

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ENGENHARIA DE ENERGIA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA QUANTIFICAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO
EM UM CONSUMIDOR INDUSTRIAL: PREDIÇÃO *VERSUS* MONITORAÇÃO**

por

Ruth Agustini

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, dezembro 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA

ANÁLISE COMPARATIVA DA QUANTIFICAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO
EM UM CONSUMIDOR INDUSTRIAL: PREDIÇÃO *VERSUS* MONITORAÇÃO

por

Ruth Agustini

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Chouhy Leborgne
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientador: Dr. Roberto Chouhy Leborgne

Banca examinadora:

Profa. Dra. Mariana Resener – DELAE / UFRGS
Me. Lucas Araujo da Costa – Doutorando PPGEE / UFRGS
Me. Roger Alves de Oliveira – Doutorando PPGEE / UFRGS

Porto Alegre, 06, dezembro 2018.

AGUSTINI, R. **Análise Comparativa da Quantificação de Afundamentos de Tensão em um Consumidor Industrial: Predição versus Monitoração**. 2018. 32 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

O presente trabalho aborda a influência dos afundamentos de tensão em uma indústria localizada na região metropolitana de Porto Alegre. Sabe-se que os maiores causadores de afundamentos de tensão em sistemas elétricos de potência são os curtos-circuitos, os quais são originados por diversos motivos, sendo os principais os fenômenos naturais. Para estimar seus efeitos sobre o sistema, foi realizada a previsão do número de eventos de afundamentos de tensão através da simulação de faltas, seguido da comparação com os eventos obtidos pelos dados monitorados. Isto permite realizar uma aferição das causas recorrentes dos problemas de paradas de processos e falhas em equipamentos, os quais infere-se que estão ligados a Qualidade Energia Elétrica (QEE). Os resultados ainda foram avaliados utilizando indicadores tanto do guia do IEEE com a IEEE Std. 1564, através do Índice de Severidade, quanto da normativa da ANEEL com o Módulo 8 do PRODIST, pelo Índice de Fator de Impacto. Após as comparações e validações foi possível concluir sobre a correlação observada em todas as análises feitas. Viu-se que o número de eventos total, difere no valor final, porém quando este é estratificado para faixas de magnitude, observa-se uma grande semelhança de ocorrências, principalmente na zona entre 0,8 e 0,9 pu. Em relação a avaliação dos indicadores propostos, observou-se que em todos os casos os valores obtidos para ambos os índices foram menores do que 1, valor de referência que mostra a adequação em todos os cenários analisados. Ainda pode-se analisar as regiões de ocorrência de faltas e de eventos no SEP (Sistema Elétrico de Potência), onde os equipamentos com ocorrência tanto de faltas quanto de afundamentos de tensão para os cenários predito e monitorado, ficaram muito próximos. Chegou-se assim a resultados satisfatórios, demonstrando que o método proposto pode servir de base para o estudo de outros consumidores sensíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Sistemas Elétricos de Potência, Qualidade de Energia Elétrica, Afundamentos de Tensão.

AGUSTINI, R. **Voltage Sags Assessment in an Industrial Consumer: Prediction versus Monitoring.** 2018. 32 pages. Monography (Work of Completion of the Course in Energy Engineering) – Engineering School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

This work deals with voltage sags in an industry located in the region of Porto Alegre. It is known that the major causes of voltage sags in power systems are the short circuits, which are originated by several reasons, the main ones being natural phenomena. To estimate its effects on the system, the number of voltage sags was predicted through the simulation of faults, followed by the comparison with the events obtained by monitoring. The results were also evaluated using indices from IEEE Std. 1564, and from the Brazilian Distribution Procedures (PRODIST), Module 8. Comparison and validation was carried out. It was observed that the total number of events differs, but when voltage sags are stratified for ranges of magnitude, a great similarity is observed. In relation to the evaluation of the proposed indices, it was observed that in all cases the values obtained for both indices were lower than 1, a reference value that demonstrates the adequacy in all scenarios analyzed. It is still possible to analyze the regions of occurrence of faults and events in the SEP (Electrical Power System), where the equipment with occurrence of both faults and voltage sags for the scenarios predicted and monitored, were very close. Thus, satisfactory results were obtained, demonstrating that the proposed method can serve as a basis for the study of other sensitive consumers.

KEYWORDS: Power System Analysis, Power Quality, Voltage Sag.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos e Contribuições	2
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
2.1	Caracterização dos Afundamentos de Tensão	2
2.1.1	Agregação de Eventos	3
2.1.2	Agregação de Fases	3
2.2	Principais Normativas	3
2.2.1	Fator de Impacto	4
2.2.2	Índice de Severidade	5
3	METODOLOGIA E MODELAGEM	6
3.1	Estudo de Caso	7
3.2	Cenário Simulado	8
3.3	Cenário Monitorado	9
3.4	Análise Comparativa	10
4	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	10
4.1	Número de Eventos	10
4.2	Índice de Afundamentos de Tensão	13
4.3	Linhas Faltosas	17
5	CONCLUSÃO	20
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
	APÊNDICE A	24

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica se tornou uma das mais importantes categorias de consumo da economia atual. Tanto no setor residencial, com as diversas facilidades e confortos trazidos por ela, como principalmente no setor industrial, onde cada vez mais processos são substituídos por equipamentos eletrônicos, que garantem uma maior eficiência e confiabilidade. Com o aumento tanto na utilização da energia elétrica como nas tecnologias empregadas, a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) tem se tornado um grande foco de estudos, onde trata dos problemas envolvendo variações nos níveis de tensão, corrente e frequência da rede, variações estas que podem afetar de forma significativa equipamentos e processos industriais, acarretando em falhas e paradas tanto de processos como de equipamentos e muitas vezes até de perda de matéria prima, gerando significativos prejuízos econômicos. Dessa forma, a QEE vem sendo uma preocupação não apenas das concessionárias de energia, como também dos consumidores finais, despertando a necessidade por parte dos órgãos reguladores de um maior acompanhamento e de atualizações referentes a correta caracterização das anomalias.

O interesse pelos fenômenos que envolvem a QEE tornou-se um tema recorrente no desenvolvimento de pesquisas acadêmicas, fornecendo estudos importantes tanto para a caracterização de eventos, como para a otimização do fornecimento de energia elétrica. A análise através de dados obtidos via monitoramento tem sido um dos principais métodos de estudos, onde analisam, por exemplo, regiões de sensibilidade, faixas de tolerância de equipamentos, bem como a estratificação dos eventos em categorias que melhor definem cada caso. Estes métodos de análise costumam sempre levar em conta a magnitude e a duração de cada evento.

Um dos principais problemas relacionados à QEE, sendo o maior causador de paradas industriais, é o afundamento de tensão. Esse fenômeno é caracterizado pela diminuição da magnitude da tensão dentro de uma faixa de referência e durante certo período de tempo. Esses limites de referência são estabelecidos pelos principais órgãos existentes, como o *Institute of Electrical and Electronics Engineer – IEEE*, instituição norte-americana a qual publica guias e recomendações, e a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, normativa brasileira que por meio do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), caracteriza os afundamentos de tensão como Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs).

Os afundamentos de tensão podem ser causados pela partida de motores, pela corrente de energização de transformadores e, principalmente, por faltas no Sistema Interligado Nacional (SIN) (MIRANDA FILHO, 2016). Essas faltas podem ser originadas por diversos motivos, dentre eles os mais comuns são devido a fenômenos naturais, como descargas atmosféricas, ventos, chuvas, interferência de animais e árvores, entre outros. Em geral, essas faltas se propagam ao longo do Sistema Elétrico de Potência (SEP), podendo afetar até consumidores mais distantes.

Com a crescente exigência de melhorias na qualidade dos serviços relacionados ao fornecimento de energia elétrica, vinda principalmente dos consumidores, as normas e recomendações citadas vêm sendo atualizadas de modo que, além dos limites de referência, a caracterização dos eventos seja dada por indicadores que melhor descrevam a anomalia ocorrida. A principal atualização recebida pela normativa da (ANEEL, 2014), por meio da Consulta Pública Nº 18/2014, acrescentou ao Módulo 8 índices importantes relacionados à QEE, onde se tratando especificamente dos afundamentos de tensão, criou o índice do Fator de Impacto (FI). De forma semelhante, o guia IEEE Std. 1564 (IEEE, 2014) implementou o índice da Severidade (SE). Apesar de terem seus métodos de cálculo distintos, esses índices avaliam a magnitude e a duração de um evento através de faixas de operação, agregando ponderações para os eventos que possuam uma maior probabilidade de gerarem problemas relevantes.

Em seus trabalhos, (DE OLIVEIRA MONTEIRO; FERREIRA FILHO, 2016) e (KEMPNER, 2017), tratam das atualizações da normativa da ANEEL, onde a primeira faz um estudo hipotético do índice do Fator de Impacto quando comparado com índices propostos pela normativa Sul-Africana (NRS, 1999), normativa essa na qual o índice da ANEEL foi baseado. Já a segunda traz de forma detalhada as contribuições da Consulta Pública 18/2014, além de apresentar de forma sucinta o índice da Severidade, contribuindo de forma qualitativa sobre propostas quanto a comparação dos índices da Severidade e do Fator de Impacto.

Seguindo nessa linha, (OLIVEIRA et al., 2018) analisa de forma qualitativa e quantitativa a comparação entre os dois índices já citados, através de cenários preditos. Ainda, apresenta de forma clara as principais relações entre as caracterizações de afundamentos de tensão utilizadas por cada órgão, como por exemplo seus métodos de medição de tensão, agregação de fases e eventos, bem como a estratificação para a obtenção de cada índice. A referência citada servirá de base para as definições aqui descritas, onde a análise tanto do Fator de Impacto como da Severidade será apresentada de forma detalhada. A principal contribuição do presente trabalho é a análise não apenas dos índices aplicados ao caso hipotético como também para o cenário monitorado.

Uma maneira de realizar o estudo preditivo de afundamentos de tensão foi feita por (ARGENTA, 2013), onde através de simulações de faltas no SIN, utilizando o programa computacional *Power World*®, consegue projetar cenários que avaliam como esta falta impacta à indústria, em termos de magnitude. O autor não faz a comparação dos casos hipotéticos com dados reais, sendo assim, uma forma de corroborar os dados obtidos via simulação é apresentada neste trabalho, confirmando se o método de estudo hipotético é satisfatório e se pode ser aplicado em casos de predição de afundamentos de tensão.

Poucas são as análises realizadas comparando casos preditos com casos reais de ocorrência de afundamentos de tensão. Neste contexto, (CARVALHO FILHO et al., 2002) traz um estudo onde foi feita uma simulação através do cálculo de falhas e obtido um banco de dados de falhas de um subsistema de transmissão brasileiro, onde por fim compara as medições de frequência dos eventos. Igualmente, (ARIAS-GUZMÁN et al., 2017) e (ROMERO et al., 2010) trazem bons casos referentes a avaliação de eventos reais de afundamentos de tensão, aplicando índices propostos pelo IEEE. O primeiro faz uso do índice da severidade e o segundo traz uma análise através de outro índice proposto pela recomendação do IEEE, o índice SAI (Sags Activity index), porém em nenhum dos trabalhos citados são realizados estudos com dados preditivos. Com isso, corrobora-se a importância do trabalho aqui apresentado, trazendo uma boa contribuição para o assunto, devido a deficiência de trabalhos publicados onde são feitas análises de comparação do número de eventos de afundamentos de tensão preditos com eventos medidos.

1.1 Objetivos e Contribuições

Este trabalho apresenta um estudo de caso de afundamentos de tensão obtidos em uma indústria de celulose localizada na região metropolitana de Porto Alegre. O objetivo geral trata de uma análise comparativa que se dá entre um cenário com a predição de eventos de afundamentos de tensão, através de faltas simuladas via programa computacional, e outro cenário com os dados reais obtidos por meio de medidores instalados na indústria. A partir disso, como objetivos específicos, utilizou-se as definições dos novos índices propostos pelas duas normativas citadas, realizando uma análise tanto do Índice de Severidade como o de Fator de Impacto. Essa análise permite demonstrar que cada evento está intimamente ligado com as relações de magnitude e duração, de forma conjunta. Esses resultados ainda servirão para modelos futuros de monitoramento de afundamentos de tensão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Caracterização dos Afundamentos de Tensão

A recomendação norte-americana IEEE Std 1346 (IEEE, 1998), classifica um afundamento de tensão como sendo um decréscimo no valor eficaz da tensão durante um curto período de tempo, que corresponde a $\frac{1}{2}$ ciclo até 1 minuto. A magnitude do afundamento é definida pela menor tensão remanescente durante a ocorrência do evento, estando entre os limites de 0,9 pu e 0,1 pu.

No âmbito nacional, segundo (ANEEL, 2018), um evento será considerado como um afundamento de tensão quando o valor da magnitude de sua tensão ficar entre 0,1 pu e 0,9 pu, em relação a tensão de referência. Esses eventos só serão computados se suas durações forem menores que os limites estabelecidos, onde para a norma brasileira esse período é menor que 3 minutos.

