

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA A ANÁLISE DOS
NÍVEIS DE TENSÃO EM REGIME PERMANENTE NO
SISTEMA ELÉTRICO**

ALCIDES DE ARAÚJO ROMÃO NETO

ORIENTADOR: ANÉSIO DE LELES FERREIRA FILHO

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO

BRASÍLIA/DF: MARÇO/2006

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA A ANÁLISE DOS
NÍVEIS DE TENSÃO EM REGIME PERMANENTE NO
SISTEMA ELÉTRICO**

ALCIDES DE ARAÚJO ROMÃO NETO

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO.

APROVADA POR:

-

**ANÉSIO DE LELES FERREIRA FILHO, Mestre, UnB
(ORIENTADOR)**

-

**Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira, Doutor, UnB
(EXAMINADOR)**

-

**Francisco Assis de Oliveira Nascimento, Doutor, UnB
(EXAMINADOR)**

DATA: BRASÍLIA/DF, MARÇO DE 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Romão Neto, Alcides de Araújo
UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA A ANÁLISE DOS NÍVEIS DE TENSÃO EM REGIME PERMANENTE NO SISTEMA ELÉTRICO. [Distrito Federal] 2006.
p., 297 mm (ENE/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Elétrica, 2006).

Projeto Final de Graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Power quality
2. Voltage
3. Computer Program

I. ENE/FT/UnB.
II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ROMÃO NETO, ALCIDES DE ARAÚJO (2006). Um Programa Computacional para a Análise dos Níveis de Tensão em Regime Permanente no Sistema Elétrico. (Projeto Final de Graduação), Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 67p

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Alcides de Araújo Romão Neto

TÍTULO DO TRABALHO: Um Programa Computacional para Análise dos Níveis de Tensão em Regime Permanente no Sistema Elétrico. [Distrito Federal] 2006

GRAU/ANO: Bacharel/2006.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste de projeto final de graduação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Alcides de Araújo Romão Neto
CLN 411, Bloco C, lj 68 ss, Asa Norte
CEP 70866-530 – Brasília-DF – Brasil

AGRADECIMENTOS

Eu desejo agradecer a Deus acima de tudo por ter a chance de estar aqui neste momento. Agradeço a minha mãe Aninha e às avós Idjalda e Iaia por juntas lutarem para me ajudar a chegar onde estou, apesar das dificuldades e desventuras da vida. A minha irmã Caroline e família pelo carinho e apoio, em especial a sua afilhada Isabella e sobrinha Mariana. A tia Lucinha, ao tio Marco e família que me acolheram assim que cheguei em Brasília. A minha namorada Letícia e seus pais Satiro e Lucia por me terem aceitado como um atual membro familiar e o ajudarem em todos os momentos, inclusive nas revisões deste trabalho, além do amor, carinho, paciência e atenção dispensadas. Aos amigos Joel, Carlos, Glayson e Luiz, que me acolheram no CO e me deram apoio para seguir o curso e com quem convivi boa parte deste e construí uma grande amizade. A todos os amigos e familiares e colegas de onde estagiei (LCCC-UnB, ANATEL, ELETRONORTE) que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse aqui. Também agradeço a todos os alunos do grupo de pesquisa e ao professor Anésio que com atenção e paciência, sempre se preocupava com a pesquisa e com a formação de todos, sendo um Orientador de verdade. Também não posso me esquecer de todos os outros professores que já passaram na minha vida. E por último agradeço e ofereço este momento ao meu pai Alcides que não pôde estar ao seu lado em quase toda a minha vida, mas que certamente sempre torceu por ele e está muito feliz neste exato momento.

DEDICATÓRIA

O autor dedica este trabalho à sua família e aos seus amigos.

RESUMO

Este trabalho visa apresentar uma ferramenta computacional criada a partir da linguagem de programação do MatLab, para a análise das variações dos níveis de tensão em regime permanente. A partir de medições utilizando-se os mais variados tipos de instrumentos, são formados bancos de dados que poderão ser caracterizados, analisados e interpretados segundo diversas normas e recomendações. Indubitavelmente, a ferramenta implementada tende a consolidar-se como uma metodologia de grande utilidade para concessionárias, universidades e profissionais interessados na quantificação e na qualificação das variações dos níveis de tensão em regime permanente.

