ativa	Pot_Reativa	Lig	Ident.	Ramal		
7	1	1	0.017	0.007	s	0			
8	1	1	0.006	0.003	s	0			
3	1	1	0.146	0.129	s	0			
9	1	1	0.050	0.021	s	0			
10	1	1	0.063	0.056	s	0			
14	1	1	0.022	0.013	s	0			
15	1	1	0.074	0.042	s	0			
16	1	1	0.009	0.005	s	0			
17	1	1	0.022	0.013	s	0			
19	1	1	0.166	0.085	s	0			
10	1	1	0.000	-0.0102	s	0			
14	1	1	0.000	-0.0102	s	0			
15	1	1	0.000	-0.01015	s	0			
11	1	1	0.000	-0.01015	s	0			
19	1	1	0.000	-0.0254	s	0			
3	1	1	0.000	-0.01837	s	0			
FIM									
DMAQ									
% Barra	Est	Resistencia	Reatancia	SBase	Identificador				
1	1	0	0	100	0				
11	1	0	0	18	0				
12	1	0.0001	0.0001	30	0				
FIM									
FIM									

## Configuração para arquivo HARMZS para cargas pesadas:

DGERAIS

FREQUENCIA 60

SBASE 100

DADOS PU

INTERFACE PU

METODOLOGIA YS

IDBARRA NUMERO

FIM

DGBT

% Grupo	Tensão(kV)
1	138
2	69
3	34.5
4	13.8

FIM

DARE

% Area	Nome
1	"Alta Tensão"
2	"Média Tensão"

FIM

DBAR

% Num	Nome	Tensao	Angulo	Base	Area
1	"PIRIPI_PI138"	138	-83.55	1	1
2	"SECTBD_PI138"	138	0	1	1
3	"TABII_PI069"	69	0	2	1
4	"CARAUB_PI069"	69	0	2	1
5	"CARAUB_PI034"	34.5	0	3	2
6	"COCAL_PI034"	34.5	0	3	2
7	"COCAL_PI013"	13.8	0	4	2
8	"CARAII_PI013"	13.8	0	4	2
9	"TABULE_PI069"	69	0	2	1
10	"TABULE_PI013"	13.8	0	4	2
11	"PARNAI_PI069"	69	0	2	1
12	"TABULE_PI138"	138	0	1	1
13	"CAMURU_PI069"	69	0	2	1
14	"CAMURU_PI013"	13.8	0	4	2
15	"PARNT1_PI013"	13.8	0	4	2
16	"PARNT2_PI013"	13.8	0	4	2
17	"PARNT3_PI013"	13.8	0	4	2
18	"PARNII_PI069"	69	0	2	1
19	"PARNII_PI013"	13.8	0	4	2

FIM

DLIN

% De	Para	Circ	Est	Resistencia	Reatancia	Suscep/Capac	Comprimento	PI Identificador
1	2	1	1	0.089529511	0.301984851	0.81845375	1 1	0
2	12	1	1	0.013180004	0.044401968	0.11989629	1 1	0
1	12	1	1	0.087796681	0.341497258	0.95486271	1 1	0
3	4	1	1	0.207519429	0.477791306	0.08615303	1 1	0
5	6	1	1	0.70489393	0.865313787	0.01391012	1 1	0
3	9	1	1	0.001260239	0.002850594	0.00053846	1 1	0

**APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES HARMZS**

3	11	1	1	0.049779458	0.114657244	0.0197434	1	1	0
3	11	1	1	0.043898341	0.144034204	0.02512797	1	1	0
11	13	1	1	0.274102079	0.431706696	0.06640962	1	1	0
11	18	1	1	0.01470294	0.047985007	0.00897427	1	1	0
FIM									
DTR2									
	% De	Tensao_De	Ang_De	Para	Tensao_Para	Ang_Para	Resistencia	Reatancia	S_Base Circ Est
Identificador									
12	138	0	3	69	0	0	0.259	100	1 1 0
12	138	0	3	69	0	0	0.26	100	1 1 0
4	69	0	5	34.5	0	0	0.514	100	1 1 0
6	34.5	0	7	13.8	0	0	1.36	100	1 1 0
5	34.5	0	8	13.8	0	0	0.056	100	1 1 0
9	69	0	10	13.8	0	0	0.3865	100	1 1 0
13	69	0	14	13.8	0	0	1.202	100	1 1 0
11	69	0	15	13.8	0	0	0.3865	100	1 1 0
11	69	0	16	13.8	0	0	0.715	100	1 1 0
11	69	0	17	13.8	0	0	0.696	100	1 1 0
18	69	0	19	13.8	0	0	0.5128	100	1 1 0
18	69	0	19	13.8	0	0	0.5128	100	1 1 0
FIM									
DCRG									
	% Barra Circ Est	Pot_Ativa	Pot_Reativa	Lig Ident.Ramal					
7	1 1	0.022	0.009	s 0					
8	1 1	0.008	0.003	s 0					
3	1 1	0.188	0.107	s 0					
9	1 1	0.018	0.008	s 0					
10	1 1	0.049	0.030	s 0					
14	1 1	0.018	0.010	s 0					
15	1 1	0.067	0.038	s 0					
16	1 1	0.012	0.006	s 0					
17	1 1	0.028	0.014	s 0					
19	1 1	0.150	0.077	s 0					
10	1 1	0.000	-0.0102	s 0					
14	1 1	0.000	-0.0102	s 0					
15	1 1	0.000	-0.01015	s 0					
11	1 1	0.000	-0.01015	s 0					
19	1 1	0.000	-0.0254	s 0					
3	1 1	0.000	-0.01837	s 0					
FIM									
DMAQ									
	% Barra Est	Resistencia	Reatancia	SBase Identificador					
1	1	0	0	100	0				
11	1	0	0	18	0				
12	1	0.0001	0.0001	30	0				
FIM									
FIM									