Para que a magnitude e a duração de um afundamento de tensão possam ser avaliadas, essas são medidas por um analisador da qualidade da energia. Esses medidores possuem taxas de amostragem e resoluções definidas, além de registrar o valor da tensão eficaz. Essa taxa de amostragem é dada em número de amostras por ciclo da frequência fundamental, onde para o caso de uma VTCD, esse registro pode ser feito a partir de 16 amostras por ciclo. Isso quer dizer que a partir de 16 amostras por ciclo, consegue-se reconstruir o sinal original de uma variação de tensão de curta duração.

O documento IEC 61000-4-11 (IEC, 2005a) estabelece que a determinação da magnitude de um evento de afundamento de tensão é obtida a partir da utilização da tensão RMS, calculada ao longo de um ciclo e atualizada a cada meio ciclo. Além de recomendar que a taxa de amostragem seja sincronizada com a frequência do sistema, sendo assim um número fixo de amostras por ciclo. A Equação 2.1 descreve a tensão RMS.

$$V_{rms}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1+k-N}^k v_i^2} \quad (2.1)$$

Onde N é o número de amostras por ciclo, v_i é a amostra da forma de onda de tensão e k representa o índice da janela, variando N a M , sendo M o número total de amostras.

Ainda, a (IEC, 2005a) determina que a caracterização de VTCDs seja realizada através de instrumentos de medição que considerem como parâmetro de referência uma tensão fixa ou uma tensão média deslizando. Essa tensão é dada pela Equação 2.2.

$$V_r(n) = 0,9967V_r(n-1) + 0,0033\bar{V}_{rms} \quad (2.2)$$

Sendo $V_r(n)$ o valor calculado da tensão de referência, $V_r(n-1)$ o valor prévio da tensão de referência e \bar{V}_{rms} o valor da tensão eficaz média de 12 ciclos mais recentes.

Quanto a duração, o documento citado caracteriza como sendo o intervalo de tempo entre o instante em que o limite de referência é ultrapassado e o instante em que volta a cruzar esse limite, retornando à condição de operação.

2.1.1 Agregação de Eventos

A agregação de eventos ocorre em casos onde se observa uma sucessão de eventos durante certo período de tempo, registrados em um mesmo local (ou em um mesmo medidor). Em casos onde forem registrados mais de um evento por até um minuto, estes serão agregados e se utilizará o evento de menor magnitude da tensão. Esse limite é estabelecido pelas recomendações do IEEE, através da IEEE Std. 1564 (IEEE, 2014).

Para (ANEEL, 2018), a metodologia é análoga a descrita acima, porém a agregação dos eventos é analisada pelo período de três minutos, ou seja, eventos medidos em um mesmo ponto no intervalo de três minutos serão agregados e um único evento, e será utilizado o evento com a menor magnitude da tensão.

2.1.2 Agregação de Fases

Durante um evento, os instrumentos de monitoramento poderão medir mais do que uma fase, como por exemplo, um afundamento de tensão trifásico em que um medidor pode registrar uma medida para cada uma das fases. Nesses casos, a padronização do (IEEE, 2014) recomenda representar as medições de múltiplas fases com apenas uma medida, utilizando a fase com o maior desvio da tensão nominal.

De forma semelhante, (ANEEL, 2018) também caracteriza a agregação dos parâmetros de amplitude e duração de cada evento. A agregação de fases se dá com a utilização de um único evento no ponto de monitoração, em que para o afundamento de tensão, será empregada a menor amplitude da tensão durante o evento. Essa duração é definida como o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o primeiro evento transpõe determinado limite e o instante em que o último evento retorna para esse limite, não ultrapassando o período de três minutos.

2.2 Principais Normativas

Uma eficiente forma de avaliar a qualidade da energia elétrica é através da análise de índices. Com a presente preocupação quanto a caracterizações significativas das anomalias envolvendo a energia elétrica, as principais normativas e recomendações têm se atualizado e implantado índices que melhor quantifiquem e classifiquem os fenômenos da QEE.

No âmbito nacional a caracterização da qualidade do produto em relação ao sistema de transmissão, é realizada pelos submódulos 2.8 (ONS, 2016a) e 3.6 (ONS, 2016b) dos Procedimentos de Rede, porém as

VTCDs para este caso são classificadas apenas pela frequência de ocorrência dos eventos, não havendo limites de referência estabelecidos. Quanto à rede de distribuição, a (ANEEL, 2018) estabelece o Módulo 8 do PRODIST que vem sendo atualizado desde 2011, sendo que a partir de 2018 entraram em vigor os novos índices relacionados às VTCDs. Importante ressaltar que embora os índices tenham sido propostos para média tensão, há estratificações para a aplicação em 230kV.

Em relação às recomendações internacionais trataremos apenas dos guias estabelecidos pelo instituto norte-americano IEEE. Em 2014 houve a atualização do guia *IEEE Guide for Voltage Sags Indices* – IEEE Std. 1564 (IEEE, 2014) que estabeleceu índices para a caracterização dos afundamentos de tensão.

2.2.1 Fator de Impacto

Na implantação do PRODIST, em 2008, não foram definidos os valores de referência para as padronizações e normativas abordadas quanto à qualidade da energia elétrica. Por este motivo, em 2011 foi realizada a primeira consulta pública, com o intuito de aprimorar o regulamento. Em 2014 houve a segunda consulta pública, focada na implantação de índices de desempenho e aplicação de limites de referência para os fenômenos envolvendo a qualidade da energia elétrica.

Através desta proposta foi implantado o Fator de Impacto. Este índice é obtido a partir do método das tabelas de afundamentos de tensões, esse método se baseia em classificar intervalos de duração nas colunas e faixas de magnitude nas linhas, e dessa forma cada evento computado irá corresponder a uma célula específica da tabela.

Para a aplicação do Fator de Impacto, a (ANEEL, 2018) propõe a tabela apresentada na Figura 2.1, onde as células foram divididas em regiões de sensibilidade que caracterizam os eventos de maior ou menor impacto. Nas linhas da tabela pode-se perceber a abrangência de intervalos tanto para afundamentos de tensão, como para elevações de tensão (magnitudes acima de 1,1 pu).

Figura 2.1 – Regiões de sensibilidade

Amplitude [pu]	Duração*						
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
$V > 1,15$	Região H			Região I			
$1,10 \leq V < 1,15$							
$0,85 \leq V < 0,90$	Região A						Região G
$0,80 \leq V < 0,85$							
$0,70 \leq V < 0,80$	Região B	Região D		Região F			
$0,60 \leq V < 0,70$							
$0,50 \leq V < 0,60$	Região C						
$0,40 \leq V < 0,50$							
$0,30 \leq V < 0,40$	Região E			Região F			
$0,20 \leq V < 0,30$							
$0,10 \leq V < 0,20$							
$V < 0,10$	Região E			Região F			

*Duração: D1 – $16,67 \text{ ms} < d < 100 \text{ ms}$

D2 – $100\text{ms} \leq d < 300 \text{ ms}$

D3 – $300\text{ms} \leq d < 600 \text{ ms}$

D4 – $600\text{ms} \leq d < 1 \text{ s}$

D5 – $1 \text{ s} \leq d < 3 \text{ s}$

D6 – $3 \text{ s} \leq d < 1 \text{ min}$

D7 – $1 \text{ min} \leq d < 3 \text{ min}$

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2018

Para a obtenção do índice, ainda é levado em conta um fator de ponderação correspondente para cada região de sensibilidade. Seus pesos são definidos de acordo com a maior predisposição dos eventos daquela região gerarem impactos mais rigorosos. O fator de impacto ainda leva em conta um fator de impacto base, onde analisa o nível de tensão onde o evento ocorreu. Estes fatores podem ser encontrados na Tabela 2.1. O fator de impacto é descrito na Equação 2.3.

$$FI = \sum_{i=A}^I \frac{f_{ei} * f_{pi}}{FI_{base}} \quad (2.3)$$

Onde, f_{ei} é a frequência de ocorrência de eventos apuradas por meio de medição apropriada, em um período de 30 dias consecutivos para cada região de sensibilidade (A, B, C, D, F, G, H e I); f_{pi} é o fator de ponderação para cada região de sensibilidade, estabelecido de acordo com a relevância do evento, correlacionando sua amplitude e duração; FI_{base} é o fator de impacto base, obtido do somatório dos produtos dos fatores de ponderação pelas frequências máximas de ocorrência em um período de 30 dias para cada região de sensibilidade.

Tabela 2.1 - Fatores de ponderação para as regiões de sensibilidade e valores de FI_{base} para os diferentes níveis de tensão

Região de Sensibilidade	Ponderação (f_{pi})	Fator de Impacto Base (FI_{base})	
		$1 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
A	0,00	2,13	1,42
B	0,04		
C	0,07		
D	0,15		
E	0,25		
F	0,36		
G	0,07		
H	0,02		
I	0,04		

Fonte: ANEEL, 2018.

O valor de referência para o Fator de Impacto é de 1,0 pu, sendo que valores acima deste limite caracterizam uma maior probabilidade de gerarem problemas aos processos relativos ao consumidor final. Importante ressaltar que o Fator de Impacto só pode ser aplicado para casos onde há monitoramento por no mínimo 30 dias, para que o parâmetro da frequência de ocorrência de eventos possa ser obtido, sendo assim não há como classificar um único evento através do FI.

2.2.2 Índice de Severidade

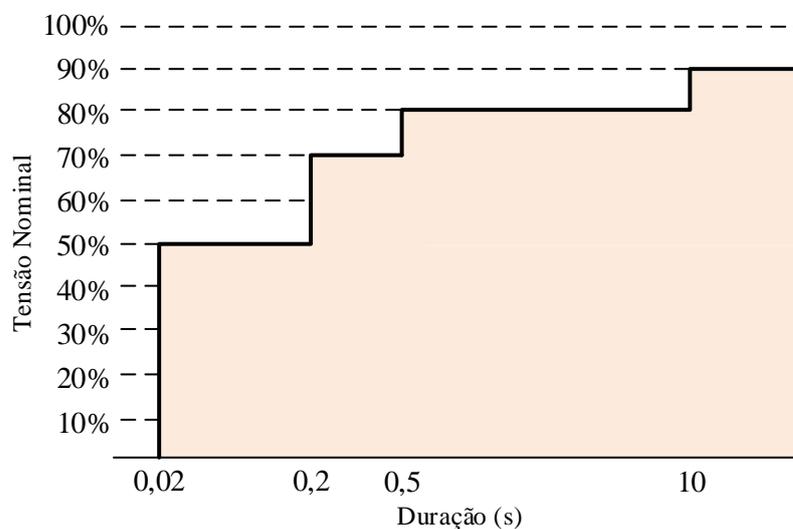
Na atualização do IEEE 1564 Std. (IEEE, 2014), vários índices foram propostos, porém como objeto de estudos será apresentado apenas o Índice de Severidade de um afundamento de tensão. O método de estratificação utilizado para a implantação do índice foi através da utilização de curvas de sensibilidade, como a curva SEMI (*Specification for Semiconductor Processing Voltage Sag Immunity*), publicada na SEMI F-47-0706 (LAB, 2006). Essa curva descreve a sensibilidade de equipamentos e processos ligados a fabricantes de semicondutores.

Curvas de sensibilidade são caracterizadas pela sua curva limite (ou de referência) e são baseadas em intervalos de duração e de magnitude, caracterizando um evento conforme o local da curva onde esse evento for classificado. Na Figura 2.2, a curva SEMI F-47 é demonstrada.

Em geral eventos severos são classificados quando seu valor for maior do que 1 pu e nesse caso o evento estará na região abaixo da curva de referência demonstrada na Figura 2.2. Esses casos tendem a gerar eventos de afundamentos de tensão mais severos do que os que forem classificados acima da curva limite, onde terão um valor de severidade abaixo de 1 pu. Eventos com magnitude acima do limite para

afundamentos de tensão, ou seja, valores acima de 0,9 pu, terão índice de severidade zero. A Severidade é descrita na Equação 2.4.

Figura 2.2 - Curva de sensibilidade SEMI F47



Fonte: Adaptado de IEEE, 2014

$$S_e = \frac{1 - V}{1 - V_{curva}} \quad (2.4)$$

Onde V é a magnitude do afundamento de tensão e d é a duração do evento e V_{curva} é a magnitude da tensão na curva de referência.

No caso da curva de sensibilidade utilizada ser a SEMI F-47, e se os valores da tensão de referência forem substituídos na Equação 2.4, chega-se a Tabela 2.2, onde cada evento irá gerar um valor de Severidade de acordo com sua magnitude e duração.

Tabela 2.2 - Cálculo da Severidade conforme a SEMI F47

Limites de Duração	Cálculo da Severidade
$d \leq 20$ ms	$S_e = 1 - V$
20 ms $< d \leq 200$ ms	$S_e = 2 \times (1 - V)$
200 ms $< d \leq 500$ ms	$S_e = 3,3 \times (1 - V)$
500 ms $< d \leq 10$ s	$S_e = 5 \times (1 - V)$
$d > 10$ s	$S_e = 10 \times (1 - V)$

Fonte: Adaptado de IEEE, 2014

Uma vantagem desse índice é a possibilidade de comparação direta com as curvas de sensibilidade, correlacionando tanto a magnitude quanto a duração do evento.