ABSTRACT

This work aims to present a computational tool developed using the MatLab programming language, for the analysis of the variations in steady state voltage levels. Databases are mounted based on measurements obtained by using several equipments and they can then be characterized, analyzed and interpreted according to various norms and recommendations. Undoubtedly, the implemented tool tends to consolidated itself as a methodology of great utility for concessionaires, universities and professionals interested in quantify and qualify variation in stead state voltage levels.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	3
2.1. CONCEITO DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	3
2.1.1. Transitórios.....	3
2.1.2. Variações de tensão de curta duração.....	4
2.1.3. Variações dos níveis de tensão em regime.....	4
2.1.4. Desequilíbrios e assimetrias de tensão.....	4
2.1.5. Distorções da forma de onda.....	4
2.1.6. Flutuações de tensão.....	4
2.1.7. Variações de frequência.....	5
2.2. VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE TENSÃO EM REGIME.....	5
2.3. PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE [1].....	6
2.4. NORMA BRASILEIRA [7].....	7
3. EMBASAMENTO MATEMÁTICO E ESTATÍSTICO.....	11
3.1. VALOR EFICAZ.....	11
3.2. VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS.....	11
3.3. MÉDIA ARITMÉTICA:	11
3.4. MÉDIA QUADRÁTICA:	12
3.5. DESVIO PADRÃO.....	13
3.6. PROBABILIDADE, P95%, P99% E FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO.....	13
3.7. ERRO ABSOLUTO OU DISCREPÂNCIA.....	14
3.8. MÉDIA TEMPORAL E MÉDIA DE PROBABILIDADES.....	14
4. PROGRAMA PARA O ESTUDO DAS VARIAÇÕES DOS NÍVEIS DE TENSÃO NO SISTEMA ELÉTRICO.....	16
4.1. A FERRAMENTA MATLAB®.....	16
4.2. O PROGRAMA PQEE.....	17
4.2.1. Banco de Dados.....	20
4.2.2. Frequência de Aquisição.....	25
4.2.3. Análise de Similaridade entre Fases.....	27
4.2.4. Análise de Similaridade entre Dias.....	28
4.2.5. Análise de Similaridade entre Períodos.....	29
4.2.6. Estacionalidade.....	30
4.2.7. Análise da carga.....	31
4.2.8. Qualificação e Norma.....	32
4.2.8.1. Cálculo numérico.....	33
4.2.8.2. Norma.....	34
4.2.8.3. Análise Gráfica.....	35
5. ESTUDO DE CASOS.....	41
5.1. ANÁLISE DOS DADOS.....	41
5.1.1. SIMILARIDADE ENTRE AS FASES.....	42
5.1.2. ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO.....	44
5.1.3. ANÁLISE VOLTADA À DETERMINAÇÃO DO PERÍODO MÍNIMO NECESSÁRIO PARA MEDIÇÃO.....	45

5.1.4. ANÁLISE ALTERNATIVA DESTINADA À AVALIAÇÃO DA SUORTABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS FRENTE AOS NÍVEIS DE TENSÃO E NORMA.....	47
5.1.5. QUALIFICAÇÃO DAS TENSÕES.....	50
6. CONCLUSÃO.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – PROCEDIMENTO GERAL PARA A AVALIAÇÃO DE UM PROBLEMA DE QUALIDADE [1].....	7
FIGURA 4.2 – FLUXOGRAMA DO PROJETO.....	17
FIGURA 4.3 – FLUXOGRAMA DO PROGRAMA.....	18
FIGURA 4.4 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO.....	20
FIGURA 4.5 – INICIALIZAÇÃO DO PROGRAMA.....	22
FIGURA 4.6 – TELA DE APRESENTAÇÃO I.....	23
FIGURA 4.7 – TELA DE APRESENTAÇÃO II.....	23
FIGURA 4.8 – CARACTERIZAÇÃO DOS BANCOS DE DADOS.....	24
FIGURA 4.9 – ESCOLHA DO TIPO DE ARQUIVO PARA LEITURA DOS DADOS.....	25
FIGURA 4.10 – ENTRADA DO VALOR NOMINAL DE TENSÃO DO LOCAL EM MEDIÇÃO.....	25
FIGURA 4.11 – MÓDULO ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO.....	26
FIGURA 4.12 – EXEMPLO DE GRÁFICO PONTO A PONTO DA ANALISE DE FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO.....	27
FIGURA 4.13 – EXEMPLO DE GRÁFICO DE BARRAS ANALISE DE FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO.....	27
FIGURA 4.14 – MÓDULO ANÁLISE DE SIMILARIDADE ENTRE FASES.....	28
FIGURA 4.15 – MÓDULO ANÁLISE DE SIMILARIDADE ENTRE DIAS.....	29
FIGURA 4.16 – MÓDULO ANÁLISE DE SIMILARIDADE ENTRE PERÍODOS.....	30
FIGURA 4.17 – MÓDULO ANÁLISE DE ESTACIONALIDADE.....	31
FIGURA 4.18 – MÓDULO ANÁLISE DE CARGA.....	32
FIGURA 4.19 – MÓDULO DE QUALIFICAÇÃO E NORMA.....	33
FIGURA 4.20 – CÁLCULO NUMÉRICO.....	34
FIGURA 4.21 – HISTOGRAMA DE TENSÕES.....	34
FIGURA 4.22 – SUB-MÓDULO DE ANÁLISE DA NORMA.....	35
FIGURA 4.23 – SUB-MÓDULO DE OPÇÕES GRÁFICAS.....	36
FIGURA 4.24 – HISTOGRAMA DE OCORRÊNCIA DE TENSÕES.....	37
FIGURA 4.25 – FUNÇÃO DE PROBABILIDADE ACUMULADA.....	37
FIGURA 4.26 – FUNÇÃO DE PROBABILIDADE ACUMULADA EM JUNÇÃO COM HISTOGRAMA DE OCORRÊNCIA DE TENSÕES.....	38
FIGURA 4.27 – FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA INVERSA DE TEMPO	38
FIGURA 4.28 –INTERVALOS ININTERRUPTOS ABAIXO DE VL.....	39

FIGURA 4.29 – INTERVALOS ININTERRUPTOS ACIMA DE VL.....	39
FIGURA 4.30 – PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE INTERVALOS DE TEMPO ININTERRUPTOS DE TENSÃO COM $V_1 > V_L$.....	40
FIGURA 5.31 – TENSÕES DAS 3 FASES DE UMA QUARTA-FEIRA.....	42
FIGURA 5.32 – TENSÕES DAS 3 FASES DE UM DOMINGO.....	42
FIGURA 5.33 – ESTATÍSTICA DAS TRÊS FASES.....	43
FIGURA 5.34 – CURVAS DAS TENSÕES PARA 3 FREQUÊNCIAS DE AQUISIÇÃO.	44
FIGURA 5.35 – MEDIÇÃO DE TODOS OS DADOS.....	45
FIGURA 5.36 – CURVAS DAS TENSÕES PARA 3 FREQUÊNCIAS DE AQUISIÇÃO.	47
FIGURA 5.37 – INTERVALOS ININTERRUPTO DE TEMPO COM $V_1 \leq 395.2$ VOLTS	48
FIGURA 5.38 – INTERVALOS ININTERRUPTO DE TEMPO COM $V_1 \geq 395.2$ VOLTS	48
FIGURA 5.39 – PROBABILIDADE DE INTERVALOS ININTERRUPTO DE TEMPO COM $V_1 \geq 395.2$ VOLTS	49
FIGURA 5.40 – PROBABILIDADE DE INTERVALOS ININTERRUPTO DE TEMPO COM $V_1 \leq 395.2$ VOLTS	49
FIGURA 5.41 – HISTOGRAMA DE TENSÕES.....	50

