

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA EM USINAS  
GERADORAS COM ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA MALHA DE TERRA**

JORGE PELAES DANTAS

DM: 39/2015

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém – Pará – Brasil  
2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JORGE PELAES DANTAS

**SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA EM USINAS  
GERADORAS COM ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA MALHA DE TERRA**

DM: 39/2015

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém – Pará – Brasil  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JORGE PELAES DANTAS

**SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA EM USINAS  
GERADORAS COM ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA MALHA DE TERRA**

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Sistema de Energia Elétrica – Sistemas Elétricos de Potência

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém – Pará – Brasil  
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

Dantas, Jorge Pelaes, 1968-

Sistema de gestão da qualidade da energia elétrica em usinas geradoras com análise da contribuição da malha de terra / Jorge Pelaes Dantas. - 2015.

Orientadora: Maria Emília de Lima Tostes;

Coorientador: Ubiratan Holanda Bezerra.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2015.

1. Sistemas de energia elétrica - controle de qualidade. 2. Sistemas de energia elétrica - estabilidade. 3. Usinas hidrelétricas - testes. I. Título.

CDD 22. ed. 621.3191

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**“SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA EM USINAS  
GERADORAS COM ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA MALHA DE TERRA”**

AUTOR: **JORGE PELAES DANTAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO  
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO  
JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

APROVADA EM: 25/11/2015

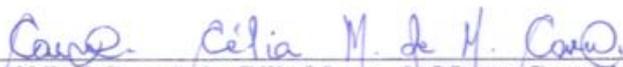
**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr.ª Maria Emília de Lima Tostes**

(Orientadora – PPGEE/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra**

(Co-Orientador – PPGEE/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.ª Dr.ª Carminda Célia Moura de Moura Carvalho**

(Avaliadora Externa ao Programa – FEE/UFPA)

**VISTO:**

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes**

(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, o Pai eterno, que me socorre, auxilia e mostra os caminhos a serem trilhados. Aos meus pais, Antônio Miranda Dantas e Maria Neuci Pelaes Dantas, pelo incentivo desde muito jovem. Aos meus amados filhos Davi, Isabelle e Helen pelo amor. A minha esposa Maria Farias Souza (alma gêmea). A meus professores Dra Maria Emilia de Lima Tostes e Dr Ubiratan Holanda Bezerra, pela capacidade de construir e debater idéias no mais alto nível.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	X
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	XII
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	XIII
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	XIV
<b>RESUMO</b> .....	XV
<b>ABSTRACT</b> .....	XVI
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 GESTÃO DA QUALIDADE DE UM PRODUTO .....	2
1.2 CONCEITO DE QUALIDADE .....	3
1.3 A IMPORTÂNCIA DO GERENCIAMENTO DA QUALIDADE .....	5
1.4 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA .....	8
1.5 INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE ATERRAMENTO NA QEE .....	10
1.6 PROPOSTA DA DISSERTAÇÃO .....	11
1.6.1 Tema .....	11
1.6.2 Objetivos.....	11
1.6.2.1 Objetivo Geral .....	11
1.6.2.2 Objetivo Específico .....	11
1.6.3 Justificativa.....	11
1.6.4 Área de interesse do trabalho e importância do tema.....	12
1.6.5 Sistemas de monitoramento e análise da QEE .....	14
1.6.6 Estrutura da Dissertação .....	16
<b>2 A USINA HIDRELÉTRICA DE COARACY NUNES NO CENÁRIO DO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO</b> .....	17
2.1 O SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO .....	17
2.2 USINAS HIDROELÉTRICAS .....	19
2.3 USINA HIDRELÉTRICA COARACY NUNES .....	24
2.3.1 Histórico .....	24
2.3.2 Sistema Elétrico do Amapá .....	25
2.3.3 Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHCN).....	26
2.3.4 Unidades Geradoras 01 e 02.....	26
2.3.5 Unidade Geradora 03.....	27

2.3.6 Banco de Transformadores das Unidades Geradoras 01 e 02 .....	28
2.3.7 Banco de Transformadores da Unidade Geradora 03.....	28
2.3.8 Serviço Auxiliar CA .....	28
2.3.9 Serviço Auxiliar da Unidade 03 .....	29
2.3.10 Transferência do Serviço Auxiliar para o Gerador Diesel de Emergência.....	29
2.3.11 Serviço Auxiliar CA das Unidades 01 e 02.....	30
2.3.12 Serviço Auxiliar Ca da Subestação Central.....	31
2.3.13 Serviço Auxiliar Cc .....	31
2.3.14 Reguladores de Velocidade das Unidades 01 e 02.....	32
2.3.15 Alimentação das Fontes e Cartelas do RVX200 .....	33
2.3.16 Sistema de Aterramento da Usina Hidrelétrica Coaracy Nunes.....	34
2.4 SITUAÇÃO ATUAL .....	36
2.5 CONCLUSÃO.....	38
<b>3 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA – QEE.....</b>	<b>39</b>
3.1 BREVE HISTÓRICO DA QEE .....	39
3.2 CONCEITO DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA – QEE .....	41
3.3 PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DA ENERGIA .....	42
3.3.1 Terminologia da QEE.....	43
3.3.2 Desequilíbrio de Tensão .....	44
3.3.3 Flutuação de Tensão .....	46
3.3.4 Variação de Tensão de Curta Duração .....	48
3.3.5 Variações de Frequência.....	52
3.3.6 Harmônicos.....	53
3.3.7 Tensão em regime permanente .....	55
3.3.8 Fator Potência .....	58
3.4 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ENERGIA .....	58
3.5 CONCLUSÃO.....	59
<b>4 SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DE ENERGIA.....</b>	<b>61</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	61
4.2 GESTÃO DE QEE NA UHE COARACY NUNES .....	62
4.2.1 Sistema de Monitoramento de Qualidade de Energia (SMQEE) .....	62
4.2.2 Tratamento da Oscilografia .....	63
4.2.3 Sistema de aquisição de dados .....	64
4.3 SOFTWARE SMQEE .....	66

4.3.1 Integração para construção do sistema de gestão de QEE (SGQEE).....	68
4.4 APLICAÇÃO .....	69
4.4.1 Resultados.....	80
4.5 CONCLUSÃO.....	81
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE – ANÁLISE DE UMA OCORRÊNCIA COM AUXILIO DO SMQEE .....</b>	<b>89</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Gerência da qualidade do projeto .....	6
Figura 02 - Sequência de looping infinito para implantação de melhoria na QEE .....	14
Figura 03 - Arquitetura do SMQEE em Diagrama de Blocos.....	15
Figura 04 - Esquema de geração de energia de uma hidrelétrica .....	20
Figura 05 - Desenho Unifilar do Sistema Elétrico Amapá.....	25
Figura 06 - Desenho Unifilar Geral da UHCN e SE Central .....	27
Figura 07 - Desenho Unifilar do Serviço Auxiliar CA da UHCN .....	28
Figura 08 - Desenho Unifilar Geral do Serviço Auxiliar da UHCN .....	30
Figura 09 - Desenho do Esquema Geral do Regulador .....	33
Figura 10 - Desenho da Malha de Aterramento do Piso do Gerador .....	34
Figura 11 - Desenho da Malha de Aterramento do Piso da Turbina.....	35
Figura 12 - Desenho da Malha de Aterramento do Poço de Drenagem.....	35
Figura 13 - Faixa de classificação da tensão em regime permanente.....	55
Figura 14 - Arquitetura do sistema SQMEE em diagrama de blocos .....	63
Figura 15 - Medição de tensão e corrente da malha de terra.....	65
Figura 16 - Arquitetura do Sistema de Aquisição de Dados da Malha de Terra da Usina e dos Serviços Auxiliares .....	66
Figura 17 - Interface de acesso e autenticação de usuários .....	67
Figura 18 - Interface de apresentação e acesso às funcionalidades do sistema.....	67
Figura 19 - Resultado obtido pelo SMQEE com o Módulo de Tratamento da Oscilografia .....	68
Figura 20- Sistema de Gestão da QEE.....	69
Figura 21 - Tela do SMQEE que mostra algumas ocorrências detectadas em maio de 2015 .....	72
Figura 22 - Tela do SMQEE que mostra ocorrências com afundamento e desequilíbrio de tensão detectada no TP (transformador de potencial) da máquina 01 .....	73
Figura 23 - Tela do SMQEE que mostra os gráficos com afundamento de tensão detectada no TP (transformador de potencial) da máquina 01.....	73
Figura 24 - Tela do SMQEE que mostra a variação de corrente no TC (transformador de corrente) da máquina 01.....	74
Figura 25 - Tela do SMQEE que mostra ocorrências com afundamento de tensão detectada no TP (transformador de potencial) da máquina 02.....	74
Figura 26 - Tela do SMQEE que mostra ocorrências com afundamento de tensão detectada no TP (transformador de potencial) da máquina 02.....	75
Figura 27 - Tela do SMQEE que mostra ocorrências de SAGs na Usina.....	75
Figura 28 - Tela do SMQEE que mostra variações de frequência na Usina.....	76
Figura 29 - Tela do SMQEE que mostra uma variação de potência Ativa na máquina 01.....	76

Figura 30 -Desenho Unifilar do Serviço Auxiliar CC da UHCN.....	77
Figura 31- Diagrama de causa e efeito para definição da ação a ser trabalhada em vermelho .....	78
Figura 32 - Variação de tensão CC na ordem de 18Vcc detectada pelo medidor FLUKE 43B.....	78
Figura 33 - Plano de ação para manutenção corretiva do banco de baterias .....	80
Figura 34 - Variação de tensão CC do FLUKE 43B pós-manutenção do banco de baterias .....	81

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 01 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil .....	18
Gráfico 02 – Exemplo de um afundamento de tensão, falta trifásica de 4 ciclos .....	49
Gráfico 03 – Pareto dos números de desligamentos por equipamentos .....	71
Gráfico 04 - Equipamentos que mais falharam na máquina 01 .....	71

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 – Terminologia utilizada pela QEE .....	43
Quadro 02 – Identificação das variáveis do desequilíbrio de tensão .....	46
Quadro 03 – Variáveis da flutuação de tensão .....	47
Quadro 04 – Terminologia da VTCD.....	51
Quadro 05 – Terminologia dos parâmetros dos harmônicos.....	53
Quadro 06 – Valores de referência para a DTT% .....	54
Quadro 07 – Valores de referência para a DITH% .....	54
Quadro 08 – Critérios de classificação da Tensão em Regime Permanente .....	56
Quadro 09 – Valores de referência para o QEE do fator de potência .....	58
Quadro 10 – Desligamentos forçados e programados (A) .....	70
Quadro 11 – Análise dos Porquês concluído pela manutenção corretiva no banco de baterias da Usina .	79

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Valores de referência do QEE para a flutuação de tensão .....	48
Tabela 02 – Classificação de uma Variação de Tensão de Curta Duração de acordo com as variações momentâneas e temporárias de tensão.....	49
Tabela 03 – Cálculo de amostra para os indicadores coletivos .....	57

## RESUMO

A energia elétrica em abundância é fundamental para o desenvolvimento de um país, ela é o motor que constrói a sua economia, fortalecendo desde as grandes indústrias, pequenos empreendimentos e consumidores residenciais, gerando emprego, renda e aumentando assim a qualidade de vida de seus cidadãos. Nesse contexto, emergiu o conceito de Qualidade de Energia (QEE), que tem por finalidade estudar a qualidade da energia que é fornecida pelas instalações elétricas como as de geração, buscando sempre soluções para que a eletricidade gerada chegue ao destino final isenta de perturbações, conforme exigências dos órgãos de controle. Este trabalho tem como ênfase a implantação de um sistema de monitoramento em qualidade de energia (SMQEE) na Usina Hidrelétrica (UHE) Coaracy Nunes da Eletrobrás Eletronorte no Estado do Amapá. Os constantes problemas em componentes auxiliares da geração bem como o número de eventos constatados pelos oscilógrafos da usina serviram de motivação para a implantação do SMQEE. Além da descrição do SMQEE desenvolvido para a UHE Coaracy Nunes, serão apresentados os resultados preliminares de levantamentos sobre a qualidade de energia da usina, sobretudo nos serviços auxiliares. Os dados das oscilografias dos oscilógrafos existentes e dos dispositivos de coleta de dados de tensão e corrente desenvolvidos e instalados no aterramento e nos serviços auxiliares, compõem o banco de dados do SMQEE, a partir do qual são feitas as consultas e extraídos os relatórios de QEE da Usina. Nesse sistema a oscilografia é decomposta pela técnica Wavelet para detectar o início e o fim das ocorrências que caracterizam os eventos de QEE que se deseja extrair. A proposta do SMQEE é a utilização da oscilografia para extração dos seguintes fenômenos: harmônicos de tensão, variações de tensão de curta duração (afundamentos e elevações de tensão, interrupção), desequilíbrios de tensão e transitórios. Também será processada pelo SMQEE a atuação do sistema de proteção, sendo disponibilizada para o analista a visualização dos estados dos dispositivos de proteção, para a análise e diagnóstico da ocorrência. Como principais resultados verificou-se que o SMQEE, ainda em fase de implantação, demonstra atender as demandas da rotina de trabalho da Hidrelétrica de Coaracy Nunes. Como conclusão, infere-se que o uso de programas computacionais para monitoramento e análise de QEE são importantes ferramentas para a prevenção de problemas em sistemas elétricos.

**Palavras-chaves:** Energia. Qualidade. Sistema. Monitoramento. Hidrelétrica.

## ABSTRACT

The abundant electric energy is fundamental to a country's development, it is the engine which builds its economy, strengthening both big industries, small establishments as well as the house consumers, generating jobs, profit and increasing the life quality of its ens. On this contexto, the Energy Quality (QEE) concept arose, whose aim is to study the quality of the provided energy by the electrical facilities like the ones of generation, always searching solutions so that the generated electricity arrives at its final destination with no disturbances, according demands of the control offices. This essay has the main purpose the implantation of a energy quality monitoring system (SMQEE) at the Eletrobrás Eletronorte Coaracy Nunes Hydroelectric Power Plant (UHE) in Amapá State. The constant problems in auxiliary generation components as well as the number of events found by the power plant oscillographs worked as motivation to the implantation of the SMQEE. Besides the SMQEE description developed to the UHE Coaracy Nunes, it will be presented the preliminar results of the data over the power plant energy quality, especially the auxiliary services. The oscillographies data from the oscillographs and tension and current data collect gadgets developed and installed in the ground and auxiliary services, form the SMQEE data bank, from which the checks are made and the reports are extracted from the QEE in the power plant. In this system the oscillography is decomposed by the Wavelet techinque to detect the beginning and the end of the occurences that characterize the QEE events which is meant to extract. The SMQEE proposal is the use of the oscillography to the extraction of thefollowing phenomena: tension harmonics, short range tension variations (tension drownings and elevations, interruptions), tension unbalance and transitories. It will also be processed by the SMQEE the system protection functioning, being available to the analyst the visualizacion of the state of the protection gadgets, to analyze and diagnosis of the occurrence. As main results it has been noticed that the SMQEE, still in implantation stage, shows to answer the Coaracy Nunes Power Plant work routine demands. In conclusion, we may infer tha the usage of computer programs to the QEE monitoring and analysis are important tools to the prevention of electrical systems problems.

**Keywords:** Energy. Quality. System. Monitoring. Power Plant.

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade de energia elétrica é vital para o desenvolvimento de uma nação, uma vez que é o motor da economia, fortalecendo desde as grandes indústrias até os pequenos empreendimentos. Empregos são gerados, influenciando o aumento da qualidade de vida dos cidadãos residentes.

No Brasil dos últimos 40 anos, tem-se notado crescente aumento na demanda por energia, o que acarretou em investimentos maciços na matriz energética nacional (destaca-se a construção de hidrelétricas em todo o país). Tal procura se deu principalmente em função da tecnologia que acompanha a sociedade atual. Assim, o Brasil consumista de carga resistiva tornou-se consumista de carga eletrônica, deixando o sistema de fornecimento de energia elétrica mais sensível a problemas na rede: tais situações englobam tanto simples distúrbios quanto o corte no fornecimento de eletricidade (SALES; HOCHSTETLER; MONTEIRO, 2014; BERNARDES; AYELLO, 2008).

Conforme os benefícios da energia elétrica foram se incorporando ao longo do tempo pela sociedade, a demanda crescente por este produto provocou intenso debate a respeito da qualidade da energia que chega ao consumidor final, uma vez que qualquer interrupção no serviço de fornecimento gera transtornos de várias grandezas. De tais debates, originou-se o termo Qualidade de Energia Elétrica.

Neste sentido, o termo Qualidade de Energia Elétrica – QEE se ocupa de estudar a qualidade da energia fornecida ao usuário, buscando sempre soluções para que inexistam problemas na geração. A eletricidade deve chegar ao destino final isenta de perturbações, garantindo assim as atividades dos consumidores residenciais, comerciais e industriais.

Assim, o tema central desta dissertação é a QEE, e o foco da pesquisa é a apresentação dos resultados da implantação de um Sistema de Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica – SMQEE na Hidrelétrica de Coaracy Nunes, Estado do Amapá.

A QEE provém da influência mútua entre a rede e os equipamentos ligados nessa. Uma qualidade de energia adequada pode ser avaliada pelo suprimento de tensão aos equipamentos elétricos por meio de um sistema de monitoramento que assegure um nível de compatibilidade que é necessário para o funcionamento de todos os equipamentos ligados à rede e a possibilidade de constituir novas maneiras de gestão da QEE.

Por SMQEE, se compreende que é “um sistema que centraliza e estrutura adequadamente as informações provenientes de vários pontos da instalação elétrica, obtendo-

se informações relevantes” da rede em tempo real (BERNARDES; AYELLO, 2008, p. 77), acompanhando assim o problema na medida em que este ocorre.

Uma gestão eficiente da QEE objetiva a supressão dos problemas de interrupção e perturbação na rede de fornecimento de eletricidade, agindo de forma preventiva e mantendo a rede elétrica sempre estável. Consequentemente, há a importância de um sistema de monitoramento de qualidade de energia – SMQEE, capaz de fazer uma varredura completa no sistema elétrico possibilitando a tomada de decisão correta para a solução dos problemas conforme emergem no cotidiano do trabalho.

## 1.1 GESTÃO DA QUALIDADE DE UM PRODUTO

A gestão da qualidade de um produto ou serviço em uma empresa tem sua importância justificada pelo risco envolvido tanto na consolidação desse produto no mercado quanto no custo envolvido, tratado como perda. É vital que um projeto de gestão da qualidade seja desenvolvido para evitar qualquer ineficiência que poderia resultar em um produto e/ou serviço deficiente a ser entregue ao cliente (KISER; SACHKIN, 1994; MARSHALL Jr, et al., 2008).

Todos os envolvidos no negócio adquirem diversos benefícios ao adotarem um projeto de gestão da qualidade e gerenciamento de riscos na gestão de processos. O trabalho de qualidade sistemática reduz os custos do fracasso em seu próprio trabalho e no produto final. Os padrões de qualidade podem fazer um trabalho mais eficiente criando uniformidade (KISER; SACHKIN, 1994; MARSHALL Jr, et al., 2008).

Um projeto de gerenciamento da qualidade é de extrema importância, visto que evita problemas de recorrência e permite a entrega de um produto/serviço ao cliente com mais qualidade. Projetos de gerenciamento da qualidade envolvem aspectos internos e externos. (KISER; SACHKIN, 1994; MARSHALL Jr, et al., 2008).

Um projeto interno de gerenciamento da qualidade abrange atividades as quais visam à confiança de que a qualidade pretendida para a gestão de uma organização está sendo alcançada: chama-se de “Sistema de Gestão da Qualidade”. A implementação bem-sucedida de projeto de gerenciamento da qualidade pode contribuir para um aumento na qualidade do produto, melhorias no acabamento e eficiência, uma diminuição no desperdício, e o aumento do lucro (KISER; SACHKIN, 1994; MARSHALL Jr, et al., 2008).

Um projeto de gerenciamento da qualidade externa abrange as atividades destinadas a inspirar confiança no cliente que o sistema da qualidade do fornecedor irá fornecer um

produto ou serviço que irá satisfazer os requisitos do cliente. Isso é chamado de “Sistema de Garantia de Qualidade”. O sistema de qualidade pode funcionar de forma eficaz somente quando o executivo gestor responsável pela engenharia de produção assume total responsabilidade para a interpretação e implementação do projeto. A garantia de qualidade do sistema utilizado é muito importante para seus clientes, uma vez que por meio desse é possível ganhar a confiança de “fazer certo da primeira vez” (KISER; SACHKIN, 1994; MARSHALL Jr, et al., 2008).

## 1.2 CONCEITO DE QUALIDADE

A qualidade é definida pela norma internacional ISO 8402 como “a totalidade dos recursos e características de um produto ou serviço que possuem a capacidade de satisfazer as necessidades explícitas ou implícitas”. Essa definição mostra que a qualidade é perceptível e possui uma noção relativa, dependendo do momento do processo na cadeia de produção existirá uma definição de qualidade a ser alcançada. Exemplifica-se que, a qualidade de um processo se encontra na capacidade do material bruto de ser processado (textura, processamento, rendimento, etc), enquanto o consumidor final dará uma prioridade a determinadas características como o sabor e o aspecto. Deve-se salientar que a qualidade no vocabulário comum, muitas vezes se refere à ideia de boa qualidade, às vezes a uma qualidade de alto nível (KISER; SACHKIN, 1994; MARSHALL Jr, et al., 2008).

A qualidade se tornou uma prioridade para o comércio de qualquer bem nas últimas décadas, e o seu conceito hoje abrange uma realidade muito maior de aspectos. Citara JR Fourtou, gerente chefe da Rhone-Poulenc: “La qualité .... ce presque rien devenu tout!” (a qualidade, antes quase nada, tornou-se tudo). Logo, tal discurso, realizado no início da década de noventa, sintetiza a situação da qualidade (BARROS, 2002).

Kiser e Sachkin (1994) relatam que a qualidade é percebida de maneira diferente por pessoas diferentes - no entanto, todos entendem o que se entende por “qualidade”. Em um produto manufaturado, o cliente como usuário reconhece a qualidade de ajuste, acabamento, aparência, função e desempenho. A qualidade de serviço pode ser classificada com base no grau de satisfação pelo cliente que recebe o serviço. O significado do dicionário relevante de qualidade é "o grau de excelência" (essa definição é relativa na natureza, contudo). O teste final nesta avaliação do processo está com o consumidor.

Existem muitas definições de qualidade disponíveis na literatura. Uma definição atribuída à qualidade por Crosby (1998) narrada por Veras (2009, p.06) afirma o seguinte:

“Qualidade é a conformidade do produto às suas especificações”. Tal conceito pressupõe que as especificações e requisitos do produto ou serviço já foram desenvolvidos. Deve-se procurar a conformidade com esses requisitos, desse modo.

Brocka e Brocka (1994, p. 27) narram a definição adotada pela American Society for Quality - ASQ: “qualidade denota uma excelência em bens e serviços, especialmente para o grau em que elas estão em conformidade com os requisitos e satisfazer os clientes”. Essa definição assimila as anteriores e será a definição escolhida para este estudo. Confiabilidade é a probabilidade de um sistema ou componente realizar a função pretendida para um intervalo especificado sob condições estabelecidas. Implica-se então em confiança, a qual introduz os conceitos de falha e tempo de falha. Pode-se concluir que a qualidade e a confiabilidade formam uma relação de mão dupla. O cliente espera um produto de boa qualidade que execute confiavelmente a sua função pretendida para um intervalo específico e em condições estabelecidas.

Kiser e Sachkin (1994) relatam ainda que o significado da qualidade tem mudado ao longo do tempo, resultando em complicações. Nessa visão, não existe uma definição única e universal de qualidade atualmente. Algumas pessoas vêem a qualidade como “o desempenho com os padrões”. Outros vêem como “satisfazer as necessidades do cliente”. Algumas definições mais comuns de qualidade a saber:

- Conformidade com as especificações: mede-se o quão bem o produto ou serviço cumprem os objetivos e as tolerâncias determinadas por seus designers. Por exemplo, as dimensões de uma peça de máquina podem ser especificadas por seus engenheiros de projeto como 3 polegadas. Isso significaria que a dimensão alvo é de 3 polegadas, mas as dimensões podem variar entre 2,95 e 3,05 polegadas. Da mesma forma, a espera para o serviço de quarto de um hotel, pode ser especificamente de 20 minutos, mas pode haver um atraso aceitável de 10 minutos adicionais. Esses exemplos ilustram que a conformidade com a especificação é diretamente mensurável, embora possa não ser diretamente relacionada à ideia do consumidor de qualidade (KISER; SASHKIM, 1994).

- Aptidão para o uso: se concentra em como o produto executa sua função pretendida ao ser utilizado. A exemplo, um Mercedes Benz e um jipe – ambos atenderiam ao cliente caso se considere para análise a função de transporte. Contudo, a definição pode se tornar mais específica: caso se torne critério a utilização do transporte em estradas e chão em montanha, o jipe apresentaria uma maior predisposição. Essa aptidão para o uso é uma definição de qualidade baseada a se destinar à satisfação das necessidades de um cliente específico em um determinado grupo (KISER; SASHKIM, 1994).

- Valor do preço pago: é uma definição de qualidade que os consumidores costumam usar para o produto ou utilidade de serviço. Essa é a única afirmação a qual combina a economia com os critérios de consumo, assumindo que a definição de qualidade é sensível ao preço. Por exemplo, supõe-se que um cliente deseja se inscrever em um seminário de finanças pessoais e descobre que o mesmo curso está sendo ensinado em duas faculdades diferentes com diferentes valores de mensalidades. É possível observar que o curso de menor valor será o diferencial percebido pelo cliente – assim, o maior valor será dado ao preço (KISER; SASHKIM, 1994).
- Serviços de suporte fornecidos: é julgado muitas vezes como a qualidade de um produto ou serviço. Qualidade não se aplica apenas ao produto ou ao serviço em si, mas também a pessoas, ambiente organizacional e processos associados aos serviços. Por exemplo, a qualidade de uma universidade é julgada não só pela qualidade do pessoal e ofertas de cursos, mas também pela eficiência dos professores, conforto da sala de aula, conteúdos ministrados, etc (KISER; SASHKIM, 1994).
- Critérios psicológicos: trata-se de uma definição subjetiva que incide sobre a avaliação do julgamento do que constitui a qualidade do produto ou serviço. Diferentes fatores podem contribuir para a avaliação, tais como a atmosfera do ambiente ou o prestígio do produto no mercado. Por exemplo, um paciente pode acreditar que recebeu um tratamento hospitalar de alta qualidade em virtude do atendimento amigável dos médicos e enfermeiros, gerando satisfação. Da mesma forma, comumente as pessoas associam determinados produtos com excelência em qualidade por causa da sua reputação (marca), a exemplo dos relógios Rolex e Mercedes-Benz automóveis (KISER; SASHKIM, 1994).

### 1.3 A IMPORTÂNCIA DO GERENCIAMENTO DA QUALIDADE

A área de conhecimento de um projeto de gestão da qualidade inclui os processos organizacionais que determinam a política da qualidade, objetivos e responsabilidades. O *Project Management Body of Knowledge - PMBOK* identifica três processos de gestão de qualidade: o Planejamento da Qualidade, a Garantia da Qualidade e o Controle de Qualidade, conforme organograma disposto na figura 01.

Um bom plano de qualidade começa com uma definição clara do objetivo do projeto. O que é o produto ou como deve ser o produto final? O que parece? O que se deve fazer? Como se mede a satisfação do cliente? Como se determina se o projeto foi bem sucedido? A resposta a essas e outras perguntas identificam e definem as metas de qualidade, permitindo

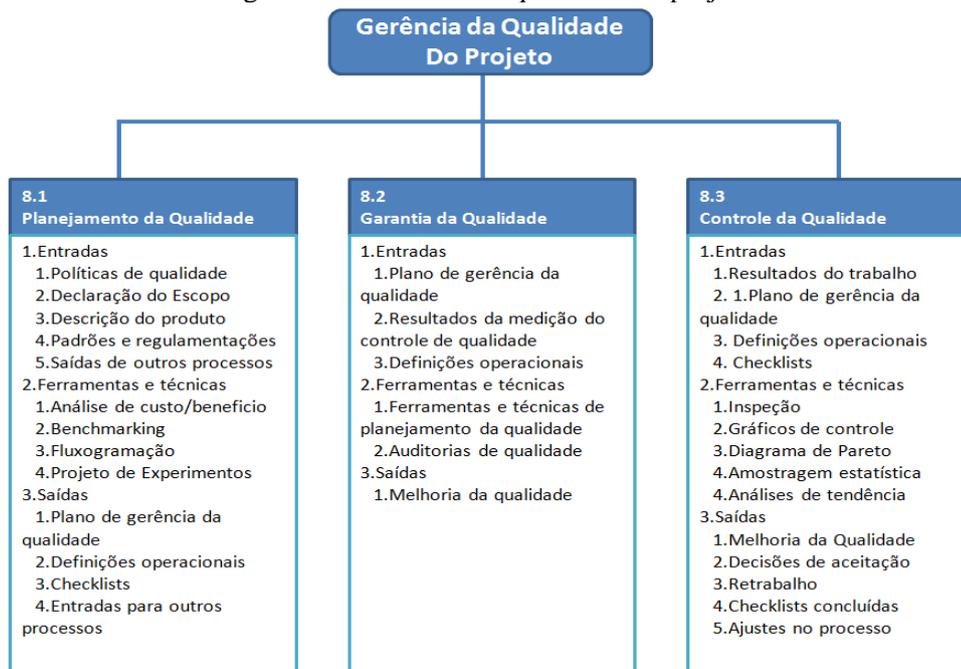
discutir a abordagem e os planos necessários para atingir esses objetivos. Isso inclui a avaliação dos riscos para o sucesso, o estabelecimento de padrões elevados, a documentação e a definição dos métodos e testes para alcançar, controlar, prever e verificar o sucesso (THAREJA, 2008).

Devem-se incluir tarefas de gestão da qualidade no plano do projeto e delegá-las a grupos de trabalho e/ou indivíduos que irão relatar e monitorar as métricas de qualidade. Os testes de garantia de qualidade usam um sistema de métricas para determinar se o plano de qualidade está decorrendo de uma forma aceitável. Por meio das métricas qualitativas e quantitativas, pode-se efetivamente medir a qualidade do projeto com a satisfação do cliente (THAREJA, 2008).

Tais testes ou auditorias de qualidade ajudam a prever e verificar o cumprimento de metas e identificar a necessidade de ações corretivas. Além disso, os testes de garantia de qualidade ajudam a mapear as métricas de qualidade para as metas de qualidade traçadas, permitindo assim a elaboração de um relatório sobre o estado de qualidade nas reuniões periódicas de revisão de projetos (THAREJA, 2008).

O controle de qualidade envolve técnicas operacionais destinadas a garantir os padrões de qualidade, o que inclui a identificação, análise e correção de problemas. A garantia de qualidade ocorre antes de um problema ser identificado, enquanto que o controle de qualidade é reacionário e acontece após a identificação de um problema (THAREJA, 2008).

Figura 01 – Gerência da qualidade do projeto.



Fonte: Adaptado de Marshall Junior et. al., (2008)

Deming (1990, p.55) define 10 regras para se alcançar a qualidade através de um projeto de gerenciamento de qualidade, a saber:

- Construir uma consciência da necessidade e oportunidade de aprimoramento.
- Estabelecer metas para o aprimoramento.
- Organizar, para atingir as metas.
- Proporcionar treinamento.
- Desenvolver questões para solucionar problemas.
- Relatar os avanços obtidos.
- Demonstrar reconhecimento.
- Comunicar os resultados.
- Manter um sistema de registro de resultados.
- Manter o ímpeto, tornar o aprimoramento parte dos sistemas e processos da organização.

Narram Kiser e Sashkim (1994, p.59) que Crosby se referiu à resposta para a crise de qualidade como o princípio de “fazer as coisas direito na primeira vez”. Ele também formulou quatro princípios a se basearem os projetos de gerenciamento da qualidade, a saber:

- A Qualidade é definida como sendo a Conformidade aos Requisitos;
- O Sistema que leva à Qualidade é a prevenção;
- O padrão de execução é o Zero defeito;
- A medida de Qualidade é o preço da não conformidade.

Kiser e Sashkim (1994) contam ainda que Crosby nomeou 14 etapas a serem seguidas para o processo de desenvolvimento de um projeto de gerenciamento da qualidade:

- Comprometimento dos níveis gerenciais.
- Formação de uma Equipe de Melhoria.
- Criação e cálculo de indicadores de desempenho.
- Avaliação dos Custos de Qualidade.
- Programa de conscientização dos empregados.
- Identificação e solução das causas de Não Conformidades.
- Formação de Grupos para buscar defeito Zero.
- Treinamento de Gerentes e Supervisores.
- Solenidade de lançamento do dia de “Defeito Zero”.
- Estabelecer metas a serem atingidas.
- Eliminação das causas de Problemas.
- Programa de Reconhecimento para funcionários que obtiveram sucesso.
- Criar Conselhos de Qualidade

- Começar tudo de novo.

De acordo com Feigenbaum (1994) o controle de um projeto de gerenciamento da qualidade total deve integrar o desenvolvimento da qualidade, manutenção da qualidade e os esforços de melhoria da qualidade dos vários grupos em uma organização. Assim, se permite que a produção de bens e de serviços possam operar no máximo nível econômico, objetivando alcançar a satisfação plena do cliente.

Em conjunto, se estabeleceram 10 princípios essenciais no controle de um projeto de gerenciamento da qualidade, os quais propiciarão o sucesso, sob à ótica de Feigenbaum (1994) são eles:

- Qualidade é aquilo que o cliente diz que é;
- Qualidade e custos são uma soma e não uma diferença;
- Qualidade requer constante empenho tanto no trabalho individual quanto no de equipe;
- Qualidade é uma forma de gerenciamento;
- Qualidade e inovação são mutuamente dependentes;
- Qualidade é uma ética;
- Qualidade é a busca da excelência;
- Qualidade requer aperfeiçoamento contínuo;
- Qualidade é o custo que maiores resultados apresenta e é a mais recente forma de empregar capital para obter produtividade;
- Qualidade é implementada como um sistema de conexão total entre clientes e fornecedores.

Cada autor narrado neste tópico exteriorizou de forma clara a importância do gerenciamento da qualidade e o papel central que a gestão deve desempenhar na implementação da melhoria da qualidade. Nesse contexto, está inserida a Qualidade da Energia Elétrica, tema que tem alcançado maior notoriedade devido a preocupação das agências reguladoras com os efeitos da má qualidade deste produto. Isso não se restringe apenas na determinação de parâmetros definidores dessa qualidade, mas também no respectivo monitoramento contínuo, visando direcionar as ações que geram a boa qualidade do produto energia elétrica aos consumidores.