## Configuração para arquivo HARMZS para rede interna:

```

DGERAIS
FREQUENCIA 60

SBASE 100
DADOS PU
INTERFACE PU
METODOLOGIA YS
IDBARRA NUMERO

FIM
DGBT
% Grupo Tensão(kV)
  1 138
  2 34.5
FIM
DARE
% Area Nome
  1 "Alta Tensão"
  2 "Média Tensão"
FIM
DBAR
% Num Nome Tensao Angulo Base Area
  12 "USINA_PAC" 138 0 1 1
  20 "USINA_PI034" 34.5 0 2 2
  21 "USINA_PI138" 138 0 1 1
FIM
DLIN
% De Para Circ Est Resistencia Reatancia Suscep/Capac Comprimento PI Identificador
  21 12 1 1 0.021424071 0.089575972 0.21538257 1 1 0
FIM
DTR2
% De Tensao_De Ang_De Para Tensao_Para Ang_Para Resistencia Reatancia S_Base Circ Est
Identificador
  20 34.5 0 21 138 0 0 0.2222 100 1 1 0
FIM
DCRG
% Barra Circ Est Pot_Ativa Pot_Reativa Lig Ident.Ramal
  20 1 1 0 -0.055 s 0
  20 2 1 0 -0.055 s 0
FIM
DMAQ
% Barra Est Resistencia Reatancia SBase Identificador
  20 1
FIM
DSRC
% Barra Tipo Circ Est
  21 1 1 1
% Freq Modulo Angulo
  120 0.0000644 0
  180 0.0000322 0
  240 0.0000242 0
  300 0.0001288 0
  420 0.0001691 0
    
```

*APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES HARMZS*

---

780	0.0000322	0
1620	0.0000242	0
1920	0.0000242	0
2700	0.0000242	0
2940	0.0000322	0

FIMP

FIM

## APÊNDICE B – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES ANAFAS

### Configuração para arquivo ANAFAS carga leve:

DBAR																					
(NB	CEM	BN	VBAS DISJUN			DDMMAAAADDMMAAAA IA SA F															
(-----)																					
1	PIR	PIPI138	138			1	100														
2	SECT	BDPI138	138			1	100														
3	TABI	PI069	69			2	100														
4	CARA	BPI069	69			2	100														
5	CARA	BPI034	34.5			3	100														
6	COCA	LPI034	34.5			3	100														
7	COCA	LPI013	13.8			4	100														
8	CARA	IPI013	13.8			4	100														
9	TABU	EPI069	69			2	100														
10	TABU	EPI013	138			1	100														
11	PARNA	IPI069	69			2	100														
12	TABU	EPI138	138			1	100														
13	CAMUR	UPI069	69			2	100														
14	CAMUR	UPI013	13.8			4	100														
15	PARNT	IPI013	13.8			4	100														
16	PARNT	2PI013	13.8			4	100														
17	PARNT	3PI013	13.8			4	100														
18	PARNA	IPI069	69			2	100														
19	PARNA	IPI013	13.8			4	100														
20	USINA	PI034	34.5			3	100														
21	USINA	PI138	138			1	100														
99999																					
DCIR																					
(BF	CE	BT	NCT	R1	X1	R0	X0	CN	TB	TCIA	DEF	KM	CD	RNDE	XNDE	CP	RNPA	XNPA	SA	NunNop	DJ_BF
CicDJ_BT	Cic	DDMMAAAADDMMAAAA M.V.A					TD	NOME EXTENSO													
(-----)																					
=====																					
1	2	1L	895	3020	2779	11828			1	YN											1
2	1	0.0895	0.302	L			1	YN													
2	12	1L	132	444	414	1746			1	YN											
1	12	1L	878	3415	3022	13476			1	YN											
3	4	1L	2075	4778					1	YN											
5	6	1L	7049	8653					1	YN											
3	9	1L	13	29					1	YN											
3	11	1L	498	1147					1	YN											
3	11	1L	439	1440					1	YN											
11	13	1L	2741	4317					1	YN											
11	18	1L	147	480					1	YN											
12	3	T52	2590						1	YN											