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - TENSÃO NOMINAL IGUAL OU SUPERIOR A 230 KV.....	8
TABELA 2.2 - TENSÃO NOMINAL IGUAL OU SUPERIOR A 69 KV E INFERIOR A 230 KV	8
TABELA 2.3 - TENSÃO NOMINAL SUPERIOR A 1 KV E INFERIOR A 69 KV.....	8
TABELA 2.4 - TENSÃO NOMINAL PADRONIZADA IGUAL OU INFERIOR A 1 KV	9
TABELA 2.5 – TENSÃO NOMINAL NÃO PADRONIZADA IGUAL OU INFERIOR A 1 KV	9
TABELA 4.6 – FORMATO DO BANCO DE DADOS EM EXCEL.....	21
TABELA 5.7 – ESTATÍSTICAS DA ANÁLISE DE SIMILARIDADE ENTRE FASES	43
TABELA 5.8 - ESTATÍSTICAS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO.	44
TABELA 5.9 - ESTATÍSTICAS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO.	46
TABELA 5.10 - ESTATÍSTICAS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO	46

LISTA DE ABREVIações

Abreviação	Significado
ABRACE	Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CIGRÉ	International Council on Large Electric Systems
CPD	Centro de Processamento de Dados
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DRC	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica
DRP	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária
DRPM	Duração Relativa da Transgressão Máxima de Tensão Precária
EEE	Empresas de Energia Elétrica
ELETOBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
ic	Intervalo de Confiança
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
nlc	Número de Leituras Situadas nas Faixas Críticas
nlp	Número de Leituras Situadas nas Faixas Precárias
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PLC	Power Line Communication
PQEE	Programa de Qualidade de Energia Elétrica
pu	Por Unidade
RMS	Valor Eficaz
TA	Tensão de Atendimento
TC	Tensão Crítica
TL	Tensão de Leitura
TN	Tensão Nominal
TP	Tensão Precária
UIE	International Union for Electricity Applications
UnB	Universidade de Brasília

1. INTRODUÇÃO

Devido ao avanço tecnológico, houve um aumento significativo no uso de aparelhos eletro/eletrônicos e uma grande proliferação dos controles microprocessados, todos sensíveis à qualidade de tensão de alimentação. Equipamentos de alta tecnologia e de elevado valor comercial podem ter sua eficiência prejudicada e até mesmo serem danificados caso a alimentação não esteja de acordo com os padrões para os quais foram projetados. Tais dispositivos têm uma característica contraditória: ao mesmo tempo em que necessitam de um fornecimento de energia com uma melhor qualidade, eles inserem distúrbios de tensão e corrente no sistema elétrico. Sabe-se que constantes interrupções de processos industriais que utilizam equipamentos sensíveis às variações de tensão vêm ocorrendo e, como consequência, têm lhes causado sérios danos. Em virtude dos inúmeros prejuízos que podem ser ocasionados a todos, este assunto tem assumido considerável importância no setor elétrico, razão pela qual a qualidade do fornecimento de energia elétrica tem sido cada vez mais um motivo de grande preocupação para as concessionárias de energia elétrica e as indústrias brasileiras.

Diante dessa constatação, é imperativo afirmar a necessidade de se realizar uma adequada monitoração da qualidade da energia elétrica que mostra ser uma providência vital tanto para a caracterização como para a identificação precisa dos fenômenos eletromagnéticos envolvidos que afetam as cargas sensíveis do consumidor. O conhecimento e o domínio de tais informações são essenciais para obter-se então um diagnóstico apurado do problema e para tentar dirimir os possíveis efeitos danosos provenientes destes distúrbios de energia.

Neste ínterim o presente trabalho foi idealizado com o propósito de ser uma ferramenta para o estudo da qualidade de energia; mais especificamente, uma ferramenta para o estudo das variações dos níveis de tensão em regime permanente, podendo analisar, quantificar e qualificar os valores medidos e compará-los com os efeitos causados em equipamentos ligados à rede elétrica.

O “Programa para o Estudo da Variação dos Níveis de Tensão” tem como base a linguagem de programação MatLab®, que permite estudos de bancos de dados gerados a partir das leituras de medidores de grandezas relacionadas à qualidade da energia. Um banco

de dados pode ser estatisticamente caracterizado, analisado e interpretado de acordo com diversas metodologias propostas pelas normas e recomendações existentes. Com o intuito de estudar as variações dos níveis de tensão, esta ferramenta lança mão de cálculos estatísticos, probabilísticos e impressão de gráficos para suas análises. O programa foi desenvolvido com base nos problemas de tensão existentes na rede elétrica, os quais certamente necessitam de estudos e análises para tentar reduzir seus efeitos.