#### 1.4 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

A QEE (Qualidade de Energia Elétrica) provém da influência mútua entre a rede e os equipamentos ligados a essa rede. Uma qualidade de energia adequada pode ser avaliada pelo suprimento de tensão aos equipamentos elétricos, por intermédio de um sistema de

monitoramento que assegure um nível de compatibilidade necessário para o funcionamento de todos os equipamentos ligados à rede, além da possibilidade de constituir novas maneiras de gestão da QEE.

A QEE de um sistema elétrico é comprometida por uma vasta variedade de distúrbios (FELBER, 2010), tais como: alterações momentâneas de tensão (surto passageiros, oscilantes e cortes), alterações instantâneas de tensão (interrupções, subtensões, sobretensões), alterações momentâneas de frequência e distúrbios originados pela operação de cargas não lineares (distorção harmônica, flutuação e desequilíbrio de tensão).

As oscilações no modo de onda de tensão acontecem, em grande parte, por causa da utilização crescente de equipamentos eletroeletrônicos em consumidores industriais (o que coopera com o crescimento da produção). Ocasionalmente, todavia, problemas pautados à qualidade da energia elétrica, tanto para as empresas geradoras e distribuidoras de energia elétrica, quanto aos próprios consumidores (FELBER, 2010).

Em meio às análises voltadas à detecção e classificação de distúrbios pautados à QEE, é perceptível que muitas se fundamentam em aplicações de determinados instrumentos matemáticos, como Transformadas Wavelet (TW) e Transformada de Fourier (TF) (HUA et al., 2008). Posteriormente, os sinais processados pelas transformadas podem ser submetidos a uma Rede Neural Artificial (RNA) do tipo MLP (Multilayer Perceptron), para que esta venha a classificar os distúrbios (OLESKOVICZ et al., 2006).

O trabalho de Ando Junior (2009) oferece um método para análise e monitoração da qualidade da energia elétrica, por meio da assimilação e quantificação dos distúrbios eletromagnéticos. A metodologia emprega técnicas de DSP (Digital Signal Processing), permitindo a construção de filtros digitais, a detecção de eventos e a avaliação da constância dos sinais elétricos avaliados.

O trabalho de Pozzebon (2009), por sua vez, propõe a análise de componentes principais (ACP) e a transformada Wavelet (TW) em associação. O desvio padrão dos coeficientes de detalhes e a média dos coeficientes de aproximação da TW são combinados para a extração de características discriminantes dos distúrbios. A ACP é utilizada com o objetivo de condensar a informação dessas características, originando um conjunto menor de características descorrelacionadas processadas por uma rede neural probabilística (RNP) para realizar classificações dos distúrbios.

## 1.5 INFLUENCIA DO SISTEMA DE ATERRAMENTO NA QEE

Em uma instalação elétrica, é necessário garantir todos os tipos de proteção aos distúrbios que envolvem grandezas elétricas, como: choque, descargas atmosféricas diretas, sobretensões e descargas eletrostáticas. Deve-se evitar que correntes elétricas indesejáveis se juntem em pontos de aterramento, assegurando, desse modo, uma equalização de potencial dos pontos.

O sistema de aterramento é o conjunto de condutores, hastes e conectores interligados. Logo, esses estão conectados em partes metálicas com o intuito de desenvolver um caminho condutor de eletricidade, bem como garantir continuidade elétrica e capacitar uma condução segura, qualquer que seja o tipo de corrente.

Visando que um sistema elétrico industrial não deve em nenhum momento ficar sem um ponto de aterramento do neutro, as normas industriais com a presença de cogeração têm em geral ao menos dois pontos de aterramento, nos quais os geradores trabalham em conjunto com a concessionária. Como casualmente o sistema elétrico pode trabalhar afastado, ou apenas sustentado pela concessionária, cada aterramento deve ser dimensionado com o objetivo de atender a toda a planta.

Para que um sistema de potência (gerador de energia elétrica) opere corretamente, com uma adequada continuidade de serviço e desempenho seguro do sistema de proteção, é fundamental que o sistema de aterramento funcione de forma adequada. Garante-se o limite do nível de segurança pessoal, conseqüentemente.

Os objetivos principais do sistema de aterramento são:

- Obter a resistência de aterramento mais baixa possível, para correntes de falta à terra;
- Manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro de limites de segurança de modo a não causar fibrilação do coração humano;
- Fazer com que equipamentos de proteção sejam mais confiáveis, sensibilizados e isolem rapidamente as faltas à terra;
- Proporcionar um caminho de escoamento para terra de surto de tensão e descargas atmosféricas;
- Usar a terra como retorno de corrente no sistema;
- Escoar as cargas estáticas geradas nas carcaças dos equipamentos em operação.

Um sistema de aterramento que não funciona a contento provoca circulações de correntes de fugas desnecessárias por equipamentos e componentes, podendo levar os mesmos a saturação e/ou queima, o que influencia de forma negativa no funcionamento

desses e por conseguinte ao sistema a eles conectados. Dessa forma, é possível creditar a falha de continuidade de operação de um sistema muitas vezes a falhas no sistema de aterramento, haja vista que afeta a qualidade da energia de sistemas de geração de energia elétrica (quando for o caso).

## 1.6 PROPOSTA DA DISSERTAÇÃO

### 1.6.1 Tema

A Qualidade da Energia Elétrica – QEE. Foco do tema: Sistemas de Monitoramento de Qualidade da Energia Elétrica – SMQEE.

### 1.6.2 Objetivos

#### 1.6.2.1 Objetivo Geral

“Avaliar a qualidade da energia elétrica – QEE de uma instalação elétrica, por meio da implantação de um sistema de monitoramento em qualidade de energia (SMQEE) onde se monitora continuamente os parâmetros elétricos da tensão e corrente, bem como a performance da malha de aterramento, durante uma ocorrência”.

#### 1.6.2.2 Objetivo Específico

- Implantar um sistema de informação para avaliação da QEE em uma usina hidrelétrica;
- Analisar a performance do sistema como um todo e a viabilidade para a usina;
- Desenvolver um software para análise da QEE dentro da Usina que sirva como piloto para desenvolvimento de um futuro trabalho de um sistema especialista.

### 1.6.3 Justificativa

Os problemas que comprometem a Qualidade de Energia Elétrica (QEE), embora conhecidos e estudados há algum tempo, sofrem mudanças quanto a abordagem e a ênfase dada. À medida que se avança nos estudos sobre os fenômenos de QEE, as investigações passam a ser concentradas em particularidades de cada sistema: por exemplo, o levantamento

de danos causados pelos problemas de QEE; a identificação das principais fontes causadoras de tais problemas e suas respectivas contribuições, visando a atribuição de responsabilidades; definição de métodos e procedimentos para a apuração dos parâmetros determinantes associados à QEE, entre outros.

Neste sentido, um conceito que ganha notoriedade é o de Gestão em QEE. Quando implantado um sistema de Gestão em QEE, a preocupação não se restringe tão somente na determinação da ocorrência dos fenômenos, mas também no monitoramento contínuo dos parâmetros que os caracterizam, os quais são coletados e armazenados com a finalidade de gerar comparações futuras e aprimorar ferramentas estatísticas. Em uma usina hidrelétrica, como em todo o sistema elétrico, o monitoramento da qualidade de energia de forma independente não garante a confiabilidade e a segurança do sistema, ambas imprescindíveis no processo de geração de energia. A coleta de dados é parte do processo, porém um método de análise e uma forma de gerenciamento são partes fundamentais para o sucesso da busca de correções na QEE de um sistema.

A justificativa para a elaboração desta pesquisa reside no fato de que a Hidrelétrica de Coaracy Nunes tem apresentado muitos problemas com a queima de componentes e mau funcionamento de sistemas, cotidianamente registrados pelos técnicos que operam os equipamentos, carecendo de uma análise criteriosa para saber quais impactos tais problemas podem estar causando na qualidade da energia destinada aos consumidores finais.

Tanto a queima de equipamentos elétricos quanto o mau funcionamento de sistemas, podem estar sendo motivados por distorções harmônicas, variações de tensão de curta duração (VTCDs) e transitórios, entre outros fenômenos que podem comprometer o tempo de vida útil dos componentes do sistema ou acarretar erros na transmissão de dados. Ocasionalmente, também, disparos indesejados da proteção, os quais se juntam aos fatores citados e, tão logo, aumentam o custo com manutenções.

Tais fenômenos afetam o produto final a ser fornecido aos consumidores, causando danos materiais em equipamentos elétricos e eletrônicos. É necessário, portanto, o acompanhamento em tempo real da dinâmica do fornecimento de energia elétrica por meio de um SMQEE.

#### 1.6.4 Área de interesse do trabalho e importância do tema

Neste estudo, foram levantadas as contribuições da malha de aterramento da instalação e suas influências, constituindo uma relação entre as ocorrências negativas observadas nos

equipamentos da referida Usina e os parâmetros de qualidade de energia durante o período dessa ocorrência. Objetiva-se identificar as origens dos problemas e propor soluções que possam minimizar os efeitos danosos para a instalação elétrica. Dessa forma, se deve projetar ou identificar metodologias de análise ou gerenciamento capazes de diminuir o tempo gasto – desde a análise da ocorrência até a eliminação total ou parcial do problema.

A implementação de um sistema de monitoramento de qualidade de energia em uma instalação por si só não garante a melhoria da qualidade do resultado esperado, se junto não houver uma metodologia de gerenciamento. Essa, aborda desde a coleta de dados para análise e armazenamento para futuras comparações até a emissão de pareceres técnicos e ações que visem a eliminação do problema. Para tanto, é de fundamental importância a figura do especialista para que o trabalho tenha êxito.

Para fiscalizar a qualidade do produto fornecido por uma instalação de geração de energia elétrica, o Governo Federal criou uma agência reguladora que monitora, fiscaliza e pune essas instalações quando não se atingem as metas previamente traçadas por esse órgão. Tais propósitos estão em grande parte relacionados a alguns parâmetros estudados pela QEE. A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é a responsável por essa ação.

Atualmente, as equipes de manutenção frequentemente atuam de forma a fazer um determinado equipamento voltar a funcionar após uma falha, substituindo as peças danificadas. A análise de engenharia cabível a equipe de engenharia de manutenção, entretanto, é deixada normalmente como uma ação secundária, uma vez que é vista como despesa na produção (nos mais diversos casos).

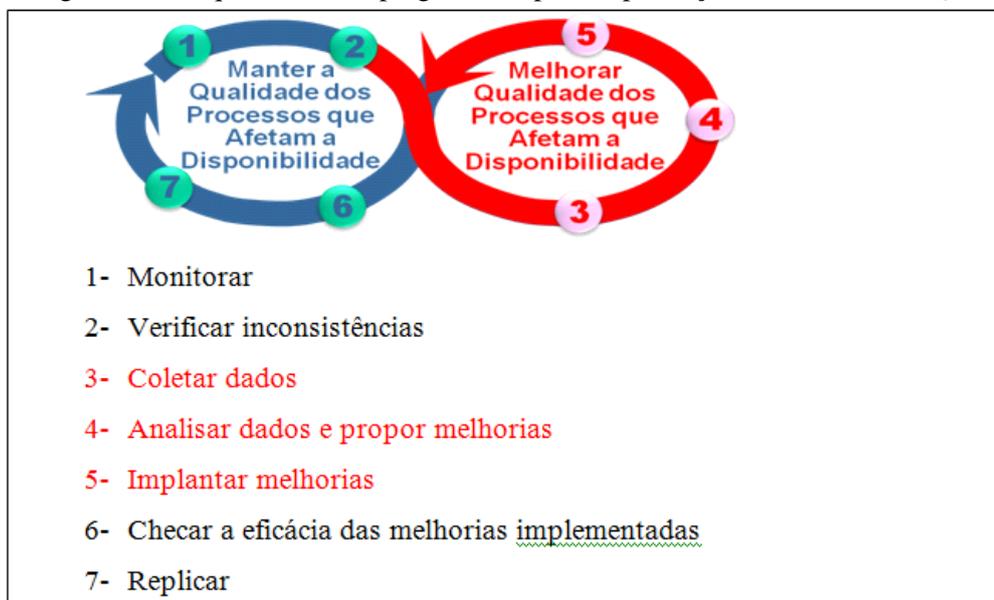
Não é fácil, tampouco de custo acessível, fazer uma análise aprofundada de uma ocorrência de queima de um componente, por exemplo. Isso ocorre devido a falta de dados no exato momento da referida ocorrência. Caso um componente tenha sido danificado, determinado fator o levou ao dano, que passa pelo processo de fabricação, projeto e principalmente ao ambiente ao qual o elemento foi submetido no decorrer da operação em campo.

Este trabalho tem como ênfase fazer o gerenciamento e a gestão da QEE na UHE Coaracy Nunes, a partir de dados coletados do desempenho de um sistema de monitoramento de grandezas elétricas e das contribuições da malha de aterramento durante um evento.

A implementação desse sistema de monitoramento de qualidade de energia na Usina de Coaracy Nunes seguirá uma **metodologia de gerenciamento** que, além dos passos para detectar e resolver um problema, checará se a solução aplicada obteve a eficácia desejada. Assim, se possibilita replicar a melhoria aos sistemas com mesmo potencial de falhas,

chamada também de disseminação. Tais ações devem sempre rodar em looping infinito, conforme figura 02.

Figura 02 – Sequência de looping infinito para implantação de melhoria na QEE



Fonte: O autor

A análise das relações entre as várias grandezas detectadas pelas oscilografias à luz da teoria da QEE, relacionadas ao desempenho da malha de aterramento, servirão como principais subsídios para se chegar a uma conclusão das análises de ocorrência dentro da metodologia de gerenciamento proposta.

Serão realizados estudos de ocorrências danosas no Sistema Elétrico da Eletronorte/Amapá, no intuito de relacionar tais acontecimentos com prováveis manobras de chaves, incidências de descargas atmosféricas e outros fatores. Por fim, se propõe uma metodologia de análise que transforme as ferramentas disponíveis em resultados efetivos para instalação.

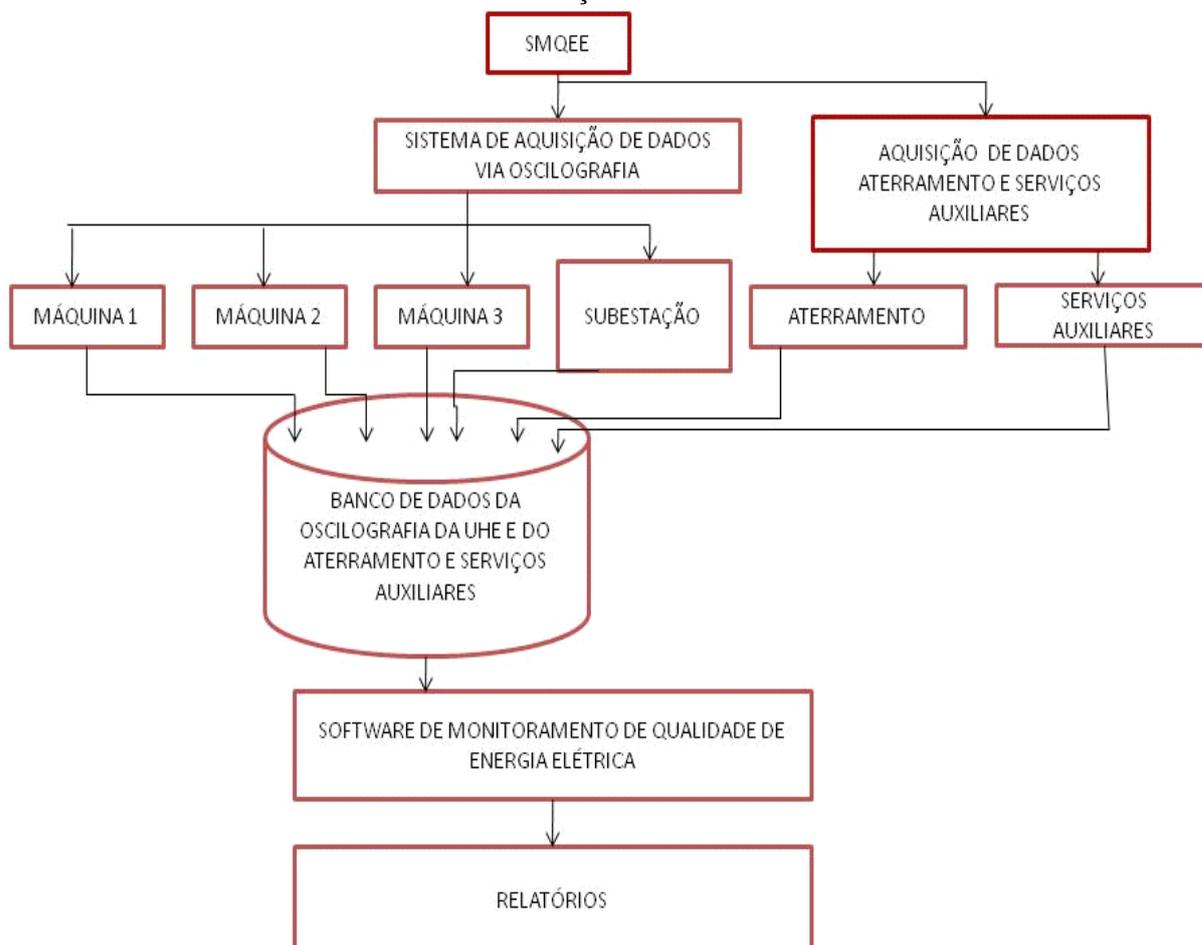
#### 1.6.5 Sistemas de monitoramento e análise da QEE

O Sistema de Monitoramento de QEE (SMQEE) proposto para a UHE Coaracy Nunes utilizará como ferramenta de monitoramento e análise, toda a infraestrutura atual da usina no que se refere a coleta de dados, principalmente todo o sistema de oscilografia existente, sendo um de Fabricação Siemens dedicado a Subestação interligadora e dois de fabricação Reason coletando dados das unidades geradoras. Outros pontos serão monitorados

e isso será feito através de módulos embarcados de coleta de valores de tensão e corrente com uma certa taxa de amostragem adequada para análise dos sinais.

Essa expansão alcançará pontos onde a atual oscilografia da Usina não cobre e que podem ser decisivos para as análises que serão feitas através do SMQEE. Nesses pontos, serão monitorados os serviços auxiliares CC/CA e a malha de aterramento, sendo esse segundo um dos diferenciais desse trabalho. Deve-se ter em vista que o desempenho da malha de aterramento durante uma perturbação é um importante fator a ser analisado para se chegar a definição das ações corretivas. Uma vez coletadas as informações referentes aos oscilógrafos existentes e dos módulos de expansão, essas serão armazenadas em um banco de dados para utilização no SMQEE. Tais dados se processarão via técnica Wavelet, com o fim de extrair os fenômenos relacionados a QEE, para posteriormente serem analisados utilizando as ferramentas disponíveis no software (melhor detalhado no capítulo IV). A figura 03 mostra o sistema em diagrama de blocos.

Figura 03 – Arquitetura do SMQEE em Diagrama de Blocos nas instalações da UHE Coaracy Nunes com Análise da Contribuição do Sistema de Aterramento



Fonte: o autor

### 1.6.6 Estrutura da Dissertação

Para melhor compreensão desta dissertação, houve a divisão em cinco capítulos. No primeiro desses, a Introdução é apresentada, buscando fazer uma explanação geral do tema do estudo, bem como os objetivos e a justificativa para a produção da pesquisa.

No segundo capítulo, aborda-se a questão da energia elétrica no Brasil. Neste contexto, é inserida a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes: desde sua abordagem histórica até suas características de funcionamento e importância na geração de energia para aquela região central do Amapá.

No terceiro capítulo, é discutida a questão da QEE a partir do conceito de qualidade (de acordo com normas internacionais e nacionais), englobando a ênfase da qualidade da energia em sequência. Apresenta-se seu conceito, bem como características e a importância de se monitorar a qualidade da energia, além de como pode ser feita essa monitoração.

No quarto capítulo, é apresentado o SMQEE desenvolvido pela empresa Eletrobras/Eletronorte e Universidade Federal do Pará, através de um convênio de pesquisa e desenvolvimento (P&D), aplicado na Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes, destacando seus principais resultados sobre a QEE na usina.

No quinto capítulo, são feitas as reflexões finais deste estudo. Conclui-se que o SMQEE desenvolvido para a usina de Coaracy Nunes é mais uma ferramenta de importância para a análise de QEE na referente usina.

## **2 A USINA HIDRELÉTRICA DE COARACY NUNES NO CENÁRIO DO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO**

### **2.1 O SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO**

Para Freitas e Rosa (2011), o Brasil é considerado o décimo maior consumidor de energia elétrica do mundo e o maior consumidor da América do Sul. Os órgãos governamentais responsáveis pela política de energia são o Ministério de Minas e Energia - MME, o Conselho Nacional de Política Energética - CNPE, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP e a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. As empresas estatais Petrobrás e Eletrobrás são as principais empresas participantes do setor energético no Brasil e na América Latina.

Coelho (2013) explica que para haver compreensão do cenário brasileiro de energia elétrica atual, necessita-se da análise das reformas do setor de energia. No final da década de 1990 e início da década de 2000, o setor de energia do Brasil passou por um processo de liberalização do mercado. Especificamente em 1997, a Lei do Investimento no Petróleo foi adotada: estabeleceu-se um quadro jurídico para regulamentar e liberalizar a produção de petróleo.

Os principais objetivos da lei foram a criação do CNPE e da ANP, o aumento da utilização do gás natural, aumento da concorrência no mercado de energia e os investimentos em geração de energia. Encerrou-se o monopólio estatal da exploração de petróleo e gás e os subsídios à energia foram reduzidos. No entanto, o governo manteve o controle do monopólio dos complexos-chave de energia, administrando os preços de certos produtos energéticos. As políticas governamentais atuais se concentram principalmente na melhoria da eficiência energética, tanto no setor residencial quanto no industrial, bem como no aumento da energia renovável.

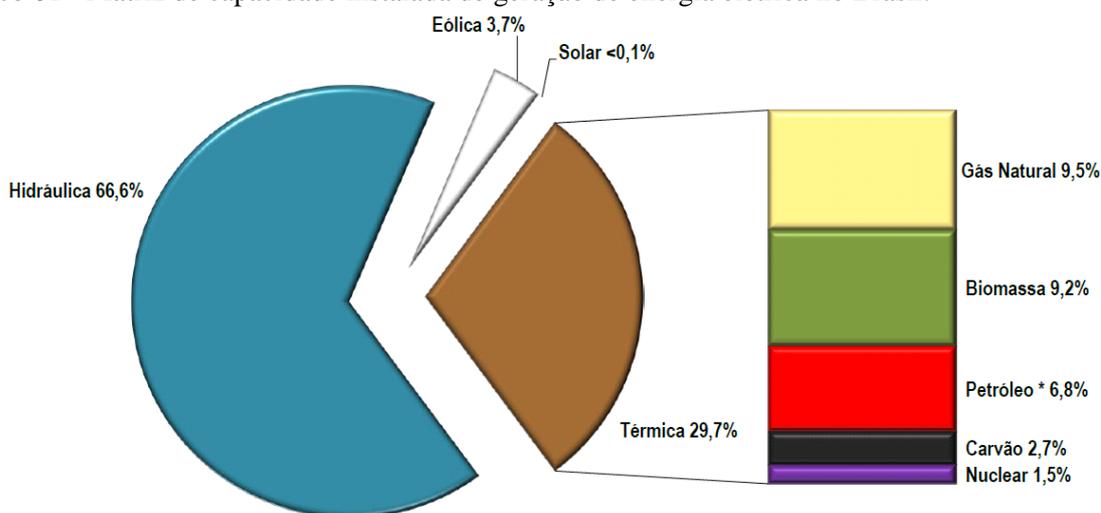
O prosseguimento da reestruturação do setor da energia é considerado uma das questões-chave para assegurar investimentos em energia suficientes à necessidade crescente de combustível, assim como a de eletricidade.

O Brasil é o terceiro maior produtor de energia hidrelétrica do mundo (atrás da China e do Canadá). Em 2011, a indústria hidrelétrica era responsável por 83% da produção de energia elétrica brasileira. A capacidade teórica bruta excede 3.000 TWh por ano, dos quais 800 TWh por ano são economicamente exploráveis. Em 2011, o país produziu 381TWh de energia hidrelétrica — a capacidade instalada é de 59 GW. O Brasil é co-proprietário da usina

hidrelétrica de Itaipu no Rio Paraná, localizada na fronteira entre Brasil e Paraguai: trata-se da segunda maior operação do mundo em usina hidrelétrica, com capacidade de produção instalada de 14 GW por 20 unidades geradoras de 700 MW cada. Em virtude da dependência do Brasil no que se refere a energia hidrelétrica e a falta de investimentos em transmissão, as reservas foram usadas por vários anos, o que levou as barragens a um baixo nível de água. Naquela ocasião, o governo foi forçado a racionar o uso da eletricidade. Ademais, foram lançadas novas regras do setor e construídas novas linhas de transmissão e novas usinas. Na atualidade, a carga é ainda maior do que em 2001 — o sistema é considerado seguro, todavia. (COELHO, 2013)

Em relação ao setor de energia elétrica, Coelho (2013) esclarece que o Brasil possui o segundo maior mercado da América do Sul. Sua capacidade instalada é comparável a da Itália e do Reino Unido, embora possua uma rede de transmissão muito maior. O país tem a maior capacidade de armazenamento de água no mundo, capaz de atender atualmente a maior parte da demanda de energia elétrica brasileira (acima de 66%) por intermédio da energia hidrelétrica. Logo, o Brasil é altamente dependente da geração desse tipo de energia, o que torna o país vulnerável à escassez de fornecimento de energia em anos de seca, como ocorrido nos anos de 2014 e 2015. O Sistema Interligado Nacional - SIN compreende as empresas de energia elétrica nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 3,4% da produção de eletricidade do país situa-se fora do SIN: são pequenos sistemas isolados, localizados principalmente na região amazônica. O gráfico 01 apresenta as principais fontes de geração de energia elétrica instaladas no Brasil em 2015.

Gráfico 01 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil.



Fonte: ANEEL (2015)

Ribeiro (2012) complementa Coelho (2013) ao afirmar que a capacidade de geração de energia elétrica no Brasil é dominada pelas usinas hidrelétricas, com 24 plantas acima de 1.000 MW e representando 66% da capacidade total instalada. Cerca de 66% da eletricidade alimentada na rede nacional é produzida através geração hidrelétrica, com mais de 25% provenientes de uma única usina hidrelétrica, Itaipu. A geração de gás natural fica em segundo lugar de importância, produzindo cerca de 9,5% da capacidade total.

Ocorre que a dependência brasileira por recursos hidrelétricos supostamente reduz os custos totais de geração; no entanto, essa grande dependência de energia hidrelétrica faz com que o país fique vulnerável para suprir carências em anos de baixa precipitação. O Brasil ainda é um importador de energia elétrica, principalmente da Argentina, mas a dependência de importação está caindo a cada ano (RIBEIRO, 2012).

Para Freitas e Rosa (2011), o Brasil precisa acrescentar 6.000 MW de capacidade a cada ano, a fim de satisfazer a crescente demanda de uma população crescente e mais próspera. O Ministério da Energia decidiu gerar 50% de novas fontes de energia hidrelétrica, 30% do vento e da biomassa, como o bagaço de cana e 20% de gás e outras fontes. Ventos no Nordeste são mais fortes durante a estação seca, quando usinas hidrelétricas produzem menos. Logo, as duas fontes de energia são sazonalmente complementares.

## 2.2 USINAS HIDROELÉTRICAS

Para Boyle (2006), a hidroeletricidade é o termo utilizado para se referir à eletricidade gerada por energia hidrelétrica, ou seja, a produção de energia elétrica através da utilização da força gravitacional da queda ou água corrente. É a forma mais utilizada de energia renovável, sendo responsável por 16% da geração mundial de eletricidade. Foram geradas através das usinas hidroelétricas 3.427 terawatt-horas de produção de eletricidade em 2014, e é esperado um aumento de cerca de 3,1% ao ano nos próximos 25 anos. A energia hidrelétrica é produzida em 150 países, sendo a China o maior produtor: 721 terawatt-horas de produção em 2014, o que representa cerca de 17% do consumo de eletricidade doméstica. No quesito de regiões, a Ásia-Pacífico é predominante, uma vez que gerou 32% da energia hidrelétrica global em 2014 (COELHO, 2013).

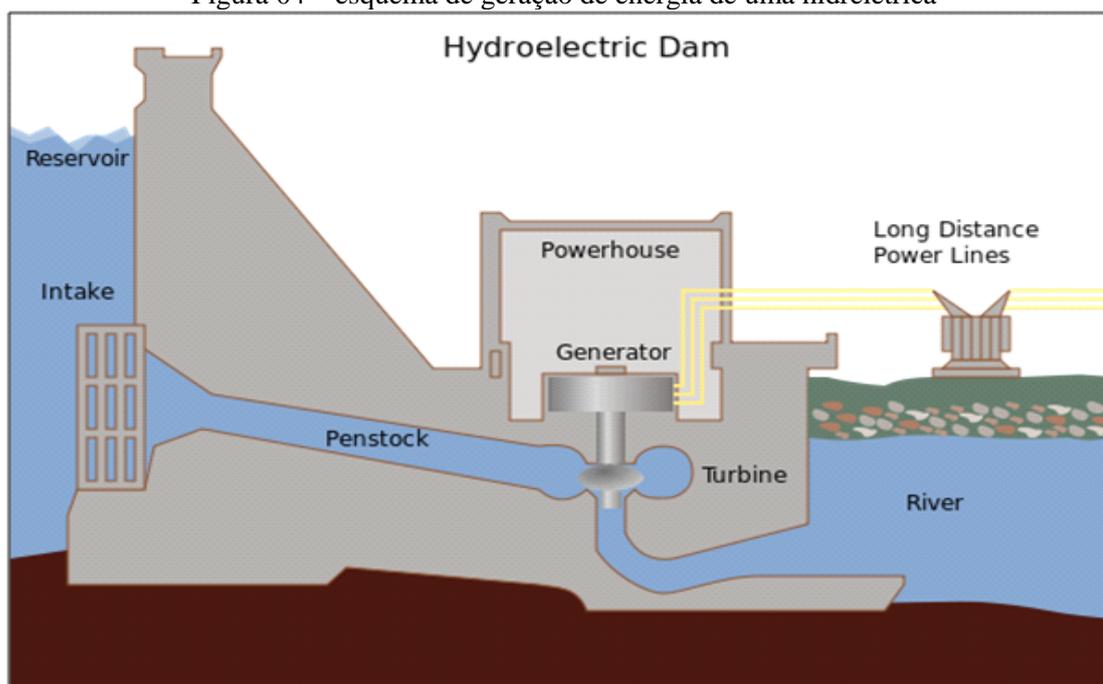
O custo da hidroeletricidade é relativamente baixo, tornando-se uma fonte competitiva de energia renovável. O custo médio de eletricidade de uma usina hidrelétrica com mais de 10 megawatts é de 3 a 5 centavos de dólar por kilowatt-hora. Também é uma fonte flexível de eletricidade para adaptação às novas demandas de energia, desde que a quantidade produzida

pela estação possa ser alterada para cima ou para baixo muito rapidamente. No entanto, o represamento interrompe o fluxo dos rios e pode prejudicar os ecossistemas locais, além da construção de grandes barragens e reservatórios — muitas vezes, acontecem deslocamentos da população e animais selvagens. Uma vez que um complexo hidrelétrico é construído, o projeto não produz resíduos diretos e tem uma saída consideravelmente menor no nível de gás com efeito de estufa dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do que combustíveis fósseis, os quais alimentam plantas de energia (BOYLE, 2006).

No método convencional, a maioria da energia gerada pela hidrelétrica vem da energia potencial da água represada. Essa energia depende do volume e da diferença da altura entre a montante e a jusante da represa, sendo a altura chamada de queda líquida. Um conduto denominado de caixa espiral conduz a água a partir do reservatório para a turbina, que produz o movimento e o transfere ao gerador acoplado na mesma. O custo de produção do kilowatt é o menor do que todas as outras formas de produção de energia elétrica. A razão é muito simples: a matéria prima é a água que normalmente se encontra em abundância. Outra grande vantagem, além do custo, é o baixo nível de poluição (BOYLE, 2006).

A figura 04 esquematiza, em termos básicos, como é o processo de captação de água para geração de energia em uma hidrelétrica. A água depositada no reservatório passa por um duto subterrâneo e ativa o gerador responsável pela energia:

Figura 04 – esquema de geração de energia de uma hidrelétrica



Fonte: Freitas (2011)

Freitas (2011) escreve que o método de produção de energia hidroelétrica por armazenamento bombeado produz eletricidade para suprir demandas de pico, elevando-se por água em movimento entre reservatórios (e em diferentes altitudes). Em períodos de procura reduzida de energia elétrica, a capacidade de geração em excesso é usada para bombear a água para dentro do reservatório superior. Quando a demanda se torna maior, a água é liberada de volta para o reservatório inferior através de uma turbina. Esquemas de armazenamento bombeado fornecem atualmente um meio de grande escala de armazenamento de energia da rede e melhora diária do fator de capacidade do sistema de geração. Armazenamento bombeado não é uma fonte de energia e aparece como um número negativo nas listagens.

Freitas (2011) esclarece que o sistema de geração “Run-of-the-river” é o que possui pouca ou nenhuma capacidade de reservatório, de modo que apenas a água vinda de montante está disponível para geração naquele momento e qualquer excesso de oferta deve passar sem uso. Um fornecimento constante de água de um lago ou reservatório existente a montante é uma vantagem significativa na escolha de locais para esse sistema de geração de energia.

A geração de energia através da estação das marés faz uso da ascensão e queda diária de água do mar por causa das marés. Tais fontes são altamente previsíveis e se as condições permitirem a construção de reservatórios, também podem ser despacháveis para gerar energia durante os períodos de alta demanda. Tipos menos comuns de esquemas de hidrelétricas usam a energia cinética da água ou de fontes sem barragens, a exemplo das rodas d'água. A energia das marés é viável em um número relativamente pequeno de locais ao redor do mundo (FREITAS, 2011).

Para Luengo e Bezzon (2009), as estações de energia hidrelétrica em grande escala são mais comumente vistas como as maiores instalações de energia produtoras do mundo, com algumas instalações hidrelétricas capazes de gerar mais do que o dobro das capacidades instaladas das atuais maiores centrais nucleares. Embora não exista uma definição oficial para a faixa de capacidade de grandes centrais hidroelétricas, instalações de mais de algumas centenas de megawatts são geralmente consideradas grandes instalações hidrelétricas.