**APÊNDICE B – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES ANAFAS**

12	3	T52	2600	1	YN
4	5	T103	5140	1	YN
6	7	T272	13600	1	YN
5	8	T11	560	1	YN
9	10	T77	3865	1	YN
13	14	T240	12020	1	YN
11	15	T77	3865	1	YN
11	16	T143	7150	1	YN
11	17	T139	6960	1	YN
18	19	T103	5128	1	YN
18	19	T103	5128	1	YN
7		C9999999999999		1	YN
8		C9999999999999		1	YN
3		C158730277780		1	YN
9		C263160625000		1	YN
10		C434780500000		1	YN
14		C476190769230		1	YN
15		C200000322580		1	YN
16		C9999999999999		1	YN
17		C555560909100		1	YN
19		C889500172410		1	YN
10		H19608 -99999		1	YN
14		H19608 -99999		1	YN
15		H19704 -99999		1	YN
11		H19704 -99999		1	YN
19		H7874 -99999		1	YN
3		H10887 -99999		1	YN
20		H3636 -99999		1	YN
20		H3636 -99999		1	YN
12		G33333 667		1	YN
11		G55556 1111		1	YN
21	12	L214	900	1	YN
20		G14286	286	1	YN
1		G1.000410.337.441029.9264		1	YN

99999

**Configuração para arquivo ANAFAS carga média:**

DBAR																						
(NB	CEM	BN	VBAS DISJUN			DDMMAAAADDMMAAAA IA SA F																
-----																						
1	PIRIP	PI138	138			1	100															
2	SECTB	DP138	138			1	100															
3	TABI	PI069	69			2	100															
4	CARA	UBPI069	69			2	100															
5	CARA	UBPI034	34.5			3	100															
6	COCAL	PI034	34.5			3	100															
7	COCAL	PI013	13.8			4	100															
8	CARA	IPI013	13.8			4	100															
9	TABULE	PI069	69			2	100															
10	TABULE	PI013	138			1	100															
11	PARNA	IPI069	69			2	100															
12	TABULE	PI138	138			1	100															
13	CAMUR	UPI069	69			2	100															
14	CAMUR	UPI013	13.8			4	100															
15	PARNT	1PI013	13.8			4	100															
16	PARNT	2PI013	13.8			4	100															
17	PARNT	3PI013	13.8			4	100															
18	PARNA	IPI069	69			2	100															
19	PARNA	IPI013	13.8			4	100															
20	USINA	PI034	34.5			3	100															
21	USINA	PI138	138			1	100															
99999																						
DCIR																						
(BF	CE	BT	NCT	R1	X1	R0	X0	CN	TB	TCIA	DEF	KM	CD	RNDE	XNDE	CP	RNPA	XNPA	SA	NunNop	DJ_BF	
CicDJ_BT	Cic	DDMMAAAADDMMAAAA M.V.A					TD	NOME EXTENSO														
-----																						
1	2	1L	895	3020	2779	11828			1	YN											1	
2	1	0.0895	0.302	L			1	YN														
2	12	1L	132	444	414	1746			1	YN												
1	12	1L	878	3415	3022	13476			1	YN												
3	4	1L	2075	4778					1	YN												
5	6	1L	7049	8653					1	YN												
3	9	1L	13	29					1	YN												
3	11	1L	498	1147					1	YN												
3	11	1L	439	1440					1	YN												
11	13	1L	2741	4317					1	YN												
11	18	1L	147	480					1	YN												
12	3	T	52	2590					1	YN												
12	3	T	52	2600					1	YN												
4	5	T	103	5140					1	YN												
6	7	T	272	13600					1	YN												
5	8	T	11	560					1	YN												
9	10	T	77	3865					1	YN												
13	14	T	240	12020					1	YN												
11	15	T	77	3865					1	YN												