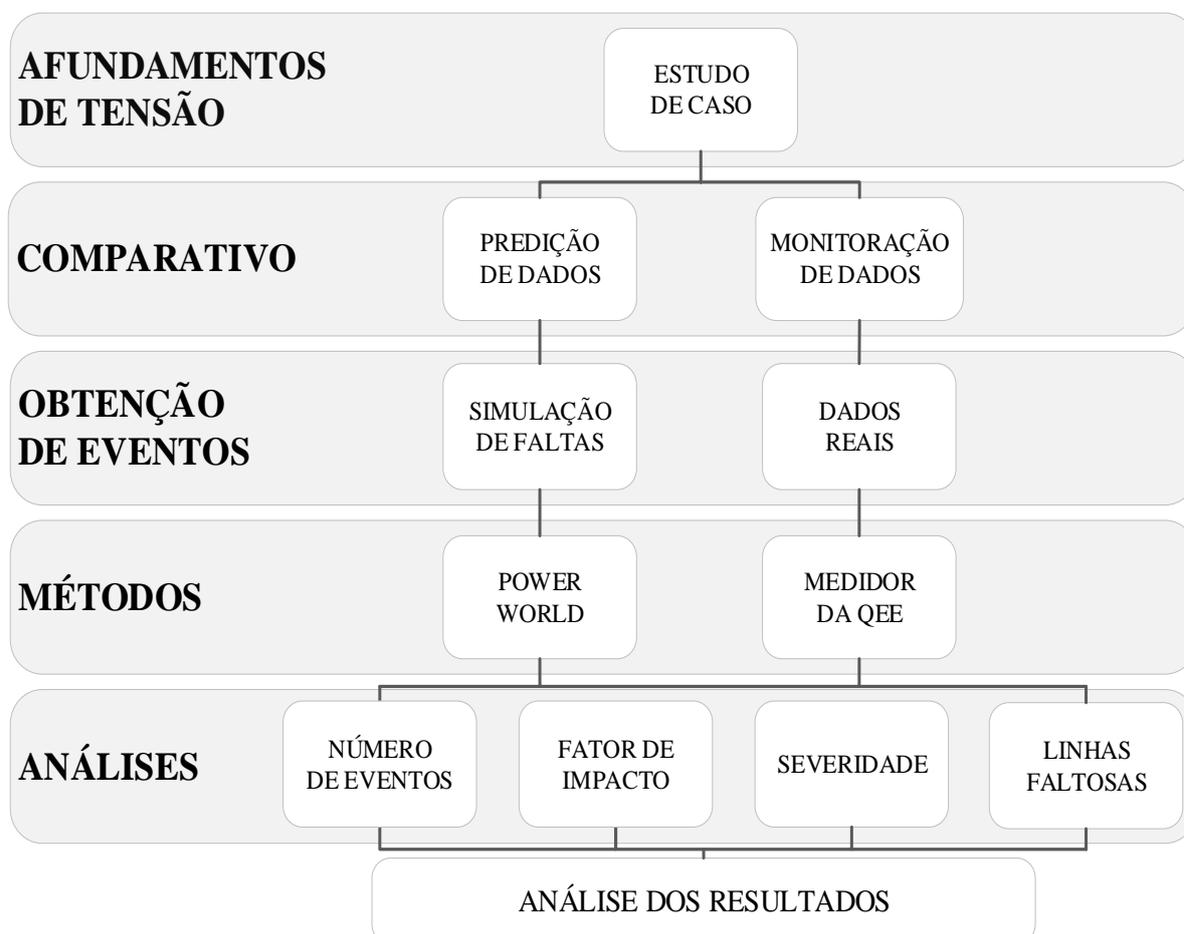
3 METODOLOGIA E MODELAGEM

O presente trabalho tem como objetivo a comparação entre dois cenários, um hipotético e outro real, onde deseja-se avaliar os afundamentos de tensão a nível industrial. A fim de aplicar a metodologia que será descrita nesta seção, a Figura 3.1 resume as principais considerações bem como as análises que foram utilizadas.

O estudo inicia-se com o levantamento dos dados para ambos os cenários. Os dados reais são obtidos via analisador da qualidade de energia elétrica ligados aos níveis de tensão aos quais o consumidor industrial está conectado. Já os dados hipotéticos foram levantados através de simulação de faltas no sistema

elétrico, proposto em (ARGENTA, 2013), onde o autor modela um equivalente do sistema elétrico de potência do estado do Rio Grande do Sul no software *Power World*®, possibilitando que o mesmo simule a ocorrência de curtos circuitos na rede. Dessa forma, os dados hipotéticos foram apenas tratados e reutilizados.

Figura 3.1 – Metodologia



Fonte: O autor.

3.1 Estudo de Caso

O consumidor industrial estudado trata-se de uma indústria de celulose localizada na região metropolitana de Porto Alegre. Este consumidor realizou um amplo estudo da QEE devido aos inúmeros problemas ligados aos afundamentos de tensão em que a empresa estava propensa. Em 2015 a indústria ampliou seu parque fabril e investiu de forma acentuada em equipamentos robustos com o objetivo destes serem menos sensíveis as VTCDs. Além disso a empresa alterou a sua ligação com a rede, passando de 69 kV para a ligação diretamente em 230 kV, possuindo uma subestação de rebaixamento para os níveis de 34,5kV e 13,8kV, como pode ser observado na Figura 3.2. Após estas mudanças significativas, a empresa passou por um período considerável de monitoramento através de medidores de QEE para que suas alterações pudessem ser analisadas de forma quantitativa. A monitoração da qualidade de energia foi feita nos níveis de tensão de 230 kV, 34,5 kV e 13,8 kV.

Como já descrito, problemas envolvendo afundamentos de tensão estão intimamente ligados a problemas financeiros. (CHOWDHURY; POTENTIALS, 2001) traz uma estimativa para os custos médios por evento, para diversos ramos industriais. Seu estudo foi aplicado para as indústrias dos EUA, sendo o custo especificado em dólares, a Tabela 3.1 apresenta esses resultados.

Tabela 3.1 - Custo dos afundamentos de tensão por evento

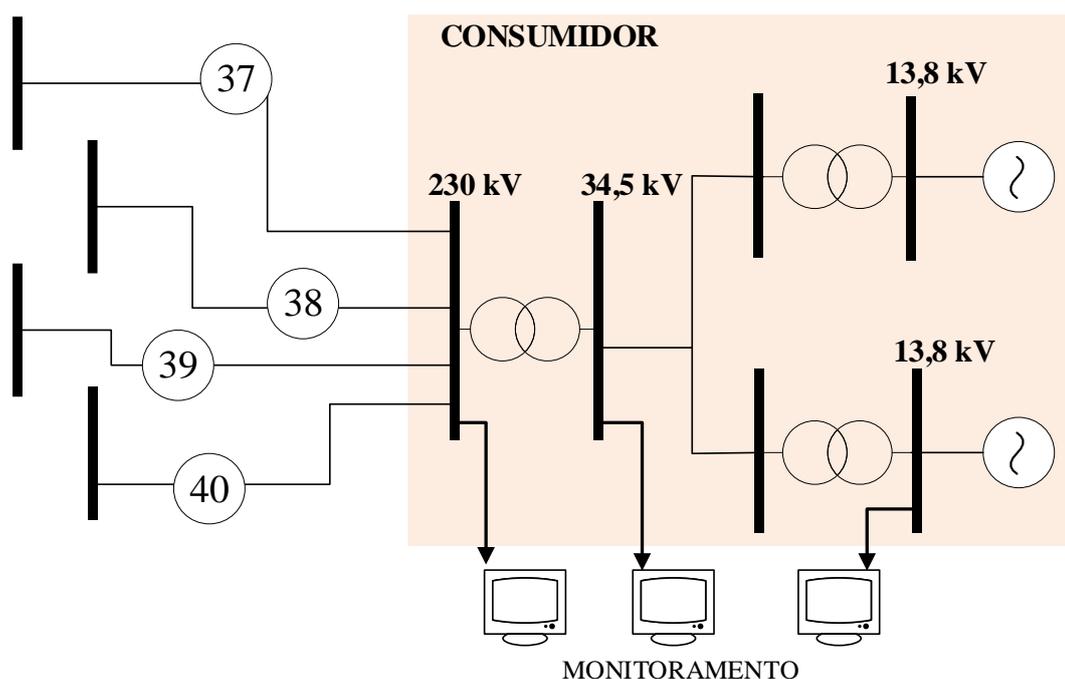
Tipo de Indústria	Custo (US\$)
Semicondutores	2.500.000
Manufatura de Equipamentos Automobilística	100.000
Química	75.000
Manufatura de Papel	50.000
	30.000

Fonte: CHOWDHURY, 2001

3.2 Cenário Simulado

Iniciando a análise pelo cenário simulado, (ARGENTA, 2013) em seu estudo, utiliza o software *Power World®*, onde inicialmente faz a modelagem do SEP de acordo com a análise da área de vulnerabilidade na qual a barra de ligação de 230 kV está submetida. Pelo fato da versão estudantil do software não permitir um número elevado de barras do sistema simulado, considerou-se circuitos equivalentes para a modelagem do sistema, dessa forma o esquema resumido de ligação da indústria com o SEP está demonstrado na Figura 3.2.

Figura 3.2 - Diagrama unifilar simplificado do ponto de conexão da CMPC com o SEP



Fonte: Adaptado de ARGENTA, 2013

De modo geral, o processo de obtenção dos eventos preditos consistiu na simulação das faltas com todos os parâmetros do SEP em questão. Esses parâmetros são relativos às principais características necessárias para a simulação do sistema no software, como por exemplo, os parâmetros das barras consideradas; a barra de referência como sendo a barra do consumidor; as distâncias respectivas para cada linha, além das resistências e reatâncias de sequência positiva e sequência zero destas linhas; as unidades geradoras; bem como as cargas e os transformadores do sistema.

Após, dá-se a simulação das faltas em cada uma das linhas e, por fim, a observação da magnitude correspondente à aplicação desta falta diretamente na barra de 230 kV (relativa ao consumidor), sendo possível a avaliação dos eventos computados como sendo ou não eventos de afundamentos de tensão. No Apêndice de seu trabalho podem ser verificadas todas as características dos equipamentos utilizados.

Seu estudo analisou as magnitudes das tensões obtidas em cada equipamento através da metodologia das posições de faltas, proposta em (CABRAL, 2010). A modelagem geral do método sugere que serão aplicadas faltas em todas as linhas do sistema, obtendo valores de magnitudes correspondentes nas barras consideradas, conforme as diferentes naturezas de faltas elétricas, ou seja, faltas fase terra (FT), faltas bifásicas (FF), faltas bifásicas terra (FFT) e faltas trifásicas (FFF).

Dessa forma, para a obtenção do número de eventos de afundamentos de tensão, (ARGENTA, 2013) faz uso das mesmas considerações proposta por (CABRAL, 2010), onde se considera uma taxa de faltas, além de índices de probabilidades de ocorrência por tipo de falta. As probabilidades de ocorrência por tipo de falta, utilizadas pelo autor, correspondem a 50% para FT, 30% para FFF e 10% para FF e FFT.

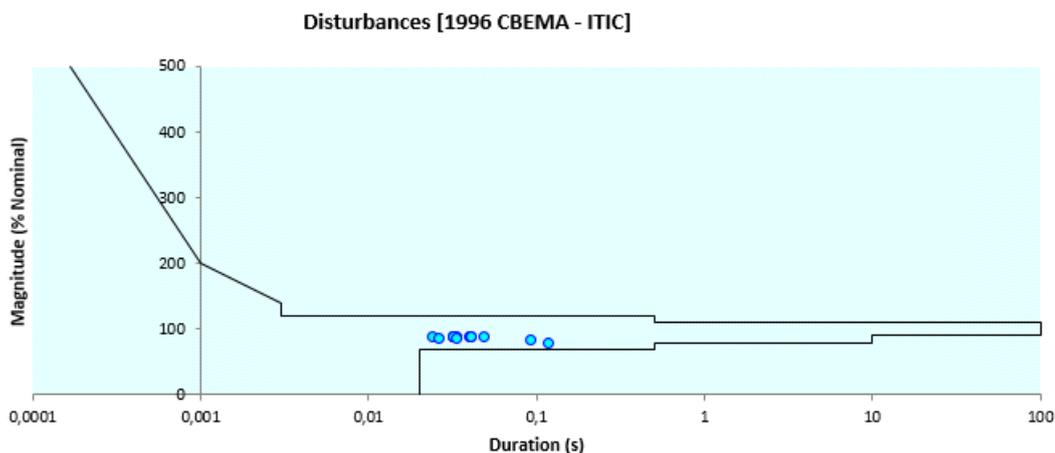
Para maiores detalhes de como a simulação foi realizada, bem como a escolha de todas as considerações de modelagem, recomenda-se a análise do trabalho referenciado. O método das posições de faltas utilizado, o detalhamento dos dados de probabilidades de ocorrência por tipo de faltas e das taxas de faltas utilizadas, estão descritos de forma detalhada em (CABRAL, 2010).

3.3 Cenário Monitorado

Quanto ao cenário monitorado, após a ampliação da empresa foram coletados dados através de analisadores da qualidade de energia (qualímetros) e obtidos eventos durante dois anos (maio de 2015 a maio de 2017). Na Figura 3.3, um exemplo da interface dos dados obtidos via analisador é demonstrada.