A eficiência é muitas vezes superior (ou seja, mais perto de 1) com turbinas maiores e mais modernas. A produção anual de energia elétrica depende do abastecimento de água disponível: em algumas instalações, a taxa de fluxo da água pode variar por um fator de 10: 1 ao longo de um ano. (LUENGO; BEZZON, 2009)

Segundo Ramage (2013, p. 451), as principais vantagens da geração de energia por usinas hidroelétricas são:

- Flexibilidade: a energia hidrelétrica é uma fonte flexível de eletricidade, desde que as estações possam ser incrementadas para cima e para baixo muito rapidamente para se adaptarem às novas demandas de energia. As turbinas hidráulicas têm um tempo de arranque da ordem de alguns minutos, por isso é preciso cerca de 60 a 90 segundos para trazer uma unidade de arranque a frio a plena carga. Trata-se, portanto, de uma duração muito mais curta do que as de turbinas a gás ou plantas de vapor. A produção de energia também pode ser diminuída rapidamente quando existe uma geração de energia excedente. Por conseguinte, a capacidade limitada de unidades de energia hidráulica não é geralmente usada para a produção de energia de base - ao invés disso, a finalidade é de apoio aos geradores não-hidrelétricos; (RAMAGE, 2013)
- Baixos custos de energia: a principal vantagem é a eliminação na geração da energia hidroelétrica do custo do combustível. O custo de operação de uma estação hidroelétrica é quase imune a aumentos no custo dos combustíveis fósseis (tais como petróleo, gás natural ou carvão) e não existe a necessidade de importações. O custo médio de eletricidade a partir de uma estação hidroelétrica maior do que 10 megawatts é de 3 a 5 centavos de dólar por kilowatt-hora; (RAMAGE, 2013)
- Durabilidade: centrais hidrelétricas têm vidas econômicas longas. Existem no mundo algumas plantas ainda em serviço a mais de 100 anos. O custo de operação também é geralmente baixo, sendo muitas plantas automatizadas e com pouco pessoal no local durante a operação normal (RAMAGE, 2013);
- Múltiplas finalidades: Dados mostram que, na maioria dos países, as grandes barragens hidroelétricas são demasiadamente caras e levam muito tempo para serem construídas e entregarem um retorno ajustado ao risco positivo, a menos que medidas de gestão de risco adequadas sejam postas em prática (RAMAGE, 2013);
- Aptidão para aplicações industriais: enquanto muitos projetos hidrelétricos fornecem a redes públicas de eletricidade, alguns são criados para servir empresas industriais específicas. Projetos hidroelétricos dedicados são muitas vezes construídos para fornecer as quantidades substanciais de eletricidade necessárias para plantas industriais específicas (RAMAGE, 2013);
- Emissões de CO<sub>2</sub> reduzidas: as hidrelétricas não queimam combustíveis fósseis, portanto não produzem diretamente o dióxido de carbono. Paralelamente, alguns dióxidos de carbono são produzidos durante a fabricação e construção do projeto. Esta é uma pequena fração das emissões operacionais de geração de energia elétrica de combustível fóssil equivalente. A

hidroeletricidade produz a mínima quantidade de gases de efeito estufa e bem menos que outras fontes de energia; (RAMAGE, 2013)

- Outros usos do reservatório: muitas vezes, reservatórios criados por usinas hidroelétricas fornecem facilidades para desportos aquáticos e se tornam atrações turísticas. Em alguns países, a aquicultura em reservatórios é comum. O multiuso das represas instaladas para irrigação e apoio à agricultura com abastecimento de água é relativamente constante. As grandes barragens hidrelétricas podem controlar inundações. (RAMAGE, 2013)

Ainda segundo Ramage (2013, p. 454), as principais desvantagens da geração de energia por usinas hidroelétricas são explicadas por:

- Degradação dos ecossistemas e perda de terras: usinas hidrelétricas que usam barragens submergem grandes áreas de terra, por conta da exigência de um reservatório. Reservatórios grandes associados com usinas hidrelétricas tradicionais resultam em submersão de áreas extensas a montante das barragens. Às vezes, se perde a produtividade de planície biologicamente rica por conta de destruições, bem como a de florestas ribeirinhas do vale, região pantanosa e pastagens. A perda de terra é muitas vezes agravada pela fragmentação do habitat de áreas, causada pelo reservatório circundante. Além disso, os projetos hidrelétricos podem ser prejudiciais para os ecossistemas circundantes aquáticos, em razão da geração de energia hidrelétrica mudar o ambiente do rio e atrair instalações industriais. A água que sai de uma turbina geralmente contém muito pouco sedimento em suspensão, o que pode levar a limpeza dos leitos dos rios e perda de margens de rios, conseqüentemente. Os portões das turbinas são frequentemente abertos de forma intermitente, flutuações rápidas ou mesmo diárias no fluxo do rio afetam também o ecossistema local (RAMAGE, 2013);

- Assoreamento e fluxo de escassez: quando a água flui, tem-se a capacidade de transportar partículas mais pesadas. Ocorre um efeito negativo sobre as barragens e, posteriormente, às suas centrais elétricas, principalmente aquelas em rios ou dentro de áreas de captação com alto assoreamento. Esse processo de assoreamento pode encher um reservatório e reduzir a sua capacidade para controlar inundações, causando ainda uma pressão horizontal adicional sobre a parte da montante da barragem. Eventualmente, alguns reservatórios podem se tornar cheios de sedimentos e inúteis durante uma inundação e falhar (RAMAGE, 2013);

- Alterações na quantidade de fluxo de um rio: ela irá correlacionar com a quantidade de energia produzida por uma barragem. Os caudais dos rios mais baixos vão reduzir a quantidade de armazenamento em um reservatório e, portanto, a quantidade de água idônea para hidroeletricidade. O resultado do fluxo do rio diminuído pode ser a escassez de energia em áreas que dependem fortemente de energia hidroelétrica. O risco de falta de fluxo pode

umentar como resultado da mudança climática. O Brasil, em particular, é vulnerável em virtude da forte dependência de energia hidroelétrica, além do aumento das temperaturas, baixo fluxo da água e alterações no regime de chuvas. Pode-se acarretar uma redução da produção total de energia em 7% por ano até o fim do século (RAMAGE, 2013);

- Emissões de metano (de reservatórios): baixos impactos positivos são encontrados nas regiões tropicais. Observou-se que os reservatórios de centrais elétricas em regiões tropicais produzem quantidades substanciais de metano, um gás de efeito estufa, por mérito do material vegetal em áreas alagadas em decomposição em um ambiente anaeróbio (RAMAGE, 2013);

- Deslocalização: outra desvantagem de hidroelétricas é a necessidade de modificar a moradia das pessoas que vivem nas futuras localizações dos reservatórios. Em 2012, a Comissão Mundial de Barragens estimou que as barragens tinham fisicamente deslocado de 40 a 80 milhões de pessoas em todo o mundo; (RAMAGE, 2013)

- Riscos de falhas: grandes instalações hidroelétricas convencionais retêm grandes volumes de água, uma falha em virtude da má construção. Catástrofes naturais ou de sabotagem podem ser trágicas aos assentamentos e infraestrutura ao redor.

## 2.3 USINA HIDRELÉTRICA COARACY NUNES

### 2.3.1 Histórico

Durante os anos 70, o Governo Brasileiro criou as Centrais Elétricas do Norte do Brasil, que teve como seu primeiro desafio colocar a primeira grande hidrelétrica da Amazônia — usina Hidrelétrica Coaracy Nunes — em operação ao concluir suas respectivas obras.

Em 1975, a Hidrelétrica do Paredão, como é conhecida, entrou em operação com duas unidades geradoras com capacidade de 20MW (cada uma). Todos os equipamentos necessários para o funcionamento da hidrelétrica como turbinas, geradores, sistemas de proteção e equipamentos auxiliares foram de fabricação da empresa Hitachi, de origem japonesa. Vale ressaltar que a tecnologia aplicada na época contava com equipamentos elétricos com grande robustez e pouquíssimos componentes eletrônicos.

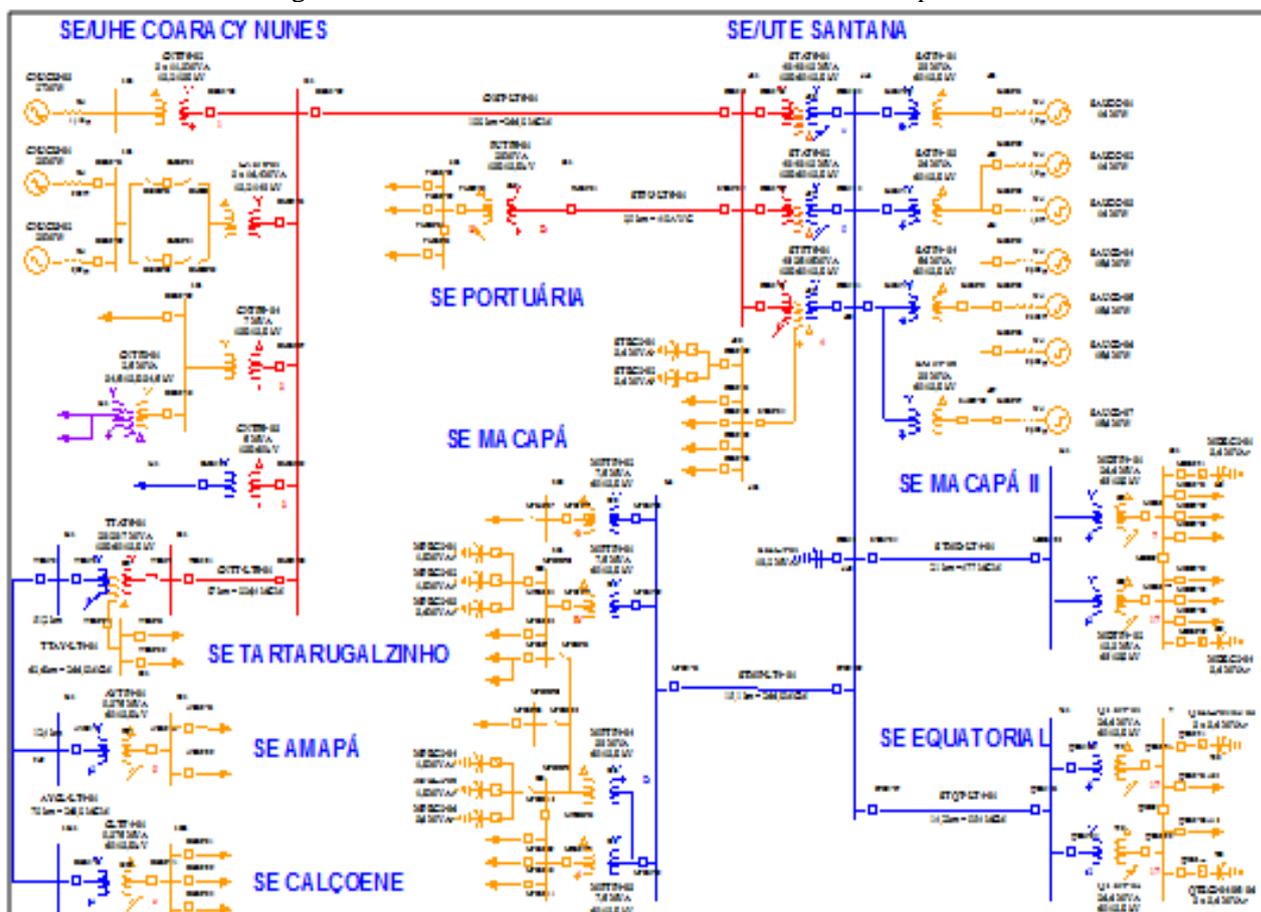
No ano de 1997, iniciou-se a modernização de todos os sistemas de controles das unidades geradoras: houve a troca dos reguladores de velocidade de fabricação Hitachi por outros dois de tecnologia digital (com uso de microprocessadores).

Em 2000, a Usina UHE Coaracy Nunes e sua Subestação Central agregada sofreram um processo de modernização e ampliação. Na usina, foi colocada em operação uma nova unidade geradora com controles micro-processados através de CLP (controladores lógicos programáveis) e um sistema de proteção totalmente digital. Em conjunto, as unidades antigas 01 e 02 passaram a ser controladas também por um CLP em paralelo com os controles antigos e convencionais. A Subestação, por sua vez, além de ampliada com novos bays, foi totalmente modernizada também com proteções digitais e CLPs.

### 2.3.2 Sistema Elétrico do Amapá

O Sistema Amapá é composto pelas seguintes usinas: Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes e Usina Termelétrica de Santana. Têm-se 490 KM de linhas de 138kV e 69kV e 09 subestações – Santana, Portuária, Central, Tartarugalzinho, Equatorial, Macapá II, Macapá I, Amapá e Calçoene. A capacidade de transformação é de 589 MVA, conforme mostra o diagrama unifilar da figura 05;

Figura 05 – Desenho Unifilar do Sistema Elétrico Amapá.



Fonte: Eletronorte (2014)

Os dois parques geradores (térmico e hidráulico) se constituem da seguinte forma:

- Usina Coaracy Nunes: Dois geradores de 24MW e outro de 30MW, totalizando 78MW de capacidade geradora. Todos os geradores são acoplados a turbinas Kaplan.
- Usina Térmica de Santana: três turbo geradores de 20 MW e quatro motores 15,5 MW cada, totalizando 122 MW. Todos usam como combustível óleo diesel.

A UHE Coaracy Nunes está interligada à Subestação Central que distribui a energia gerada para as subestações do norte, através da Linha de Transmissão Tartarugalzinho. A Linha de Transmissão Serra do Navio leva energia à região centro-oeste do estado. Existem também dois circuitos paralelos que energizam a subestação de Santana e dois alimentadores denominados Ferreira Gomes e Porto Grande, que alimentam duas cidades com os respectivos nomes e são próximas à UHE. A usina térmica de Santana está ligada à Subestação de Santana. Nessa subestação, é distribuída a energia para a capital Macapá e municípios vizinhos, conforme ilustrado na figura 5.

### 2.3.3 Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHCN)

A UHE Coaracy Nunes está implantada no Estado do Amapá, no rio Araguari, cerca de 15 km a montante da cidade de Ferreira Gomes. O acesso terrestre ao local é feito partindo da cidade de Macapá, cerca de 150 km, através da rodovia BR-150.

A Usina opera a fio d'água, ou seja, apesar de ter uma represa a montante, não se tem a capacidade de manter a usina em operação a plena carga em períodos de baixa hidraulicidade. As unidades 01 e 02 encontram-se em operação comercial desde 1975 e passaram por recapacitação de 2003 a 2005, progredindo de 20 para 24MW cada. A unidade 3 entrou em operação comercial no mês de abril do ano de 2000, com capacidade de 30MW. Assim, a capacidade total da usina hoje é de 78MW.

### 2.3.4 Unidades Geradoras 01 e 02

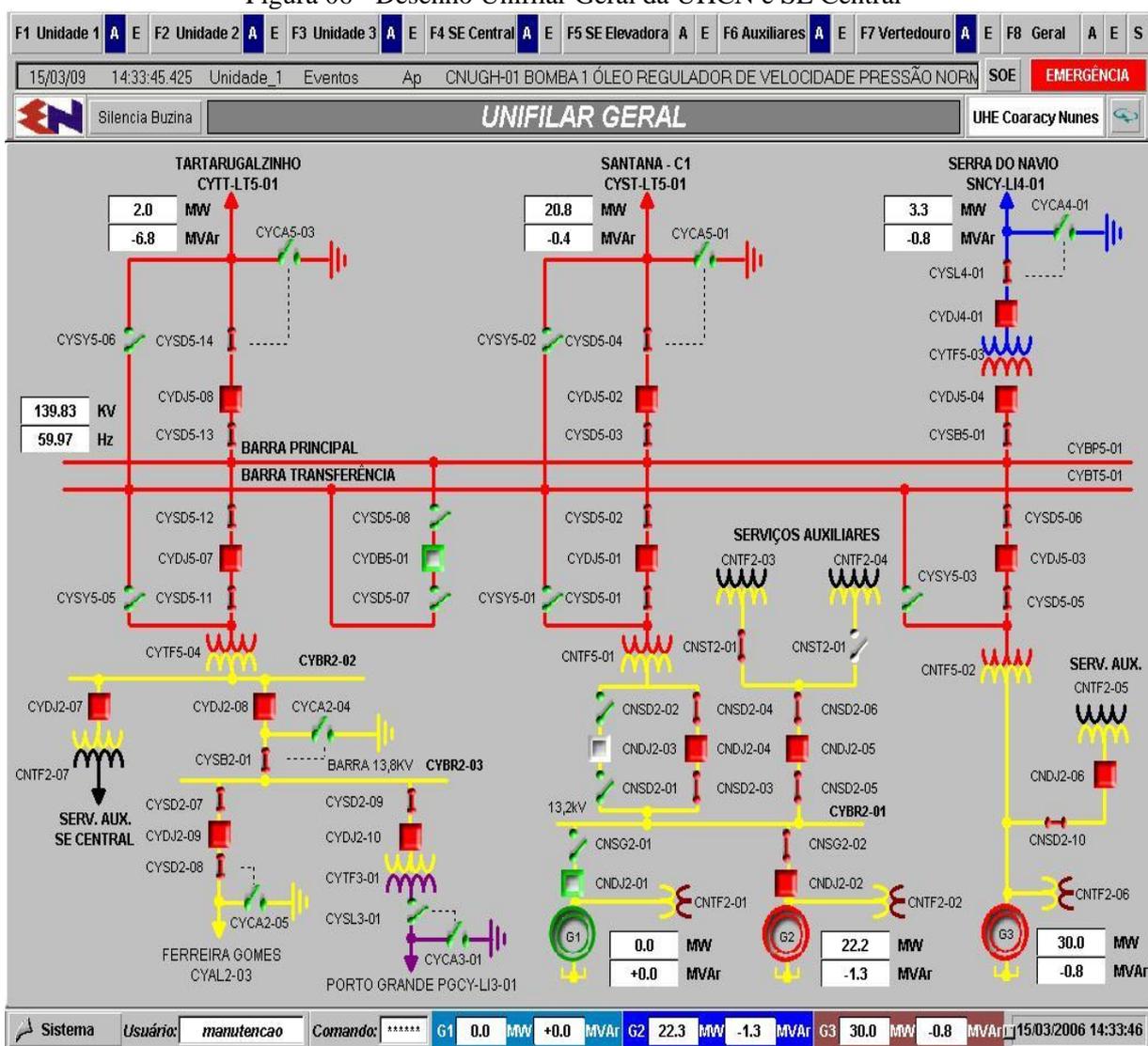
Essa usina tem o mesmo projeto para as unidades 01 e 02, idênticas inclusive nos ajustes dos equipamentos de controle e proteção. Tais unidades geradoras estão interligadas em um barramento só, de 13,2KV (tensão de geração). Alimenta-se, assim, um banco de transformadores monofásicos de 16,5MW (ver figura 06) cada, no qual a tensão é elevada para 138KV e direcionada para a Subestação Central. As Máquinas 1 e 2 são compostas, cada uma, por: um gerador elétrico Hitachi, trifásico, com Excitação Estática, potência nominal de

25,5KVA, fator de potência de 0,95, tensão nominal de 13,2KV, rotação de 138,5 rpm, frequência de 60Hz, com 52 polos, fabricado em Tokio, Japão, em 1966.

### 2.3.5 Unidade Geradora 03

O Gerador Elétrico Síncrono da máquina 3 é de fabricação Siemens, trifásico, com Excitação Estática digital, tipo THYRIPOL, potência nominal de 33,402KVA, fator de potência de 0,95, tensão nominal de 13,2KV, rotação de 150 rpm, frequência de 60Hz e 48 polos, fabricado em São Paulo em 1999. Essa unidade geradora possui um banco de transformadores independente de fabricação Siemens, diretamente ligado à saída da máquina na baixa tensão e no barramento de 138KV na alta tensão.

Figura 06 - Desenho Unifilar Geral da UHCN e SE Central



Fonte: Eletronorte (2006)

### 2.3.6 Banco de Transformadores das Unidades Geradoras 01 e 02

Como descritas anteriormente, as unidades 01 e 02 alimentam um banco de transformadores monofásicos de fabricação Hitachi, responsável por elevar a tensão da barra de 13,2KV de interligação das unidades 01 e 02 para 138KV. As características técnicas são as seguintes: tipo SAOCR; série 511468-2; potência de 16,4MVA; fator de potência 0.95; tensão de 13,2/138KV; ligação delta/estrela com neutro aterrado; frequência de 60HZ; impedância 9,74%; monofásico; peso total (com óleo) 36900kg e ano de fabricação 1968.

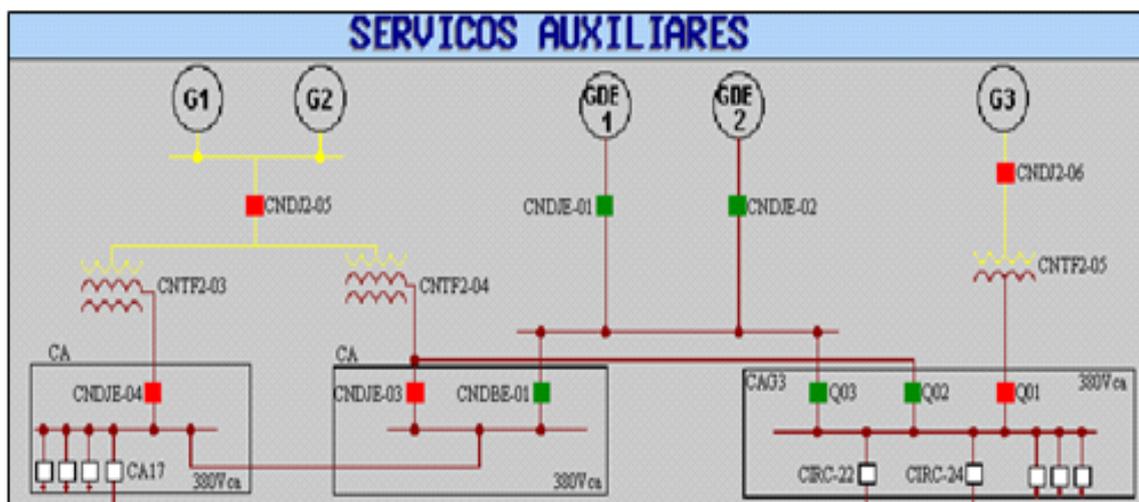
### 2.3.7 Banco de Transformadores da Unidade Geradora 03

A Unidade geradora 03, descrita anteriormente, possui um banco de transformadores independente de fabricação Siemens, diretamente ligado à saída da máquina e tem a função de elevar a tensão gerada de 13,2KV para 138KV. As características técnicas são: tipo Elun 7152; série 538287; potência de 11,33KVA; fator de potência 0,95; tensão de 13,2/138KV; ligação delta/estrela com neutro aterrado; frequência de 60HZ; impedância 7,97%; monofásico; peso total (com óleo) de 19.870kg e ano de fabricação 1998.

### 2.3.8 Serviço Auxiliar CA

Este sistema é constituído de duas barras trifásicas (e o neutro em 380/220V, 60Hz) alimentadas por três entradas, as quais estão a seguir.

Figura 07 - Desenho Unifilar do Serviço Auxiliar CA da UHCN



Fonte: Eletronorte (2006)

Primeira fonte: alimenta as barras de cargas “CA”. É proveniente dos transformadores de serviços auxiliares CNTF2-03 e CNTF2-04 alimentados pelo barramento de 13,2 KV das unidades 1 e 2, conforme apresentado na figura 07.

Segunda fonte: alimenta a barra de cargas “CAG3”. É proveniente do transformador de serviços auxiliares CNTF2-05 da unidade 3 (ver figura 07).

Terceira fonte: é proveniente do grupo diesel de emergência. Detalhes são mostrados no diagrama unifilar apresentado na figura 07.

### 2.3.9 Serviço Auxiliar da Unidade 03

Na condição normal de operação, a unidade 03 é alimentada por intermédio do disjuntor Q01, alimentado pelo transformador de serviços auxiliares da unidade 3 CNTF2-05, o qual possui as seguintes características: fabricação Siemens; potência de 300KVA; trifásico; tensão de 13,8/0,38KV; impedância de 4,45%; peso total de 1095; ligação delta/estrela com neutro aterrado e ano de fabricação 1997.

Na falta de tensão nessa entrada, acontece a transferência automática para as entradas provenientes dos transformadores CNTF2-03 e CNTF2-04 e barramento das unidades 01 e 02, através de automatismo no próprio painel (o disjuntor Q01 abre e o Q02 fecha). O serviço auxiliar da unidade 03 passa a ser alimentado pelos transformadores interligados às unidades 01 e 02 (ver figura 07). O retorno da fonte transferida pode ser manual/local ou remoto.

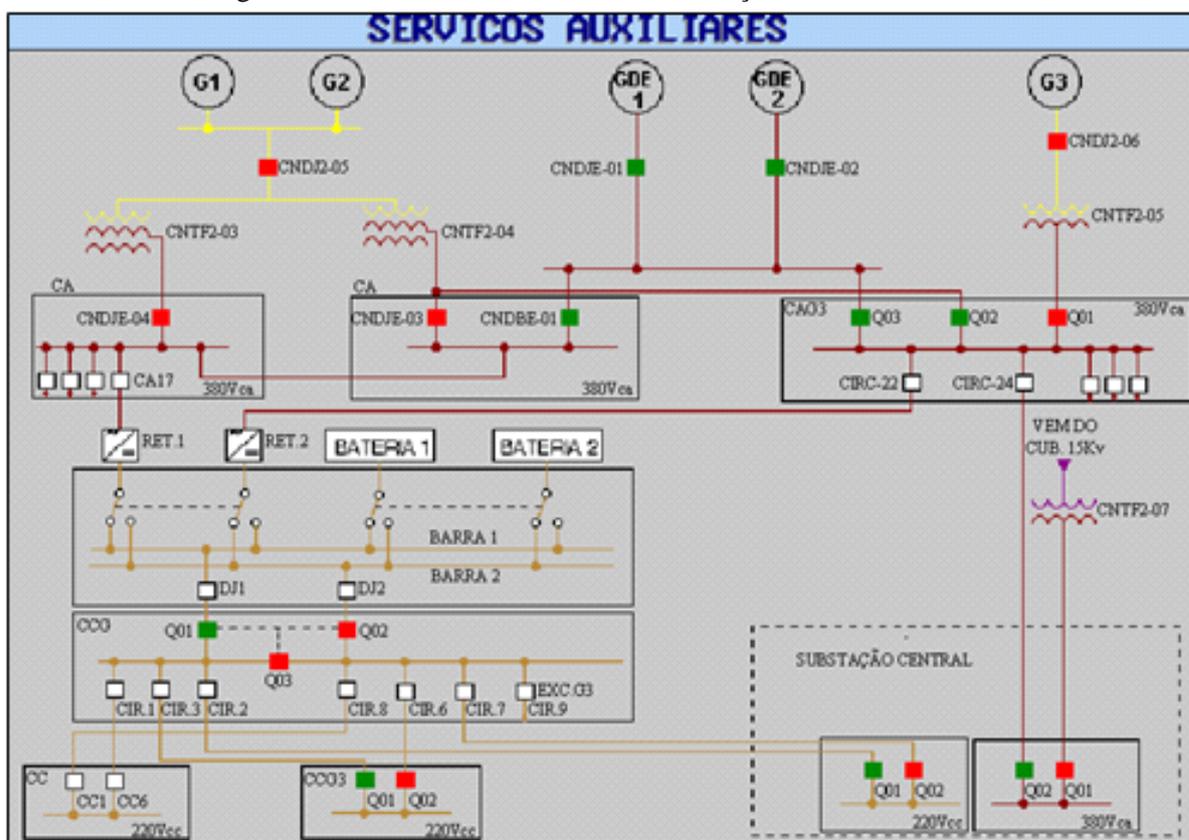
### 2.3.10 Transferência do Serviço Auxiliar para o Gerador Diesel de Emergência

Na falta de tensão nas duas entradas, o sistema de automação do Diesel de emergência parte automaticamente, faz o paralelismo de duas unidades de emergência e alimenta através do CNDJE-01 a barra de carga das unidades 01 e 02. Caso necessário, o disjuntor Q03 do CAG3 poderá ser comandado pelo operador para fechar e alimentar as cargas da unidade 03 (ver figura 07). Com o retorno de tensão em um dos alimentadores, o painel de automação do sistema diesel de emergência executa o paralelismo dos mesmos com o alimentador através do CNDJE-4 e 3, faz uma rampa de carga da potência gerada até zero, sai de sincronismo e para. Além do automatismo, é possível executar essas manobras manualmente no local ou remotamente.

### 2.3.11 Serviço Auxiliar CA das Unidades 01 e 02

O serviço auxiliar das unidades 01 e 02 é composto por dois transformadores. Tem-se o CNTF2-03, caracterizado por: fabricação Trafo T; potência de 525/225/300KVA; três enrolamentos (trifásico); tensão de 13,8/11,5/0,38KV; impedância de 4,8%; peso total de 2.350Kg; ligação delta/estrela/estrela, com neutro aterrado e ano de fabricação 1995. O CNTF2-04, por sua vez, apresenta as seguintes características: fabricação Coensa; potência de 525/225/300KVA; três enrolamentos (trifásico); tensão 13,2/11,5/0,38KV; impedância de 7,65%; peso total de 4.650Kg; ligação delta/estrela/estrela, com neutro aterrado e ano de fabricação 1974. Ambos são alimentados pelo disjuntor CNDJ2-05, alimentado pela barra de 13,2 KV.

Figura 08 – Desenho Unifilar Geral do Serviço Auxiliar da UHCN



Fonte: Eletronorte (2006)

Esses transformadores podem operar tanto um por vez quanto em paralelo e alimentam a barra de cargas das unidades 01 e 02, bem como todas as cargas internas da Usina. Pode-se também alimentar as cargas da unidade 03, como descrito anteriormente. Os disjuntores que alimentam todos os circuitos CA dessas unidades, bem como a alimentação dos retificadores

do sistema CC da Usina, saem na barra de carga das unidades 01 e 02. Todas as cargas internas do prédio da Usina e dos equipamentos auxiliares das unidades 01 e 02 estão interligadas à barra CA, identificadas dentro do retângulo que localiza o disjuntor CNDJE-04. O Desenho Unifilar Geral do Serviço Auxiliar da UHCN está apresentado na figura 08.

### 2.3.12 Serviço Auxiliar CA da Subestação Central

Este também é constituído de uma barra trifásica mais o neutro em 380/220V 60Hz, alimentado por duas entradas, caracterizadas a seguir.

- Entrada principal: é alimentada pelo transformador de serviços auxiliares CNTF2-07 da subestação Central, através do disjuntor Q01 do painel localizado na própria Subestação.
- Segunda fonte de alimentação: é proveniente do painel de serviços auxiliares da Casa de Força da unidade 3, alimentado pelo Circuito 24 da barra de cargas CAG3. Em nenhuma condição operativa, é permitido o paralelismo de fontes. A condição normal de operação é através da entrada nº 1, alimentada pelo transformador de serviços auxiliares da subestação CNTF2-07. Existe uma chave seletora de duas posições para local/remoto no painel (em condições normais, essa chave permanece na posição remota). Na falta de tensão na entrada nº 1, acontece a transferência manual para a entrada nº 2, através de comando remoto ou no próprio painel. O retorno da fonte transferida é feito manualmente (local ou remoto).

### 2.3.13 Serviço Auxiliar CC

Este sistema é constituído de duas barras, interligadas através do disjuntor Q03 em 220Vcc e alimentadas por duas entradas, as quais são:

- Entrada nº 1, alimentada pelo conjunto retificador/baterias nº 1.
- Entrada nº 2, alimentada pelo conjunto retificador/baterias nº 2.

Em nenhuma condição operativa, é permitido o paralelismo de fontes. A condição normal de operação é cada conjunto retificador/baterias alimentando a sua barra, com o disjuntor de interligação aberto.

Quanto a perda de um conjunto retificador/bateria por defeito ou por manutenção do retificador ou carga de baterias, o operador deverá interligar as barras. Para permitir a interligação de barras, os disjuntores de entrada são intertravados com o disjuntor de interligação, através de cadeados *kirk*. A chave *kirk* permite o fechamento do disjuntor de

interligação com qualquer um dos disjuntores de entrada aberto. Essa operação é realizada no painel CCG, de onde saem as alimentações para o painel CC das unidades 01 e 02, CCG3 da unidade 03 e uma outra alimentação que vai para a Subestação Central, conforme mostrado na figura 08.

#### 2.3.14 Reguladores de Velocidade das Unidades 01 e 02

Os reguladores de velocidade das unidades 01 e 02 são os RVX200, de fabricação Reivax Eletrônicos, são baseados em microprocessadores, com a ação de controle realizada numericamente. Agregam-se dois reguladores em um bastidor, sendo um principal e outro de retaguarda.

Entre os equipamentos mecânicos, uma válvula de ação proporcional compacta controla a válvula distribuidora de acionamento dos servos-motores, tanto da roda Kaplan quanto do distribuidor.