Este texto está dividido em seis capítulos. O capítulo 1, composto pela introdução, visa à contextualização do projeto no cenário atual, mostrando uma breve descrição do projeto e de seus objetivos e a motivação para sua concretização. O capítulo 2 versa sobre as definições concernentes ao tema aqui exposto e o tratamento pela norma brasileira. O capítulo 3 introduz os conceitos matemáticos e estatísticos utilizados para desenvolver a ferramenta computacional. O capítulo 4 trata da ferramenta computacional em si, e de suas várias etapas de análise. No capítulo 5 tem-se um exemplo de utilização da ferramenta computacional por meio de um estudo de caso. E por último há o capítulo 6 que trata da conclusão do projeto, assim como das sugestões para estudos futuros.

2. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Este capítulo visa conceituar o termo qualidade de energia e apresentar a norma com relação aos níveis de tensão em regime.

2.1. CONCEITO DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

O conceito Qualidade de Energia apresenta diferentes conotações dependendo do referencial adotado. Os fabricantes de produtos eletrônicos o definem como uma energia com certas características que garantam o funcionamento correto dos seus equipamentos. Por sua vez, os grandes consumidores associam a Qualidade de Energia à confiabilidade e à reabilitação do sistema elétrico, ou seja, o sistema é exigido a fornecer energia elétrica em 99,98% do tempo [1].

Outros trabalham com a idéia de que o termo “qualidade de energia elétrica” refere-se de fato, à tensão, que por sua vez deveria ser entregue aos consumidores em valores ideais com um comportamento perfeitamente senoidal, com valor eficaz (RMS) e frequências constantes e iguais a uma faixa de valores pré-definidos. Sabe-se, porém, que na maioria dos sistemas de distribuição, o comportamento supracitado não ocorre por causa de fenômenos como curtos-circuitos ou manobras nas linhas de transmissão, e ainda, devido a fenômenos eletromagnéticos. Os últimos são gerados intrinsecamente pelo próprio sistema elétrico, e interferem na tensão e na corrente produzidas pelas concessionárias, causando distorções em seus valores eficazes, na frequência, no formato da onda de tensão e corrente, na fase e na amplitude. Este último conceito é o que será adotado neste trabalho.

A seguir, tem-se as definições para cada tipo de distúrbio da qualidade da energia elétrica. É importante salientar que diversos autores ainda não são unânimes com relação a todas elas, mas os termos apresentados representam os mais utilizados atualmente.[1]

2.1.1. Transitórios

O termo transitório é usado para análise de fenômenos em sistemas de potência, caracterizando aqueles eventos indesejáveis no sistema elétrico que são de natureza momentânea. De forma geral, transitórios podem ser classificados em duas categorias: impulsivos e oscilatórios [1].

2.1.2. Variações de tensão de curta duração

As variações de tensão de curta duração podem ser geradas por faltas no sistema elétrico ou por cargas que absorvem grandes correntes de partida. Dependendo da localização da falta e das características de aterramento do sistema, a falta poderá causar afundamento de tensão, elevação de tensão ou interrupção[1].

2.1.3. Variações dos níveis de tensão em regime

As variações de longa duração, tema deste trabalho, englobam variações do valor eficaz da tensão por um tempo superior a 1 minuto. Essas variações de tensão podem representar tanto sobretensões como subtensões. Elas são normalmente causadas por variações de carga ou pela perda de interligações no sistema elétrico[1]. Sua descrição mais detalhada estará contida no capítulo 2.2

2.1.4. Desequilíbrios e assimetrias de tensão

Em sistemas trifásicos espera-se que as tensões nas três fases possuam a mesma amplitude (ou valor eficaz) e estas defasadas entre si de 120° . Quando isso não ocorre, tem-se o desequilíbrio de tensão. O fato do sistema não estar com a carga bem distribuída ou a queima de fusíveis geram estes distúrbios[1].

2.1.5. Distorções da forma de onda

As distorções da forma de onda correspondem aos desvios, em regime permanente, da forma de onda da tensão ou da corrente em relação à sua forma puramente senoidal. As distorções são usualmente classificadas em quatro tipos: nível CC, corte de tensão, harmônicos e ruídos[1].

2.1.6. Flutuações de tensão

As flutuações de tensão são variações regulares ou aleatórias de baixa frequência no valor eficaz da tensão, as quais não excedem o limite especificado de 0,95 a 1,05 pu. Qualquer carga que apresentar variações rápidas de demanda de corrente, principalmente na componente reativa, pode provocar flutuações na tensão.

O principal efeito vinculado às flutuações de tensão é a cintilação luminosa (*flicker*). Magnitudes pequenas de flutuações de tensão (0,5%), na faixa de frequência de 6 a 8 Hz podem resultar em cintilação luminosa[1].

2.1.7. Variações de frequência

A frequência em sistemas elétricos está diretamente relacionada com a rotação dos geradores e com o balanço entre a carga e a geração disponível. Se por qualquer motivo este equilíbrio dinâmico é alterado, tem-se variações de frequências de pequena ordem, cuja magnitude do desvio e a sua duração dependem das características da carga e da resposta dos dispositivos de frequência[1].

Variações de frequência que ultrapassam os valores limites da condição de regime permanente são normalmente causadas por faltas no sistema, pelo desligamento de grandes blocos de carga ou saída de unidades geradoras. Entretanto, em condições normais de operação, variações severas de frequência são incomuns em sistemas de potência modernos e interconectados[1].

Como anunciado no capítulo 2.1.3, o capítulo 2.2 que virá a seguir, enunciará o conceito de variação dos níveis de tensão em regime de forma mais aprofundada, relatando suas causas, efeitos e soluções de possíveis problemas.

2.2. VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE TENSÃO EM REGIME

Entende-se como variações dos níveis de tensão em regime aquelas que ocorrem com intervalo de duração igual ou superior a 1 minuto, alterando o valor eficaz da tensão C.A.. Estes distúrbios podem ser tanto elevações de tensão, ou sobretensão, assim como quedas de tensão, ou subtensão [7].