Os analisadores da qualidade de energia utilizados, da Schneider Electric modelo ION8650 (ELECTRIC, 2018), são conectados nos três níveis de tensão onde a indústria possui conexões, ou seja, em 230 kV, 34,5 kV e 13,8 kV. Os medidores utilizam as recomendações da IEC 61000-4-34 (IEC, 2005b) Class A/S, como parâmetros base para as medições. Cada evento detectado é armazenado com a data e hora, a duração e a magnitude do evento além da fase onde ocorreu e suas respectivas tensões mínimas e máxima duração. Na Figura 3.3, observa-se que o equipamento faz uso de uma curva de sensibilidade para expressar a ocorrência dos eventos, a qual é conhecida como curva ITIC (*Information Technology Industry Council*) (ITI, 2000). Esta curva é a mais indicada para a avaliação da sensibilidade de equipamentos computacionais, onde analisa os eventos através de três regiões distintas.

Figura 3.3 - Dados do analisador da qualidade de energia



CMPC.230kV_PRINCIPAL - Sags, Swells & Transients

Time Stamp	Type	Phase	Duration (s)	Magnitude (% Nominal)
2015-mai-02 22:09:32.803	Sag	V3	0,039999999	88,62024689
2015-mai-02 22:19:01.573	Sag	V3	0,032000002	88,34102631
2015-mai-02 22:19:05.757	Sag	V3	0,032000002	88,2798996
2015-mai-02 22:21:18.926	Sag	V3	0,033	89,32429504
2015-mai-02 22:21:20.044	Sag	V3	0,048	89,26291656
2015-mai-02 22:30:21.628	Sag	V3	0,041000001	89,06884003

Fonte: Banco de dados do analisador ION8650

Além dos dados de eventos de afundamentos de tensão, ainda obteve-se um histórico de faltas elétricas a partir das falhas de equipamentos que ocorreram nos níveis de 230 kV, caracterizando cada falha com o tipo de falta correspondente. Esse histórico corresponde a 18 meses, englobando parte dos anos de monitoração via medidor.

3.4 Análise Comparativa

Para a análise comparativa, será feito o levantamento do número de eventos tanto para o cenário predito como para o monitorado, onde estes serão estratificados em faixas de magnitude, para que conclusões mais precisas possam ser realizadas. Além disso, os dados serão submetidos aos índices da qualidade de energia elétrica descritos na seção 2, onde estes irão caracterizar o nível de sensibilidade de cada evento ou grupo de eventos, para que as conclusões quanto aos seus efeitos ao consumidor industrial possam ser mais precisamente estudadas, bem como correlacionar sua influência aos problemas descritos pela empresa.

Algumas das considerações tomadas para o tratamento dos dados é em relação ao nível de tensão. A quase totalidade das linhas consideradas no caso simulado correspondem ao nível de 230 kV. Além disso, a grande maioria dos eventos monitorados foram registrados neste mesmo nível de tensão. Dessa forma, optou-se por utilizar apenas os dados relativos a 230 kV.

Quanto ao tempo considerado de medições, o caso predito é simulado para o período equivalente a um ano, sendo assim, escolheu-se medições de um ano do banco de dados. Tomou-se o cuidado de escolher 12 meses consecutivos e que este período fosse o mesmo utilizado para os dados históricos das faltas. O período de dados monitorados escolhido contempla os meses de agosto de 2015 a julho de 2016.

4 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Número de Eventos

A primeira análise realizada foi quanto a comparação do número de eventos preditos e o número de eventos obtido via banco de dados. Todas as análises aqui apresentadas utilizaram dos recursos lógicos do software *MS Excel*.

Como especificado na metodologia, para o levantamento do número de eventos de afundamentos de tensão, (ARGENTA, 2013) faz uso do método das posições de faltas, obtendo assim eventos para diferentes naturezas de faltas elétricas. Como o intuito do presente trabalho é a comparação entre dois métodos, optou-se por utilizar um número de eventos geral, sem distinção de natureza da falta elétrica, principalmente pelo fato dos dados obtidos via medidor não possuírem tal distinção. Outra consideração realizada, como dito, foi quanto ao nível de tensão utilizado, devido a maioria dos eventos ocorrerem em 230 kV para ambos os cenários. Dessa forma, inicialmente levantou-se o número de eventos obtidos via predição, ou seja, através dos dados retirados do Apêndice (A e B) disponível em (ARGENTA, 2013), o número total de eventos e o número de eventos acumulados estão demonstrados na Figura 4.1. Atenta-se para o fato de que as simulações propostas correspondem a ocorrência de eventos durante um ano.

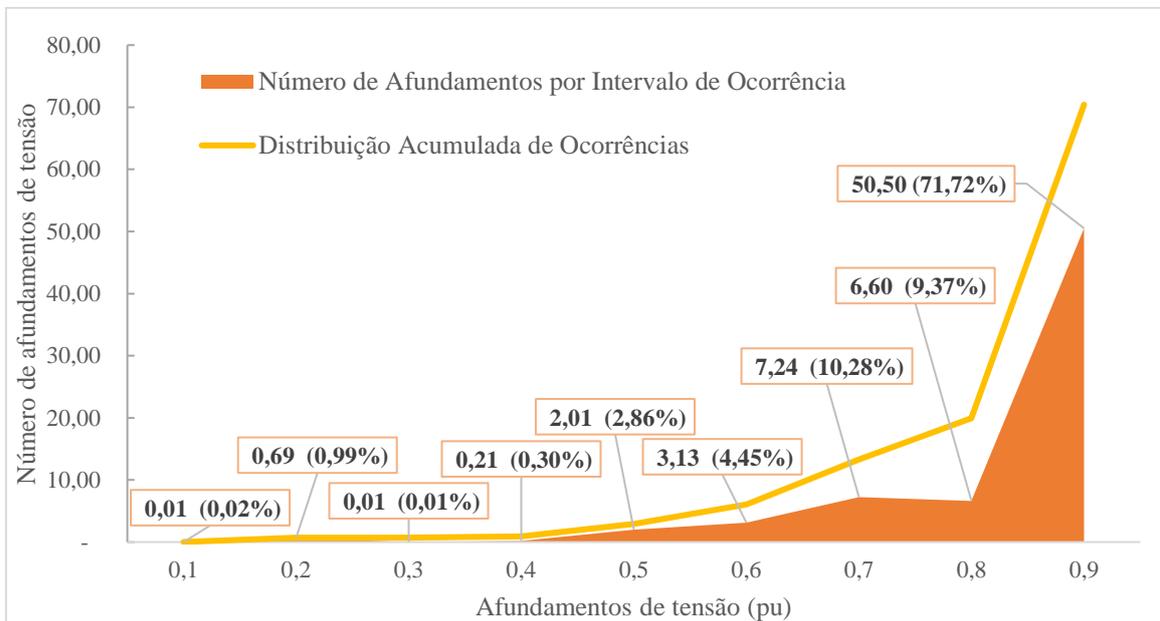
Na Figura 4.1 é detalhado o número total de eventos ocorridos em faixas de magnitude. Juntamente com o número de eventos, descreve-se a porcentagem de eventos ocorridos nessa mesma faixa, por exemplo, temos um total de 50,50 eventos que ocorreram na faixa entre 0,8 e 0,9 pu, isso corresponde a 71,72% do número total de eventos, sendo o intervalo de magnitude com maior ocorrência de eventos, seguindo pelo intervalo entre 0,6 e 0,7 pu, com 10,28% dos eventos totais. Além disso, a curva da distribuição acumulada das ocorrências de afundamentos de tensão também é detalhada, chegando a um valor total de afundamentos de 70,41.

Quanto ao cenário medido, novamente utilizou-se apenas os dados correspondentes ao nível de 230 kV, onde houve maior número de registros de afundamentos de tensão, como pode ser observado na Tabela 4.1. Atenta-se que os dados mostrados são equivalentes aos dois anos monitorados, apresentados de forma a corroborar com a consideração utilizada.

De forma análoga ao que foi apresentado na Figura 4.1, a Figura 4.2 descreve o número de eventos totais obtidos via monitoramento, apresentados na forma de intervalos de magnitudes e de distribuição acumulada de ocorrências, onde para este caso observa-se um total de 134 eventos. Quando esse número é estratificado para os diferentes intervalos de magnitude, pode-se observar por exemplo que o intervalo com

a maior ocorrência de eventos fica entre 0,8 e 0,9 pu com um total de 103 eventos que correspondem a 52,82% do número total dos eventos medidos.

Figura 4.1 - Número de afundamentos de tensão previstos



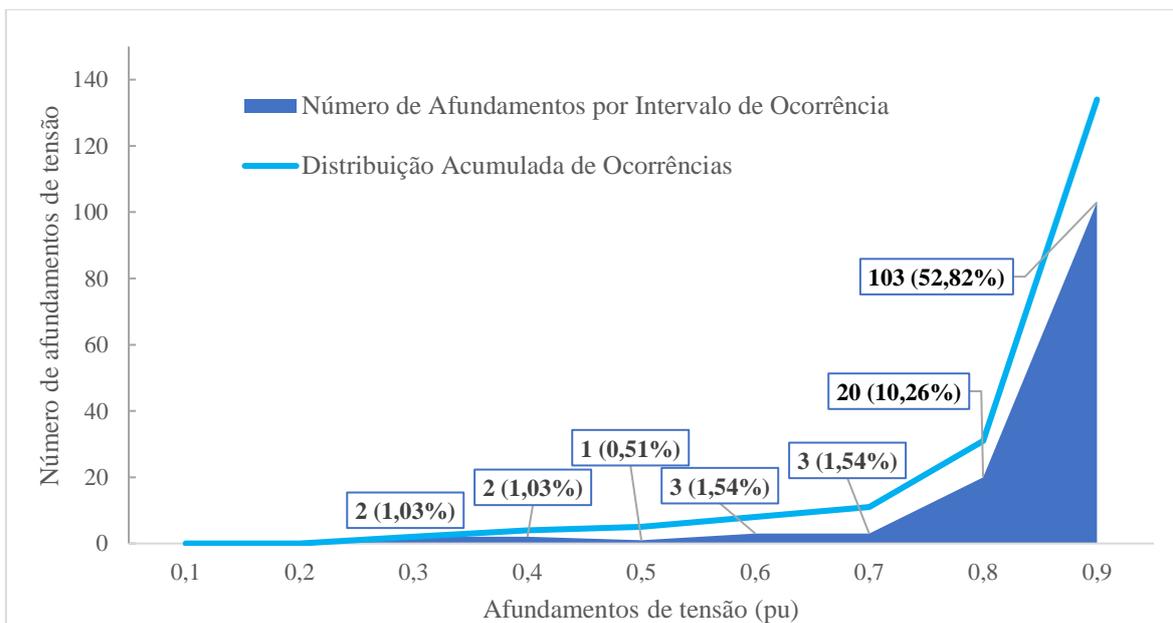
Fonte: O autor.

Tabela 4.1 - Número de afundamentos de tensão por nível de tensão

	Nível 230 kV	Nível 34,5 kV	Nível 13,8 kV
IEEE Std. 1564	228	23	35
PRODIST M8	224	23	36

Fonte: O autor.

Figura 4.2 - Número de afundamentos de tensão monitorados



Fonte: O autor.

Na Tabela 4.2 são apresentados dois casos, onde o número de eventos computados aplicando a recomendação do IEEE foi diferente do número obtido pela padronização da ANEEL, como foi discutido na seção 2.

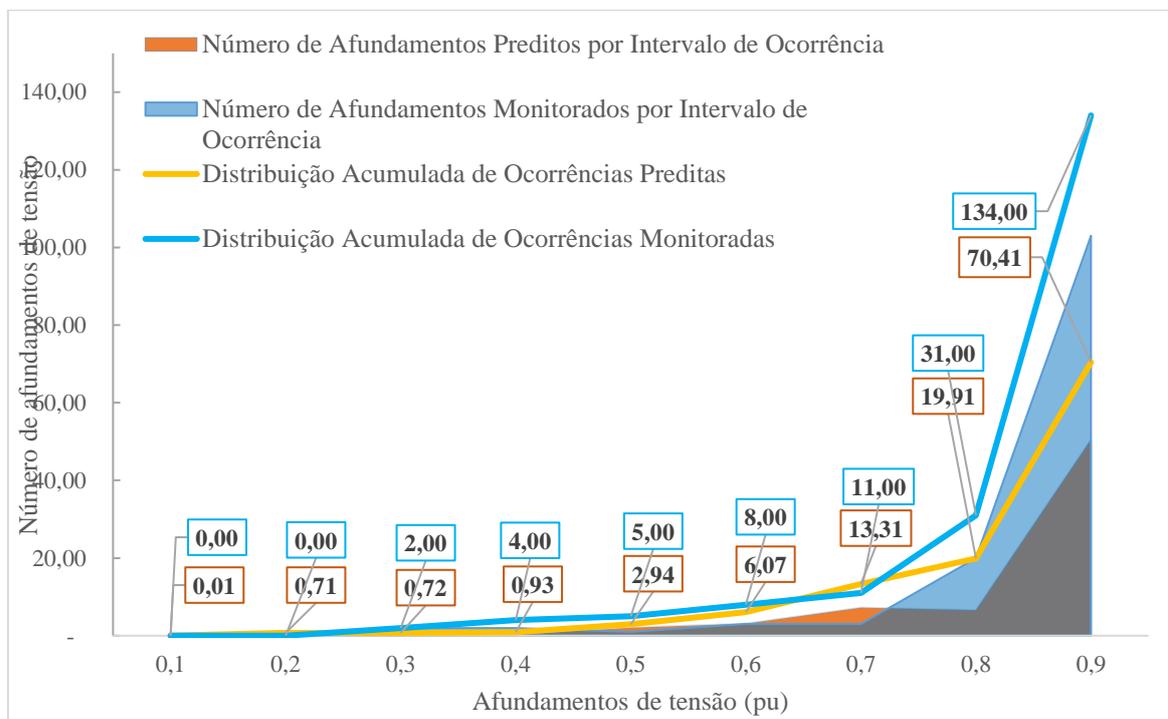
Tabela 4.2 – Quantificação dos eventos pelas diferentes recomendações

Mês/Ano	Casos com Quantificação Diferente	Número de Eventos segundo ANEEL	Número de Eventos segundo IEEE
10/2015	Dia:14 Hora: 22:28:08 Magnitude: 69,2% Duração: 0,091 s	1	2
	Dia:14 Hora: 22:29:58 Magnitude: 70,3% Duração: 0,058 s		
01/2016	Dia:25 Hora: 12:27:07 Magnitude: 74,8% Duração: 0,117 s	1	2
	Dia:25 Hora: 12:28:40 Magnitude: 85,7% Duração: 0,117 s		

Fonte: O autor.