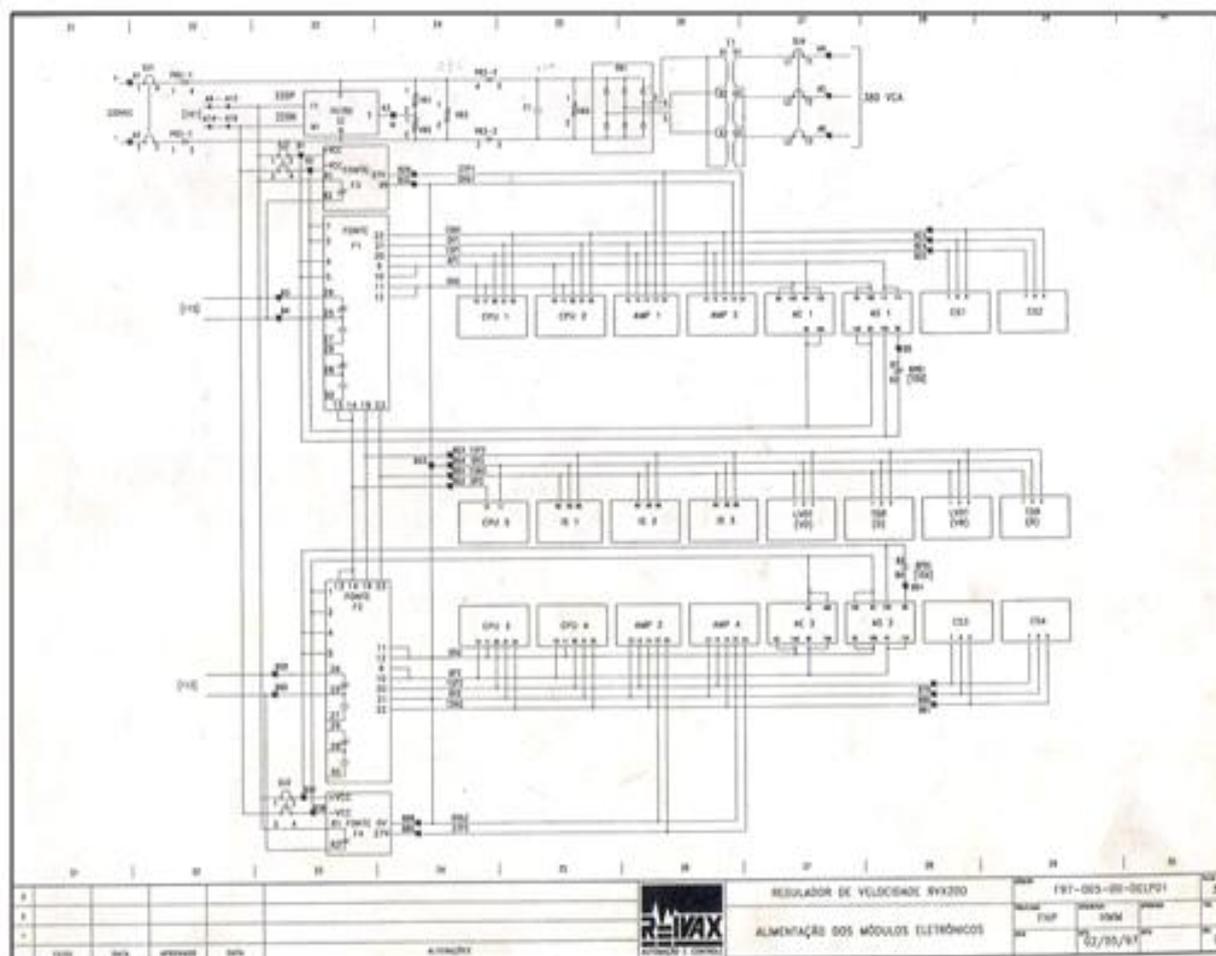
O RVX200 possui em sua configuração cinco CPUs baseadas no microcontrolador 8098 da Intel, o qual foi desenvolvido para uso em aplicações de controle. Além das CPUs, o sistema incorpora amplificadores de potência para o acionamento da válvula proporcional, isoladores galvânicos para interface entre as CPUs e os sinais lógicos e analógicos externos. As CPUs do Regulador Principal realizam a ação de controle de frequência e potência e toda lógica de partida, parada, adaptação de parâmetros e etc.

As CPUs do Regulador Retaguarda servem de backup das CPUs do regulador Principal, para o caso de falha. A detecção de falha e a comutação entre as CPUs são feitas de forma automática. A CPU de Supervisão gerencia a interface homem-máquina, possibilitando a monitoração dos pontos internos do regulador e a operação de troca de ajustes.

Todos os parâmetros principais do controlador estão gravados em EEPROMs dentro de CPUs e são passíveis de alteração mesmo com o sistema em operação, através de uma interface homem-máquina dirigida por menu.

Um esquema especial de proteção contra falha temporária de alimentação de uma das CPUs permite que o sistema retorne ao seu ponto de operação sem necessidade de intervenção do operador, conforme indica a figura 09.

Figura 09 – Desenho do Esquema Geral do Regulador



Fonte: Eletronorte (2009)

### 2.3.15 Alimentação das Fontes e Cartelas do RVX200

Os reguladores de tensão das unidades 01 e 02 foram projetados com duas alimentações, sendo uma 380VCA e outra 220VCC. A CC está interligada ao sistema de corrente contínua da Usina através do disjuntor DJ1 e alimenta um barramento de onde sai a alimentação das demais fontes, após passar por um filtro. A fonte de 380VCA é alimentada pelo sistema de corrente alternada da Usina através do disjuntor DJ4, seguindo para uma ponte retificadora trifásica. Após ser retificada para 220VCC, entra em paralelo com a fonte CC. Dois diodos de bloqueio são os responsáveis por deixar passar uma das duas alimentações (a que estiver maior). O objetivo desse esquema é manter alimentado o regulador de velocidade mesmo quando ocorrer a perda do sistema CC ou do CA auxiliar da Usina. Com isso, a parada intempestiva da Unidade pode ser evitada quando ocorrer a perda de um dos dois sistemas, conforme a figura 09.

### 2.3.16 Sistema de Aterramento da Usina Hidrelétrica Coaracy Nunes

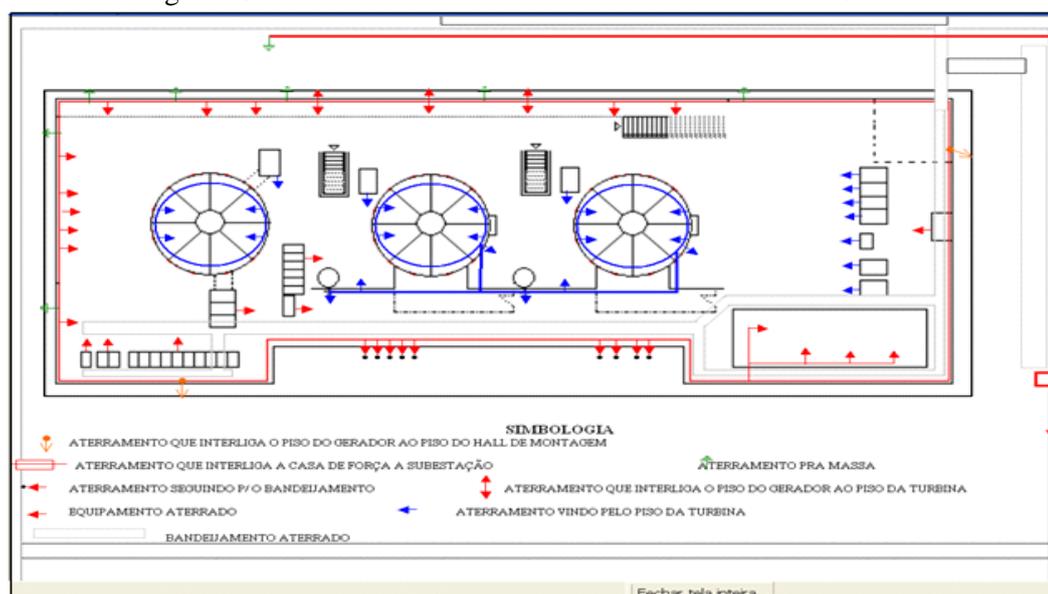
Iniciou-se em 1997 a construção da casa de força da terceira unidade, que recebeu uma implementação de malha de aterramento nova. Atualmente, a máquina 3 é interligada à malha antiga das unidades 1 e 2.

Desde o início de sua construção até a presente data, a malha de aterramento da UHCN não sofreu intervenção de manutenção. Problemas foram imperceptivelmente surgindo e acumulando sem o conhecimento da equipe técnica da UHCN. Ao longo do tempo, a documentação técnica se extraviou e não houve maior atenção a respeito do aterramento. Sem um sistema monitorando, questões como diferença de potencial entre malhas e pontos com grande circulação de correntes (bem como os com pouca ou nenhuma circulação) dificilmente são observadas ou detectadas.

No trabalho de Amanajás D. M. (2006), foi feito um levantamento dos problemas observados na malha de aterramento da UHE Coaracy Nunes, a fim de propor melhorias para minimizar os efeitos nocivos relacionados a esses problemas. Foram estudados vários aspectos: as questões paramétricas da malha de aterramento; a questão de representação para estudos dos sistemas de aterramento; o problema da eficiência da malha; a necessidade da verificação se a malha é eficiente na proteção dos equipamentos e a falta de indicativos que comprovem a eficiência da malha da referida Usina.

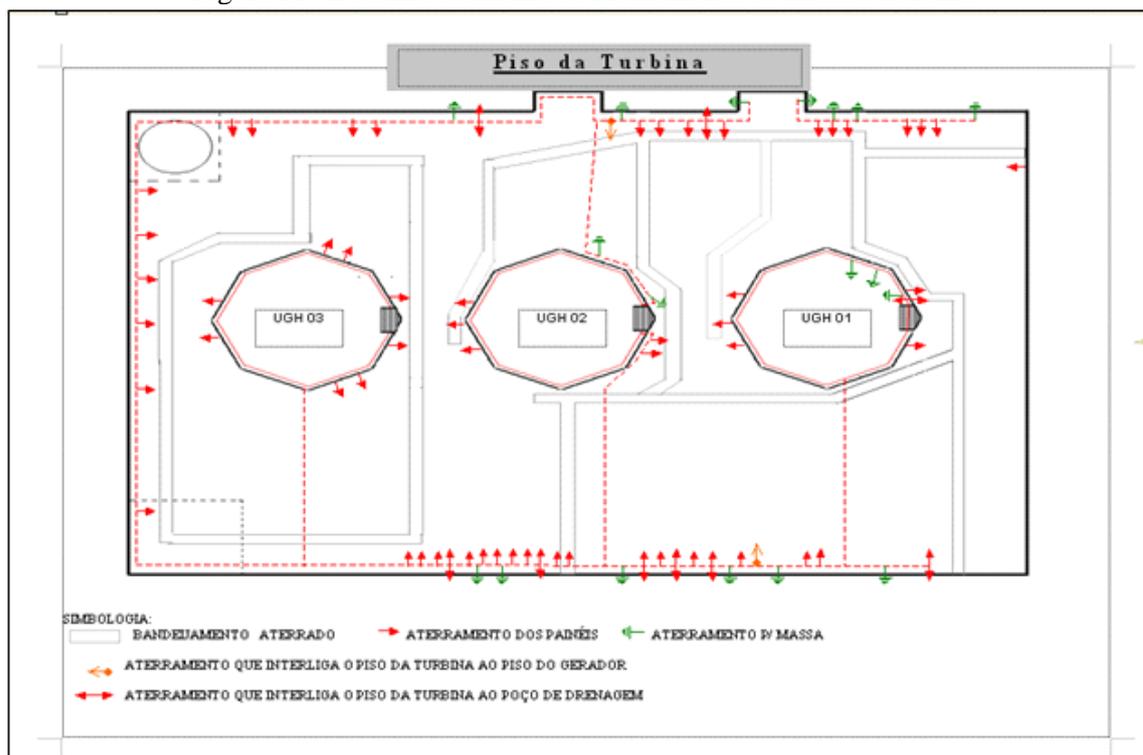
A seguir, as figuras 10, 11 e 12 mostram a malha de aterramento nos três pisos da Usina: piso do gerador, turbina e poço de drenagem.

Figura 10 – Desenho da Malha de Aterramento do Piso do Gerador



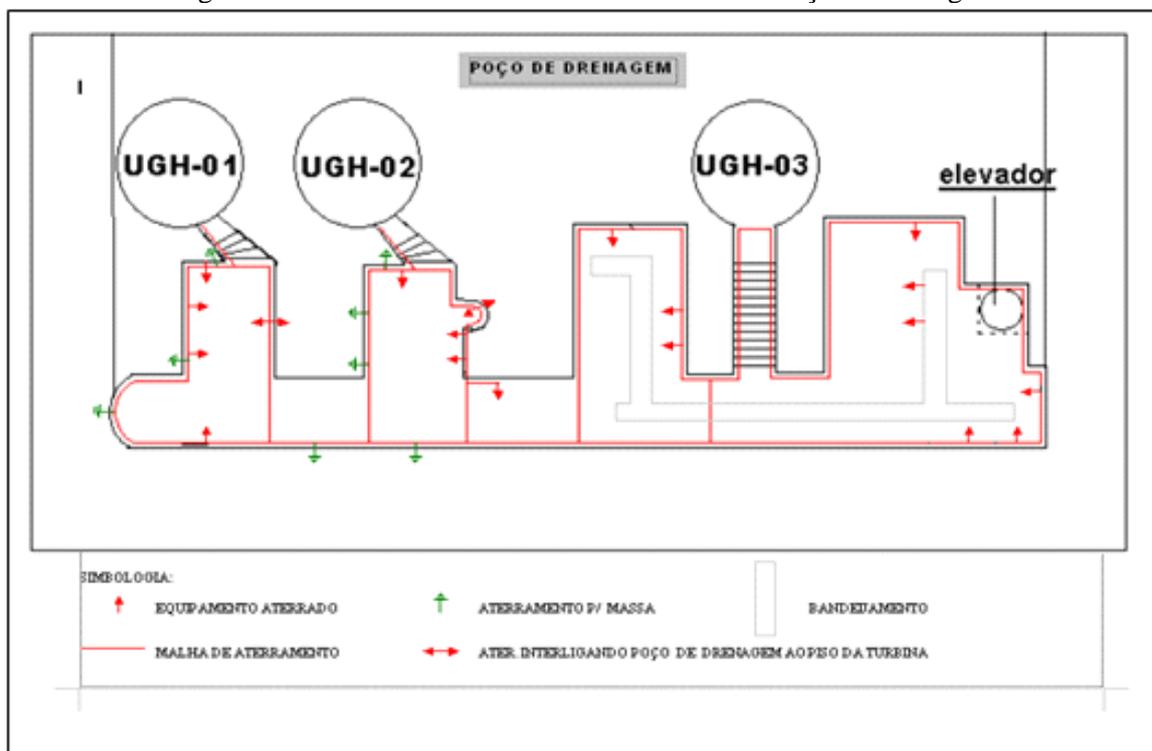
Fonte: Eletronorte (2006)

Figura 11– Desenho da Malha de Aterramento do Piso da Turbina



Fonte: Eletronorte (2006)

Figura 12 – Desenho da Malha de Aterramento do Poço de Drenagem



Fonte: Eletronorte (2006)

## 2.4 SITUAÇÃO ATUAL

A partir do ano 2000, com a entrada em operação dos novos sistemas digitais, várias ocorrências bastante prejudiciais ao sistema Amapá foram observadas, tais como:

- Doze ocorrências de queima total das fontes CA do regulador de tensão da unidade 03;
- Dez ocorrências de queima de placas com microprocessadores no regulador de tensão da unidade 03;
- 02 ocorrências de queima de placas de saída digital do PLC da unidade 03;
- 13 ocorrências de queima das fontes CA do regulador de velocidade da unidade 02;
- 08 ocorrências de queima das fontes CA do regulador de velocidade da unidade 01;
- 02 ocorrências de queima do retificador da fonte CC do regulador de velocidade da unidade 02;
- 17 ocorrências de queima de cartões eletrônicos com microprocessadores do regulador de velocidade das unidades 01 e 02 (CPUs);
- 04 ocorrências de queima de transdutores de tensão e frequência das unidades 01 e 02.
- Desde 2000 quando a entrada em operação do Bay da unidade 03, ao ser sincronizada a unidade 01, o disjuntor da unidade 03 abre sem atuação de proteção ou comando proveniente de ligação de fiação errada. Aproximadamente 20 ocorrências já foram observadas.
- 08 ocorrências de queima de bobinas de comando de válvulas de baixa tensão do regulador de velocidade da unidade 03.

Acerca das ocorrências anteriormente citadas, as providências adotadas foram no sentido de substituir as peças e/ou equipamentos danificados no intuito de colocar a unidade afetada em operação e posterior análise da ocorrência, através de oscilogramas. Nenhum estudo mais aprofundado, todavia, conseguiu até então definir as origens dos problemas e propor soluções. Todas as ocorrências levaram ao desligamento de carga do sistema Amapá, sendo que algumas, inclusive, levaram o referido sistema ao total apagão.

Alguns estudos preliminares efetuados por diversos órgãos da Eletronorte e de empresas externas apontaram para alguns caminhos. Contudo, a indisponibilidade de se efetuar testes no sistema em operação, aliado a falta de pessoal disponível para estudar exclusivamente essas ocorrências, fizeram com que até hoje nada fosse conclusivo e capaz de amenizar o problema. É possível aludir inicialmente a análise de algumas ocorrências feitas com oscilogramas pela equipe local, na tentativa de identificar uma causa externa que pudesse estar afetando os equipamentos internos da usina. Dentre as possibilidades cogitadas, tem-se: manobras de equipamentos de alta tensão; manobras de máquinas ou equipamentos no parque

de geração térmica, localizado na cidade de Santana (a 140 Km da Usina Coaracy Nunes); manobras em uma das 8 subestações existentes no sistema Amapá e oscilação de tensão e/ou frequências que viessem culminar em uma perturbação no sistema auxiliar da Usina.

Pode-se mencionar uma intervenção feita pelos engenheiros da Empresa Alstom — houve a tentativa de solucionar o problema do sincronismo da unidade 01, que abre o disjuntor da unidade 03. Nessa intervenção, foi levantada toda a ligação da fiação de campo, com o objetivo de encontrar alguma ligação elétrica entre os dois disjuntores, bem como feitas medições de tensão na saída dos TPs de barra da unidade 01. Na medição, observaram-se distorções na tensão de saída dos TPs, porém o trabalho não mais avançou.

Outra intervenção se deu pela equipe de engenheiros da Eletronorte Sede, mais precisamente do COGH (gerência de operação e manutenção da geração hidráulica). Foram estudados desenhos funcionais, a configuração do sistema da usina e com apoio de um professor da UFMG, algumas possibilidades foram levantadas, tais como: surtos de tensão causados por manobras de equipamentos de alta tensão, ruídos causados pela provável má qualidade no sistema de aterramento e incidências de distorções harmônicas que pudessem estar afetando o funcionamento de equipamentos fundamentais para a operação da Usina (o regulador de velocidade, por exemplo).

Surtos de tensão são o aumento repentino da tensão da rede elétrica com provável duração de alguns segundos, tendo como principal consequência o desligamento de equipamentos de alta potência. O surto de tensão é muito comum quando acontece desligamento de uma carga e a tensão excedente é momentaneamente dissipada por toda a linha de equipamentos do sistema. Com isso, vários danos elétricos podem ser ocasionados dentro de uma instalação, a exemplo de queima de equipamentos, perda de dados e desligamentos involuntários. Tal definição teórica pode ser o passo inicial para a elucidação dos problemas ocorridos na usina listados anteriormente.

Embora as tensões em um surto sejam altas, sua duração é muito pequena. Tipicamente, a onda de tensão se eleva muito depressa. A primeira pode levar em torno de 10 microssegundos, atingindo seu valor máximo (crista da onda), decrescendo então mais lentamente, atingindo 50% do valor máximo depois de 2 a 150 microssegundos. O valor máximo da tensão pode chegar a 110% do valor nominal. Nesse caso, os equipamentos alimentados próximos ao sistema em questão podem não suportar o aumento repentino da tensão e se danificarem. Analisando as várias ocorrências na Usina Coaracy Nunes, há evidência em demasia de que o problema foi devido a um surto de tensão em pelo menos um

incidente, dado que as fontes do regulador de velocidade queimaram no momento de manobra de uma seccionadora na Subestação Central.

Outro problema bastante comum em instalações industriais se refere a ruídos causados por indução magnética. Ruído é qualquer distúrbio ou sinal falso que, acoplado de diferentes maneiras numa linha de sinal de equipamentos e superposto ao sinal original, tende a alterar o conteúdo das informações. Reduz-se a precisão das medidas, controles e registros, tornando as malhas de controle mais instáveis e menos confiáveis. Como alguns equipamentos geram sinais de baixo nível (milivolts), qualquer campo elétrico ou magnético pode interferir nos sinais gerados. A respeito desse tema, serão realizadas análises no sentido de verificar a qualidade dos sinais captados pelos transdutores de tensão e frequência dos vários equipamentos da UHCN.

## 2.5 CONCLUSÃO

Neste capítulo, foi descrito todo o sistema auxiliar da UHCN, tanto CA como CC, detalhando a operação do mesmo, bem como seus intertravamentos e dados técnicos de placa dos transformadores envolvidos. O propósito foi de levar o leitor a uma compreensão detalhada do sistema a ser estudado. Da mesma forma, realizou-se um detalhamento do regulador de velocidade das unidades 01 e 02, enfatizando a alimentação CA e CC, em razão de se tratar do equipamento que mais tem queimado cartelas eletrônicas.

No próximo capítulo, é apresentada uma revisão sobre o tema qualidade de energia que servirá de base para a análise dos problemas listados nesse capítulo, mostrando os procedimentos para cálculo dos índices de qualidade da energia.

### 3 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA – QEE

Neste capítulo, é apresentado o conceito de QEE, seus elementos, aplicabilidades, e a importância do uso da QEE para o funcionamento do sistema elétrico de qualquer lugar, haja vista que um distúrbio na rede pode causar inúmeros transtornos aos usuários finais. Neste sentido, o papel da QEE é de prevenção, no intuito de evitar a ocorrência de tais problemas.

Segundo Chapman (2002, p. 03), “provavelmente, a energia elétrica é, na atualidade, a matéria-prima mais essencial utilizada pelo comércio e a indústria”. Neste sentido, conforme os benefícios que a energia leva às pessoas e instituições diariamente e tendo em vista a demanda por este produto que vem crescendo a cada ano, é natural que as fornecedoras e órgãos reguladores se preocupem com a qualidade do serviço prestado.

Assim, a QEE se estabelece a partir de parâmetros os quais devem ser observados para garantir que o fornecimento de energia elétrica chegue ao usuário final com perdas mínimas e sem perturbações (variações) aos consumidores.

#### 3.1 BREVE HISTÓRICO DA QEE

A história da QEE se confunde com a própria história da energia no Brasil, que teve sua gênese ainda no século XIX, quando o governo brasileiro, capitaneado por Dom Pedro II (1825-1891), iniciou o processo de implantação do serviço público de energia elétrica. Concedeu-se, em 1879, autorizações ao pai da eletricidade, Thomas Alva Edison (1847-1931), a respeito de instalação de equipamentos recém inventados para serem utilizados na iluminação pública (ELETROBRÁS, 2006).

O sistema de iluminação pública permanente da Estação Central da Estrada de Ferro (atualmente conhecida como Estrada de Ferro Central do Brasil) foi inaugurado na cidade do Rio de Janeiro, em 1879. Esse sistema consistia na geração de energia elétrica por um dínamo acionado por locomoveis (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1881, a expansão do setor de energia continuou a “todo vapor” com a inauguração do sistema externo de iluminação pública implantado no antigo Jardim do Campo da Aclamação (atual Praça da República) do Rio de Janeiro. Esta abertura foi considerada a primeira iluminação pública do Brasil de fato (ELETROBRÁS, 2006).

A partir de 1883, as primeiras usinas hidrelétricas começaram a entrar em operação — caso da Usina Hidrelétrica do Brasil, situada em Ribeirão do Inferno. O afluente era o rio Jequitinhonha, servindo às demandas de energia do setor de mineração, localizado na cidade

de Diamantina – MG. Em 1885, entrou em funcionamento a Usina Hidrelétrica da Companhia Fiação e Tecidos São Silvestre, em Viçosa – MG, visando atender a demanda da indústria de tecidos naquela região (ELETROBRÁS, 2006; FUSP, 2006).

Em 1888, foi criada a Companhia Mineira de Eletricidade, uma concessionária de serviço público que objetivava o fornecimento de iluminação pública e particular na cidade de Juiz de Fora – MG. Em 1889, foi inaugurada a Usina Hidrelétrica Marmelos-Zero, considerada a usina de maior porte no país daquele período, cuja operação gerava até 250 KW de potência (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1892, o transporte público recebeu um salto de qualidade com a chegada dos bondinhos elétricos. Foi inaugurada a primeira linha de bondes elétricos, de responsabilidade da Companhia Ferro-Caril, no Rio de Janeiro (ELETROBRÁS, 2006).

Nos anos seguintes (1903 e 1904), o governo brasileiro promulgou as primeiras leis de regulamentação da energia elétrica: Lei 1145/1903 e Decreto 5704/1904. As especificações versavam sobre o aproveitamento da energia hidráulica dos rios aos serviços públicos e também para as indústrias que estavam emergindo no país nesta época (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1909, foi inaugurada a Companhia Brasileira de Energia Elétrica – CBEE, responsável pela produção e distribuição da energia elétrica para todo o estado do Rio de Janeiro. Em 1927, o grupo passa para o controle acionário do grupo AMFORP, cuja ampliação permitiu que operasse, em nove capitais do Brasil no ano de 1930 (ELETROBRÁS, 2006).

No ano de 1939, com a criação do Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), todos os assuntos referentes ao setor elétrico se tornaram controlados por esse conselho. Foi um órgão influente no setor elétrico brasileiro até a implantação do Ministério de Minas e Energia (1960) e das Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás). Quatro anos depois, passou a ser a responsável pela expansão do setor elétrico do país (1961) (ELETROBRÁS, 2006).

Entre os anos de 1984 e 1985, começa o funcionamento de grandes hidrelétricas, com o intuito de atender as grandes e crescentes demandas de energia no país: entram em operação as Usinas Hidrelétricas de Tucuruí e Itaipú. Juntas, passaram a fornecer mais de 20 mil MW de potência (ELETROBRÁS, 2006).

Nos dias atuais, a demanda por energia continua em ascensão, sendo necessária cada vez mais a análise da qualidade da energia fornecida aos consumidores residenciais, comerciais e industriais. Sob esta ótica, a preocupação com a qualidade da energia passou a

ocupar o trabalho de engenheiros do setor. O primeiro objeto de estudo da qualidade foi a continuidade do fornecimento do serviço, uma vez que qualquer interrupção do fornecimento de energia implicava em problemas de várias ordens (MEHL, 2005).

Assim, no início da década de 70, uma revisão na legislação do setor não verificou normas de qualidade para o fornecimento de energia elétrica. O único parâmetro utilizado pelas empresas para a qualidade tinha como base as séries temporais geradas pelos sistemas, as quais serviam de base para projeções futuras.

Somente a partir do final desta década, em 1978, com a portaria 46/78 do extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, a qualidade passou a ser definida e exigida em nível nacional, estabelecendo indicadores de controle para a continuidade do fornecimento de energia. Os primeiros índices de qualidade surgidos foram a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora - DEC e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – FEC (HASSIN et al, 1999).

Nos anos 90, com o programa de privatização de estatais do governo brasileiro, o setor elétrico foi atingido. Com isso, o DNAEE criou o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade, com a finalidade de elaborar estudos acerca da qualidade da energia elétrica em nível nacional. A primeira ação desse grupo foi a atualização os indicadores de qualidade DEC e FEC, haja vista que não estavam mais suprindo a demanda de regulação da qualidade do serviço de energia elétrica no Brasil (HASSIN, 1999; DNAEE, 1992).

A partir de 2009, a qualidade da energia ganhou aperfeiçoamento e novos índices de medição da qualidade surgiram, como DIC, FIC e DMIC. As metodologias são definidas e padronizadas, além de contidas nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. A ANEEL passou a ter um controle rigoroso na avaliação da qualidade da energia que chega aos lares e indústrias de todo o país.

### 3.2 CONCEITO DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA – QEE

De acordo com Deckmann e Pomilio (2010, p. 05), o termo QEE tem sido usado pelos profissionais do setor elétrico para “expressar as mais variadas características da energia elétrica entregue pelas concessionárias aos consumidores”. Um conceito mais abrangente é apresentado pelos autores:

Uma definição abrangente define QEE como sendo uma medida de quão bem a energia elétrica pode ser utilizada pelos consumidores. Essa medida

inclui características de continuidade de suprimento e de conformidade com certos parâmetros considerados desejáveis para a operação segura, tanto do sistema supridor como das cargas elétricas

Segundo a Eletrobrás (2009, p. 71), “a qualidade da energia elétrica está relacionada com qualquer desvio que possa ocorrer na magnitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica”. Tal designação também se refere à interrupções de natureza permanente ou transitórias, e todos esses parâmetros afetam o desempenho do fornecimento de energia. Os parâmetros objetos de estudos pela QEE e considerados desejáveis para a segurança do fornecimento de energia são:

1. desequilíbrio de tensão;
2. flutuação de tensão;
3. variação de tensão de curta duração;
4. variações de frequência;
5. harmônicos;
6. tensão em regime permanente;
7. fator potência.

Esses desvios também são conhecidos como distúrbios e “podem ocorrer em várias partes do sistema de energia, seja nas instalações de consumidores ou no sistema supridor da concessionária” (ELETROBRÁS, 2008, p. 72). A questão da qualidade de energia acompanha a evolução do setor elétrico tanto em nível local quanto em mundial. Duas das principais razões que causam problemas no fornecimento são:

- instalação cada vez maior de cargas não-lineares. A crescente automação, a substituição de chaves de partida por inversores de frequência e o uso cada vez maior de CLPs, aumentam os níveis de distorções harmônicas e podem levar o sistema a condições de ressonância;
- maior sensibilidade por parte dos equipamentos instalados aos efeitos (distúrbios) de qualidade de energia (ELETROBRÁS, 2008, p. 72)

Assim, a importância na monitoração dos parâmetros que causam distúrbios na rede elétrica reside no fato da prevenção de problemas físicos com aparelhos eletrônicos, prejuízos com pessoas e desperdício de verbas, uma vez que os desvios geram prejuízos de alto custo.

### 3.3 PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DA ENERGIA

Para diagnosticar uma causa de um problema na qualidade de energia elétrica, é preciso que os engenheiros desenvolvam uma série de estudos para detecção de tais distúrbios. Uma metodologia recomendável por Deckmann e Pomilio (2010) estabelece que a pesquisa de verificação deve seguir os seguintes passos:

1. Em primeiro lugar, deve-se conhecer os problemas que se poderá enfrentar;
2. Deve-se estudar as condições locais onde o problema se manifesta;
3. Se possível, medir e registrar as grandezas contendo os sintomas do problema;
4. Analisar os dados e confrontar os resultados obtidos com estudos ou simulações;
5. Finalmente, diagnosticar o problema, sua possível causa e propor soluções.

Saber os aspectos do local do problema também é um fator importante para o engenheiro que estuda os problemas de distúrbios na rede elétrica, visto que tais características interferem na forma como o problema se apresenta. Ademais, uma rigorosa medição é fundamental para a averiguação dos desvios na rede: deve-se “saber escolher corretamente os instrumentos de medida e os locais mais adequados para a sua instalação pode ser decisivo para se conseguir detectar e quantificar o problema” (DECKMANN; POMILIO, 2010, p. 11).

### 3.3.1 Terminologia da QEE

Contidas nas normas atuais, são consideradas definições importantes para a QEE:

Quadro 01 – Terminologia utilizada pela QEE

<b>Terminologia</b>	<b>Conceito</b>
Componente Fundamental	é a componente senoidal, na frequência nominal da rede, de um sinal de tensão ou corrente.
Compatibilidade Eletromagnética	é a capacidade de um equipamento ou sistema operar satisfatoriamente no seu ambiente eletromagnético, sem impor distúrbios eletromagnéticos intoleráveis nesse ambiente.
Desequilíbrio ou Desbalanço de Tensão	é o desvio, em sistemas trifásicos, nos módulos e/ou ângulos das tensões em relação à condição equilibrada, caracterizada pela igualdade dos módulos e defasagem de 120° entre si.
Distúrbio Eletromagnético	é qualquer fenômeno eletromagnético capaz de degradar o desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema e afetar adversamente matéria viva ou inerte.
Distorção Harmônica	é a distorção na forma do sinal de tensão ou corrente alternada causada por harmônicos, componentes senoidais, com frequências iguais a múltiplos inteiros da frequência do sistema.
Função Distribuição de Tensão	é uma função que apresenta a distribuição estatística de ocorrências de níveis de tensão, obtidas através de medição apropriada (constante de tempo < 90s), considerando intervalos de amplitude iguais a 1% da tensão nominal. Objetiva identificar a quantidade de ocorrências de

	níveis de tensão fora dos limites adequados ou fora dos limites precários.
Flutuação de Tensão	é uma série de variações regulares ou irregulares no valor eficaz ou na amplitude da tensão. Muitas vezes, causa o efeito de cintilação (Flicker), que é a impressão visual resultante das variações do fluxo luminoso das lâmpadas.
Interferência eletromagnética	é a degradação do desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema causada por um distúrbio eletromagnético.
Limites Adequados da Tensão Medida	são os limites admissíveis de variação da tensão medida para as condições permanentes de funcionamento do sistema.
Limites Precários de Tensão Medida	são os limites admissíveis de variação da tensão medida para condições provisórias de funcionamento do sistema.
Nível de emissão	é o nível de um determinado distúrbio eletromagnético emitido por um dispositivo, equipamento ou sistema, medido de acordo com uma dada especificação.
Nível de imunidade	é o nível máximo de um dado distúrbio eletromagnético, incidente sob certas condições em um dado dispositivo, equipamento ou sistema, sem que ocorra degradação de operação.
Nível de compatibilidade	é o nível de distúrbios eletromagnéticos usado como referência para a coordenação entre o nível de emissão e de imunidade dos equipamentos.
Ponto de Entrega ou de Acoplamento	é a fronteira entre as instalações da concessionária e as do consumidor.
Tensão de Fornecimento	é a tensão eficaz fixada pela concessionária, em contrato de fornecimento de energia elétrica.
Tensão Medida	é a média das tensões eficazes obtidas por medição, em um intervalo de tempo de 10 minutos, no ponto de entrega de um consumidor.
Tensão Medida Máxima e Mínima	são, respectivamente, os valores máximo e mínimo de um conjunto de tensões eficazes medidas, obtidas sequencialmente em um período pré-determinado, segundo procedimento específico vigente.
Tensão Nominal	é a tensão eficaz fixada como base para um sistema de energia elétrica.
Variação de Tensão	é o aumento ou redução do valor eficaz ou da amplitude de tensão, durante um dado intervalo de tempo.

Fonte: Adaptado de Deckmann e Pomilio (2010)

Ainda segundo Deckmann e Pomilio (2010), é necessário conhecer as divisões dos desvios para estudá-los. Essas classificações podem ser em função da duração do evento (curta, média ou longa), da faixa de frequência (baixa, média ou alta), dos efeitos causados (aquecimento, vibração, cintilação luminosa, erro de medida, perda de eficiência, redução da vida útil) e da intensidade (pequeno, médio ou grande impacto). Os distúrbios são apresentados nos próximos tópicos.