As sobretensões podem ter como possíveis causas o desligamento de grandes cargas ou a energização de um banco de capacitores. Como consequência, podem ser citadas falhas de equipamentos em geral, queima de equipamentos eletrônicos e diminuição da vida útil de transformadores, cabos, disjuntores e máquinas rotativas. Os relés de proteção também podem apresentar falhas. Um outro detalhe que se deve ressaltar é que a potência reativa aumentará com o quadrado da tensão durante a sobretensão. Como tentativa de sanar este problema pode-se trocar banco de capacitores fixos por automáticos para se ter um maior controle do nível de tensão e a instalação de compensadores estáticos de reativos.

As subtensões são decorrentes principalmente do carregamento excessivo de circuitos alimentadores, entre outros motivos pode-se destacar a conexão de grandes cargas à rede, o

desligamento de bancos de capacitores. Como consequência das subtensões, destacam-se a redução da potência reativa fornecida por bancos de capacitores ao sistema, possível interrupção de equipamentos eletrônicos como computadores e controladores microprocessados, redução do índice de iluminação ambiente, elevação do tempo de partida das máquinas de indução, o que eleva a corrente que passa pelo estator, ocasionando o aumento da temperatura dos enrolamentos e levando a diminuição da vida útil dos mesmos. Para atenuar os efeitos da subtensão pode-se lançar mão de reguladores de tensão para elevar o nível de tensão, utilizar capacitores “*shunt*” para reduzir a corrente do circuito, instalar capacitores série para cancelar a queda de tensão indutiva e por último pode-se colocar cabos com bitolas maiores nas instalações com o intuito de reduzir a impedância.

2.3. PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE [1]

Para se fazer um estudo sobre a qualidade de energia, é preciso seguir o diagrama da figura 2.2. As possíveis soluções devem ser avaliadas de um ponto de vista sistêmico, considerando tanto os aspectos técnicos como os aspectos econômicos. Soluções possíveis podem ser identificadas desde o sistema da concessionária até a instalação do consumidor. Conflitos podem surgir para indicar a melhor solução, ou ainda no momento de determinar quem é financeiramente responsável.

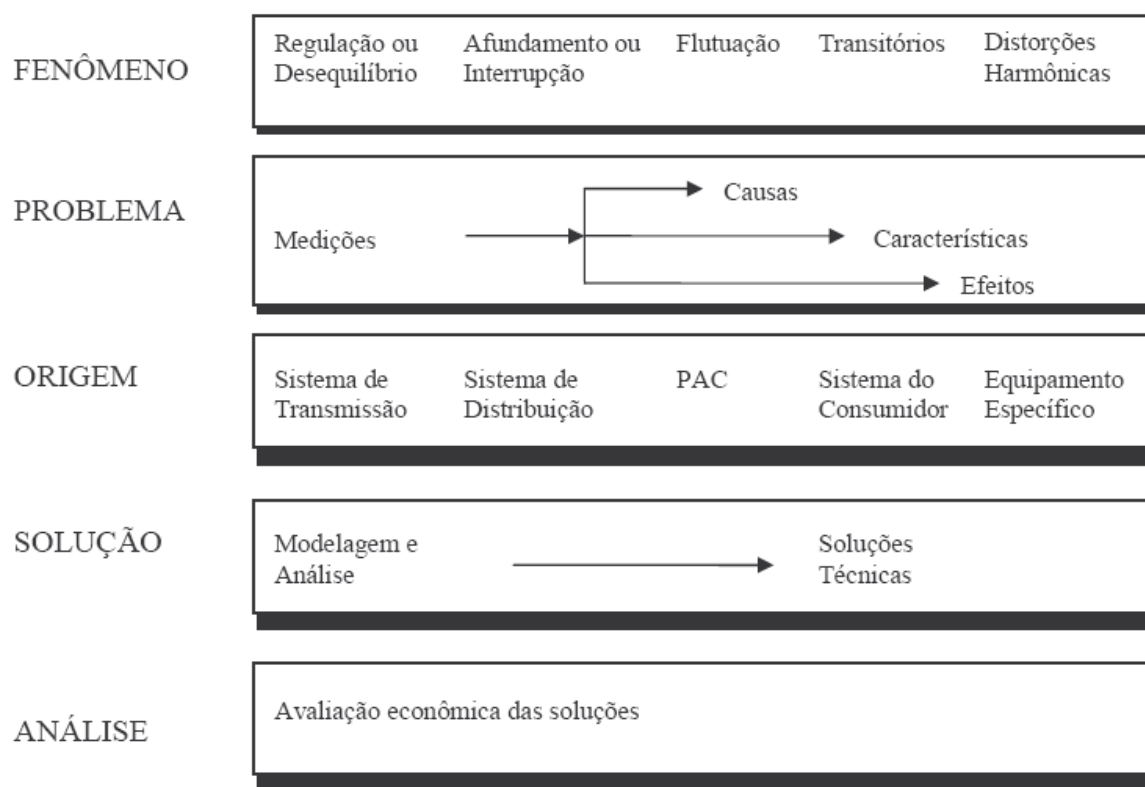


Figura 2.1 – Procedimento geral para a avaliação de um problema de qualidade [1]

2.4. NORMA BRASILEIRA [7]

Devido ao foco deste trabalho, este tópico abrange apenas o tema de tensão eficaz.

A legislação no Brasil, quanto ao aspecto de tensão, até 1978 versou sobre a fixação de tensões nominais dos sistemas elétricos das concessionárias, não abordando os níveis de tensão e suas variações permissíveis. Naquele ano, o DNAEE emitiu a Portaria 047, datada de 17 de abril de 1978, ficando então determinados tais parâmetros e os compromissos das concessionárias para com seus consumidores, no aspecto contratual [1]. Aquela Portaria fixava o valor de tensão de fornecimento e estabelecia os limites de variação de tensão do fornecimento de energia no ponto de entrega. Também estipulava o prazo para correção do problema.