**APÊNDICE B – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES ANAFAS**

		11	16	T143	7150			1	YN		
		11	17	T139	6960			1	YN		
		18	19	T103	5128			1	YN		
		18	19	T103	5128					1	YN
1	2	1	0.0895	0.302	L			1	YN		
		7		C588240999999				1	YN		
		8		C999999999999				1	YN		
		3		C68493 77519				1	YN		
		9		C200000476190				1	YN		
		10		C158730178570				1	YN		
		14		C454550769230				1	YN		
		15		C135140238100				1	YN		
		16		C999999999999				1	YN		
		17		C454550769230				1	YN		
		19		C60241 117650				1	YN		
		10		H19608 -99999				1	YN		
		14		H19608 -99999				1	YN		
		15		H19704 -99999				1	YN		
		11		H19704 -99999				1	YN		
		19		H7874 -99999				1	YN		
		3		H10887 -99999				1	YN		
		20		H3636 -99999				1	YN		
		20		H3636 -99999				1	YN		
		12		G33333 667				1	YN		
		11		G55556 1111				1	YN		
		21	12	L214 900				1	YN		
		20		G14286 286				1	YN		
		1		G1.000410.337.441029.9264				1	YN		

99999

## Configuração para arquivo ANAFAS carga pesada:

DBAR																							
(NB	CEM	BN	VBAS DISJUN				DDMMAAAADDMMAAAA IA SA F																
-----																							
1	PIRIP	PI138	138					1	100														
2	SECTB	DP138	138					1	100														
3	TABII	PI069	69					2	100														
4	CARAUB	PI069	69					2	100														
5	CARAUB	PI034	34.5					3	100														
6	COCAL	PI034	34.5					3	100														
7	COCAL	PI013	13.8					4	100														
8	CARAI	PI013	13.8					4	100														
9	TABULE	PI069	69					2	100														
10	TABULE	PI013	138					1	100														
11	PARNA	PI069	69					2	100														
12	TABULE	PI138	138					1	100														
13	CAMURU	PI069	69					2	100														
14	CAMURU	PI013	13.8					4	100														
15	PARNT1	PI013	13.8					4	100														
16	PARNT2	PI013	13.8					4	100														
17	PARNT3	PI013	13.8					4	100														
18	PARNA	PI069	69					2	100														
19	PARNA	PI013	13.8					4	100														
20	USINAP	PI034	34.5					3	100														
21	USINAP	PI138	138					1	100														
99999																							
DCIR																							
(BF	CE	BT	NCT	R1	X1	R0	X0	CN	TB	TCIA	DEF	KM	CD	RNDE	XNDE	CP	RNPA	XNPA	SA	Nun	Nop	DJ	BF
Cic	DJ	BT	Cic	DDMMAAAADDMMAAAA M.V.A				TD	NOME EXTENSO														
-----																							
=====																							
1	0.0895	0.302	L			1		YN														1	2
1	2	1L895	3020	2779	11828				1		YN												1
2	1	0.0895	0.302	L				YN															
2	12	1L132	444	414	1746				1		YN												
1	12	1L878	3415	3022	13476				1		YN												
3	4	1L2075	4778						1		YN												
5	6	1L7049	8653						1		YN												
3	9	1L13	29						1		YN												
3	11	1L498	1147						1		YN												
3	11	1L439	1440						1		YN												
11	13	1L2741	4317						1		YN												
11	18	1L147	480						1		YN												
12	3	T52	2590						1		YN												
12	3	T52	2600						1		YN												
4	5	T103	5140						1		YN												
6	7	T272	13600						1		YN												
5	8	T11	560						1		YN												
9	10	T77	3865						1		YN												
13	14	T240	12020						1		YN												

*APÊNDICE B – CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES ANAFAS*

11	15	T77 3865	1	YN
11	16	T143 7150	1	YN
11	17	T139 6960	1	YN
18	19	T103 5128	1	YN
18	19	T103 5128	1	YN
7		C454550999999	1	YN
8		C999999999999	1	YN
3		C53192 93458	1	YN
9		C555560999999	1	YN
10		C204080333330	1	YN
14		C555560999999	1	YN
15		C149250263160	1	YN
16		C833330999999	1	YN
17		C357140714290	1	YN
19		C66667 129870	1	YN
10		H19608 -99999	1	YN
14		H19608 -99999	1	YN
15		H19704 -99999	1	YN
11		H19704 -99999	1	YN
19		H7874 -99999	1	YN
3		H10887 -99999	1	YN
20		H3636 -99999	1	YN
20		H3636 -99999	1	YN
12		G33333 667	1	YN
11		G55556 1111	1	YN
21	12	L214 900	1	YN
20		G14286 286	1	YN
1		G1.000410.337.441029.9264	1	YN

99999