### 3.3.2 Desequilíbrio de Tensão

De acordo com o PRODIST (ANEEL, 2012, p. 21) o desequilíbrio de tensão é “o fenômeno associado a alterações dos padrões trifásicos do sistema de distribuição”. Tais

variações “são causadas pela conexão desigual de cargas mono ou bifásicas em sistemas trifásicos” (DECKMANN; POMILIO, 2010, p. 10). Dugan (1996) também reforça que os desequilíbrios de tensão podem ser caracterizados como a relação entre a componente de seqüência negativa pela componente de seqüência positiva dos Sinais de correntes ou tensões trifásicas.

Este problema aumenta quando usuários alimentados pelo sistema trifásico possuem uma má distribuição de carga em seus circuitos internos, gerando assim correntes desequilibradas no circuito da concessionária. As tensões desequilibradas podem também ser fruto de outro problema relacionado a queima de fusíveis em uma fase de um banco de capacitores trifásicos (DANTAS, 2006).

O cálculo para o desequilíbrio de tensão, (ANEEL, 2012), é dado por:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100 \quad 01$$

De forma alternada, também se pode utilizar a seguinte expressão (ANEEL, 2012) para o cálculo do desequilíbrio de tensão:

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad 02$$

Em que:

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad 03$$

Sendo:

Quadro 02 – Identificação das variáveis do desequilíbrio de tensão

IDENTIFICAÇÃO DA GRANDEZA	SÍMBOLO
Fator de desequilíbrio	FD
Magnitude da tensão de seqüência negativa (RMS)	V-
Magnitude da tensão de seqüência positiva (RMS)	V+
Magnitudes das tensões trifásicas de linha (RMS)	V <sub>ab</sub> , V <sub>bc</sub> e V <sub>ca</sub>

Fonte: ANEEL (2012)

Conforme o PRODIST (ANATEL, 2012, p. 22), os valores de referência de barramento para este parâmetro devem ser iguais ou superiores a 2%: “esse valor serve para referência do planejamento elétrico em termos de QEE e que, regulatoriamente, será estabelecido em resolução específica, após período experimental de coleta de dados”.

### 3.3.3 Flutuação de Tensão

De acordo com o PRODIST (ANEEL, 2012, p. 23) “a flutuação de tensão é uma variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor da tensão”. O cálculo da qualidade da tensão de um barramento de um sistema de distribuição por flutuação de tensão objetiva “avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa no consumidor, que tenha e sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentado em baixa tensão” (ANEEL, 2012, p. 23).

Conforme Delmont Filho (2003), as flutuações de tensão compreendem as variações sistemáticas dos valores eficazes da tensão de suprimento, dentro da faixa compreendida entre 0,95 e 1,05 pu. Essas flutuações são costumeiramente causadas por cargas pesadas (como as industriais) e manifestam-se de diferentes formas, principalmente as destacadas abaixo:

- **Flutuações Aleatórias:** as principais fontes destas flutuações são os fornos a arco. As amplitudes das oscilações dependem do estado de fusão do material, bem como do nível de curto-circuito da instalação.
- **Flutuações Repetitivas:** dentre as principais fontes geradoras de flutuações desta natureza, têm-se as máquinas de solda, elevadores de minas e ferrovias.
- **Flutuações Esporádicas:** a principal fonte causadora destas oscilações é a partida direta de grandes motores.

Delmont Filho (2003) argumenta ainda que os principais efeitos nos sistemas elétricos resultantes das oscilações causadas pelos equipamentos mencionados anteriormente são:

- Oscilações de potência e torque das máquinas elétricas;
- Queda de rendimento dos equipamentos elétricos;
- Interferência nos sistemas de proteção;
- Efeito *flicker* ou cintilação luminosa.

O fenômeno *flicker* é um dos efeitos mais comuns dentre os provocados pelas oscilações de tensão. Este tema merece especial atenção, haja vista que o desconforto visual associado a perceptibilidade do olho humano às variações da intensidade luminosa é, em toda extensão, indesejável. A intensidade do efeito *flicker* está associada à amplitude das oscilações e duração do distúrbio (ou ciclo de operação) da carga perturbadora (DANTAS, 2006).

As variáveis para o cálculo da flutuação são:

Quadro 03 – Variáveis da flutuação de tensão

<b>Identificação da Grandeza</b>	<b>Símbolo</b>
Severidade de Curta Duração	Pst
Severidade de Longa Duração	Plt
Valor diário do indicador Pst que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de 24 hs	PstD95%
Valor semanal do indicador Plt que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de sete dias completos e consecutivos.	PltS95%
Fator de Transferência	FT

Fonte: ANEEL (2012)

Para o cálculo dos indicadores Pst e Pit, deve-se utilizar a expressão definida pelo manual do PRODIST (ANEEL, 2012):

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad 04$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_{sti})^3}$$

05

O indicador Pst representa “a severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 minutos” (ANEEL, 2012, p. 24), enquanto que o indicador Pit mostra a “severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão num período contínuo de 2 horas, através da composição de 12 valores consecutivos de Pst” (p. 25).

Os valores de referência para o QEE, são estabelecidos na seguinte tabela:

Tabela 01 – Valores de referencia do QEE para a flutuação de tensão

<b>Valor de Referência</b>	<b>PstD95%</b>	<b>PitS95%</b>
Adequado	< 1 p.u. / FT	< 0,8 p.u. / FT
Precário	1 p.u. – 2 p.u. / FT	0.8 – 1.6 p.u. / FT
Crítico	> 2 p.u. / FT	> 1,6 p.u. / FT

Fonte: ANEEL (2012)

Valores dos indicadores PstD95% ou PitS95% que estejam fora da faixa indicada como normal na QEE devem ser avaliados pelos engenheiros responsáveis. Proceder-se com as devidas correções no sistema.

### 3.3.4 Variação de Tensão de Curta Duração

A Variação de Tensão de Curta Duração – VTCD é definida no PRODIST (ANEEL, 2012, p. 26) como “desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos espaços de tempo”. As VTCD apresentam duração típica entre 0,5 ciclo a 1 minuto, podendo ser subdivididas em alterações instantâneas, momentâneas ou temporárias, o que depende da duração do fenômeno.

Essas variações de tensão geralmente são causadas por condições de falta de energização de grandes cargas, as quais requerem altas correntes de partida, bem como por intermitentes falhas nas conexões dos cabos do sistema. As VTCD mais comuns são:

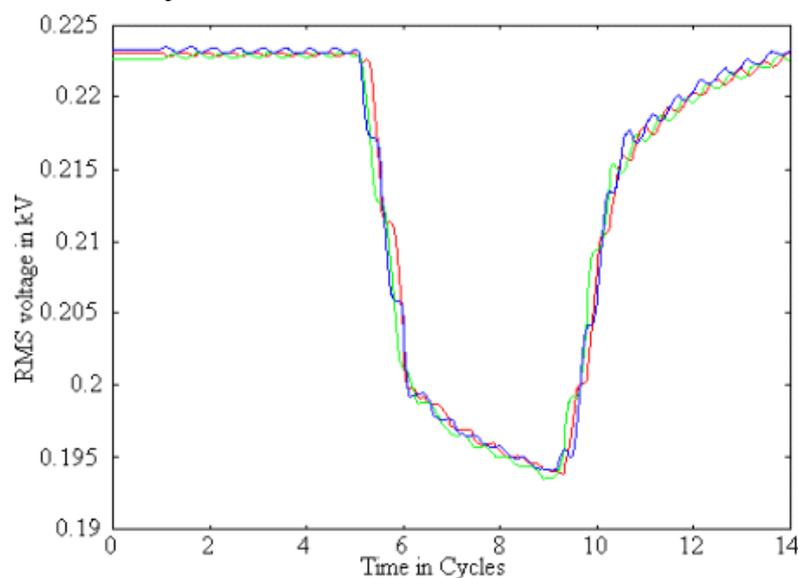
Tabela 02 – Classificação de uma Variação de Tensão de Curta Duração de acordo com as variações momentânea e temporária de tensão

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: ANEEL (2012)

Os afundamentos momentâneos de tensão (*Sags*) são responsáveis por cerca de 87% de todos os distúrbios elétricos, ou seja, são os mais comuns e podem ocorrer por falhas no próprio sistema de energia, problemas de equipamentos, mau funcionamento de sistemas de controle. Problemas também podem ser causados pela energização de grandes cargas, partida de grandes motores e pela corrente de energização de um transformador, se caracterizando por uma redução no valor eficaz da tensão. Sua amplitude varia de 0,1 a 0,9 pu (ELETROBRÁS, 2008; SILVA, 2001).

Gráfico 02 – Exemplo de um afundamento de tensão, falta trifásica de 4 ciclos.



Fonte: UFMG (2013)

As elevações momentâneas de tensão (*Swel*) são definidas como “um aumento entre 1,1 e 1,8 pu na tensão eficaz, na frequência da rede, com duração entre 0,5 ciclo a 1 minuto” (ELETROBRÁS, 2009, p. 74). A falha de um *Swell* durante uma situação de falta é função do próprio local da falta, do impedimento do sistema e do aterramento. “Sua duração está intimamente ligada aos ajustes dos dispositivos de proteção, à natureza da falta (permanente ou temporária) e à sua localização na rede elétrica” (ELETROBRÁS, 2009, p. 74).

As elevações de tensão também estão geralmente associadas à explanação a seguir:

Este fenômeno pode estar associado à saída de grandes blocos de cargas ou à energização de grandes bancos de capacitores, porém, com uma incidência pequena se comparada com as sobretensões provenientes de faltas fase-terra nas redes de transmissão e distribuição. Esse efeito de sobretensão é causa de vários transtornos e diminuição da vida útil de equipamentos eletrônicos (ELETROBRÁS, 2009, p. 74)

Dois exemplos típicos das consequências das elevações de tensão podem ser ilustrados nos aparelhos eletrônicos, que geram aumento de luminosidade, assim como em um banco de capacitores, cujo aumento pode causar danos severos ao equipamento. Assim, Delmont Filho (2003) afirma que a preocupação principal recai sobre os equipamentos eletrônicos, porque tais elevações podem vir a danificar os componentes internos destes equipamentos, conduzindo-os à má operação, ou completa inutilização (em casos extremos).

Com relação à interrupção de curta duração, essa paralisação ocorre quando “a tensão de suprimento decresce para um valor menor que 0,1 pu por um período de tempo não superior a 1 minuto” (ROSENTINO JUNIOR; GONDIM; BERNARDES, 2005, p. 02). Se a tensão de fornecimento permanece nula ou próxima de zero por um período de tempo superior a 1 minuto, trata-se de uma interrupção sustentada. Suas causas podem ser:

Faltas no sistema de energia; falhas de equipamentos; mal funcionamento de sistemas de controle; curtos-circuitos decorrentes de descargas atmosféricas e danos na rede causados por tempestades. Os efeitos surgidos são: falhas de equipamentos eletrônicos e de iluminação; desligamento de equipamentos; interrupções do processo produtivo (ROSENTINO JUNIOR; GONDIM; BERNARDES 2005 p. 02)

No PRODIST, estão contidos os parâmetros para estimar a qualidade da VTCD, cujas variáveis são:

Quadro 04 – Terminologia da VTCD

<b>Identificação do Distúrbio</b>	<b>Sigla</b>
Varição de Tensão de Curta Duração	VTCD
Interrupção Momentânea de Tensão	IMT
Afundamento Momentâneo de Tensão	AMT
Elevação Momentânea de Tensão	EMT
Interrupção Temporária de Tensão	ITT
Afundamento Temporário de Tensão	ATT
Elevação Temporária de Tensão	ETT

Fonte: ANEEL (2012)

Sobre a análise da qualidade em uma VTCD, além dos parâmetros duração e amplitude já definidos, “a severidade da VTCD, medida entre fase e neutro, de determinado barramento do sistema de distribuição é também caracterizada pela frequência de ocorrência” (ANEEL, 2012, p. 28). Esta corresponde à quantidade de vezes que cada combinação dos parâmetros duração e amplitude ocorrem em determinado período de tempo ao longo do qual o barramento tenha sido monitorado.

A medição da qualidade deve seguir as seguintes as orientações da ANEEL:

O indicador a ser utilizado para conhecimento do desempenho de um determinado barramento do sistema de distribuição com relação às VTCD corresponde ao número de eventos agrupados por faixas de amplitude e de duração, discretizados conforme critério estabelecido a partir de levantamento de medições. Num determinado ponto de monitoração, uma VTCD é caracterizada a partir da agregação dos parâmetros amplitude e duração de cada evento fase-neutro. Assim sendo, eventos fase-neutro simultâneos são primeiramente agregados compondo um mesmo evento no ponto de monitoração (agregação de fases). Os eventos consecutivos, em um período de três minutos, no mesmo ponto, são agregados compondo um único evento (agregação temporal) (ANEEL, 2012, p. 28)

Conforme se verificou, a VTCD se caracteriza por dois principais eventos: a magnitude e a duração. Dependendo de sua intensidade e tempo de permanência, geram-se o afundamento, a elevação e a interrupção de tensão.

A magnitude  $V_{mag}$  é definida como “nível extremo do valor eficaz da tensão, tensão residual ou remanescente ( $V_{res}$ ) em relação à tensão nominal ( $V_n$ ) no ponto de observação,

expresso em porcentagem ou valor por unidade (pu)” (DECKMANN; POMILIO, 2010, p.13).

A  $V_{mag}$  é expressa por:

$$V_{Mag} = \frac{V_{res}}{V_n} (pu) \quad ou \quad V_{Mag} \% = \frac{V_{res}}{V_n} \cdot 100 (\%) \quad 06$$

A duração do evento ( $\Delta t$ ) é definida como “o intervalo de tempo decorrido entre o instante inicial ( $t_i$ ) em que o valor eficaz ultrapassa determinado limite de referência ( $V_{ref}$ ) e o instante final ( $t_f$ ) em que a mesma variável volta a cruzar esse limite” (DECKMANN; POMILIO, 2010, p.13), expressos na unidade de segundos ou ciclos.

A duração  $\Delta t$  é expressa como:

$$\Delta t = t_f - t_i \quad (\text{segundos ou ciclos}) \quad 07$$

Para se concluir acerca do tipo de VTCD que está ocorrendo na rede, basta comparar os dados calculados de  $V_{mag}$  e  $\Delta t$  com os dados da tabela 01 de tipos de VTCD e inferir se o problema foi de elevação, afundamento ou interrupção de tensão.

### 3.3.5 Variações de Frequência

As variações de frequência de um sistema elétrico são definidas como “os desvios no valor da frequência fundamental deste sistema (50 ou 60 Hz)” (ELETROBRÁS, 2009, p. 79). Sabe-se que a frequência do sistema de potência está diretamente associada à velocidade de rotação dos geradores que alimentam o sistema. Assim, pequenas variações na frequência podem ser detectadas na faixa de  $60 \pm 0,5\text{Hz}$ .

As instalações de geração conectadas ao sistema de distribuição devem garantir que a frequência retorne para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, no prazo de 30 (trinta) segundos após sair desta faixa, quando de distúrbios no sistema de distribuição, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração (ANEEL, 2012, p. 29)

A amplitude da variação e sua duração dependem das características da carga e da resposta do regulador de velocidade da geração.

Caso exista a necessidade de corte de geração ou de carga para restabelecer o equilíbrio carga-geração, a frequência não pode ultrapassar 66 Hz ou baixar de 56.5 Hz. Também com o objetivo de restabelecer o sistema, a frequência pode permanecer constante acima de 62 HZ por no máximo 30 segundos e acima de 63.5 Hz por no máximo 10 segundos. De modo semelhante, é possível permanecer abaixo de 58.5 Hz por no máximo 10 segundos e abaixo de 57.5 Hz por no máximo 5 segundos (ANEEL, 2012, p. 29).

### 3.3.6 Harmônicos

Distorções harmônicas “são fenômenos associados com deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental” (ANEEL, 2012, p. 19). Tal conceito é reforçado por Delmont Filho (2003), ao afirmar que harmônicas são tensões ou correntes senoidais de frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental em que opera o sistema de energia elétrica. Tais harmônicos distorcem as formas de onda da tensão e corrente, sendo oriundos de equipamentos e cargas com características não lineares instalados no sistema de energia.

Até alguns anos atrás, não havia grandes preocupações com harmônicos, uma vez que as cargas com características não lineares eram pouco utilizadas e os equipamentos eram mais resistentes aos efeitos provocados por harmônicas. Entretanto, diante do rápido desenvolvimento da eletrônica e de aparelhos cada vez mais sofisticados, o conteúdo harmônico presente nos sistemas tem se elevado. Ocorre uma série de efeitos indesejáveis em diversos equipamentos ou dispositivos, comprometendo a qualidade e o próprio uso racional da energia elétrica (DANTAS, 2006).

A QEE dos harmônicos é trabalhada com base na seguinte terminologia:

Quadro 05 – Terminologia dos parâmetros dos harmônicos

<b>Identificação da Grandeza</b>	<b>Símbolo</b>
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DIT_n\%$
Distorção harmônica total de tensão	DTT %
Tensão harmônica de ordem h	$V_h$
Ordem harmônica	H
Ordem harmônica máxima	Hmáx
Ordem harmônica mínima	Hmin
Tensão fundamental medida	$V_1$

Fonte: ANEEL (2012)

É pertinente conhecer os percentuais de distorções harmônicas DITH% e DTT%, dados pelas equações:

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad 08$$

$$DTT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=máx} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad 09$$

Os valores de referência para avaliação da QEE nos harmônicos são estudados com base na distorção total de tensão DTT%, conforme o quadro seguinte:

Quadro 06 – valores de referência para a DTT%

<i>Tensão nominal do Barramento</i>	<i>Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT) [%]</i>
$V_N \leq 1kV$	10
$1kV < V_N \leq 13,8kV$	8
$13,8kV < V_N \leq 69kV$	6
$69kV < V_N < 230kV$	3

Fonte: ANEEL (2012)

As distorções harmônicas individuais também possuem valores de referências para análise da QEE, conforme quadro seguinte:

Quadro 07 – valores de referência para a DITH%

<b>Ordem Harmônica</b>	<b>Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]</b>				
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n \leq 13,8 \text{ kV}$	$13,8 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$	
Ímpares não múltiplas de 3	5	7,5	6	4,5	2,5
	7	6,5	5	4	2
	11	4,5	3,5	3	1,5
	13	4	3	2,5	1,5
	17	2,5	2	1,5	1
	19	2	1,5	1,5	1
	23	2	1,5	1,5	1
	25	2	1,5	1,5	1
	>25	1,5	1	1	0,5
Ímpares múltiplas de 3	3	6,5	5	4	2
	9	2	1,5	1,5	1
	15	1	0,5	0,5	0,5
	21	1	0,5	0,5	0,5
	>21	1	0,5	0,5	0,5
Pares	2	2,5	2	1,5	1
	4	1,5	1	1	0,5
	6	1	0,5	0,5	0,5
	8	1	0,5	0,5	0,5
	10	1	0,5	0,5	0,5
	12	1	0,5	0,5	0,5
	>12	1	0,5	0,5	0,5

Fonte: ANEEL (2012)

A análise da qualidade dos harmônicos se dá em função de que quando ocorrem problemas dessa natureza, problemas técnicos e perdas econômicas são provocados. Os problemas técnicos são de ordem de interrupção do fornecimento de energia pela abertura de chaveamento, dificultando sistemas de telefonia e de transmissão de dados. A perda econômica é em virtude da aceleração dos harmônicos e, portanto, envelhecimento dos equipamentos elétricos (ELETROBRÁS, 2009).

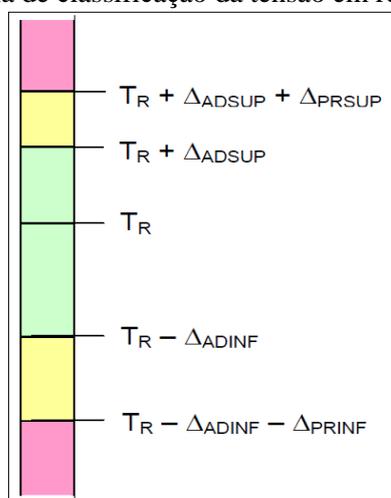
### 3.3.7 Tensão em regime permanente

A tensão em regime permanente compreende “o intervalo de tempo da leitura de tensão, definido como sendo de dez minutos, em que não ocorrem distúrbios elétricos capazes de invalidar a leitura” (GRANDI; SIQUEIRA, 2012, p. 01). Para se proceder com a análise de QEE para este tipo de distúrbio, limites adequados, precários e críticos devem ser estabelecidos aos níveis de tensão em regime permanente, assim como os indicadores individuais e coletivos de conformidade de tensão elétrica e critérios de medição e registro para uma análise rigorosa de QEE (ANEEL, 2012).

A conformidade de tensão elétrica é uma comparação que os analistas fazem entre os valores de tensão obtidos por medição, no ponto de conexão, e os níveis de tensão especificados na faixa de adequados, precários e críticos (ANEEL, 2012).

O PRODIST (ANEEL, 2012) mostra que a tensão de atendimento associada às leituras deve ser classificada de acordo com as faixas em torno da tensão de referência –  $T_R$ , conforme figura seguinte:

Figura 13 – Faixa de classificação da tensão em regime permanente



Fonte: ANEEL (2012)

As faixas de classificação são estabelecidas assim:

Quadro 08 – Critérios de classificação da Tensão em Regime Permanente

Faixas	Critérios
$T_R$	Tensão de referência
$T_R + \Delta_{ADSUP}$ a $T_R - \Delta_{ADINF}$	Faixa Adequada de Tensão
$T_R + \Delta_{ADSUP}$ a $T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP}$ OU $T_R - \Delta_{ADINF}$ a $T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF}$	Faixa Precária de Tensão
maior que: $T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP}$ OU menor que: $T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF}$	Faixa Crítica de Tensão

Fonte: Adaptado de ANEEL (2012)

Os indicadores de QEE na tensão em regime permanente são classificados em individuais e coletivos. Para os indicadores individuais, o PRODIST (ANEEL, 2012) recomenda que sejam coletadas 1008 amostras de medições da tensão no intervalo de 10 em 10 minutos. Essas medições devem estar rigorosamente válidas. Após a coleta, são feitos os cálculos do índice de tensão precária – DRP e o índice de tensão crítica – DRC, definidos pelas equações:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \cdot 100[\%] \quad 10$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \cdot 100[\%] \quad 11$$

Os parâmetros nlp e nlc representam o maior valor entre as fases do número de leituras situadas respectivamente nas faixas precária e crítica.

Em relação aos indicadores coletivos, as amostras das leituras devem ser coletadas trimestralmente, obedecendo aos seguintes critérios para o cálculo amostral:

Tabela 03 – Cálculo de amostra para os indicadores coletivos

Número total de unidades consumidoras da distribuidora	Dimensão da amostra (unidades consumidoras)	Dimensão da amostra com a margem de segurança (unidades consumidoras)
$N \leq 10.000$	26	30
$10.001 \leq N \leq 30.000$	36	42
$30.001 \leq N \leq 100.000$	60	66
$100.001 \leq N \leq 300.000$	84	93
$300.001 \leq N \leq 600.000$	120	132
$600.001 \leq N \leq 1.200.000$	156	172
$1.200.001 \leq N \leq 2.000.000$	210	231
$2.000.001 \leq N \leq 3.000.000$	270	297
$N \geq 3.000.001$	300	330

Fonte: ANEEL (2012)

Em seguida, deve ser calculado o Índice de Unidades Consumidores com Tensão Crítica – ICC, por meio da equação:

$$ICC = \frac{N_c}{N_L} \cdot 100[\%] \quad 12$$

Onde:

- $N_c$  – total de unidades consumidoras com DRC não nulo;
- $N_L$  – total trimestral de unidades consumidoras de objeto de medição.

Nos indicadores coletivos, é possível determinar os índices equivalentes por consumidor por meio dos cálculos do índice de duração relativa da transgressão para tensão precária equivalente –  $DRP_E$  e o índice de duração relativa da transgressão para tensão crítica equivalente –  $DRC_E$ , conforme as equações:

$$DRP_E = \sum \frac{DRP_i}{N_L} [\%] \quad 13$$

$$DRC_E = \sum \frac{DRC_i}{N_L} [\%] \quad 14$$

Onde:

- $DRP_i$  – duração relativa de transgressão de tensão precária individual da unidade consumidora (i);
- $DRC_i$  – duração relativa de transgressão de tensão crítica individual da unidade consumidora (i);

-  $N_L$  – número total de unidades consumidoras da amostra.

O PRODIST (ANEEL, 2012) recomenda que o valor da duração relativa da transgressão máxima de tensão precária – DRPM fique estabelecido com limite em 3%. Ademais, o valor da duração relativa da transgressão máxima de tensão crítica – DRCM deve ficar estabelecido em 0,5%.

### 3.3.8 Fator Potência

O fator potência é definido como “a relação entre a potência ativa e a potência aparente. Ele indica a eficiência do uso da energia. Um alto fator de potência indica uma eficiência alta e inversamente, um fator baixo, indica baixa eficiência” (ELETROBRÁS, 2012).

O fator potência deve ser calculado a partir dos valores das potências ativa (P) e aparente (Q) ou com uso das respectivas energias ( $E_A$  ou  $E_R$ ), por meio das equações:

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad \text{ou} \quad \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}} \quad 15$$

Os valores de referência para análise de QEE no fator de potência são descritos no quadro a seguir:

Quadro 09 – Valores de referência para o QEE do fator de potência

Tensão	Referência
Inferior a 230 kV	0,92 a 1,00 indutivo ou 1,00 a 0,92 capacitivo
Acima de 230 kV	Consultar o Procedimento de Rede

Fonte: Adaptado de ANEEL (2012)

### 3.4 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ENERGIA

De acordo com Mehl (2012, p. 04), o “desempenho das concessionárias quanto à continuidade do serviço prestado de energia elétrica é medido pela ANEEL com base em indicadores específicos”. Os indicadores da ANEEL para a avaliação dos serviços prestados pelas concessionárias são:

- DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora. Indica o número de horas, em média, que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período de tempo (geralmente mensal).
- FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora. Indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora.

Os índices DEC e FEC são dados pelas equações:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} DIC(i)}{C_c} \quad 16$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} FIC(i)}{C_c} \quad 17$$

Onde:

$C_c$  – número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT;

$i$  – índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT faturadas do conjunto;

FIC - frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em número de interrupções. É dada pelo seguinte:

$$FIC = n \quad 18$$

$n$  – número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;

DIC - duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora. É dada pelo seguinte:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad 19$$

Os indicadores DIC e FIC são parâmetros importantes, uma vez que indicam “por quanto tempo e o número de vezes respectivamente que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica durante um período considerado” (MEHL, 2012, p. 05).

### 3.5 CONCLUSÃO

Neste capítulo, foi feita uma revisão literária da teoria da Qualidade de Energia Elétrica, focando nos fenômenos que serão temas do sistema de monitoramento proposto

neste trabalho. O objetivo desse capítulo é de permitir ao leitor uma compreensão detalhada dos fenômenos separados e tratados pelo SMQEE de acordo com os padrões e limites estabelecidos pela ANEEL.

No próximo capítulo, é apresentado o Sistema de Monitoramento de Qualidade de Energia Elétrica proposto nesse trabalho, que servirá como ferramenta de análise e diagnóstico da QEE da Usina Hidrelétrica Coaracy Nunes.

## 4 SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DE ENERGIA

### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao longo do tempo, o tema Qualidade de Energia Elétrica (QEE) no Brasil e no Mundo vem tomando espaço dentro de instalações industriais, tanto por causa da rigurosidade da legislação que vem se aperfeiçoando quanto pelo impacto financeiro causado nessas instalações, em virtude da má qualidade de energia. Com isso, essas instalações buscam a cada dia melhorias contínuas relacionadas à QEE.

A busca pelo aprimoramento constante, relacionado à Qualidade de Energia Elétrica (QEE), passa pela análise aprofundada de problemas que conduzem a soluções direcionadas e particularizadas. Para se identificar as causas dos danos causados pelos problemas de QEE, é preciso um trabalho direcionado para cada evento com a identificação das principais fontes causadoras de tais problemas e suas respectivas contribuições, de forma a identificar as suas origens e responsabilidades, sendo então praticável as definições de métodos e procedimentos para a apuração e eliminação dos mesmos.

É extremamente necessário um sistema de gestão capaz de facilitar a identificação dos problemas e demonstrar caminhos para extingui-los ou minimizá-los, incorporando como parte desse sistema uma ferramenta de monitoramento de QEE. A preocupação não deve se restringir tão somente na determinação da ocorrência dos fenômenos, mas também no monitoramento contínuo dos parâmetros que os caracterizam. As informações devem ser coletadas e armazenadas com a finalidade de gerar dados que possam ser comparados ao longo do tempo, de forma a aprimorar ferramentas estatísticas. Visa-se a possibilidade de se chegar a diagnósticos mais precisos.

Em uma usina hidrelétrica, como em todo o sistema elétrico, o monitoramento da qualidade de energia garante a implementação de melhorias para garantir a confiabilidade e a segurança dos sistemas elétricos de uma planta, ambas imprescindíveis no processo de geração de energia. Os distúrbios associados a QEE, como variações de tensão de curta duração, distorções harmônicas e transitórios comprometem a durabilidade de componentes e dos equipamentos ligados ao sistema, aumentando as falhas na geração e afetando os consumidores e indicadores de produção. Esses indicadores da produção são os parâmetros monitorados pelos órgãos controladores do setor elétrico, podendo incidir desde multas até aumento ou redução de receitas.

## 4.2 GESTÃO DE QEE NA UHE COARACY NUNES

Para dar suporte na solução dos problemas de QEE relatados no item 2.4 desse trabalho, necessita-se de um acompanhamento sistemático e rotineiro dos parâmetros da QEE da instalação. Para tanto, esse trabalho visa propor uma forma de fechar essa lacuna, por intermédio de um sistema de monitoramento de QEE apto para medir rotineiramente esses parâmetros. O sistema proposto tanto monitorará os fenômenos relacionados à QEE quanto avaliará o desempenho da malha de terra da UHE e da Subestação, para que dessa forma seja possível subsidiar equipes de manutenção que acompanhem tendências fora do padrão e a condição dos sistemas elétricos durante ocorrências de falhas. Esse sistema foi denominado de Sistema de Monitoramento de QEE (SMQEE). Vale ressaltar que o monitoramento contínuo dos parâmetros de QEE pode levar ao diagnóstico preventivo de uma série de possíveis falhas do sistema e, por conseguinte, ser uma ferramenta contribuinte na tomada de decisão das equipes de operação e manutenção.

### 4.2.1 Sistema de Monitoramento de Qualidade de Energia (SMQEE)

Atualmente em desenvolvimento, o Sistema de Monitoramento de QEE proposto para a UHE Coaracy Nunes utilizará toda a infraestrutura existente na usina no que tange a coleta de dados, sobretudo dos oscilógrafos. A usina conta com 3 oscilógrafos: um de fabricação SIEMENS, dedicado ao monitoramento da Subestação e outros dois, de fabricação REASON. Um desses coleta dados das unidades 01 e 02, por sincronizarem no mesmo barramento e utilizarem o mesmo banco de transformadores. Esse oscilógrafo monitora as máquinas até a saída do banco de transformadores. O outro oscilógrafo monitora a máquina 03, desde o fechamento do gerador até a saída do banco de transformadores por ela alimentado.

O projeto do SMQEE prevê a utilização de mais pontos a serem monitorados, principalmente o serviço auxiliar CA/CC da usina e a malha de aterramento, atualmente não contemplados pelo sistema de oscilografia existente. Esta expansão será feita através de pequenos módulos conversores de sinais, que coletam os valores de tensão e corrente.

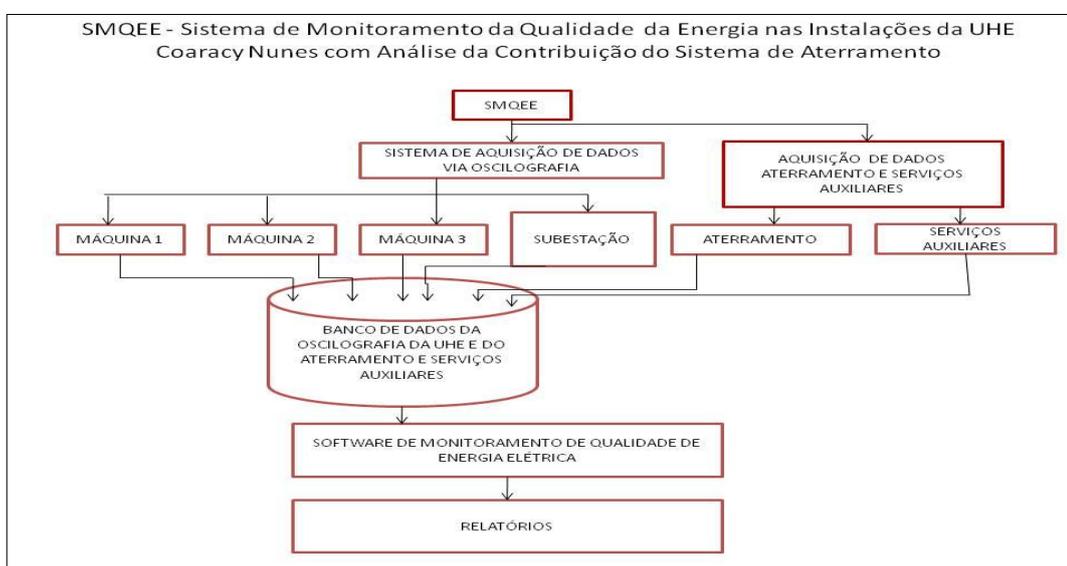
A solução proposta com a instalação de um sistema de aquisição de dados para o monitoramento operacional da malha de terra é, sem dúvida, um ponto de destaque do SMQEE. Para a operação, serão disponibilizados dados e informações hoje não disponíveis.

Esses oscilogramas serão armazenados em um banco de dados que será utilizado pelo SMQEE. Os dados oscilográficos serão processados via técnica Wavelet para a extração dos

fenômenos de QEE neles contidos, bem como a visualização das condições da malha de aterramento. Uma vez processados, os dados alimentarão estatísticas e ferramentas baseadas em inteligência computacional (Redes Neurais Artificiais), no intuito de facilitar análises e diagnósticos associados aos eventos de QEE.

A Figura 14 mostra a concepção do SMQEE em diagrama de blocos. A estrutura de aquisição de dados do SMQEE é composta da oscilografia existente na atualidade, a qual monitora as máquinas 1, 2, 3 e a Subestação, acrescida de um sistema de aquisição de dados específico da malha de terra da Usina e dos serviços auxiliares.

Figura 14 – Análise de contribuição do sistema de aterramento para o SQMEE



Fonte: o autor

Os dados da oscilografia, do aterramento e dos serviços auxiliares compõem o banco de dados do SMQEE, a partir do qual são feitas as consultas e extraem-se os relatórios de QEE da Usina.