As Portarias DNAEE 087/80 e DNAEE 004/89 alteraram a portaria DNAEE 047/78. Com o advento da ANEEL, a Portaria DNAEE 047/78 foi revogada pela Resolução ANEEL 505 de 2001 e corrigida pela Resolução ANEEL 676 de 2003.

Percebe-se que desde 1978, a Eletrobrás vem discutindo critérios e metodologias para o atendimento de consumidores com cargas não-lineares. Instituições importantes no cenário

energético brasileiro como as EEE, CIGRÈ, UIE, IEC, IEEE, IBS, ABRACE, universidades, entre outros, vêm participando das discussões. Porém, ainda faltam muitos aspectos a serem tratados até que uma regulamentação completa no setor torne-se uma realidade. A regulação adequada da qualidade dos serviços é sem dúvida muito importante para o funcionamento apropriado dos serviços públicos de energia elétrica e de defesa do consumidor, impondo deveres tanto aos fornecedores quanto aos consumidores.

Com a finalidade de regulamentar as condições técnicas e a qualidade do serviço de energia elétrica no Brasil, foram criados índices e definições sobre os fenômenos de qualidade de energia elétrica.

Com o advento da ANEEL e do ONS, algumas considerações foram feitas com relação aos limites de tensão, sendo criadas faixas de valores que, de acordo com a tensão de fornecimento, são classificados como adequados, precários e críticos, como mostram as tabelas 2.1 a 2.5.

Tabela 2.1 - Tensão Nominal igual ou superior a 230 kV

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
Adequada	$0,95 \text{ TC} \leq \text{TL} \leq 1,05 \text{ TC}$
Precária	$0,93 \text{ TC} \leq \text{TL} < 0,95 \text{ TC}$ ou $1,05 \text{ TC} < \text{TL} \leq 1,07 \text{ TC}$
Crítica	$\text{TL} < 0,93 \text{ TC}$ ou $\text{TL} > 1,07 \text{ TC}$

Tabela 2.2 - Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
Adequada	$0,95 \text{ TC} \leq \text{TL} \leq 1,05 \text{ TC}$
Precária	$0,90 \text{ TC} \leq \text{TL} < 0,95 \text{ TC}$ ou $1,05 \text{ TC} < \text{TL} \leq 1,07 \text{ TC}$
Crítica	$\text{TL} < 0,90 \text{ TC}$ ou $\text{TL} > 1,07 \text{ TC}$

Tabela 2.3 - Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
Adequada	$0,93 \text{ TC} \leq \text{TL} \leq 1,05 \text{ TC}$
Precária	$0,90 \text{ TC} \leq \text{TL} < 0,93 \text{ TC}$
Crítica	$\text{TL} < 0,90 \text{ TC}$ ou $\text{TL} > 1,05 \text{ TC}$

Tabela 2.4 - Tensão nominal padronizada igual ou inferior a 1 kV

TENSÕES NOMINAIS PADRONIZADAS				
Tensão Nominal (TN)		Faixa de Valores Adequados das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN	Faixa de Valores Precários das tensões de Leitura (TL) em relação à TN	Faixa de Valores Críticos das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN
Ligação	Volts			
Trifásico	220 / 127	(201 ≤ TL ≤ 231) / (116 ≤ TL ≤ 133)	(189 ≤ TL < 201 ou 231 < TL ≤ 233) / (109 ≤ TL < 116 ou 133 < TL ≤ 140) /	(TL < 189 ou TL > 233) (TL < 109 ou TL > 140)
	380 / 220	(348 ≤ TL ≤ 396) / (201 ≤ TL ≤ 231)	(327 ≤ TL < 348 ou 396 < TL ≤ 403) / (189 ≤ TL < 201 ou 231 < TL ≤ 233) /	(TL < 327 ou TL > 403) (TL < 189 ou TL > 233)
Monofásico	254 / 127	(232 < TL ≤ 264) / (116 < TL ≤ 132)	(220 ≤ TL < 232 ou 264 < TL ≤ 269) / (109 ≤ TL < 116 ou 132 < TL ≤ 140) /	(TL < 220 ou TL > 269) (TL < 109 ou TL > 140)
	440 / 220	(402 ≤ TL ≤ 458) / (201 ≤ TL ≤ 229)	(380 ≤ TL < 402 ou 458 < TL ≤ 466) / (189 ≤ TL < 201 ou 229 < TL ≤ 233) /	(TL < 380 ou TL > 466) (TL < 189 ou TL > 233)

Tabela 2.5 – Tensão nominal não padronizada igual ou inferior a 1 kV

TENSÕES NÃO PADRONIZADAS				
Tensão em Extinção		Faixa de Valores Adequados das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN	Faixa de Valores Precários das tensões de Leitura (TL) em relação à TN	Faixa de Valores Críticos das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN
Ligação	Volts			
Trifásica	208 / 120	(196 ≤ TL ≤ 229) / (113 ≤ TL ≤ 132)	(189 ≤ TL < 196 ou 229 < TL ≤ 233) / (109 ≤ TL < 113 ou 132 < TL ≤ 135)	(TL < 189 ou TL > 233) (TL < 109 ou TL > 135)
Monofásica	230 / 115	(216 ≤ TL ≤ 241) / (108 ≤ TL ≤ 127)	(212 ≤ TL < 216 ou 241 < TL ≤ 253) / (105 ≤ TL < 108 ou 127 < TL ≤ 129)	(TL < 212 ou TL > 253) (TL < 105 ou TL > 129)
	240 / 120	(216 ≤ TL ≤ 254) / (108 ≤ TL ≤ 127)	(212 ≤ TL < 216 ou 254 < TL ≤ 260) / (106 ≤ TL < 108 ou 127 < TL ≤ 130)	(TL < 212 ou TL > 260) (TL < 106 ou TL > 130)