Buscando uma melhor avaliação dos casos descritos acima, a Figura 4.3 apresenta os dados previstos e os dados monitorados de forma conjunta, tanto para o caso acumulado como para as faixas de magnitude.

Figura 4.3 – Análise comparativa do número de eventos



Fonte: O autor.

A Figura 4.3 traz os valores obtidos para os mesmos intervalos de magnitude em ambos os casos, onde é possível observar que para alguns intervalos de magnitudes o número de eventos preditos é maior do que de eventos reais, como o caso entre 0,6 e 0,7 pu, tendo uma pequena diferença, correspondendo a 1,93 eventos. Outros intervalos, como entre 0,1 e 0,3 pu, apresentam baixíssimos valores para o caso predito, principalmente devido ao método das posições de faltas utilizado na simulação, que considera eventos em todos os pontos do sistema. Nos intervalos relativos a 0,7 e 0,8 pu e principalmente em 0,8 e 0,9 pu, observam-se diferenças no número de eventos de 11,09 e 63,59, respectivamente. O erro relativo médio ficou em torno de 47%. Sabe-se que muitas considerações acabam sendo feitas quando há uma análise predita, o que acaba resultando em discrepância dos valores no caso da comparação com casos reais. Porém, mesmo com a grande diferença observada, é possível prever um padrão de comportamento para os dados, relativo principalmente às faixas de magnitude nas quais há uma maior ou menor ocorrência de eventos.

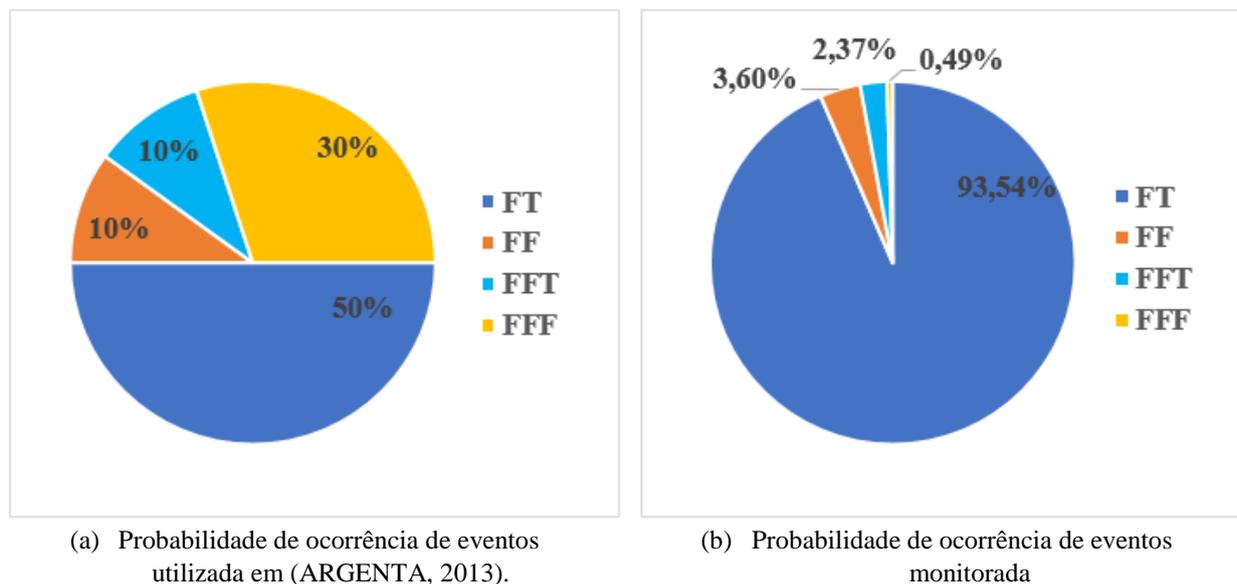
A relação com todos os eventos monitorados, bem como suas principais características, pode ser observada no Apêndice A deste trabalho.

4.2 Índice de Afundamentos de Tensão

Os índices da severidade e do fator de impacto foram aplicados tanto ao cenário predito quanto ao monitorado. Devido ao caso predito não possuir estratificação mensal, a comparação entre os índices será feita considerando a ocorrência de eventos em um ano.

Primeiramente analisando o caso predito, como explicado na metodologia, (ARGENTA, 2013) faz uso de probabilidades de ocorrência de eventos por tipo de falta, através de valores encontrados na literatura. Entretanto, como o presente trabalho possui um histórico de faltas real, optou-se por levantar as probabilidades de ocorrência de eventos por tipo de faltas a partir destes dados. Sendo assim, na Figura 4.4 são demonstrados os valores obtidos (b), bem como os valores utilizado em (ARGENTA, 2013) (a).

Figura 4.4 - Probabilidade de ocorrência de eventos



Fonte: O autor.

Atenta-se para o fato de que para o levantamento dos valores de probabilidade de ocorrência, utilizaram-se apenas dados de faltas correspondentes a um ano de medição, ou seja, sabe-se que para um valor preciso, seria necessária a análise de uma série histórica. Porém os dados obtidos condizem com o que costuma-se observar no SEP, onde de fato há um número muito maior de afundamentos de tensão de origem em faltas do tipo FT. Dessa forma, para a próxima análise, optou-se por utilizar ambos os casos apresentados na Figura 4.4.

Com isso, para o levantamento do Fator de Impacto quanto ao cenário predito, primeiramente separou-se os eventos por regiões de sensibilidade, segundo a Figura 2.1. Para isso, cada evento de

afundamento de tensão foi computado conforme sua faixa de magnitude. Além da distribuição dos eventos por faixas de magnitude, para o levantamento do FI necessita-se da duração dos eventos. Como para o caso dos eventos preditos não foi levantado nenhum tipo de duração, optou-se por considerar a duração média dos eventos reais, ou seja, através da análise dos dados monitorados chegou-se a uma duração média dos afundamentos de tensão igual a 0,1 segundos. Sendo assim, os eventos computados correspondem apenas as regiões de sensibilidades H, A, D ou E.

Entretanto, deseja-se chegar a um valor que possa ser comparado com os valores obtidos via medidor, dessa forma, buscou-se o valor total do número de eventos por região. Para isso, todos os eventos de afundamentos de tensão foram estratificados segundo as faixas de magnitude observadas na Figura 2.1, onde para cada número de eventos em cada região de sensibilidade, foram aplicados os valores correspondentes das probabilidades de ocorrência das faltas, por fim o número de eventos foi somado para cada região correspondente. Esse procedimento foi feito de forma análoga para os valores de probabilidade obtidos via literatura e também para o caso obtido neste trabalho.

Após a obtenção do número de eventos total por região, aplicou-se cada ponderação (f_{pi}) bem como o Fator de Impacto Base (FI_{base}) para o nível de 230 kV. Atenta-se para o fato de que esse valor de FI_{base} corresponde ao caso mensal, quando estratifica-se para anual apenas multiplica-se o FI_{base} pelo número de meses. Na Tabela 4.3 são especificados o número de eventos obtido em cada região de sensibilidade utilizando as probabilidades de ocorrência de faltas disponível em (ARGENTA, 2013) (descrita como predita), também o número de eventos com as probabilidades de falta levantadas nesse trabalho (descrita como monitorada) e por fim o Fator de Impacto anual para ambos os casos.

Tabela 4.3 - Fator de Impacto predito

Região de Sensibilidade	Eventos Simulados, Probabilidade Predita	Eventos Simulados, Probabilidade Monitorada
H	0	0
A	18,5	20,66
D	34,8	32,51
E	3,8	1,06
Fator de Impacto	0,362	0,302

Fonte: O autor.

Para a obtenção do Índice de Severidade, utilizou-se a mesma duração dos eventos considerada para o Fator de Impacto (0,1 segundo), além disso, também utilizou-se as mesmas faixas de magnitudes que o caso anterior. Assim, os valores de tensão para cada intervalo foram aplicados à equação correspondente obtida na Tabela 2.2, resultando em intervalos de Severidade. Por fim, aplica-se uma média em cada intervalo do Índice de Severidade, para que possa ser feita a correspondência entre valores do Índice de Severidade com os eventos obtidos através de uma mesma faixa de valores.

O tratamento aplicado ao número de eventos segue a mesma metodologia especificada para o caso do Fator de Impacto, onde foram utilizadas as probabilidades de ocorrência dos tipos de falta, novamente fazendo uso dos dois casos, os valores obtidos via literatura e os encontrados via monitoração.

Assim, chega-se ao valor final para Índice de Severidade, onde aplica-se uma média ponderada entre as severidades médias por faixa de magnitude e o número de eventos total, também por faixa de magnitude. Na Tabela 4.4 estão especificados os valores obtidos no processo descrito acima, bem como os valores encontrados para o índice de Severidade.

Quanto a realização da análise dos índices através dos dados monitorados, pelo fato da data da monitoração ser disponibilizada em cada evento, houve a possibilidade do tratamento dos dados de forma mensal, e após, os mesmos foram estratificados para o caso anual.

Tabela 4.4 – Índice de Severidade predito

Intervalo de magnitude [pu]	Intervalo de Severidade	Média da Severidade	Eventos Simulados, Probabilidade Predita	Eventos Simulados, Probabilidade Monitorada
$0,85 \leq V < 0,9$	$0,3 \leq SE < 0,2$	0,25	11,9	13,705
$0,8 \leq V < 0,85$	$0,4 \leq SE < 0,3$	0,35	6,6	6,959
$0,7 \leq V < 0,8$	$0,6 \leq SE < 0,4$	0,5	10,8	10,094
$0,6 \leq V < 0,7$	$0,8 \leq SE < 0,6$	0,7	8,2	8,254
$0,5 \leq V < 0,6$	$1 \leq SE < 0,8$	0,9	10,5	11,038
$0,4 \leq V < 0,5$	$1,2 \leq SE < 1$	1,1	5,3	3,124
$0,3 \leq V < 0,4$	$1,4 \leq SE < 1,2$	1,3	2,6	0,087
$0,2 \leq V < 0,3$	$1,6 \leq SE < 1,4$	1,5	0,3	0,005
$0,1 \leq V < 0,2$	$1,8 \leq SE < 1,6$	1,7	0,6	0,959
$V < 0,1$	$SE < 1,8$	1,8	0,3	0,005
Índice de Severidade			0,650	0,587

Fonte: O autor.

Como cada índice é baseado em uma recomendação distinta, atenta-se para o fato de que a agregação dos eventos utilizados no cálculo de cada um dos mesmos, foi feita de acordo com o estipulado pela sua norma correspondente, ou seja, para a obtenção do índice FI, os dados foram tratados de acordo com as recomendações da ANEEL, onde a agregação de eventos é feita para afundamentos de tensão ocorridos dentro de três minutos. Para o Índice de Severidade essa agregação é feita para eventos ocorrendo dentro de um minuto, segundo o IEEE.

Com isso, primeiramente será analisado o Fator de Impacto. Cada evento obtido via monitoração foi caracterizado conforme a sua magnitude e sua duração, sendo estratificado segundo a região de sensibilidade correspondente (Figura 2.1). Para cada região foi aplicada sua ponderação (f_{pi}) específica, bem como o FI_{base} relativo a 230 kV, onde para o caso anual, esse FI_{base} ainda é multiplicado pelo número de meses.

Quanto ao Índice de Severidade, de posse da duração e da magnitude para cada evento monitorado, utilizou-se as equações apresentadas na Tabela 2.2, onde pôde-se caracterizar cada um dos eventos como Severo ou não Severo. Após, aplica-se uma média em todos os valores do Índice de Severidade, tanto estratificados para o caso mensal como para o caso anual.