#### 4.2.2 Tratamento da Oscilografia

Os oscilógrafos registram a gravação de uma ocorrência em um tempo antes, durante e depois da perturbação: ou seja, a pré falta, a falta e a pós falta. Assim, o analista poderá concluir o diagnóstico de um evento com maior precisão e facilidade. Para que os registros oscilográficos possam ser úteis como indicadores da qualidade da energia, é necessário que certos parâmetros sejam classificados quanto ao tipo de fenômeno ocorrido.

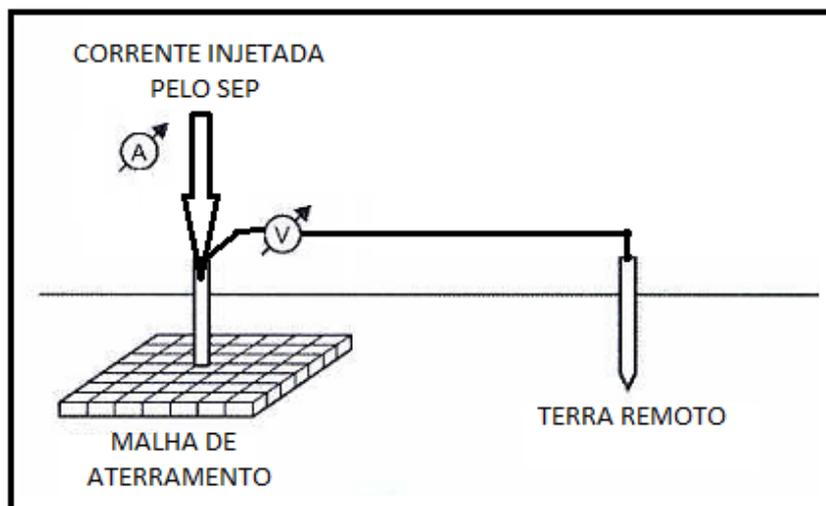
A obtenção desses parâmetros possibilita a aplicação de ferramentas estatísticas para a análise e visualização dos resultados, o que disponibiliza informações sobre o comportamento do sistema elétrico em determinados intervalos de tempo (como horas, dias, semanas, meses ou anos). O grande volume de dados obtidos da monitoração oscilográfica também merece tratamento, pois muitos desses sinais gravados são decorrentes de sinais espúrios ou ruídos, o que não caracteriza variações de tensão dentro do sistema elétrico. Para que essa grande quantidade de dados possa ser avaliada, faz-se necessária a aplicação de um método automático de classificação, de modo que apenas os sinais com as características desejadas sejam utilizados para a determinação dos parâmetros de interesse. Neste trabalho, serão aplicados modelos de processamento digital de sinais (decomposição multiresolução Wavelet) e de inteligência computacional (RNA), abalizados na área de análise de padrões em sistemas elétricos (SANTANA, et al, 2013; SANTANA, et al, 2012; SUMAILI, et al, 2013)

Inicialmente, a oscilografia é decomposta pela técnica Wavelet para detectar o início e o fim das ocorrências que caracterizam os eventos de QEE que se deseja extrair (MACHADO, et al, 2011). A proposta do SMQEE é a utilização da oscilografia para extração dos seguintes fenômenos: harmônicos de tensão, variações de tensão de curta duração (afundamentos e elevações de tensão e interrupção), desequilíbrios de tensão e transitórios. Também será processada pelo SMQEE a atuação do sistema de proteção, sendo disponibilizada ao analista a visualização dos status dos dispositivos de proteção para a análise e diagnóstico da ocorrência.

#### 4.2.3 Sistema de aquisição de dados de malha de aterramento e serviço auxiliar

A arquitetura do sistema de monitoramento da malha de aterramento e serviço auxiliar é baseada na construção de uma rede sem fio de equipamentos microcontrolados para monitorar pontos selecionados da malha do aterramento e do serviço auxiliar da instalação elétrica. No caso da malha de aterramento, cada instrumento de monitoramento mede a corrente injetada pelo próprio sistema elétrico de potência na malha de terra e a tensão no mesmo ponto em função de uma referência fornecida por um terra instalado remotamente, como ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Medição de tensão e corrente da malha de aterramento



Fonte: o autor

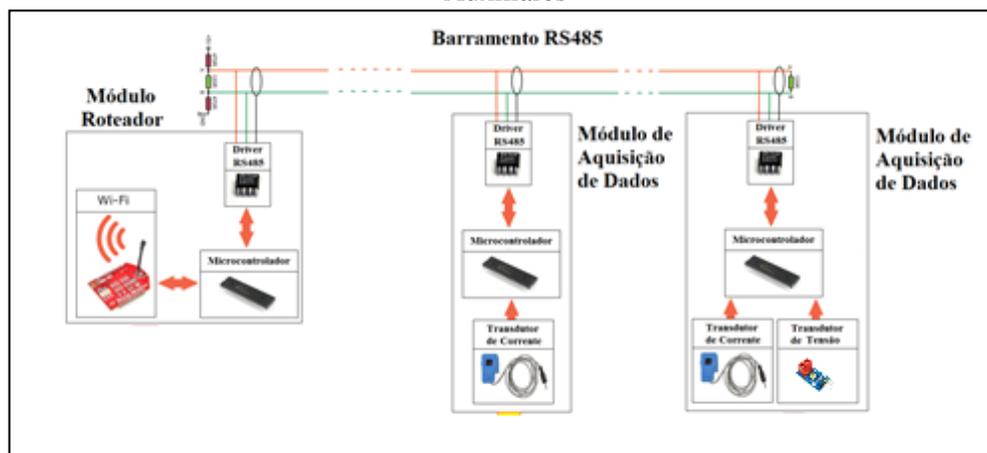
A partir das medidas de tensão e corrente, obtém-se a resistência equivalente da malha de terra no ponto de medição, dada pela relação:  $R = V/I$

A partir dos valores calculados de R, de forma contínua, pode-se avaliar as condições da malha de terra para as situações de regime permanente e transitórios de média e baixa frequência, como também avaliar efeitos de cauda em eventos de natureza impulsiva, como descargas atmosféricas. Portanto, a função do sistema que monitora a malha de terra é acompanhar o comportamento da mesma por meio das variações detectadas nas resistências equivalentes dos pontos de medição.

Para a medição do serviço auxiliar, utiliza-se o mesmo dispositivo para a detecção da tensão e a corrente dos pontos a serem medidos.

O sistema de aquisição de dados da malha de terra da Usina e dos serviços auxiliares apresenta uma estrutura híbrida de comunicação, o que se deve à constatação da ausência do sinal de WiFi em alguns pontos da Usina. A figura 16 ilustra que o módulo roteador será responsável pela ponte de conexão entre o computador-servidor, conectado a um roteador sem fio (WiFi) e os módulos de aquisição de dados conectados ao barramento RS485. A função do módulo roteador será de receber os dados provenientes de um meio de comunicação (WiFi ou RS485) e retransmiti-los através do outro meio de comunicação (RS485 ou WiFi). Este módulo não realizará qualquer tipo de processamento que resulte na modificação dos pacotes de dados trafegados pela rede de comunicação.

Figura 16 - Arquitetura do Sistema de Aquisição de Dados da Malha de Terra da Usina e dos Serviços Auxiliares



Fonte: o autor

### 4.3 SOFTWARE SMQEE

O SMQEE é um sistema de software que integra os módulos e algoritmos de visualização e pré-processamento de dados, bem como a aplicação de algoritmos de inteligência computacional para identificação dos fenômenos de QEE e verificação da atuação do sistema de proteção, em face das perturbações ocorridas. Para atender a esses requisitos, o SMQEE está estruturado de forma a disponibilizar os seguintes principais módulos (funções) ao usuário:

1. Receptor: é responsável por adquirir de forma automática os dados oscilográficos, atualizá-los e catalogá-los;
2. Identificador (login): habilita diferentes níveis de usuários, como administrador e usuário “normal”;
3. Segurança: disponibiliza mecanismos contra possíveis invasões e perda de dados;
4. Comunicação: permite que o usuário seja notificado por e-mail de qualquer novo evento do sistema;
5. Processamento: encapsula todas as operações centrais do sistema;
6. Interface: define um layout intuitivo para a interação com os dados existentes.

Para o ambiente de desenvolvimento do sistema, propõe-se o uso de tecnologias de programação livres e principalmente independentes de plataforma, uma vez que essa é uma opção bastante importante no aspecto custo/benefício, além de permitir efetivamente o processo de transferência de tecnologia. Dessa forma, optou-se pela utilização de Java como linguagem de programação para trabalho sobre uma arquitetura comum de PCs.

A figura 17 mostra a interface de acesso e autenticação de usuários. Nessa tela, o sistema traz um link no qual o usuário poderá ser cadastrado gerando um login de usuário e uma senha de acesso. A partir do cadastro, é possível o acesso ao sistema.

Figura 17 - Interface de acesso e autenticação de usuários.



Fonte: O autor

A figura 18 a seguir mostra a interface de apresentação e acesso às funcionalidades do sistema, sendo:

- 01- Oscilógrafo, onde são verificadas as ocorrências gravadas com data e horário;
- 02- Tempo Real, onde se pode verificar os instrumentos ligados operando na malha de aterramento (em desenvolvimento);
- 03- Instrumento, onde se pode pesquisar no banco de dados, medições da malha de aterramento gravadas anteriormente (em desenvolvimento).
- 04- Estatística, onde se podem pesquisar os Sags e Swells ocorridos.

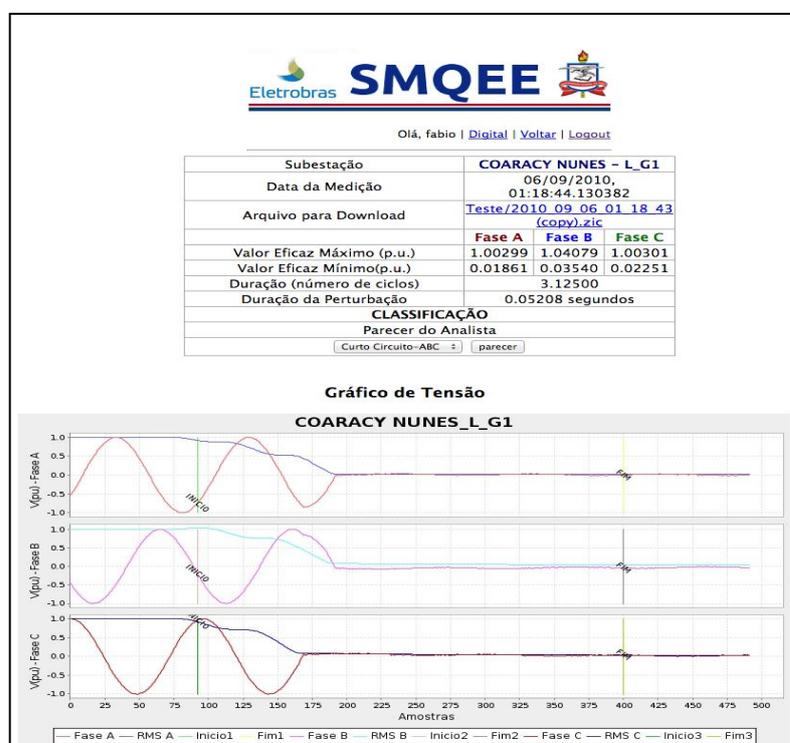
Figura 18 - Interface de apresentação e acesso às funcionalidades do sistema



Fonte: O autor

Apresenta-se na figura 19 um exemplo de saída do módulo de tratamento dos sinais oscilográficos pelo SMQEE. Nesse exemplo, foram processadas as oscilografias das tensões nas fases A-B-C do ponto de monitoramento L\_G1, em uma janela de tempo na qual ocorreu uma perturbação no sistema elétrico. Na parte superior da Figura 19 são apresentados os valores eficazes mínimos e máximos das tensões nas fases durante a perturbação, além do respectivo tempo de duração da ocorrência. Na parte inferior da Figura 19, são apresentados graficamente os comportamentos das tensões nas respectivas fases da perturbação (antes e durante). No exemplo específico, a ocorrência representa um curto circuito trifásico.

Figura 19 - Resultado Obtido pelo SMQEE com o Módulo de Tratamento da Oscilografia.



Fonte: o autor

#### 4.3.1 Integração para construção do sistema de gestão de QEE

Este trabalho propõe a utilização de uma metodologia denominada MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) como auxílio às análises técnicas a serem feitas. Essa ferramenta utiliza as técnicas de análise e soluções de problemas de acordo com os dados fornecidos pelo Sistema de Monitoramento, de tal forma que sempre executará o PDCA de forma contínua. O PDCA é uma forma de agregar valor ao produto ou serviço por meio da execução dos quatro elementos inerentes ao método – Planejar (P), Executar (D), Controlar

(C) e Agir (A). O ciclo do PDCA apresenta um vasto campo de utilização e, portanto, seu emprego está muitas vezes implícito nas ações e práticas desenvolvidas pelas organizações.

Desta maneira, o SMQEE será utilizado de forma padronizada e seguindo uma rotina de looping infinito que irá sempre Medir, Avaliar, Planejar, Agir, Reavaliar e Replicar. A figura 20 mostra o esquema no qual cada ferramenta de análise se enquadrará junto da utilização do SMQEE, utilizando a técnica do MASP.

Figura 20- Método de análise de problemas - MASP

MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS - MASP		
PDCA	FLUXOGRAMA - FASE	OBJETIVO
P	1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA "Identificar as ocorrências da planta"	<b>IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS:</b> ANALISANDO O HISTÓRICO DE OCORRÊNCIAS, UTILIZANDO AS INFORMAÇÕES DO SISTEMA DE SUPERVISÃO DA USINA E SMQEE. MONTAR GRÁFICO DE PARETO PARA IDENTIFICAR AS OCORRÊNCIAS DE MAIOR IMPACTO E REINCIDÊNCIAS.
	2 OBSERVAÇÃO (através de dados)	<b>DEFINIR OS PROBLEMAS A SEREM TRABALHADOS:</b> SEPARA OS PROBLEMAS COM MAIOR IMPACTO E MONTAR DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO COM OBJETIVO DE QUALIFICAR O PROBLEMA SOB A LUZ DA QEE (SMQEE)
	3 ANÁLISE (busca das causas)	<b>DESCOBRIR AS CAUSAS FUNDAMENTAIS:</b> ATRAVÉS DA ANÁLISE DE POR QUÊS, COM OBJETIVO DE ELUCIDAR AS CAUSAS FUNDAMENTAIS DOS FENÔMENOS QUE ESTÃO INFLUENCIANDO NEGATIVAMENTE NA QEE (SMQEE)
	4 PLANO DE AÇÃO (conjunto de contramedidas)	<b>CONCEBER UM PLANO PARA BLOQUEAR AS CAUSAS FUNDAMENTAIS:</b> 1. ELABORAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE TRABALHO; 2. ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO PARA BLOQUEIO E REVISÃO DO CRONOGRAMA E ORÇAMENTO FINAL.
D	5 EXECUÇÃO DO PLANO DE AÇÃO	<b>BLOQUEAR AS CAUSAS FUNDAMENTAIS:</b> 1. TREINAMENTO – (DIVULGAÇÃO, REUNIÕES PARTICIPATIVAS, TÉCNICAS DE TREINAMENTO); 2. EXECUÇÃO DA AÇÃO;
C	6 VERIFICAÇÃO (por item de Controle)	<b>VERIFICAR SE O BLOQUEIO FOI EFETIVO:</b> 1. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS; 2. LISTAGEM DOS EFEITOS SECUNDÁRIOS; VERIFICAÇÃO DA CONTINUIDADE OU DO PROBLEMA; BLOQUEIO FOI EFETIVO? (NÃO: RETORNE PARA O PASSO 2).
A	7 PADRONIZAÇÃO (adote o que deu certo)	<b>PREVENIR CONTRA O REAPARECIMENTO DO PROBLEMA:</b> 1. ELABORAÇÃO OU ALTERAÇÃO DO PADRÃO; 2. COMUNICAÇÃO DA ALTERAÇÃO OU PADRÃO; 3. EDUCAÇÃO E TREINAMENTO; ACOMPANHAMENTO DA UTILIZAÇÃO DO PADRÃO.
	8 CONCLUSÃO	<b>RECAPITULAR TODO O PROCESSO DE SOLUÇÃO DO PROBLEMA PARA TRABALHO FUTURO:</b> 1. RELAÇÃO DOS PROBLEMAS REMANESCENTES; 2. PLANEJAMENTO DO ATAQUE AOS PROBLEMAS REMANESCENTES.

Fonte: O autor

#### 4.4 APLICAÇÃO

A seguir, será demonstrada uma aplicação do SMQEE, bem como as repercussões e resultados práticos dentro da UHE Coaracy Nunes.

Por causa do volume de problemas observados na UHE Coaracy Nunes, utilizaram-se técnicas de análise primeiramente para se chegar ao problema que mais estava afetando a operação da Usina Coaracy Nunes. Para tanto, as análises foram direcionadas às ocorrências de 2015. O quadro 10, lista todas as ocorrências entre os meses de janeiro e julho — os desligamentos forçados e programados das unidades geradoras da Usina Coaracy Nunes.

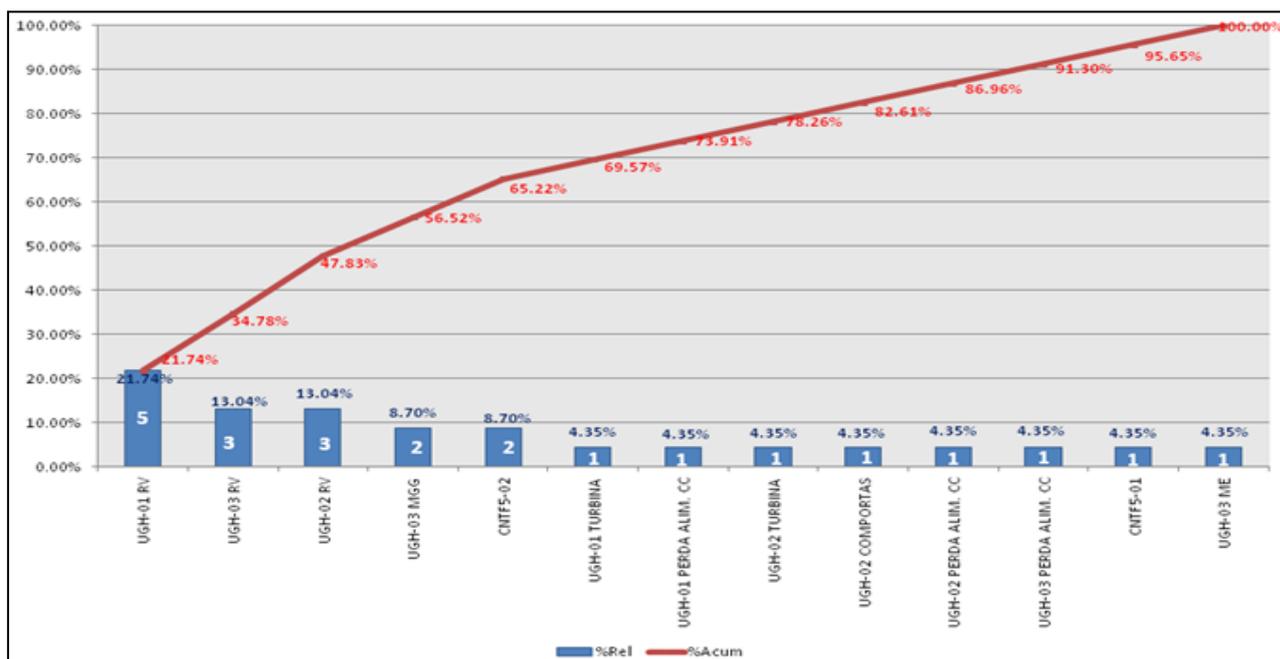
Quadro 10 – Desligamentos forçados e programados (A)

Mês	Desligamentos Forçados	Desligamentos Programados
Jan	(01) Parada da unidade geradora CNUGH-01 devido atuação da proteção nível máximo na tampa da turbina, com bloqueio 86 M	
Fev		PMP – Sistema de Excitação (CNUGH-03)
Mar	(02) Desligado por solicitação do gerente do OEOR (Elizeu), devido perda de supervisão do monitoramento de vibração da referida unidade (CNUGH-03); (03) Desligamento da CNUGH-03 devido vibração excessiva do MGG (PM04 4480893); (04) Desligamento da CNUGH-03 devido atuação do alarme detector de gás "FASE B" com atuação do bloqueio 86E (05) Desligamento da CNUGH-02 devido água no óleo do mancal guia da turbina.	
Abr		PMP – Sistema de Excitação (CNUGH-02)
Mai	(06) Desligamento da CNUGH-03 devido Nível Muito Baixo RV tanque de Pressão 1030 - atuação do bloqueio 86E (13.05); (07) Desligamento da CNUGH-01 devido emperramento da válvula 65E; (08) Desligamento da CNUGH-01 devido Falha Grave Nível Muito Baixo de óleo no Acumulador Ar/Óleo, atuação do bloqueio 86E; (09) Desligamento da CNUGH-02 devido falha no regulador de velocidade, com atuação de potência reversa; (10) Desligamento da CNUGH-01 devido Falha Grave Temperatura Muita Alta Tanque Sem Pressão; (11) Desligamento da CNUGH-03 devido Nível Muito Baixo RV tanque de Pressão 1030 (25.05) (12) Desligamento da CNUGH-02 devido Falha Grave no Regulador de Velocidade, atuação do bloqueio 86E;	PMP – Sistema de Excitação (CNUGH-01)
Jun	(13) Desligamento da CNUGH-02 devido nível muito alto do óleo no acumulador, (14) Desligamento da CNUGH-01 e (15) Desligamento da CNUGH-03 (Blecaute 11.06.15); (16) Desligamento da CNUGH-02 devido deslizamento excessivo comportas 3 e 4; (17) Desligamento da CNUGH-03 devido falha grave de Nível Muito Baixo de Óleo, com atuação do bloqueio 86H; (18) Desligamento da CNUGH-03 devido falha grave Temperatura muito alta do óleo no ME;	
Jul	(19) Desligamentos da CNUGH-02 (perda da alimentação CC) , (20) CNUGH-01 (perda da alimentação CC) e (21) CNUGH-03 (perda da alimentação CC) - (Blecaute 08.07.15) (22) Desligamento da CNUGH-01 devido falha grave no Regulador de Velocidade, com atuação do bloqueio 86E; (23) Desligamento da CNUGH-01 devido falha grave no Regulador de Velocidade, com atuação do bloqueio 86E;	PMP – Sistema de Excitação (CNUGH-03)
Ago		Parada Anual CNUGH-01 + troca do anel coletor
Set		Parada Triannual CNUGH-02
Out		Parada Triannual CNUGH-03

Fonte: o autor

Após o levantamento dos desligamentos ocorridos em 2015, as falhas por sistemas e/ou unidades geradoras da Usina foram separadas através do gráfico 03 de Pareto, mostrado a seguir. Dessa forma, pode-se chegar ao equipamento com maior número de falhas. No mesmo gráfico, verifica-se que a unidade geradora 01 possui o maior número de ocorrência e o RV (regulador de velocidade) é o principal ponto de falhas, sendo esse equipamento o escolhido como prioritário para análise.

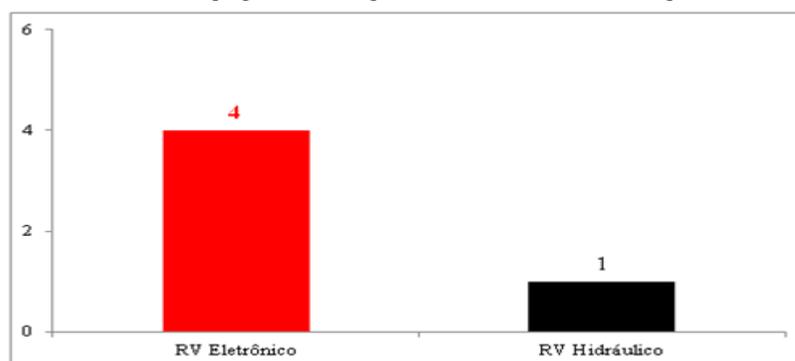
Gráfico 03 – Pareto dos números de desligamentos por equipamentos



Fonte: o autor

Após essa etapa, as ocorrências de falhas observadas no regulador de velocidade da máquina 01 foram estratificadas em parte eletrônica e parte hidráulica. O gráfico 04 mostra que o maior número de falhas desse equipamento está na parte eletrônica. Essas falhas aconteceram em razão da queima de cartelas eletrônicas, que levaram a unidade geradora ao desligamento. Observou-se, também, que aconteceram outras ocorrências de queimas de cartelas eletrônicas nesse Regulador não listadas nesse levantamento, porque não provocaram o desligamento da unidade geradora. O Regulador de velocidade da unidade geradora 01 é de fabricação Reivax, modelo RVX300 com duplo canal. Portanto, caso aconteça a queima de cartelas Eletrônicas referentes a apenas um canal, ocorrerá a permutação para o canal retaguarda, evitando a saída de operação da referida unidade geradora.

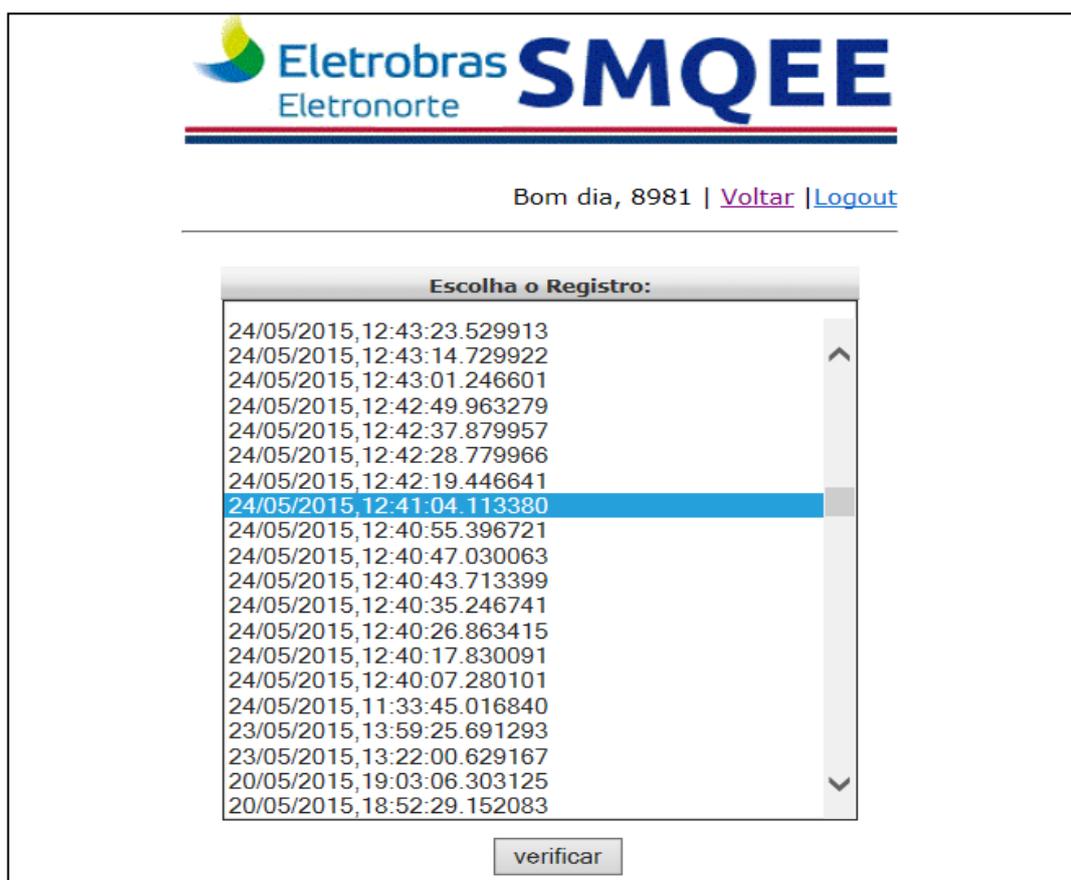
Gráfico 04 - Equipamentos que mais falharam na máquina 01



Fonte: o autor

Após esse levantamento inicial, foi feito o acesso ao SMQEE para buscar os dados referentes as datas e horários das ocorrências levantadas. Nesse levantamento, pôde-se verificar um grande número de ocorrências durante o ano de 2015. Variações de tensões classificadas como afundamento de tensão são verificadas em grande parte dessas ocorrências. A figura 21 mostra o grande número de ocorrências durante o ano de 2015 detectado pelo SMQEE, particularizando o mês de maio.

Figura 21 - Tela do SMQEE que mostra algumas ocorrências detectadas em maio de 2015



Fonte: O autor

Após a análise de algumas ocorrências, pôde-se observar as variações de tensão no sistema Isolado do Amapá, o que ocorre por causa de variações de carga. A figura 22 trata das medições detectadas pelo SMQEE na máquina 01. Nessa tela, são mostrados os valores máximos e mínimos de tensão eficaz com data e hora, bem como a duração da perturbação. Nesse caso, é possível observar uma variação de tensão de 0,17pu abaixo do valor da tensão nominal por um período de um pouco mais de 2 segundos.

Figura 22 - Tela do SMQEE que mostra uma ocorrência com afundamento de tensão detectado no TP (transformador de potencial) da máquina 01.

Detalhes da Perturbação			
Subestação	COARACY NUNES - L_G1		
Data da Medição	24/05/2015,12:40:35.246741		
Arquivo para Download	2015_05_24_12_40_35.zic		
	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
Valor Eficaz Máximo (p.u.)	1,00	1,00	1,00
Valor Eficaz Mínimo(p.u.)	0,83	0,83	0,83
Duração (número de ciclos)	122,96	122,65	119,08
Duração da Perturbação (segundos)	2,05	2,04	1,98
Harmônico THD	0,03	0,03	0,01
Desbalanço de Tensão	0,18		

Fonte: o autor

A figura 23 mostra a tela gráfica do SMQEE com tensão variando ao longo do tempo na máquina 01. Essa medição corresponde aos valores mostrados na figura 21.

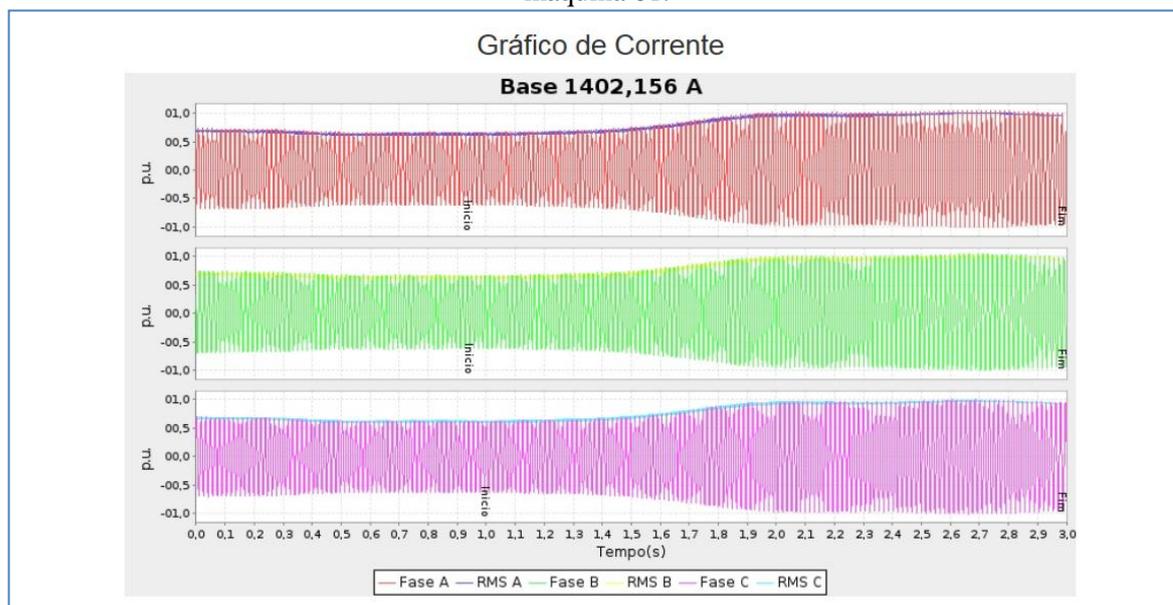
Figura 23 - Tela do SMQEE que mostra os gráficos com afundamento de tensão detectada no TP (transformador de potencial) da máquina 01.



Fonte: o autor

Durante a ocorrência do afundamento de tensão, observa-se o aumento da corrente na unidade geradora 01. A figura 24 mostra o aumento da corrente no mesmo período que ocorreu o afundamento de tensão. A base de tempo desse gráfico é a mesma da de tensão.

Figura 24 - Tela do SMQEE que mostra a variação de corrente no TC (transformador de corrente) da máquina 01.



Fonte: o autor

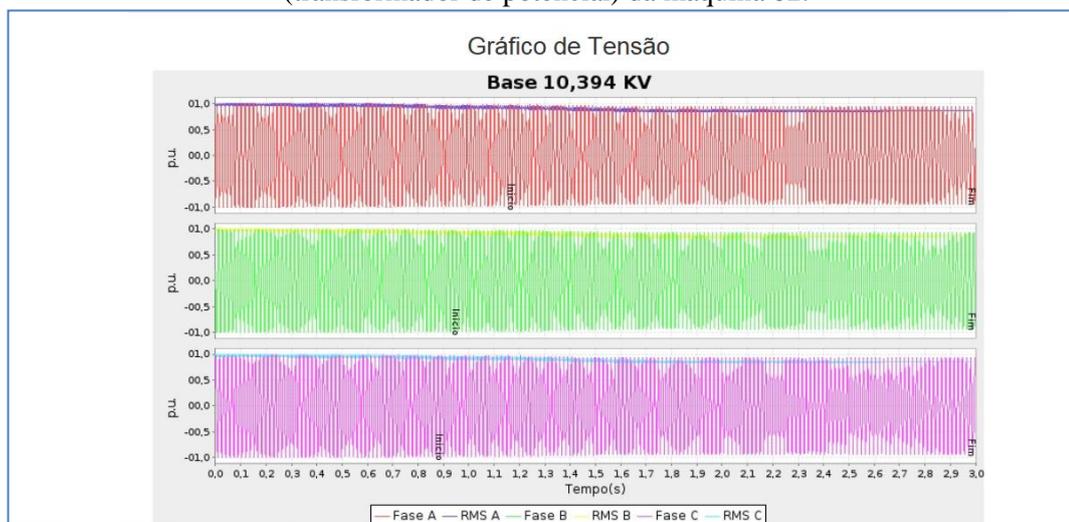
No mesmo período em que foram analisados os valores e gráficos da unidade geradora 01, foram também verificados os valores de tensão da unidade geradora 02 (conforme figuras 25 e 26). Dessa forma, pode-se concluir que se trata de uma variação sistêmica. Logo, essas unidades geradoras estavam respondendo a variações no sistema Amapá de forma similar.