Com o intuito de auxiliar a análise, foram criados dois indicadores de qualidade; o DRC (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica) indicador individual referente à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão críticas, no período de observação definido, expresso em percentual, e o DRP, Duração Relativa da Transgressão de Tensão

Precária, indicador individual referente à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão precárias, no período de observação definido, expresso em percentual. Estes índices estão definidos conforme apresentado nas equações 2.1 e 2.2.

$$DRC = \frac{nlc}{1.008} \cdot 100[\%] \quad [2.1]$$

$$DRP = \frac{nlp}{1.008} \cdot 100[\%] \quad [2.2]$$

Onde: nlp = número de leituras situadas nas faixas precárias;

nlc = número de leituras situadas nas faixas críticas; e

1.008 = número de leituras válidas a cada 10 (dez) minutos no período de observação.

Como período de medição a norma apregoa a frequência de aquisição de 10 minutos durante uma semana. Como procedimento do ONS recomenda-se que nesta semana de medição não tenha manobras ou desligamentos programados. Sendo assim, deve ser uma semana normal, sem feriados ou eventos especiais, para que os dados colhidos sejam representativos.

A partir de 1º de janeiro de 2005, expirados os prazos estabelecidos nos artigos da Resolução 505 e detectada a não regularização dos níveis de tensão, será calculado um valor a ser restituído a quem foi submetido ao serviço inadequado, de acordo com a fórmula 2.3:

$$Valor = \left[\frac{DRP - DRP_M}{100} \cdot k1 + \frac{DRC}{100} \cdot k2 \right] \cdot k3 \quad [2.3]$$

Onde: k1 = 1;

k2 = 4, para unidades consumidoras atendidas em Baixa Tensão (≤ 1 kV);

k2 = 2, para unidades consumidoras atendidas em Média Tensão (> 1 kV e < 69 kV);

k2 = 1, para unidades consumidoras atendidas em Alta Tensão (≥ 69 kV);

DRP = valor do DRP expresso em %;

DRPM = valor do DRPM expresso em %;

DRC = valor do DRC expresso em %; e

k3 = valor líquido da fatura de energia elétrica ou do encargo de uso do sistema de distribuição, referente ao mês de apuração [7].

3. EMBASAMENTO MATEMÁTICO E ESTATÍSTICO

Para o desenvolvimento do estudo em questão, faz-se necessária a utilização de ferramentas matemáticas e estatísticas para as etapas do programa.

3.1. VALOR EFICAZ

O Valor Eficaz refere-se fisicamente à equivalência do valor de qualquer formato de onda com relação a seu equivalente na forma contínua. Por exemplo, a potência RMS de uma onda senoidal, seria o equivalente à potência em corrente contínua de uma carga de mesmo valor. Caso o formato da onda em questão não seja perfeitamente senoidal, para o cálculo do valor eficaz, procede-se como na equação 3.1 [14].

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int^T v^2(t) dt} \quad [3.4]$$

Caso a forma de onda seja perfeitamente senoidal, pode-se efetuar uma simplificação como em 3.2 .

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad [3.5]$$

Para se obter um valor mais confiável para o cálculo, utiliza-se a equação 3.1, pois ela leva em consideração o formato de onda como um todo. Por limitações do aparelho de medição, ele obtém o valor eficaz de tensão de uma forma aproximada.

3.2. VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS

Como o próprio nome sugere, corresponde, respectivamente ao maior e ao menor valor dos dados constantes no espaço amostral. No caso deste trabalho, representa o maior e menor valor de tensão medido pelo instrumento de medição.

3.3. MÉDIA ARITMÉTICA:

A média, definida na equação 3.3, é uma medida muito sensível a dados destoantes, portanto, há de se ter cuidado com a sua utilização e interpretação. Pode-se mostrar que

quando a distribuição dos dados é "normal", então a melhor medida de localização do centro, é a média.

A média possui uma particularidade que consiste no seguinte: se calcularmos os desvios de todas as observações relativamente à média e somarmos esses desvios, o resultado obtido é igual à zero. A média tem uma outra característica, que torna a sua utilização vantajosa em certas aplicações, assim, quando o que se pretende representar é a quantidade total expressa pelos dados, utiliza-se à média. Na realidade, ao multiplicar a média pelo número total de elementos, obtemos a quantidade pretendida [17].

A média aritmética depende de todos os valores da série e qualquer alteração de um deles altera seu valor. Esta medida é influenciada por valores extremos, podendo, em alguns casos, não representar a série.

$$\text{Média aritmética} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad [3.6]$$

3.4. MÉDIA QUADRÁTICA:

Como o sistema está sujeito a distorções harmônicas e ruídos, os valores eficazes podem ser bem discrepantes de um ciclo ao outro, gerando um banco de dados com valores aleatórios com significativa dispersão. Para poder fazer o estudo dos dados obtidos, é necessário proceder ao tratamento dos dados antes. Como a tensão eficaz é por definição uma média quadrática, então, pode-se estimar o valor eficaz médio de vários ciclos. Como o valor obtido pelo instrumento de medição é amostrado, devido ao fato de o equipamento ser digital, utiliza-se a média quadrática para estimar os valores de tensão para outras frequências de medição e com isso, fazer uma espécie de filtros para fenômenos como afundamentos ou harmônicas [14].