Atenta-se que diferentemente do Índice da Severidade (que é calculado para cada evento individualmente), o Fator de Impacto não pode ser aplicado diretamente em cada um dos eventos obtidos via monitoração. Os valores, tanto para o FI_{base} , como para as ponderações (f_{pi}), especificados pela ANEEL, são equivalentes a eventos obtidos por um período de no mínimo trinta dias, não podendo ser aplicados para um único evento.

Na Tabela 4.5 são apresentados os eventos monitorados correspondente as regiões D e E. Essas são as regiões de maior ponderação, onde há uma maior probabilidade de falhas nos consumidores industriais. Também são apresentados os eventos severos mensais obtidos. No Apêndice A, são apresentados os eventos obtidos em todas as regiões de sensibilidade, para os 12 meses relacionados.

Observa-se que ocorreram 6 eventos, 3 em cada uma das duas regiões de alta ponderação para o Fator de Impacto durante o período de um ano. Porém como dito, esses eventos não são avaliados individualmente e sim de forma mensal, ou seja, a ocorrência de dois eventos no mês de outubro, em uma região considerada sensível, não significa que acarretará em um FI acima do limite de tolerância. Outro ponto importante de se destacar é relativo a região de sensibilidade A, onde para o caso monitorado, registrou um total de 87 eventos ao longo de um ano, um número muito maior do que os apresentados na Tabela 4.5. Porém essa região é considerada de baixa sensibilidade, tendo uma ponderação nula, de forma que segundo esse índice, esses 87 eventos não geraram nenhum tipo de impacto para o consumidor final.

A Tabela 4.5 ainda traz o número total de eventos computados para o Fator de Impacto e para o Índice de Severidade.

De forma análoga, para o Índice de Severidade, em 4 meses observaram-se eventos severos (afundamentos com Índice de Severidade maior do que 1), porém quando estes são estratificados para o caso mensal, não geram necessariamente um mês com índice acima da referência, ou seja, não geram um mês severo.

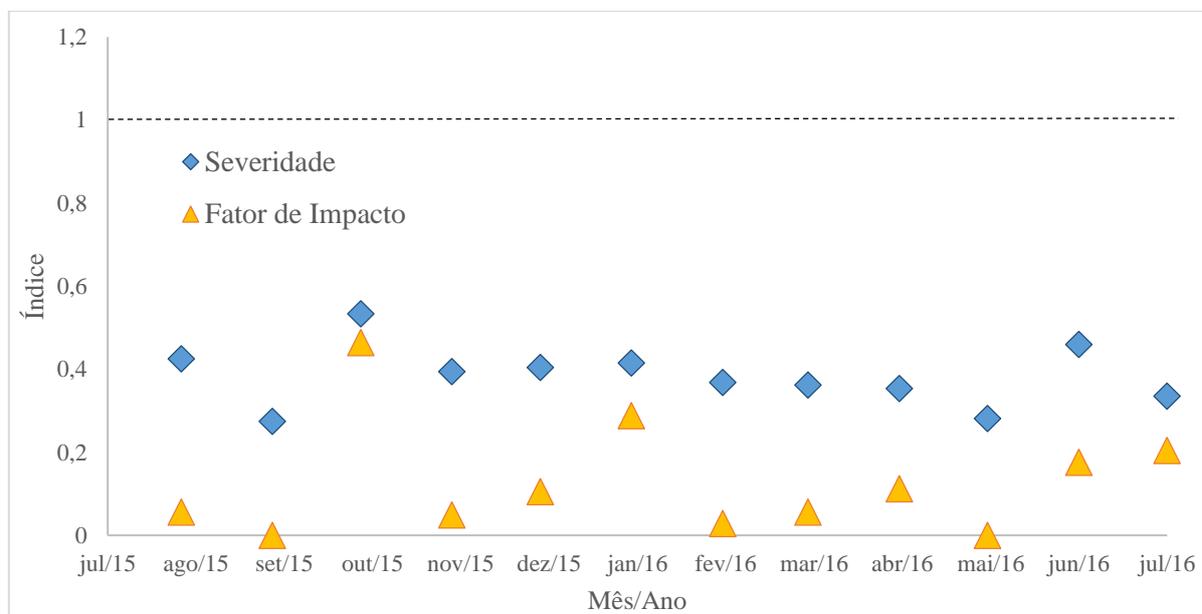
Tabela 4.5 - Número de eventos monitorados

Mês	Fator de Impacto		Índice de Severidade
	Região D	Região E	Eventos Severos
1	2	-	1
6	-	1	1
7	1	-	1
10	-	2	2
Soma dos Eventos	3	3	5
Eventos Totais	114		119

Fonte: O autor.

Isso pode ser melhor avaliado pela Figura 4.5, onde os valores dos dois índices são apresentados mensalmente, para o caso monitorado. Observa-se que em todos os meses, ambos índices se mantiveram dentro dos limites especificados, ou seja, mesmo com o descrito acima, com casos de eventos Severos e também casos de eventos em regiões de alta sensibilidade, os meses onde esses eventos ocorreram não resultaram em índices considerados problemáticos para o consumidor industrial.

Figura 4.5 – Fator de Impacto e Índice de Severidade mensais



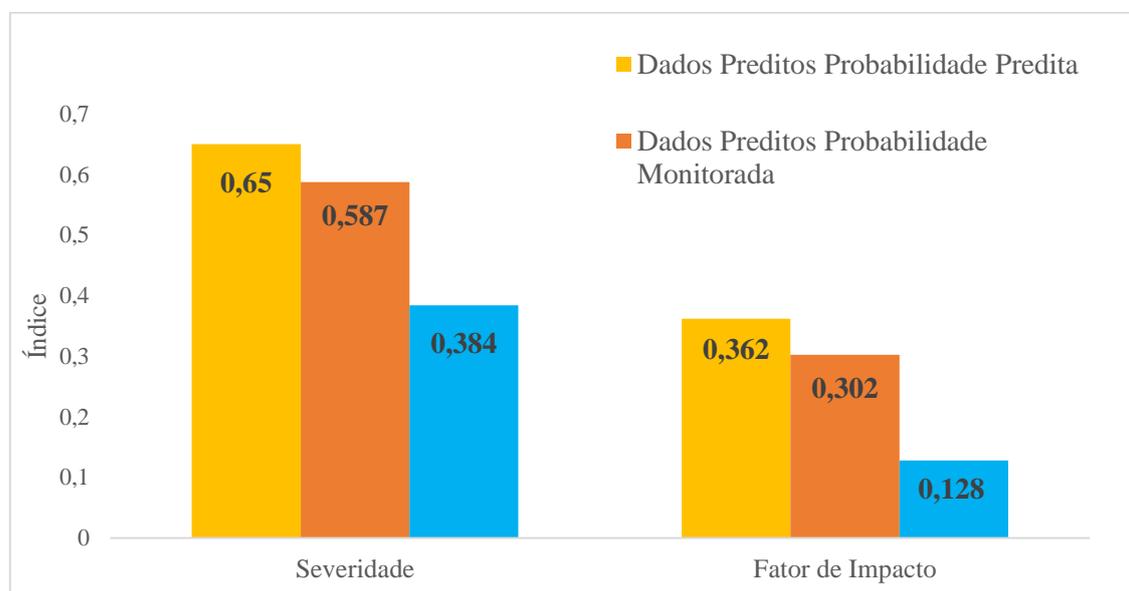
Fonte: O autor.

Na Figura 4.6 são apresentados os índices anuais obtidos para o Fator de Impacto e o Índice de Severidade preditos, a partir da taxa de faltas utilizada em (ARGENTA, 2013) e das taxas de faltas apuradas para o período de monitoração. Também são apresentados os índices obtidos pelos dados obtidos via analisador da QEE.

Observa-se que em todos os casos estudados os índices permanecem dentro de seus limites de referência, e que os valores encontrados relativos ao banco de dados são nos dois casos menores aos simulados. O grande número de eventos reais que correspondem a região de sensibilidade A faz com o Fator de Impacto seja menor do que todos os outros índices. Além disso, para o caso predito, o número de eventos está mais uniformemente distribuído entre todas as regiões de sensibilidade, devido ao método aplicado nas simulações, obtendo dessa forma um maior número de eventos nas regiões de ponderação D e E, quando comparadas ao caso monitorado, resultando em um índice final maior.

Algumas das razões para a diferença nos valores dos dois índices obtidos se deve aos métodos de cálculos entre os dois casos, principalmente devido as ponderações e ao FI_{base} , impostos pela ANEEL. De toda forma, para o estudo apresentado, manteve-se a coerência dos valores, podendo se identificar um padrão nos resultados mesmo com as diferenças de valores observadas. Ainda, observa-se que os valores para os dois índices obtidos via probabilidade por tipo de falta, levantada por este trabalho, se aproximaram um pouco mais do caso real (valores obtidos pelos dados monitorados), em comparação aos índices obtidos via probabilidade por tipo de faltas utilizado por (ARGENTA, 2013).

Figura 4.6 - FI e SE para os dados preditos e monitorados anuais



Fonte: O autor.

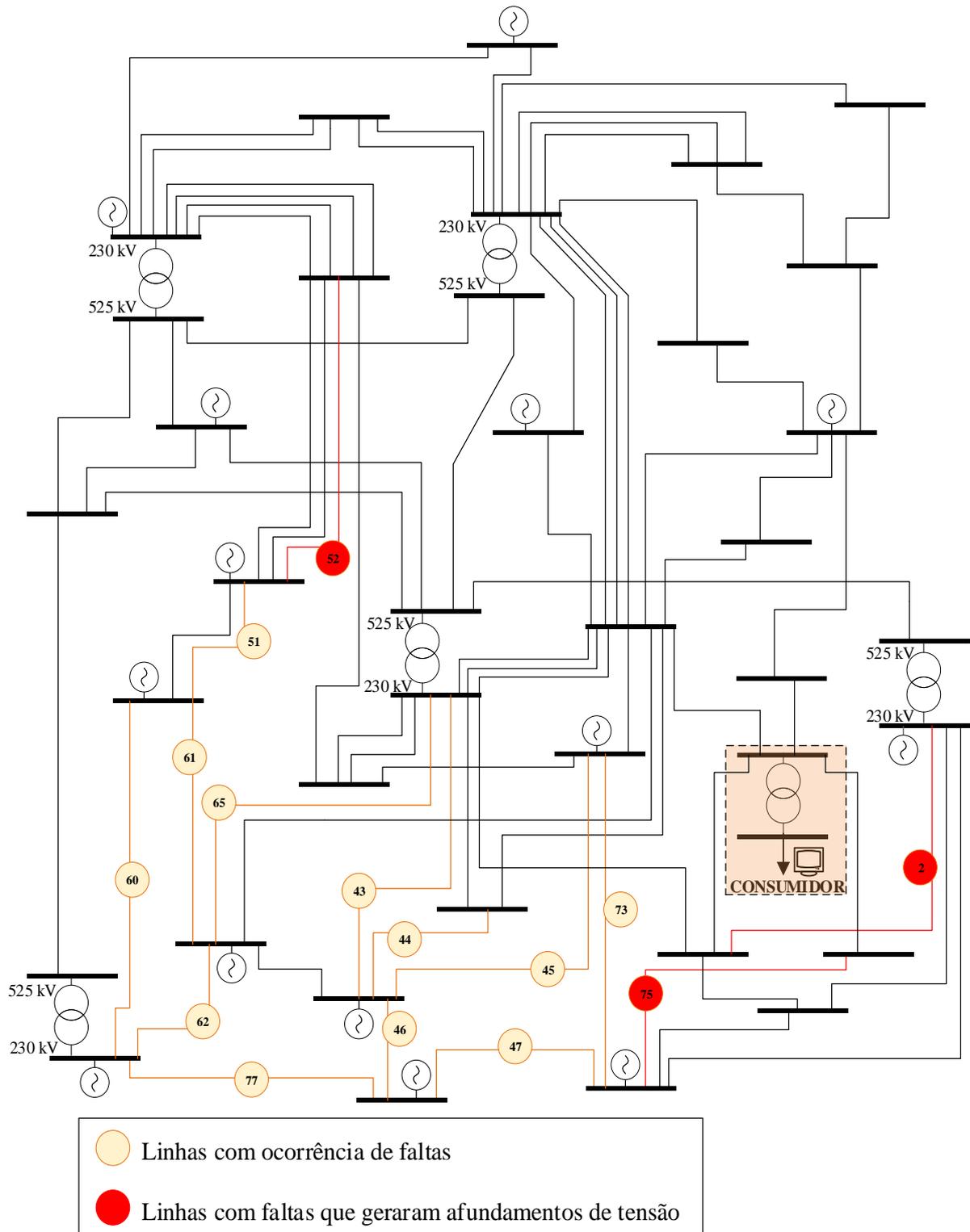
4.3 Linhas Faltosas

Como última análise deseja-se atentar para o fato de que nem sempre o elevado número de faltas em uma linha irá representar um elevado número de eventos de afundamentos de tensão oriundos desta mesma linha. Para esse estudo, levantou-se as principais linhas faltosas tanto para o caso predito, como para o caso monitorado, neste segundo caso, através do histórico de faltas. Novamente, para o caso real, analisou-se apenas o período relativo a um ano.