Figura 25 - Tela do SMQEE que mostra uma ocorrência com afundamento de tensão detectada no TP (transformador de potencial) da máquina 02.

Subestação	<b>COARACY NUNES - L_G2</b>		
Data da Medição	24/05/2015,12:40:35.246741		
Arquivo para Download	<a href="#">2015_05_24_12_40_35.zic</a>		
	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
Valor Eficaz Máximo (p.u.)	1,01	1,00	1,00
Valor Eficaz Mínimo(p.u.)	0,84	0,83	0,83
Duração (número de ciclos)	109,00	122,18	126,05
Duração da Perturbação (segundos)	1,82	2,04	2,10
Harmônico THD	0,03	0,03	0,01
Desbalanço de Tensão	0,80		

Fonte: o autor

Figura 26 - Tela do SMQEE que mostra uma ocorrência com afundamento de tensão detectada no TP (transformador de potencial) da máquina 02.



Fonte: o autor

O SMQEE classifica os fenômenos relacionados a QEE. Na figura 27, é mostrada a tela desse módulo do sistema, enumerando 236 SAGs e mostrando também o valor por fase no período de uma ocorrência.

Figura 27 - Tela do SMQEE que mostra ocorrência de SAGs na Usina

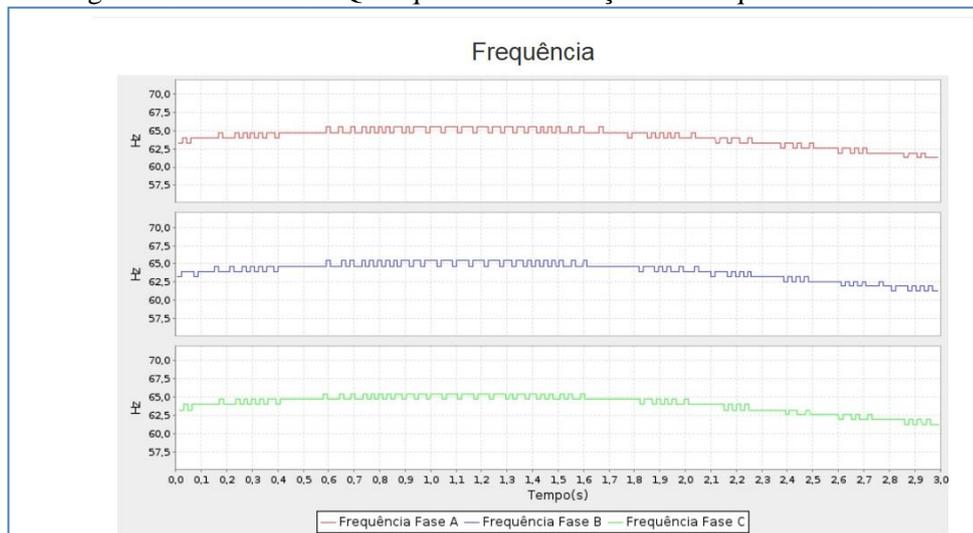


Fonte: o autor

Outro dado importante disponibilizado pelo SMQEE é a performance da frequência durante o evento. O gráfico da figura 28 mostra uma variação de frequência durante o período da ocorrência. Esse gráfico elucidava o fato de estar ocorrendo variações de carga que

ocasionam oscilações de frequências no Sistema Amapá. Percebe-se as unidades geradoras que compõem o sistema Amapá ajustando a frequência.

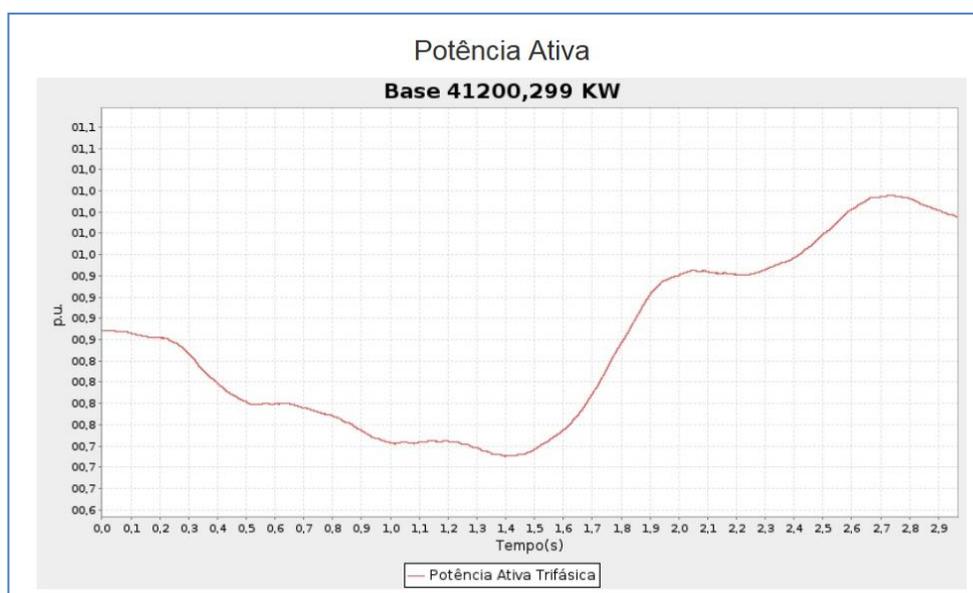
Figura 28 - Tela do SMQEE que mostra variações de frequência na Usina



Fonte: o autor

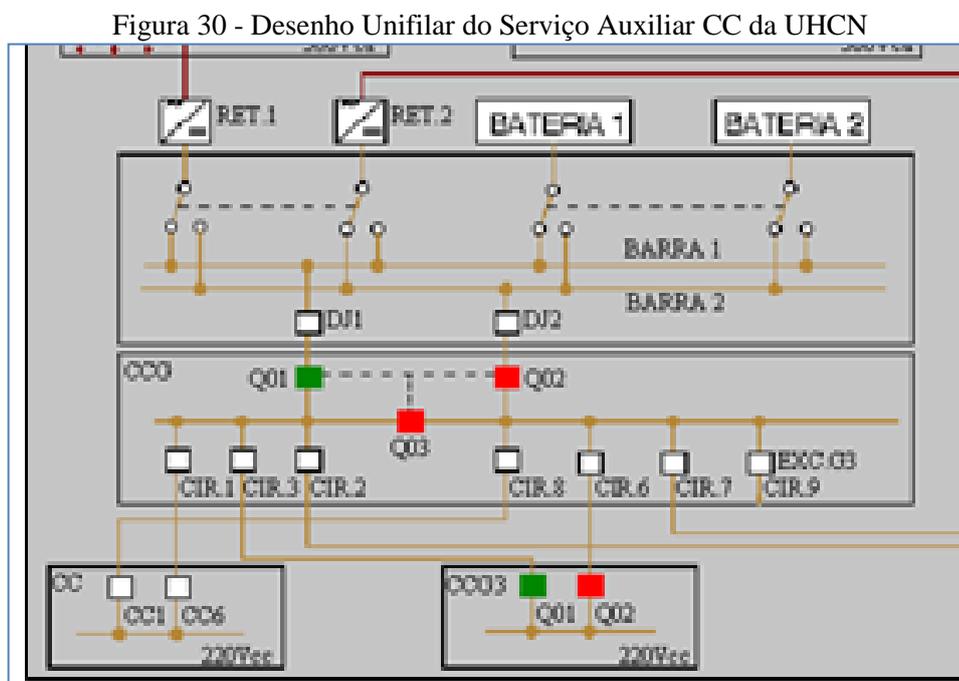
O Gráfico da figura 29 mostra a variação de potência na máquina 01. Nesse gráfico, consta o notável afundamento da potência ativa sendo recuperado durante o período demonstrado.

Figura 29 - Tela do SMQEE que mostra uma variação de potência Ativa na máquina 01



Fonte: o autor

Os dados do SMQEE mostram variações de tensões (SAGs) durante variações de carga e frequência. Essas variações aparecem em regime, demonstrando instabilidade no sistema Amapá. Tais variações de tensão são classificadas como afundamento de tensão e podem estar levando a perturbação no serviço auxiliar da Usina, uma vez que o mesmo está interligado ao sistema. O Regulador de Velocidade, por sua vez, é alimentado pelo serviço auxiliar CA e CC, no qual a alimentação CA é retificada através de um retificador de tensão e a saída está em paralelo com um banco de baterias conforme esquema demonstrado na figura 30. Nesse esquema, prevalece sempre quem estiver com o maior valor de alimentação no momento, garantindo a estabilidade do serviço auxiliar CC. Em caso de afundamento da alimentação CA, a alimentação CC proveniente do banco de baterias automaticamente segura toda a carga ligada ao circuito.



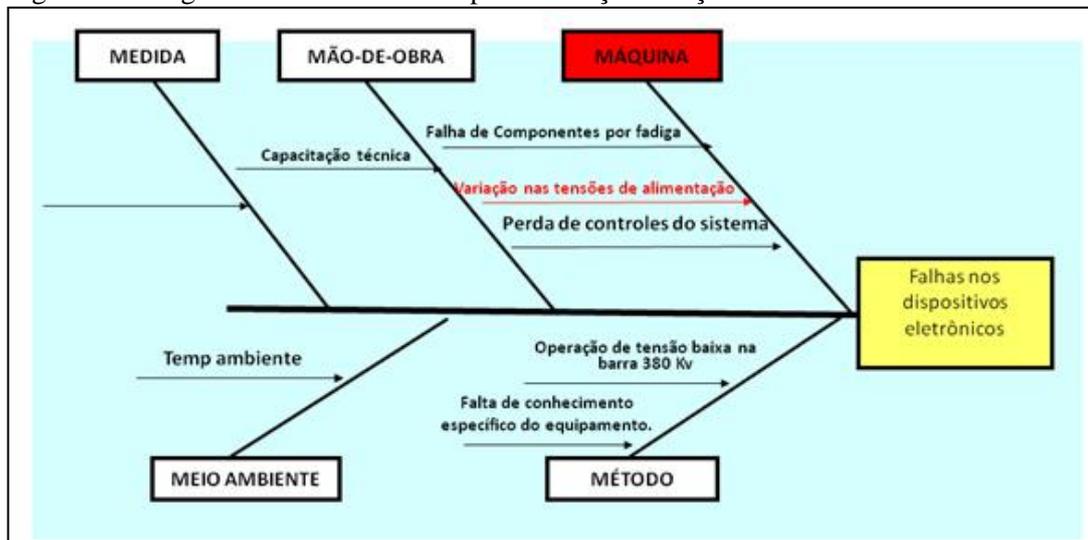
Fonte: Eletronorte (2006)

Devido a essa configuração, os analistas centraram esforços no estudo da alimentação direcionada ao Regulador de Velocidade, haja vista que é de extrema importância que as perturbações ocorridas no sistema Amapá não venham a comprometer o serviço auxiliar da Usina.

Para melhor organização das várias possibilidades de causa das queimas de cartelas eletrônicas (levando em consideração a análise feita até o momento), foi utilizada uma técnica na qual é possível a avaliação do que pode estar ocasionando o problema citado mediante um diagrama de Causa e Efeito, mostrado na figura 31. Das várias possibilidades, foi deliberada a

necessidade de aprofundamento das análises na possibilidade de ocorrência de variações de tensão acima do suportável pelas cartelas do Regulador de Velocidade.

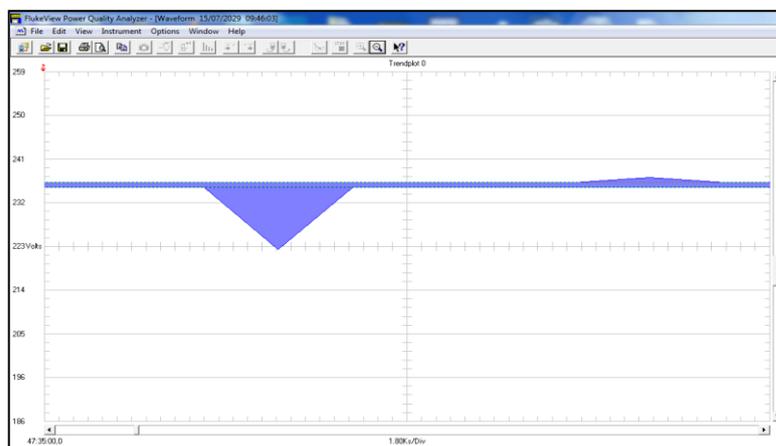
Figura 31- Diagrama de causa e Efeito para definição da ação a ser trabalhada em vermelho.



Fonte: o autor

A partir dessa definição, foram feitas medições no serviço auxiliar CC da Usina na tentativa de detectar afundamentos de tensão potencialmente prejudiciais ao funcionamento do Regulador de Velocidade, originando a queima de cartelas eletrônicas. Como o sistema SMQEE ainda está em andamento e ainda não se concluiu a instalação dos dispositivos de detecção de tensão no serviço auxiliar, foi colocado um medidor de qualidade de energia FLUKE 43B ligado ao sistema CC da Usina. As medições mostraram muitas variações CC. Como exemplo, na figura 32 pode-se verificar um afundamento de tensão CC detectado pelo medidor na ordem de 0,08pu.

Figura 32 - Variação de tensão CC na ordem de 18Vcc detectado pelo medidor FLUKE 43B.



Fonte: o autor

Para analisar dos dados, foi utilizada uma ferramenta denominada Análise dos Porquês como auxílio para se chegar a um plano de ação que amenize ou resolva o problema detectado. O quadro 13 mostra o resultado da análise dos porquês, que aponta para um provável problema no banco de baterias, uma vez que esse é o responsável por atenuar os afundamentos de tensão ocorridos na tensão CC vinda dos retificadores diretamente ligados ao serviço auxiliar CA, conforme mostrado na figura 30. Consequentemente, os analistas concluíram que o banco de baterias poderia estar com problemas, porque o nível variações de tensão CC observado nas medições atingia níveis muito abaixo da tensão nominal do referido equipamento (234Vcc).

Quadro 11 - Análise dos Porquês concluído pela manutenção corretiva no banco de baterias da Usina.

Tabela de Análise dos Porquês		Data: Maio-Julho/2015	Responsável(eis): Elétrica		Observação	
Nome do Equipamento		Local da Inconveniência		Fenômeno da Inconveniência		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ devido ao bom resultado verificado na inspeção a análise está concluída</li> <li>● devido ao mal resultado verificado na inspeção a análise terá prosseguimento (Prosseguir fazendo a marca ✓)</li> </ul>
CNUGH-01		Regulador de Velocidade		Variações nas tensões de alimentação		
1° Round	2° Round	3° Round	4° Round	5° Round	Idéias de Melhoria	
<b>Por Que</b> – ocorrem as falhas nos sistemas eletrônicos do RV?	<b>Por Que</b> -ocorrem variações de alimentação?	<b>Por Que</b> as ocorrências se deram durante variações de tensão no sistema?	<b>Por que</b> o sistema de alimentação CC não suportou as variações ocorridas no sistema CA?	<b>Por que</b> ocorreram a perda momentânea do sistema CC mesmo estando com o banco de baterias?		<b>• Colocar o Banco de Baterias em estado normal de operação</b>
Porque ocorrem variações de alimentação	Porque as ocorrências se deram durante variações de tensão no sistema	Porque o sistema de alimentação CC não suportou as variações ocorridas no sistema CA	Porque ocorreram a perda momentânea do sistema CC mesmo estando com o banco de baterias	Porque existem problemas no banco de baterias		
Por Que	Por Que	Por Que	Por Que	Por Que		
<b>Porque os componentes estão com fim de vida útil</b>	Porque ocorreram problemas nas fontes de alimentação dos componentes danificados	Porque ocorreram problemas nas fontes de alimentação dos componentes danificados	Porque ocorreu elevação de tensão CC além da capacidade de alimentação dos componentes danificados	Porque		

Fonte: o autor

Após a definição de onde agir, um plano de ação foi composto com o objetivo de averiguar o problema. A figura 33 mostra o plano de ação definido pela equipe de analista.

Figura 33 - Plano de ação para manutenção corretiva do banco de baterias.

Ação	O que	Porque	Como	Onde	Quem	Quando
Colocar o Banco de Baterias em estado normal de operação	1-Comutar Banco de Baterias da Barra de Carga para Barra de Operação	Para isolar Banco defeituoso	Realizando comutação de bancos	UHCN	Dugan/ Couto	16.07
	2-Fazer inspeção visual no Banco de Baterias	Para detectar baterias com vazamento	Realizando inspeção visual	UHCN	Dugan/ Couto	21.07
	3- Fazer medições de tensão em todas as baterias	Para detectar baterias com baixa tensão	Fazendo medições com voltímetro	UHCN	Dugan/ Couto	A partir de 22.07
	4-Realizar teste de descarga por Banco de Bateria	Para verificar o tempo de descarga do banco	Com caixa de teste	UHCN	Dugan/ Couto	29 a 31.07
	5-Realizar teste de descarga por Bateria	Para verificar o tempo de descarga por bateria	Com caixa de teste	UHCN	Dugan/ Couto	29 a 31.07
	6-Identificar e trocar baterias com defeito	Para normalizar banco de baterias	Trocando por baterias normais	UHCN	Dugan/ Couto	29 a 31.07
	7-Negociar com fornecedor as baterias com defeito (garantia)	Para repor baterias com defeitos por estarem sob garantia	Através do contrato de garantia	OAPH	Pelaes/ Eder	04 a 30.08
	8-Colocar medição na alimentação CC dos RV's	Para verificar a variação de alimentação CC durante variação do sistema	Com equipamento de oscilografia	Circuitos CC do RV	Dugan/ Couto	29 a 31.07

Fonte: o autor

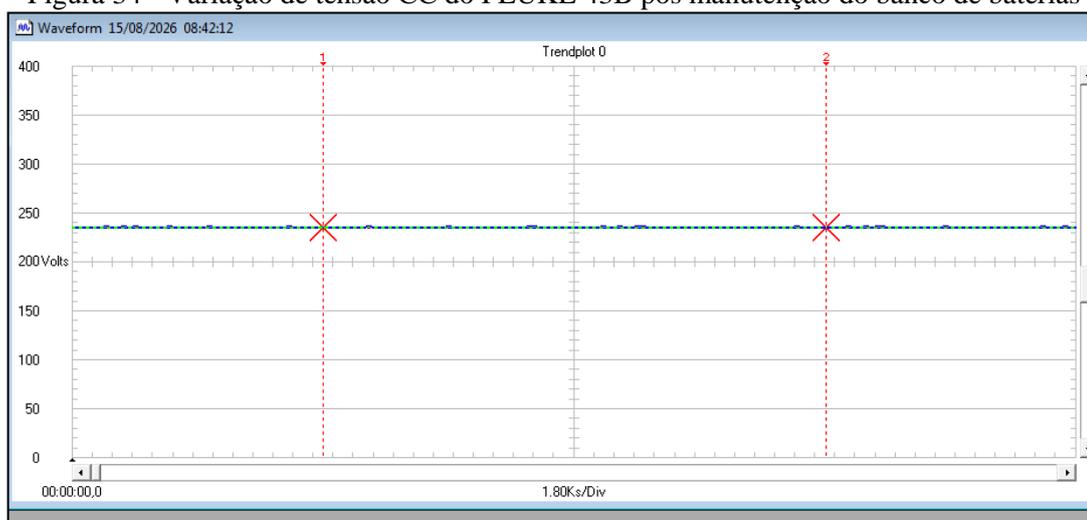
#### 4.4.1 Resultados

Durante a execução do plano de manutenção corretivo, foi detectado que algumas baterias estavam com problemas de vazamento e foram trocadas. O tempo e descarga do banco de baterias estava em torno de 08hs20, apesar de ser 10hs00. Ademais, alguns bornes das baterias estavam com ponto quente e, portanto, folgados. Foi feito reaperto em todos os bornes e conectores. Após essa intervenção, não mais se observou a queima de cartelas ou desligamentos na unidade geradora 01. A figura 34 mostra as medições feitas no circuito CC da Usina depois da intervenção de manutenção no banco de baterias.

Diante dessa análise, ficou claro que o serviço auxiliar da Usina Coaracy Nunes está com sua QEE comprometida em virtude de constantes afundamentos de tensão observados no Sistema Amapá. Essas oscilações são frutos do fato do sistema estar operando em regime diferenciado: 60% da carga do Sistema Amapá foi interligada no Sistema Interligado Brasileiro, ficando apenas os 40% restantes com operação pelo Sistema Isolado em que está a atividade da Usina. Essas oscilações deverão ser atenuadas após todo o Sistema Amapá passar

também a ser conectado ao Sistema Interligado, por causa da influência negativa na tensão CC da Usina com os dois retificadores alimentados pelo Serviço auxiliar CA (afetado pelas oscilações descritas). No esquema de ligações da Usina, o banco de baterias é o responsável por segurar a tensão CC em patamares aceitáveis, o que não acontecia em virtude de problemas, caso ocorram oscilações do CC vindo dos retificadores. Desta forma, o SMQEE foi de fundamental importância para se chegar a solução do problema.

Figura 34 - Variação de tensão CC do FLUKE 43B pós manutenção do banco de baterias



Fonte: O autor

#### 4.5 CONCLUSÃO

O Sistema de Gestão de QEE ajudará as equipes técnicas da UHE Coaracy Nunes a entenderem melhor os fenômenos ligados ao tema, indicando a ocorrência de eventos e auxiliando na tomada de decisão. Neste capítulo, foi descrito o Sistema de Monitoramento de Qualidade de Energia (SMQEE), bem como um exemplo de aplicação com resultados bastante satisfatórios. Esses resultados foram alcançados a partir de diagnósticos feitos de forma integrada com algumas ferramentas de análise. Para que o resultado da aplicação fosse analisado de forma mais aprofundada, seria necessário o sistema com instalação completa, permitindo que a análise se estendesse a vários pontos do serviço auxiliar e da malha de aterramento. Contudo, é notório que o SMQEE demonstra eficácia bastante satisfatória desse sistema para ser utilizado como ferramenta de análise e ponto de partida para um futuro sistema especialista, por meio da capacidade de agregar os dados de todas as oscilografias da usina com sincronismo de tempo, indicando a performance do sistema estudado a luz da teoria

da QEE. Outra análise completa com o uso do SMQEE é apresentada no Apêndice 1, na página 89, contendo mais detalhes da aplicação do sistema.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da QEE passa por rigorosos métodos de análise para que seja garantido ao usuário final um fornecimento de energia de qualidade, de modo que seja possível usufruir do produto sem a preocupação com os problemas que ocorrem na rotina de trabalho do ramo de energia.

O PRODIST, manual que orienta sobre os limites das grandezas relacionadas a QEE, é a base para que se possa executar ações para a diminuição de problemas da rede de fornecimento de eletricidade que estão fora dos padrões de qualidade.

O uso do sistema de informação SMQEE, aqui neste estudo utilizado na condição de testes iniciais, mostrou que o sistema opera de modo a atender a demanda de dados para análise de QEE. Nesse estudo, o programa demonstra a capacidade de analisar os dados para detecção de afundamento de tensão e tensão em regime permanente, além de demais parâmetros como harmônicos, VTCD e malha de aterramento. O software também faz leituras de dados e pode ser empregado pelos técnicos na Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes para análise de QEE.

Entre suas principais vantagens, destacam-se:

- Segurança: possui mecanismos de combate a invasão por hackeamento e vírus, preservando os dados. Além disso, o sistema de login permite autenticação de perfis de administrador e usuário. Eventuais modificações de configuração só podem ser feitas no modo administrador;
- Comunicação: o SMQEE envia ao administrador, via e-mail, qualquer evento que aconteça no sistema (desde que esteja online);
- Programação em Java que permite atualização e compartilhamento de base de dados para construção de ferramentas de aperfeiçoamento do SMQEE;
- Análise do desempenho da malha de aterramento, importante diferencial desse sistema.

Assim, o objetivo geral da pesquisa foi avaliar a qualidade da energia elétrica – QEE de uma instalação elétrica por intermédio da implantação de um sistema de monitoramento em qualidade de energia (SMQEE), no qual se monitora continuamente os parâmetros elétricos da tensão e corrente, bem como a performance da malha de aterramento durante uma ocorrência. A instalação do sistema ainda não foi totalmente concluída, faltando a instrumentação dos pontos de medição do serviço auxiliar e da malha de aterramento. Todavia, pode-se afirmar que o SMQEE demonstrou ser eficiente na leitura e diagnóstico de problemas relacionados à QEE, levantando-os em tempo hábil. Permite-se, assim, que os técnicos acelerem a tomada de decisão, buscando melhorar a qualidade da energia fornecida.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Banco de Informações de Geração: BIG**. 2014. Disponível em [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm) acessado em 18 Set. 2014.

\_\_\_\_\_. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. 2012. Disponível em:  
<[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8\\_Revis%C3%A3o\\_4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_4.pdf)> Acesso em: 21.08.15

ANDO JUNIOR, O. H. **Desenvolvimento de uma metodologia para identificar e quantificar distúrbios da qualidade da energia elétrica**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Engenharia Elétrica. UFRGS. 2009. Disponível em:  
<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18419/000728387.pdf?sequence=1>>  
Acesso em: 13.08.15

BERNARDES, R.; AYELLO, F. **SMQEE – Sistema de Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica**. Copyright IEEE. PCIC BR. 2008. Disponível em:  
<[http://www.selinc.com.br/art\\_tecnicos/SMQEE\\_SISTEMA\\_DE\\_MONITORAMENTO\\_DA\\_QUALIDADE\\_DE\\_ENERGIA.pdf](http://www.selinc.com.br/art_tecnicos/SMQEE_SISTEMA_DE_MONITORAMENTO_DA_QUALIDADE_DE_ENERGIA.pdf)> Acesso em: 11.08.15

BOYLE, G. **Renewable energy: power for a sustainable future**. Oxford: Oxford University Press, 2006.

BROCKA, M Suzane; BROCKA, Bruce. Gerenciamento da qualidade. Editora Makron, 1994.

COELHO, Suani Teixeira. **Panorama do setor de energia no Brasil**. Brasília: ANEEL, 2013.

CHAPMAN. D. **Introdução à Qualidade de Energia**. Copper Development Association, abr. 2002. Disponível em: < <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/Qualidade-EE-1.pdf> > Acesso em: 10. 09.15

CROSBY, P. A gestão pela qualidade. **Banas Qualidade**, v.8, n. 70, p. 98. Março, 1998.

DANTAS, J. P. **Avaliação da qualidade da energia na Usina Hidrelétrica Coaracy Nunes: Investigação de problemas recorrentes no serviço auxiliar CA**. Monografia de Especialização. UFPA. 130 p. 2006

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Avaliação da qualidade de energia elétrica**. UNICAMP. 2010. Disponível em:  
<<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a1.pdf> > acesso em: 13.09.15

DELMONT FILHO, O. **Utilização da transformada wavelet para caracterização de distúrbios na qualidade da energia elétrica**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003

DEMING, W. Edwards; **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990

DIAS, J. H.; VILHENA, P. R. M.; AMANAJAS, D.; DANTAS, J. P.; BEZERRA, U. H.; TOSTES, M. E. L.; SANTANA, A. L.; MOSCOSO, M. N. **Estudo para Implantação do Sistema de Gestão em Qualidade de Energia Elétrica na UHE Coracy Nunes**. The 9<sup>o</sup> Latin American Congresso on Electricity generation and transmission. 2013.

DNAEE. **Portaria DNAEE nº 293/92**. Grupo de Trabalho para propor novos índices. Brasília (DF), 1992

DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. **Electrical power systems quality**. New York, McGraw-Hill, 1996.

ELETROBRÁS. **Centrais Elétricas Brasileiras S. A. – ELETROBRÁS**. Memória da Eletricidade. 2006. Disponível em <<http://www.memoria.eletrabras.com/index.asp>>. Acesso em: 04.08.15

ELETROBRÁS. **Energia Elétrica: conceito, qualidade e tarifação**. – Brasília: IEL/NC. 127 p., 2009. Disponível em:  
<[http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_18/2014/04/22/6281/Energiaeltrica-qualidade.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Energiaeltrica-qualidade.pdf) > Acesso em: 21.09.15

FEIGENBAUM, A. V. **Controle da qualidade total: Gestão e Sistemas**. v.1, São Paulo : Makron Books, 1994.

FELBER, L. A. **Regulação de tensão em subestações de distribuição de energia elétrica**. 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Itajubá. 2010. Disponível em: <[http://www.gqee.unifei.edu.br/arquivos\\_upload/mesdou/72/72.pdf](http://www.gqee.unifei.edu.br/arquivos_upload/mesdou/72/72.pdf)> Acesso em: 13.06.15

FREITAS, Marcos. A. ROSA, Luiza. **Energia renovável para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Revista Brasileira de Energia, v. 14, n. 1, jan./jun., 2011.

FREITAS, M. A. Geração de energia hidroelétrica. Rio de Janeiro: Rev Bras Energia, v. 23, jan./jun. 2011.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – FUSP. “**A história da eletricidade no Brasil**”. 2006 Disponível em <<http://www.sel.eesc.sc.usp.br/protecao/conteudodehistoricobrasil.htm>>. Acesso em: 04.08.15

GRANDI, A. L.; SIQUEIRA, M. J. **Modelo de relatório de qualidade da energia elétrica atendendo aos procedimentos de distribuição PRODIST**. O setor elétrico. Ed. 81. 2003. Disponível em: <[http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed81\\_fasc\\_distribuicao\\_cap9.pdf](http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed81_fasc_distribuicao_cap9.pdf)> Acesso em 21.08.15

HASSIN, E. S.; MUNIZ, W. R.; MATTAR, C.; GARCIA, R. – “**Indicadores Técnicos dos Serviços de Distribuição: Uma Proposta**” – Monografia Final do curso CENÁRIOS. 1999

HUA, L., BUAQUN, Z., HONG Z. (2008). “**Recognition and Classification of Power Quality Event in Power System Using Wavelet Transform**” Proc. of 27th Chinese Control Conference, pp. 43-46. 2008

LUENGO, C. A.; BEZZON, G. **Tecnologias de conversão energética**. Manaus: EDUA, 2009.

KISER, Kenneth J.; SASHKIN, Marshall. *Gestão da Qualidade Total na Prática – O que é TQM, como usá-la e como sustenta-la a longo prazo*. Rio de Janeiro: Campus, 1994

MACHADO, R. N. M. ; BEZERRA, Ubiratan Holanda ; TOSTES, M. E. L. ; FREIRE, Selma Cristina ; MENESES, Lair A. . Application of Wavelet Transform and Artificial Neural Network to Extract Power Quality Information from Voltage Oscillographic Signals in Electrical Power. System. INTECH Wavelet Transform / Book 2: 2011, v. , p.

MARSHALL Jr, I.; CIERCO, A. A.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B.; AMORIM, S. R. L.. **Gestão da qualidade**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 204 p., 2008.

MEHL, E. L. M. **Qualidade de Energia Elétrica**. UFPR. 8 p., 2012. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>> Acesso em: 05.06.15

OLESKOVICZ M., COURY D. V., CARNEIRO A. A. F. M., ARRUDA E. F., FILHO O. D. e SOUZA S. A. Estudo Comparativo de Ferramentas Modernas de Análise Aplicadas à Qualidade da Energia Elétrica. Sba – **Revista Controle & Automação**, Vol. 17, No. 3, pp. 331-341.

POZZEBON, G. G. **Transformada wavelet e redes neurais artificiais na análise de sinais relacionados à qualidade da energia elétrica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. UFSM. 2009. Disponível em: <[http://cascavel.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2539](http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2539) > Acesso em: 08.08.15

RAMAGE, J. **Hydroelectricity**. Oxford: Oxford University Press, 2013.

RIBEIRO, Carlos. M. **Potencial energético brasileiro**. São Paulo: USP, 2012.

ROSENTINO JUNIOR, A. J. P.; GONDIM, I. N.; BERNARDES, V. A. **Distúrbios de qualidade de energia elétrica**. 2005. Disponível em: <[http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2005/ceel2005\\_074.pdf](http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2005/ceel2005_074.pdf) > Acesso em: 10.09.15

SALES, C.; MONTEIRO, E. M.; HOCHSTETLER, R. L. Qualidade do fornecimento de energia elétrica: confiabilidade, conformidade e presteza. **Revista GTD**, nov., 17 p., 2014. Disponível em: <[http://www.acendebrasil.com.br/media/artigos/20141125\\_RevistaGTD1\\_Qualidadedofornecimentodenergiaeletricaconfiabilidadeconformidadeepresteza.pdf](http://www.acendebrasil.com.br/media/artigos/20141125_RevistaGTD1_Qualidadedofornecimentodenergiaeletricaconfiabilidadeconformidadeepresteza.pdf)> Acesso em: 10.08.15

SANTANA, A. L.; CONDE, G.; SANTOS, F.; SILVA R.; FRANCÊS C. R. L.; TOSTES M. E. L. “**A New Methodology for Grouping Electric Power Consuming Units to Meet Continuity Indicators Targets Established by the Brazilian Regulatory Agency**”. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 7, p. 414-419, 2013

SANTANA, A. L.; CONDE, G.; SANTOS, F.; SILVA R.; FRANCÊS C. R. L.; ROCHA C. A.; REGO L. P.; BEZERRA U.; COSTA, D. L.. “**PREDICT - Decision support system for load forecasting and inference: a new undertaking for Brazilian power suppliers**”. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 38, p. 33-45, 2012.

SUMAILI, J.; MIRANDA V.; SANTANA Á. L.; Francês, C. R. L.; Rego, L. P. “**A densification trick using mean shift to allow demand forecasting in special days with scarce data**”. **Proceedings 2013 of the Seventeenth International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems**. pp. 936-940.