O estudo de (ARGENTA, 2013) propõe um SEP equivalente, condensado em 40 barras. No presente trabalho, este mesmo SEP foi utilizado, de forma que as mesmas equivalências foram feitas. Para o levantamento, foram consideradas 78 linhas no total e em ambos os casos estão apresentadas as 15 linhas com o maior número de faltas. Além disso, dentre estas linhas ainda são especificadas as que, devido a falta ali computada, geraram eventos de afundamentos de tensão. Nos dois casos analisados considerou-se apenas equipamentos com nível de 230 kV.

A Figura 4.7 mostra o SEP adaptado, destacando as linhas mais faltosas para o estudo predito. Percebe-se que dentre 15 linhas, em apenas 3 casos identificou-se a ocorrência de faltas que provocaram afundamentos de tensão na barra do consumidor industrial. A linha 77 é a mais faltosa, com aproximadamente 5% do número total de faltas, e a linha 75 a que gerou o maior número de afundamentos.

Figura 4.7 - Linhas faltosas e com ocorrência de eventos; caso previsto

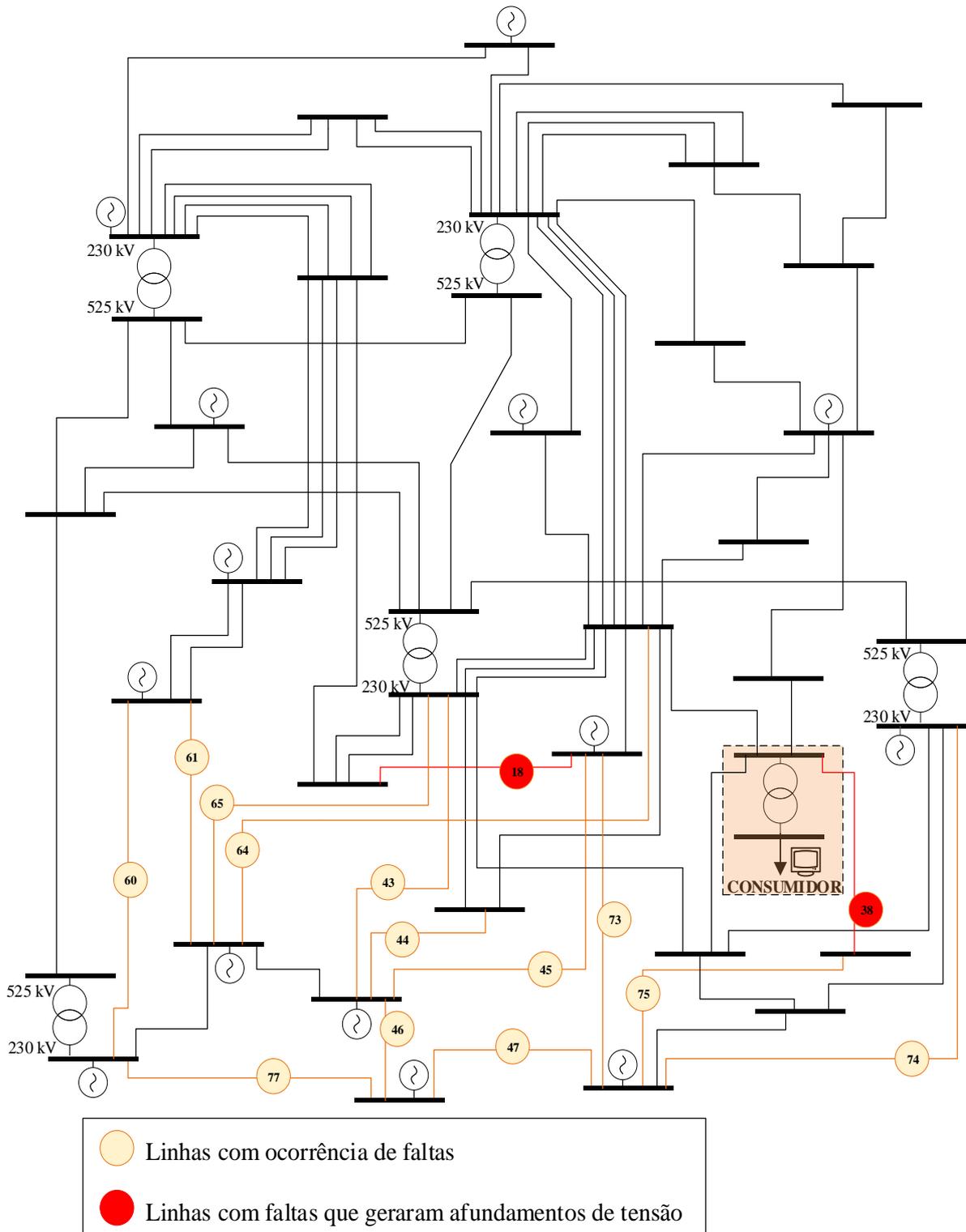


Fonte: O autor.

De forma análoga para o caso real, a Figura 4.8 mostra as 15 linhas mais faltosas bem como as que computaram alguma ocorrência de afundamento de tensão. A linha 64 foi a que computou o maior número de faltas, com aproximadamente 16% das faltas. Esse número elevado em comparação ao caso previsto se deve principalmente ao método utilizado no caso anterior, onde considera faltas em todas as linhas do estudo. Além disso, em apenas 2 casos entre os 15 foram detectadas faltas que resultaram em eventos de

afundamentos de tensão perante o consumidor, sendo a linha 18 a com o maior número de ocorrências de afundamentos.

Figura 4.8 - Linhas faltosas e com ocorrência de eventos; caso monitorado



Fonte: O autor.

Apesar das Figuras 4.7 e 4.8 mostrarem apenas 15 linhas faltosas em cada estudo, o caso real detectou faltas em 42 linhas, onde em 24 destas houve afundamentos de tensão, ou seja, 53,8% das linhas foram submetidas a algum tipo de falta e 30,7% delas, geraram eventos de afundamentos de tensão. Em contraponto, no caso predito foram simuladas faltas nas 69 linhas, destas, 54 geraram eventos de afundamentos de tensão, ou seja, 88,5% do total de linhas esteve submetido a algum tipo de falta ao longo de um ano, enquanto 69,2% destas contabilizaram a ocorrência de afundamentos de tensão.

Novamente, esse maior número de faltas encontrado para o caso predito se deve a metodologia empregada. As diferenças entre o número total de linhas e o considerado como linhas faltosas é devido as linhas de 525 kV não serem consideradas no estudo, para modo de comparação com o caso real.

Quando as Figuras 4.7 e 4.8 são analisadas de forma conjunta, pode-se perceber o padrão das regiões de ocorrência das faltas, onde 73,3% das 15 linhas relacionadas, aparecem em ambos os cenários, concluindo sobre a coerência da análise predita.

Atenta-se sobre os números relacionados em cada um dos equipamentos nas Figuras 4.7 e 4.8, onde estes são relativos a nomenclatura utilizada para a linha, e não aos valores de faltas ou de eventos de afundamentos de tensão.

No apêndice A pode ser observada a relação de todos os equipamentos faltosos bem como o número de ocorrência de eventos em cada linha. A relação de todos os dados utilizados para o caso predito pode ser obtida diretamente no Apêndice de (ARGENTA, 2013).

5 CONCLUSÃO

Muitas são as características que envolvem o estudo de afundamentos de tensão, e mesmo este sendo um assunto já difundido a um longo tempo, apenas nos últimos anos tem sido foco de maior atenção quanto as principais normas. Mesmo que estas ainda possuam certas divergências quanto a maneira de caracterizar um afundamento, ambas têm conseguido implantar índices que tornam o estudo de caso envolvendo a anomalia mais preciso perante as consequências geradas ao consumidor final.

A aplicação dos dois índices nos dá uma perspectiva maior quanto ao estudo de caso de um consumidor real, tratando a magnitude e a duração de forma conjunta, o que leva a resultados mais precisos quanto aos problemas trazidos pela ocorrência de afundamentos de tensão. No estudo realizado, não pôde-se aplicar os índices mês a mês para o caso predito, dessa forma, analisou-se diretamente a estratificação anual, obtendo resultados para ambos os índices dentro das recomendações. Para o caso monitorado, devido a maior quantidade de parâmetros envolvidos em cada evento, o estudo pode ser aplicado de forma mais específica, primeiramente mensalmente, e após estratificado para o caso anual. Da mesma forma, para o caso monitorado também não se observou nenhum mês onde os índices ficaram acima da referência, o mesmo para o caso anual. Mesmo com a coerência dos valores obtidos para os índices, percebe-se uma diferença em seus valores finais, o que pode ser justificado pela aplicação do FI_{base} na obtenção do Fator de Impacto, e por vezes na diferença na agregação dos eventos proposta pelas duas recomendações.

Observou-se também uma diferença no número total de eventos preditos e monitorados. Alguns possíveis motivos na diferença do valor predito levantado podem estar relacionados com as taxas de faltas utilizada em (ARGENTA, 2013). O estudo feito em seu trabalho fez uso de previsões do comportamento do SEP para anos subsequentes, através de informações de projeção da ANEEL, por exemplo quanto a quantidade de unidades geradoras que seriam implementadas na rede, ou o carregamento de cada equipamento, ou seja, fatores que afetam o comportamento do sistema. Fato que estas projeções podem não ter se realizado em relação ao ano de monitoramento, resultando em diferenças no cenário obtido. De toda forma, os dados finais obtidos neste trabalho nos mostram a coerência na ocorrência dos eventos quando estratificados por faixas de magnitude, onde o grande intervalo com maior número de ocorrências foi entre 0,8 e 0,9 pu para ambos os casos. Reitera-se o modelo aplicado nas predições dos eventos, onde o método das posições de faltas simula faltas em todos os equipamentos do SEP, este método já é significativamente difundido na área acadêmica, e este trabalho traz mais uma contribuição para a coerência na aplicação do mesmo.

Relativo a análise das linhas, observou-se uma grande relação nas regiões do SEP onde localizam-se as linhas mais faltosas tanto segundo a análise predita como para a análise através do histórico de faltas monitoradas. Além da semelhança entre as regiões, levantou-se o número de linhas que apresentou ocorrência de faltas nos dois casos avaliados, chegando a um valor de 73,3% dentre as 15 linhas faltosas.

Conclui-se que, mesmo que o presente trabalho tenha sido realizado a partir de um consumidor específico, essa metodologia pode ser estendida para outros casos de estudo semelhante, principalmente devido à escassez de trabalhos envolvendo a comparação entre a predição e a monitoração em um mesmo consumidor sensível. Sabe-se que há divergências nos resultados finais em todos os casos comparativos, porém conseguiu-se obter uma boa semelhança de comportamento, fazendo com que a metodologia aplicada possa ser replicada em casos futuros, ou seja, as relações obtidas podem ser aplicadas a outros consumidores finais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL, A. N. D. E. E.-. Consulta Pública n.018. Brasília, (2014).
- _____. Procedimentos de Distribuição de Energia no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST Módulo 8. Brasília, (2018).
- ARGENTA, T. L. B. Afundamentos de tensão provenientes de faltas no sistema elétrico de potência: um estudo de caso. 2013.
- ARIAS-GUZMÁN, S. et al. Analysis of voltage sag severity case study in an industrial circuit. v. 53, n. 1, p. 15-21, 2017.
- CABRAL, R. J. Análise numérica de curto circuito utilizando Componentes Simétricas e Componentes de Fases para obter índices de afundamentos de tensão. 2010.
- CARVALHO FILHO, J. et al. Comparative analysis between measurements and simulations of voltage sags. Proceedings IEEE-PES 10th International Conference in Harmonics and Quality of Power, 2002.
- CHOWDHURY, B. H.; POTENTIALS, I. Power quality. v. 20, n. 2, p. 5-11, 2001.
- DE OLIVEIRA MONTEIRO, E.; FERREIRA FILHO, A. D. L. Comparative analysis of regulatory procedures for classifying short-duration voltage variations. Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2016 17th International Conference on, 2016. IEEE. p.569-574.
- ELECTRIC, S. Medidor de Energia e Qualidade de Energia PowerLogic ION8650 2018.
- IEC, I. E. C.-. IEC 61000-4-11: Electromagnetic Compatibility. Testing and measurement techniques – Voltage dips, short Interruptions and Voltage Variations Immunity Tests. Genebra, (2005a).
- _____. IEC 61000-4-34: Electromagnetic Compatibility. Voltage dips, short Interruptions and Voltage Variations Immunity Tests for Equipment with Input Current More Than 16 A per phase. Genebra, (2005b).
- IEEE, I. O. E. A. E. E.-. IEEE Standard 1346: Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility With Electronic Process Equipment. New York, (1998).
- _____. IEEE Standard 1564: Guide for Voltage Sag Indices. New York, (2014).
- ITI, I. T. I. C.-. Standard Curve for Computer Business Equipment. ITI (CBEMA) Curve Application Note, Technical Committee 3 (TC3). Brussels, (2000).
- KEMPNER, T. R. Análise da robustez e da sensibilidade de sistemas de distribuição para a alocação otimizada de medidores frente às variações de tensão de curta duração. 2017. Universidade de São Paulo
- LAB, P. S.: SEMI F47-0706 - Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity. Alameda, (2006).
- MIRANDA FILHO, J. Agrupamento de Subestações para Estudos de Afundamentos de Tensão por Análise de Componentes Principais. 2016.
- NRS, I. E. C.-. NRS 0.48-4: Electricity Supply — Quality of Supply Part 4: Application Guidelines for Utilities. Genebra, (1999).

OLIVEIRA, R. et al. Comparative overview of voltage sags standards: IEEE 1564 versus Brazilian regulatory procedures. 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE), 2018. IEEE. p.1-6.

ONS, O. N. D. S.-. Submódulo 2.8 - Gerenciamento dos Indicadores de Qualidade da Energia Elétrica da Rede Básica. Brasília, (2016a).

_____. Submódulo 3.6 – Requisitos Mínimos Técnicos para a Conexão das Instalações de Transmissão. Brasília, (2016b).

ROMERO, M. et al. A new methodology for the comparative analysis of sags among substations in a distribution network in Colombia. Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010 14th International Conference on, 2010. IEEE. p.1-8.

APÊNDICE A

A-Tabela 1 – Eventos registrados pelo medidor para o nível de 230 kV

Mês/ ano	Duração (s)	Magnitu- de (%)	Mês/ ano	Duração (s)	Magnitu- de (%)	Mês/ ano	Duração (s)	Magnitu- de (%)
<u>mai/15</u>	0,024	89,67	<u>jan/16</u>	0,032	86,82	<u>jul/16</u>	0,057	86,53
<u>mai/15</u>	0,032	89,49	<u>jan/16</u>	0,058	86,23	<u>jul/16</u>	0,084	86,20
<u>mai/15</u>	0,041	89,34	<u>jan/16</u>	0,117	85,66	<u>jul/16</u>	0,074	86,10
<u>mai/15</u>	0,033	89,32	<u>jan/16</u>	0,068	84,90	<u>jul/16</u>	0,082	86,01
<u>mai/15</u>	0,048	89,26	<u>jan/16</u>	0,092	84,32	<u>jul/16</u>	0,081	85,64
<u>mai/15</u>	0,041	89,07	<u>jan/16</u>	0,066	84,15	<u>jul/16</u>	0,074	85,33
<u>mai/15</u>	0,04	88,62	<u>jan/16</u>	0,05	83,32	<u>jul/16</u>	0,083	84,93
<u>mai/15</u>	0,032	88,34	<u>jan/16</u>	0,049	83,27	<u>jul/16</u>	1,207	84,90
<u>mai/15</u>	0,032	88,28	<u>jan/16</u>	0,05	83,20	<u>jul/16</u>	0,083	84,75
<u>mai/15</u>	0,026	87,19	<u>jan/16</u>	0,059	83,19	<u>jul/16</u>	0,09	84,74
<u>mai/15</u>	0,033	85,53	<u>jan/16</u>	0,684	78,95	<u>jul/16</u>	0,05	84,65
<u>mai/15</u>	0,092	83,31	<u>jan/16</u>	0,077	76,06	<u>jul/16</u>	0,082	84,64
<u>mai/15</u>	0,117	79,55	<u>jan/16</u>	0,15	76,04	<u>jul/16</u>	0,09	84,64
<u>jun/15</u>	0,074	63,70	<u>jan/16</u>	0,117	74,79	<u>jul/16</u>	0,075	84,51
<u>jul/15</u>	0,016	89,64	<u>jan/16</u>	0,712	72,29	<u>jul/16</u>	0,1	83,50
<u>jul/15</u>	0,04	87,99	<u>fev/16</u>	0,042	85,77	<u>jul/16</u>	0,084	83,45
<u>ago/15</u>	0,05	85,53	<u>fev/16</u>	0,067	85,50	<u>jul/16</u>	0,084	82,35
<u>ago/15</u>	0,033	83,25	<u>fev/16</u>	0,067	77,67	<u>jul/16</u>	0,092	80,83
<u>ago/15</u>	0,073	76,05	<u>mar/16</u>	0,008	89,74	<u>jul/16</u>	0,183	75,27
<u>ago/15</u>	0,063	70,07	<u>mar/16</u>	0,033	87,95	<u>jul/16</u>	0,067	49,89
<u>set/15</u>	0,008	89,75	<u>mar/16</u>	0,083	86,19	<u>ago/16</u>	0,086	87,19
<u>set/15</u>	0,041	88,57	<u>mar/16</u>	0,041	85,22	<u>ago/16</u>	0,08	86,01
<u>set/15</u>	0,041	87,69	<u>mar/16</u>	0,057	71,34	<u>ago/16</u>	0,082	85,44
<u>set/15</u>	0,042	86,96	<u>mar/16</u>	0,092	65,77	<u>ago/16</u>	0,084	84,23
<u>set/15</u>	0,04	86,19	<u>abr/16</u>	0,049	88,32	<u>ago/16</u>	0,092	83,22
<u>set/15</u>	0,041	85,67	<u>abr/16</u>	0,042	87,65	<u>ago/16</u>	0,094	82,44
<u>set/15</u>	0,05	83,55	<u>abr/16</u>	0,657	86,95	<u>ago/16</u>	0,082	80,80
<u>set/15</u>	0,076	83,41	<u>abr/16</u>	0,042	86,85	<u>ago/16</u>	0,083	79,87
<u>set/15</u>	0,058	81,72	<u>abr/16</u>	0,084	86,74	<u>ago/16</u>	0,066	17,93
<u>out/15</u>	0,05	89,57	<u>abr/16</u>	0,041	86,61	<u>set/16</u>	0,023	89,07
<u>out/15</u>	0,058	88,51	<u>abr/16</u>	0,041	86,12	<u>set/16</u>	0,073	89,02
<u>out/15</u>	0,058	86,94	<u>abr/16</u>	0,041	85,79	<u>set/16</u>	0,067	88,55
<u>out/15</u>	0,046	86,64	<u>abr/16</u>	0,042	85,48	<u>set/16</u>	0,034	86,09
<u>out/15</u>	0,083	85,72	<u>abr/16</u>	0,1	83,43	<u>set/16</u>	0,024	85,95
<u>out/15</u>	0,032	83,74	<u>abr/16</u>	0,049	82,53	<u>set/16</u>	0,091	84,65
<u>out/15</u>	0,093	82,46	<u>abr/16</u>	0,075	81,70	<u>set/16</u>	0,042	83,62
<u>out/15</u>	0,04	81,71	<u>abr/16</u>	0,066	78,02	<u>set/16</u>	0,066	77,57
<u>out/15</u>	0,049	78,11	<u>abr/16</u>	0,066	77,94	<u>set/16</u>	1,265	74,17

Mês/ ano	Duração (s)	Magnitu- de (%)	Mês/ ano	Duração (s)	Magnitu- de (%)	Mês/ ano	Duração (s)	Magnitu- de (%)
out/15	0,082	75,93	abr/16	0,064	77,58	out/16	0,035	89,19
out/15	0,058	71,06	abr/16	0,057	75,19	out/16	0,066	86,06
out/15	0,058	70,34	mai/16	0,077	88,93	out/16	0,041	84,72
out/15	0,091	69,24	mai/16	0,049	87,48	out/16	0,041	81,55
out/15	0,058	68,55	mai/16	0,042	86,43	out/16	0,056	75,45
out/15	0,066	53,73	mai/16	0,086	85,76	out/16	0,084	61,05
out/15	0,065	38,50	mai/16	0,082	85,49	nov/16	0,033	89,15
out/15	0,124	37,80	mai/16	0,082	85,17	nov/16	0,035	87,62
out/15	0,084	25,39	mai/16	0,092	85,16	nov/16	0,042	83,90
nov/15	0,025	89,74	mai/16	0,091	84,63	nov/16	0,041	83,50
nov/15	0,032	89,47	mai/16	0,042	84,49	nov/16	0,044	83,35
nov/15	0,039	84,92	jun/16	0,049	88,40	nov/16	0,042	83,33
nov/15	0,041	84,65	jun/16	0,085	87,86	nov/16	0,041	83,25
nov/15	0,083	83,81	jun/16	0,043	87,24	nov/16	0,049	80,98
nov/15	0,073	53,73	jun/16	0,082	82,96	nov/16	0,067	76,27
dez/15	0,022	89,97	jun/16	0,074	82,43	jan/17	0,058	85,17
dez/15	0,341	88,67	jun/16	0,083	82,41	fev/17	0,008	89,99
dez/15	0,049	87,39	jun/16	0,074	81,32	fev/17	0,059	85,97
dez/15	0,107	85,71	jun/16	0,066	23,37	fev/17	0,066	83,30
dez/15	0,05	85,48	jul/16	0,073	89,70	fev/17	0,067	82,53
dez/15	0,066	83,93	jul/16	0,066	89,40	fev/17	0,058	80,46
dez/15	0,059	76,52	jul/16	0,016	89,21	fev/17	0,083	80,09
dez/15	0,067	73,11	jul/16	0,074	88,66	fev/17	0,041	79,62
dez/15	0,064	54,46	jul/16	0,039	87,18	fev/17	0,041	79,61
jan/16	0,066	89,17	jul/16	0,032	86,88	fev/17	0,049	79,27
jan/16	0,074	88,74	jul/16	0,031	86,73	fev/17	0,049	78,81
jan/16	0,047	88,00	jul/16	0,068	86,57	abr/17	0,087	16,84

A-Tabela 2 – Eventos mensais por região de sensibilidade obtidos via dados monitorados

Mês/ano	Região A	Região B	Região C	Região D	Região E	Região F	Região G
ago/15	2	2	0	0	0	0	0
set/15	6	0	0	0	0	0	0
out/15	7	4	0	0	2	0	0
nov/15	4	0	1	0	0	0	0
dez/15	6	2	1	0	0	0	0
jan/16	8	1	0	2	0	0	1
fev/16	1	1	0	0	0	0	0
mar/16	3	2	0	0	0	0	0
abr/16	12	4	0	0	0	0	0
mai/16	9	0	0	0	0	0	0
jun/16	7	0	0	0	1	0	0

Mês/ano	Região A	Região B	Região C	Região D	Região E	Região F	Região G
jul/16	22	0	1	1	0	0	1
TOTAL	87	16	3	3	3	0	2

A-Tabela 3 – Severidade, eventos totais e eventos severos mensais obtidos via dados monitorados

Mês/ano	Média Severidade	Número Eventos Totais	Eventos Severos
ago/15	0,425	4	0
set/15	0,274	7	0
out/15	0,534	14	2
nov/15	0,394	5	0
dez/15	0,405	9	0
jan/16	0,415	13	1
fev/16	0,368	2	0
mar/16	0,362	6	0
abr/16	0,353	16	0
mai/16	0,281	9	0
jun/16	0,460	8	1
jul/16	0,335	26	1
Total	0,384	119	5

A-Tabela 4 – Relação dos equipamentos faltosos e com ocorrência de eventos

Equipamento	CENÁRIO PREDITO			CENÁRIO MONITORADO				
	Faltas	Eventos	Equipamento	Faltas	Eventos	Equipamento	Faltas	Eventos
77	7,91	-	67	0,45	0,45	64	212	-
47	7,58	-	58	0,44	0,44	46	167	-
75	6,83	1,37	78	0,44	0,44	75	112	-
43	4,78	-	14	0,43	0,43	47	91	-
62	4,51	-	15	0,43	0,43	74	87	-
65	4,42	-	35	0,43	0,43	44	68	-
60	4,37	-	36	0,43	0,43	65	68	-
51	4,26	-	56	0,43	0,43	45	56	-
61	4,08	-	54	0,43	0,43	18	43	43
52	4,05	0,81	3	0,41	0,41	61	43	-
45	3,89	-	4	0,41	0,41	43	40	-
46	3,84	-	26	0,41	0,41	60	33	-
73	3,74	-	37	0,41	0,41	73	33	-
44	3,74	-	33	0,33	0,33	38	32	32
2	3,12	0,53	24	0,29	0,29	77	25	-
74	2,91	-	19	0,24	0,24	15	24	24
64	2,85	-	21	0,24	0,24	16	23	23

CENÁRIO PREDITO						CENÁRIO MONITORADO		
Equipamento	Faltas	Eventos	Equipamento	Faltas	Eventos	Equipamento	Faltas	Eventos
72	2,57	0,05	22	0,24	0,24	72	19	-
59	2,39	2,39	23	0,24	0,24	62	16	-
1	2,32	2,32	71	0,23	0,23	23	14	14
11	2,07	0,41	69	0,21	0,21	1	0	0
38	1,66	1,66	57	0,21	0,21	27	10	10
40	1,66	1,66	70	0,19	0,19	17	8	8
29	1,64	1,64	8	0,18	0,18	37	8	8
18	1,39	1,39	20	0,18	0,18	70	8	8
27	1,34	1,34	68	0,07	0,07	30	6	6
16	1,17	1,17	7	0,04	0,04	4	4	4
17	1,17	1,17				12	4	4
12	1,08	1,08				19	4	4
48	1,05	1,05				21	4	4
13	0,91	0,91				29	4	4
25	0,89	0,89				31	4	4
66	0,83	0,83				32	4	4
39	0,73	0,73				34	4	4
34	0,68	0,68				40	4	4
49	0,58	0,12				56	4	4
50	0,58	-				67	4	4
63	0,57	0,11				33	3	3
30	0,55	0,55				49	3	-
31	0,55	0,55				24	2	2
32	0,55	0,55				63	2	-
55	0,45	0,45				68	2	2