THAREJA, M.; THAREJA, P. **The quality brilliance thru'brilliant people.** **Quality World**, vol. 4, n. 2, 2007. Disponível em:  
<[http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1498550](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1498550)> Acesso em: 10.05.15

VERAS, C. M. dos A. **Gestão da Qualidade.** IFTM-MA. 2009. Disponível em :  
<[http://www2.ifma.edu.br/proen/arquivos/artigos.php/gestao\\_da\\_qualidade.pdf](http://www2.ifma.edu.br/proen/arquivos/artigos.php/gestao_da_qualidade.pdf). > Acesso em:  
15.12.15

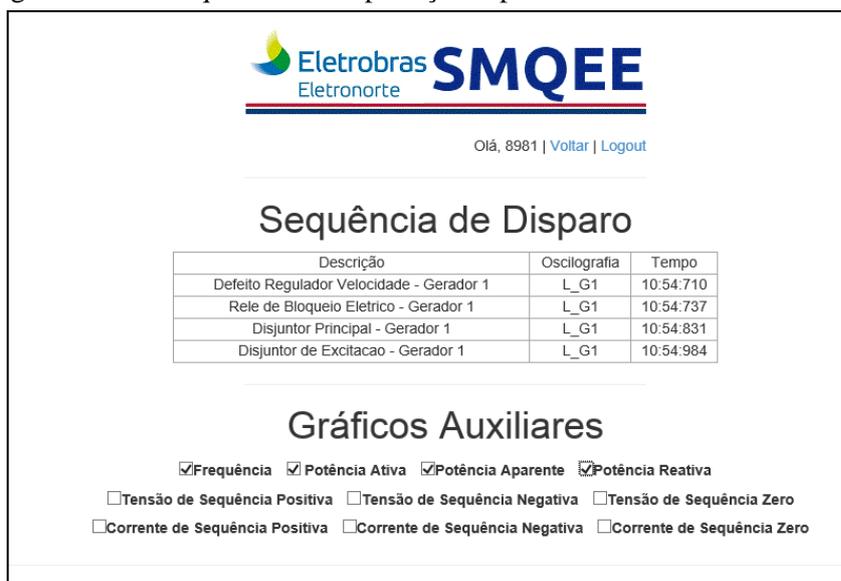
UFMG. **Variações e Flutuações de Tensão.** Departamento de Engenharia Elétrica. 2013.  
Disponível em: < [http://www.cpdee.ufmg.br/~selenios/Qualidade/EEE934\\_2\\_1.pdf](http://www.cpdee.ufmg.br/~selenios/Qualidade/EEE934_2_1.pdf) > Acesso  
em: 15.09.15

## APÊNDICE – ANÁLISE DE UMA OCORRÊNCIA COM AUXÍLIO DO SMQEE

1- Com objetivo de melhorar o conhecimento do leitor acerca dos recursos do SMQEE, a seguir será mostrado o detalhamento de uma ocorrência detectada pelo referido Sistema:

A figura abaixo, mostra uma tabela do SMQEE com a sequência de disparo das proteções que foram acionadas durante uma ocorrência. Normalmente, durante um evento anormal em uma usina, o sistema supervisão que é monitorado pela equipe de operadores, mostra uma avalanche de alarmes dificultando a análise de primeiro nível em tempo hábil. Essa primeira análise serve para embasar as decisões técnicas logo após a ocorrência. Essa tabela, por ser resumida e com as informações mais relevantes, permite a esses operadores visualizarem com maior facilidade o que ocorreu. Nesse caso em particular, pode-se notar um problema no regulador de velocidade da unidade geradora 01, que acionou o relé de bloqueio, e por sua vez acionou a abertura do disjuntor principal e da excitação, levando a Unidade Geradora 01 ao desligamento.

Figura 01- tabela que mostra as proteções operadas durante uma ocorrência



The screenshot shows the SMQEE interface with the following content:

**Eletrobras SMQEE**  
Eletronorte

Olá, 8981 | Voltar | Logout

### Sequência de Disparo

Descrição	Oscilografia	Tempo
Defeito Regulador Velocidade - Gerador 1	L_G1	10:54:710
Relé de Bloqueio Eletrico - Gerador 1	L_G1	10:54:737
Disjuntor Principal - Gerador 1	L_G1	10:54:831
Disjuntor de Excitacao - Gerador 1	L_G1	10:54:984

### Gráficos Auxiliares

Freqüência  
  Potência Ativa  
  Potência Aparente  
  Potência Reativa  
 Tensão de Sequência Positiva  
  Tensão de Sequência Negativa  
  Tensão de Sequência Zero  
 Corrente de Sequência Positiva  
  Corrente de Sequência Negativa  
  Corrente de Sequência Zero

A seguir é mostrado outra tabela onde aparecem as grandezas que sofreram alterações e o tempo de duração das perturbações. É possível verificar que as três fases da unidade 01 sofreram afundamento na magnitude com mesmo valor e ao mesmo tempo.

Figura 02- Tabela que mostra detalhes da perturbação na máquina 01

Detalhes da Perturbação			
Subestação	COARACY NUNES - L_G1		
Data da Medição	14/11/2010,10:34:54.210764		
Arquivo para Download	<a href="#">2010_11_14_10_34_54.zic</a>		
	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
Valor Eficaz Máximo (p.u.)	1,04	1,04	1,04
Valor Eficaz Mínimo(p.u.)	0,31	0,31	0,31
Duração (número de ciclos)	128,10	128,70	128,42
Duração da Perturbação (segundos)	2,14	2,14	2,14
Harmônico THD	0,01	0,02	0,01
Desbalanço de Tensão	0,23		

As figuras 03 e 04, mostram os gráficos de tensão e corrente da máquina 01 antes e durante a ocorrência. O gráfico de tensão abaixo, mostra que não houve recuperação da tensão. Esse gráfico comprova o desligamento da máquina ocasionado pela atuação da proteção. A tensão no gerador vai caindo ao longo do tempo após a abertura do disjuntor principal, isso ocorre devido a tensão no campo do gerador, sendo que a corrente é interrompida imediatamente.

Figura 03- Gráfico da tensão antes e durante a ocorrência.

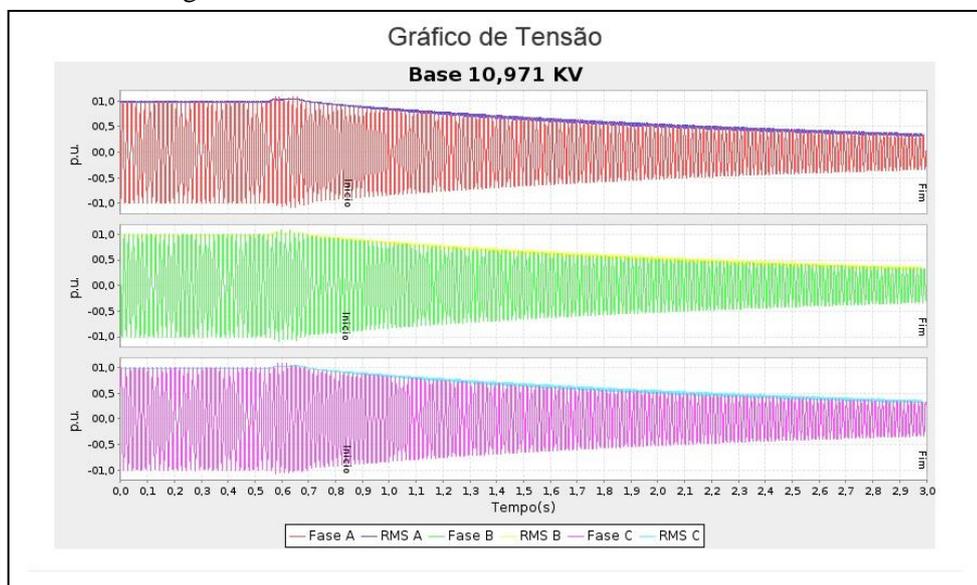
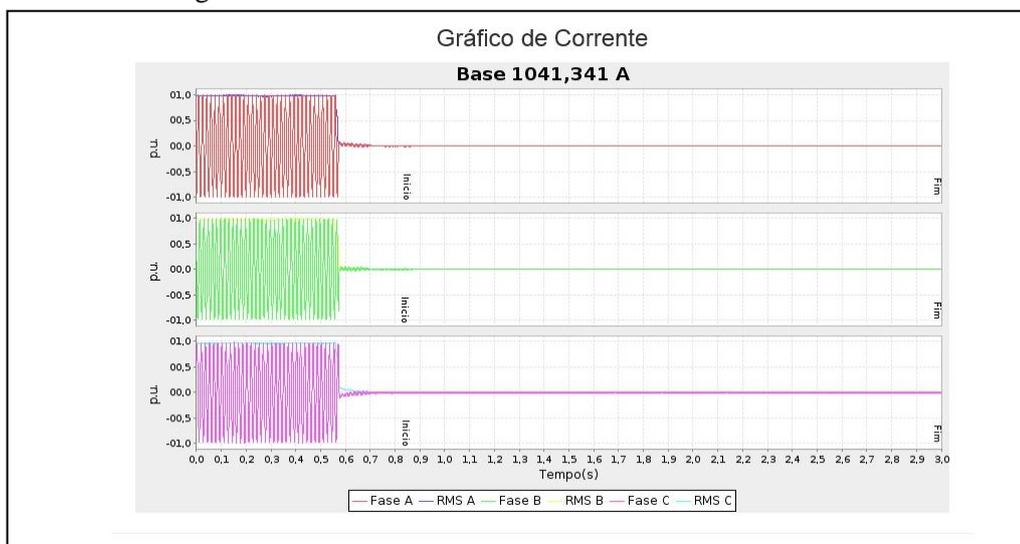
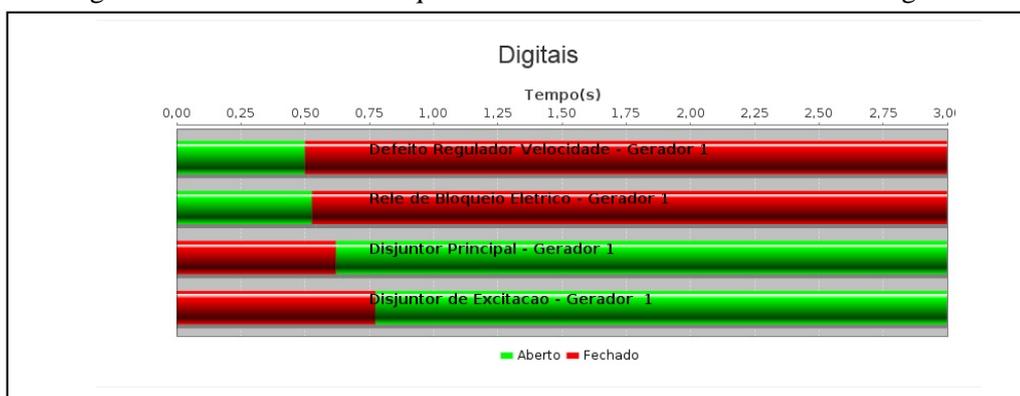


Figura 04- Gráfico da corrente antes e durante a ocorrência



A figura abaixo mostra as entradas digitais que foram ativadas ou desativadas durante a ocorrência. No caso em particular, verifica-se a proteção do Regulador de Velocidade operando um pouco antes do relé de bloqueio, que por sua vez abre o disjuntor principal e o de excitação em sequencia.

Figura 05- Gráfico de barras que mostra o acionamento das entradas digitais.



As figuras de 06 a 09, mostram a frequência e as potências ativa, aparente e reativa, durante a pré-falta e a falta. Todas com comportamento dentro do esperado devido ao desligamento da unidade geradora 01.

Figura 06- Gráfico da frequência, antes e durante a ocorrência.

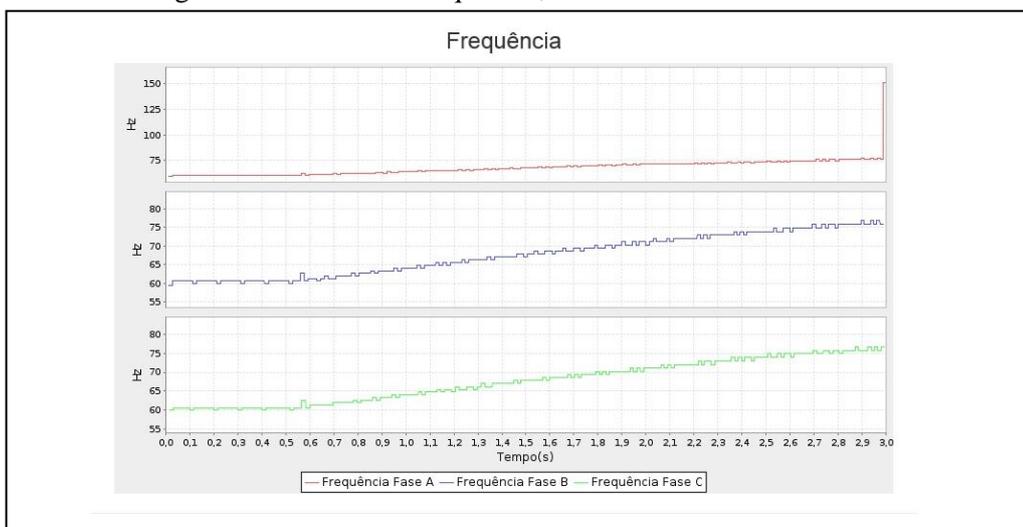


Figura 07- Gráfico da Potência Ativa, antes e durante a ocorrência.

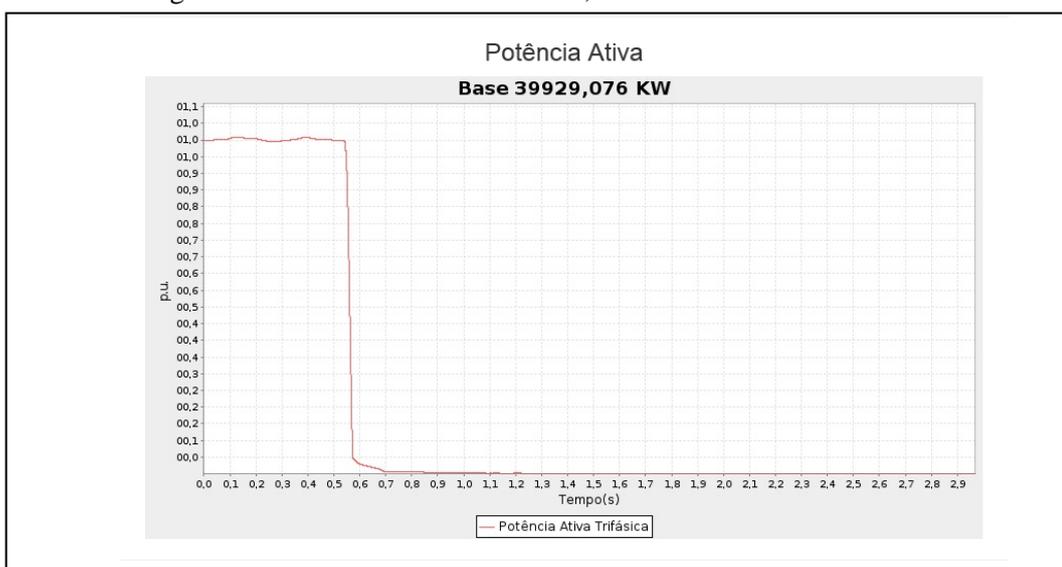


Figura 08- Gráfico da Potência Aparente, antes e durante a ocorrência.

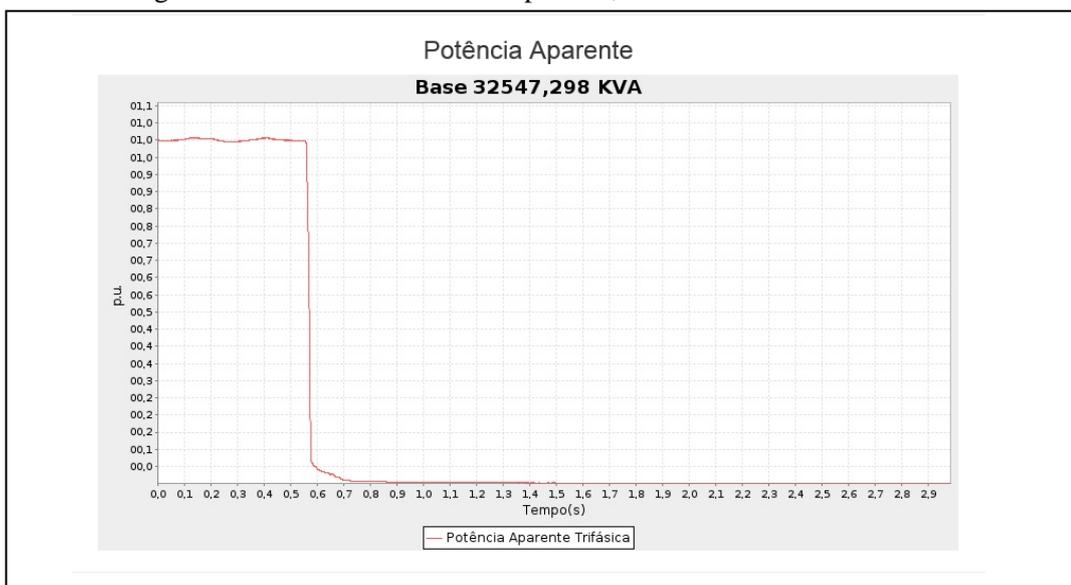
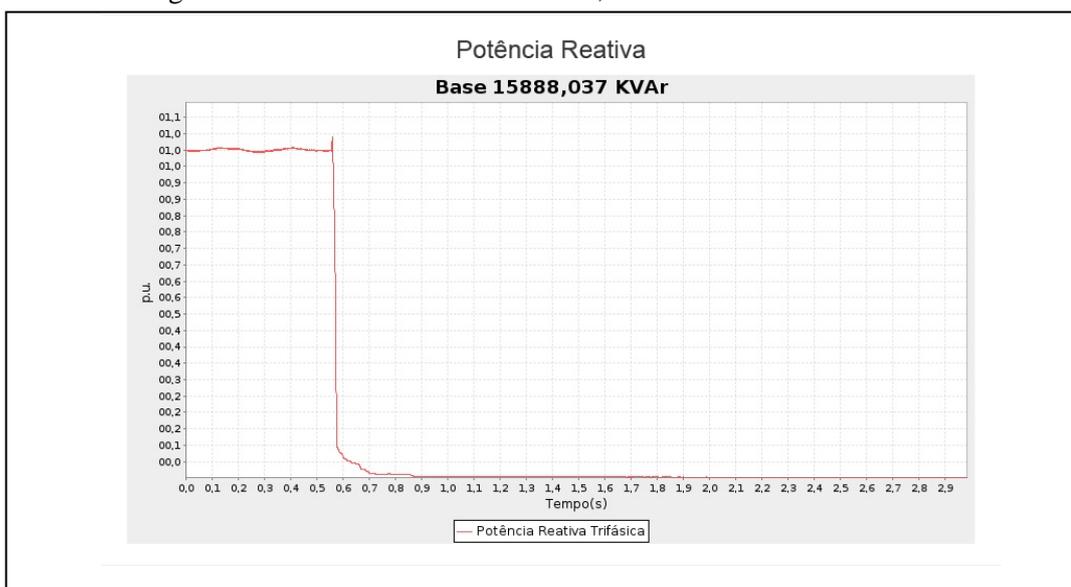


Figura 09- Gráfico da Potência reativa, antes e durante a ocorrência.



O SMQEE expõe na mesma tela todas as oscilografias disponíveis durante a ocorrência. Nesse caso, o quadro abaixo mostra a performance da Unidade Geradora 02, que sofreu variações de tensão de curta duração devido ao desligamento da Unidade Geradora 01. Isso ocorre, porque essas unidades geradoras operam conectadas ao mesmo barramento, fazendo com que momentaneamente a Unidade Geradora 02, inicie a assumir a carga que foi rejeitada pela Unidade Geradora 01.

Figura 10- Tabela que mostra detalhes da perturbação na Unidade Geradora 02.

Subestação	COARACY NUNES - L_G2		
Data da Medição	14/11/2010, 10:34:54.210764		
Arquivo para Download	<a href="#">2010_11_14_10_34_54.zic</a>		
	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
Valor Eficaz Máximo (p.u.)	1,00	0,99	1,04
Valor Eficaz Mínimo(p.u.)	0,90	0,90	0,91
Duração (número de ciclos)	0,00	1,56	0,00
Duração da Perturbação (segundos)	0,00	0,03	0,00
Harmônico THD	0,01	0,01	0,00
Desbalanço de Tensão	0,42		

As figuras 11 e 12 mostram a variação de tensão e corrente e os fenômenos ocorridos na unidade geradora 02 durante o desligamento da unidade geradora 01.

Figura 11- Gráfico que mostra a variação de tensão nas fases da Unidade Geradora 02 durante a Ocorrência.

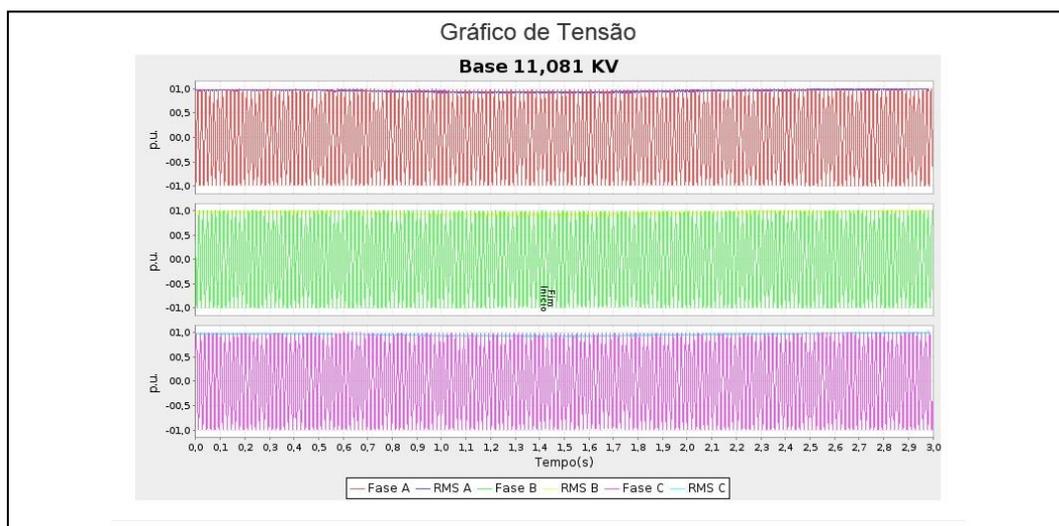
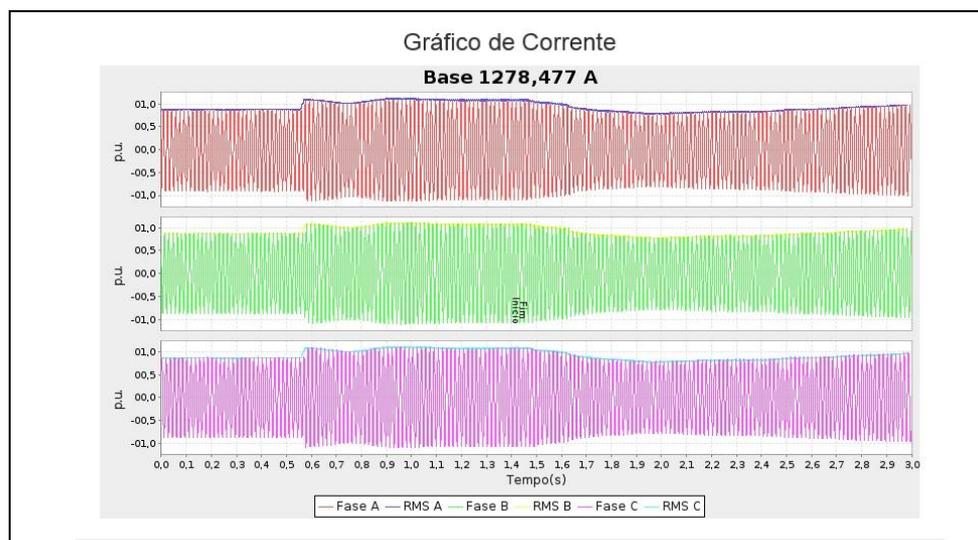


Figura 12- Gráfico que mostra a variação da corrente nas fases da Unidade Geradora 02 durante a ocorrência.



Conforme mostrado na figura 13, não ocorreu operação de nenhuma entrada digital, seja de proteção ou operação de equipamentos que levasse ao desligamento da Unidade Geradora 02.

Figura 13- Gráfico de barras que mostrando que não houve acionamento das entradas digitais na Unidade Geradora 02.



As figura de 14 a 17, mostram a frequência e as potencias ativa, aparente e reativa, durante a pré- falta e a falta na Unidade Geradora 02. Todas com comportamento dentro do esperado devido o desligamento da Unidade Geradora 01.

Figura 14- Gráfico da frequência, antes e durante a ocorrência.

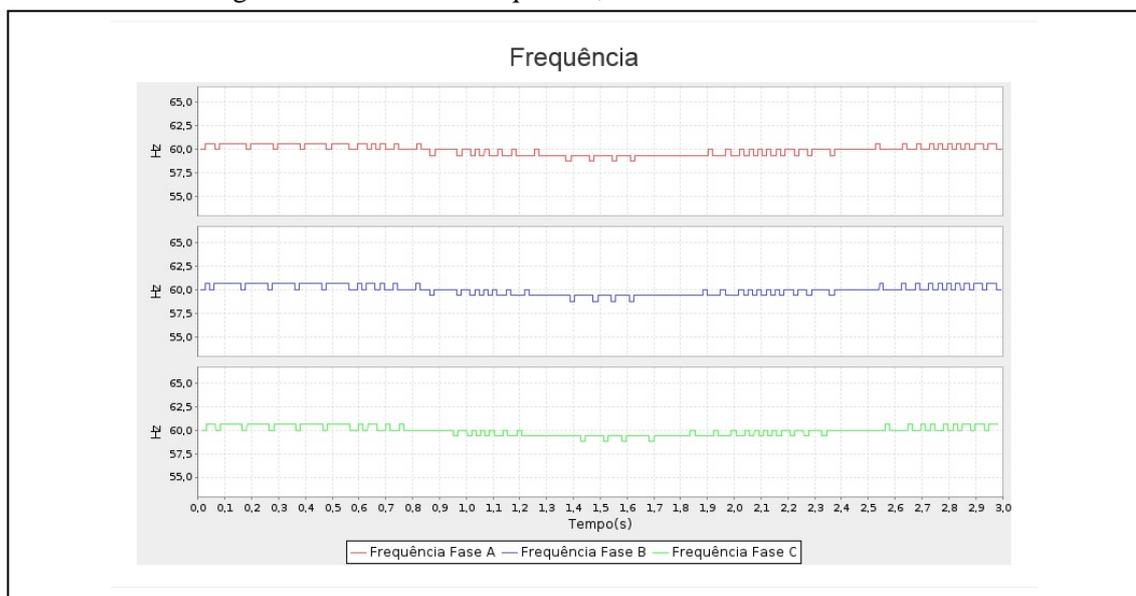


Figura 15- Gráfico da Potência Ativa na unidade geradora 02, antes e durante a ocorrência.

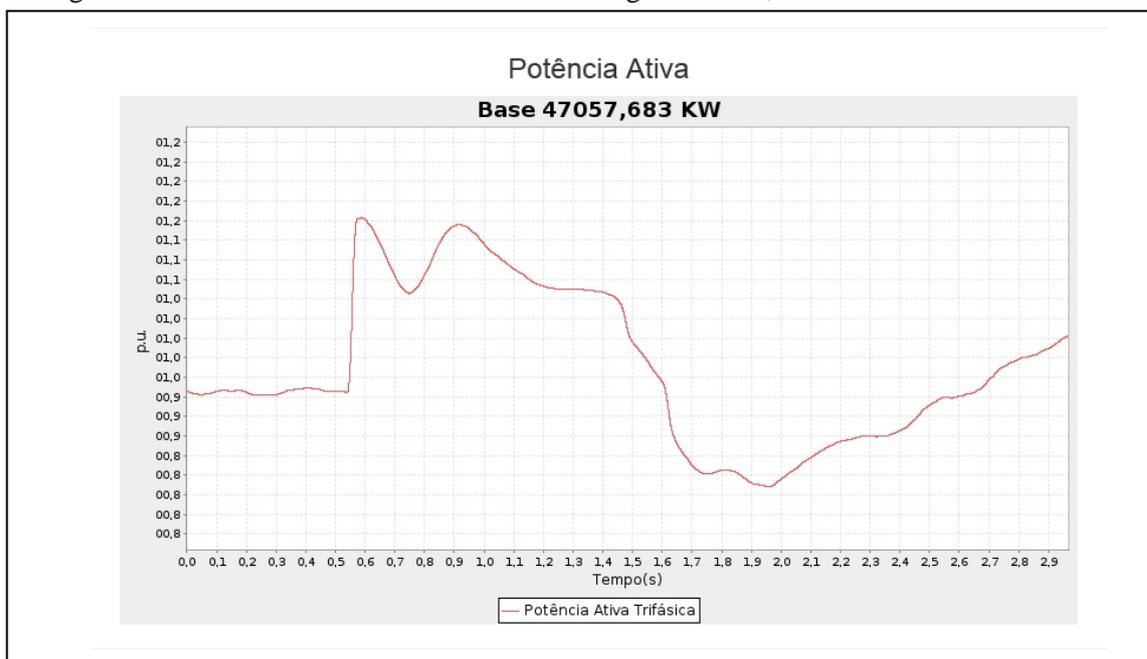


Figura 16- Gráfico da Potência Aparente na unidade geradora 02, antes e durante a ocorrência.

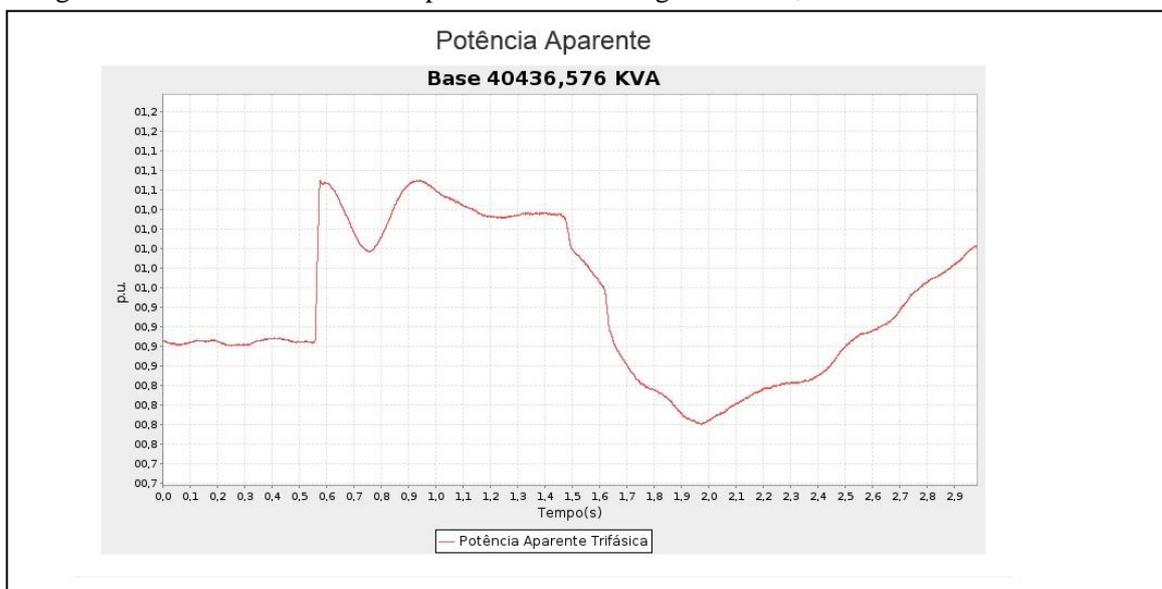
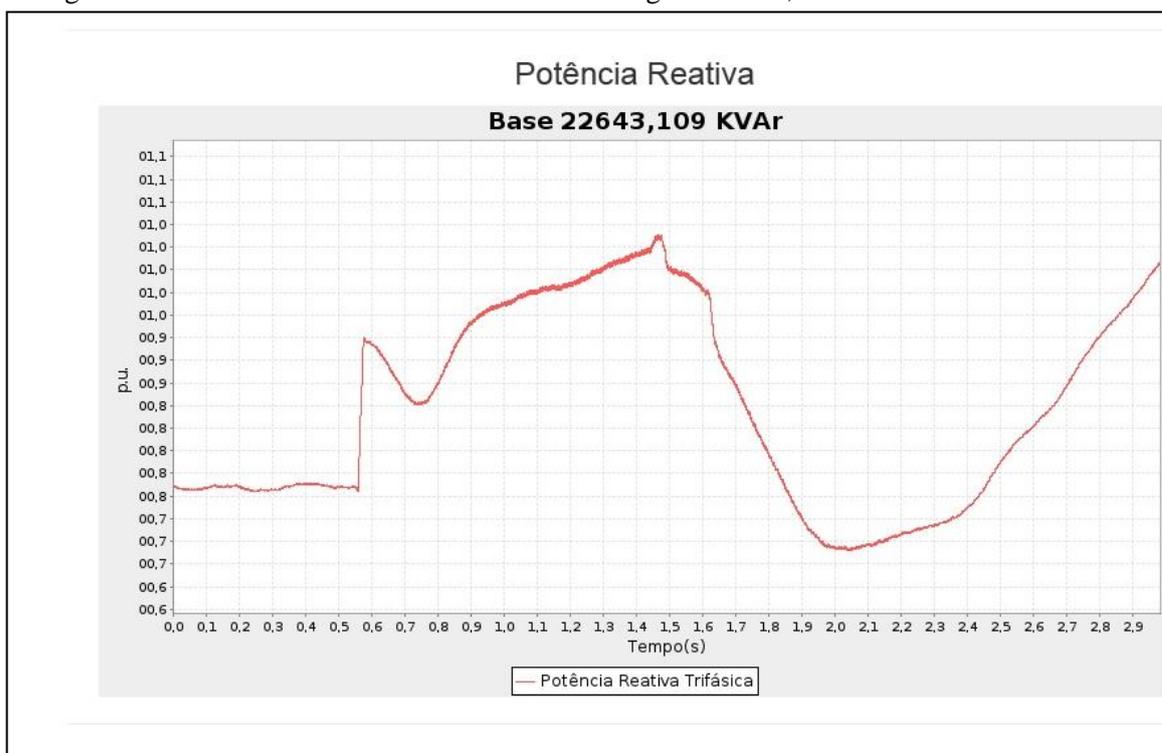


Figura 17- Gráfico da Potência Reativa na unidade geradora 02, antes e durante a ocorrência.



Após as análises gráficas feita pelos especialistas, o SMQEE disponibiliza uma área onde se pode escrever um relatório. A figura18 mostra o relatório acerca da ocorrência analisada.

Figura 18- Tabela que mostra detalhes da perturbação na máquina 02.