Obtém-se a média quadrática de um conjunto de valores elevando-se cada um ao quadrado, somando-se os resultados, dividindo-se o total pelo número n de valores e tomando-se a raiz quadrada do resultado, como mostra a equação 3.4.

$$\text{Média quadrática} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n}} \quad [3.7]$$

3.5. DESVIO PADRÃO

A amplitude total e a média são medidas instáveis, pois se deixa influenciar pelos valores extremos que são na sua maioria devidos ao acaso. Então uma medida que auxilia o estudo estatístico é o desvio padrão.

O desvio padrão, definido em 3.5, e a variância são medidas que fogem a essa falha, pois levam em consideração a totalidade dos valores da variável em estudo, o que faz delas índices de variabilidade bastante estáveis e, por isso mesmo, os mais geralmente empregados. Assim, pode-se definir o desvio padrão como uma medida da magnitude do espalhamento ou dispersão dos dados em relação à média da série. O desvio padrão é uma medida que só pode assumir valores não negativos. Quanto maior for, maior será a dispersão dos dados. Desvio padrão é a raiz quadrada da variância [17].

$$\text{Desvio padrão} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad [3.8]$$

3.6. PROBABILIDADE, P95%, P99% E FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO

A cada um dos eventos de um conjunto que constituem a totalidade dos resultados possíveis numa experiência aleatória, pode-se associar um número x_i e, por conseguinte, uma probabilidade $P(x_i)$ de ocorrência. O conjunto de valores de $P(x_i)$, correspondem à probabilidade de x_i ocorrer. Somados, estes valores correspondem a 100%, constituindo uma distribuição de probabilidade. Já $F(x)$ é função de uma variável aleatória X , no ponto x_i , fazendo com que a probabilidade acumulada de X venha ser menor ou igual à x_i como na equação 3.7[13].

Para o cálculo de $P_n\%$, lança-se mão da estatística de posição. $P_n\%$ é o mesmo que percentil(n), conforme apresentado na equação 3.6. Um percentil é uma medida da posição relativa de uma unidade observacional em relação a todas as outras. O p-ésimo percentil tem no mínimo $P_n\%$ dos valores abaixo daquele ponto e no mínimo $(100 - p) \%$ dos valores acima.[17]

O P95%, representa uma probabilidade de apenas 5% dos valores de seu espaço amostral de serem excedidos por qualquer outro valor do seu conjunto de dados. Da mesma

forma, o P99% representa uma probabilidade de apenas 1% dos valores de seu espaço amostral de serem excedidos por qualquer outro valor do seu conjunto de dados.

Este estudo se faz necessário para se ter uma melhor idéia com relação a pontos discrepantes no banco de dados.

A melhor forma de fazer esse cálculo é ordenar os dados em ordem crescente. O passo seguinte é estabelecer o número de ordem dos dados. Para calcular o percentil, basta fazer a regra de proporções, abaixo e depois fazer uma interpolação numérica para não discretizar os dados.

$$Percentil = 100 \frac{(N_{ORDEM} - 1)}{(n - 1)} \quad [3.9]$$

$$F(x_i) = P(X \leq X_i) = \sum_{i=-\infty}^{x_i} P(x_i) \quad [3.10]$$

3.7. ERRO ABSOLUTO OU DISCREPÂNCIA

É o valor associado à diferença de dados de um determinado banco de dados com relação a um valor pré-determinado. Trata-se de um estudo interessante, pois possibilita observar a diferença entre um dado valor medido e sua referência que, pode ser o valor máximo de tensão aplicada em um equipamento, conforme apresentado na equação 3.8. Valores negativos de erro significam que a grandeza em comparação possui amplitude inferior à referência em questão. Por outro lado, valores positivos representam a amplitude da grandeza superior à referência.

$$\text{erro} = X - R \quad [3.11]$$

3.8. MÉDIA TEMPORAL E MÉDIA DE PROBABILIDADES

Por meio destas duas análises estocásticas é possível versar sobre a estacionalidade do processo em questão.

Na média temporal, equação 3.9, os dados observados durante dias serão utilizados em sequência. É possível por meio dessa análise que se conclua sobre intervalos mínimos necessários de medição.

$$\text{Média temporal (i)} = \frac{X_2 + X_3 + \dots + X_i}{i}, i = 2, \dots, n \quad [3.12]$$

Já a média de probabilidades, equação 3.10, trata da média dos dados obtidos, tomados minuto a minuto. Avalia-se, inicialmente, a influência do número de dias na determinação dos resultados. A média de probabilidade assume valores mais constantes, ou menos dispersos, quanto mais dias forem tomados para a base de cálculo. Quando há convergência nos dados, seu gráfico se assemelha ao de uma reta e sua média representa o valor de tendência como critério de tempo de convergência para média temporal.

$$\text{Média de probabilidade(i)} = \frac{X_{1,i} + X_{2,i} + X_{3,i} + \dots + X_{d,i}}{d}, i = 1, \dots, n \text{ e } d = 1, \dots, n^\circ \text{ dias} \quad [3.13]$$

Como critério de verificação do tempo mínimo para convergência da média temporal, foi adotada uma ferramenta estatística denominada intervalo de confiança (ic). Em medições amostrais, não se pode obter todos os dados nos intervalos compreendidos entre menos infinito a mais infinito. O ic determina que a média dos dados com certo desvio padrão está dentro de um intervalo de valores de acordo com 3.10. Onde γ é a função densidade de probabilidade, μ é a média da amostra, σ é o desvio padrão e n é o número de amostras, \bar{X} é o valor esperado para a média que no caso é igual à média de probabilidade e $Z_{\gamma/2}$, o qual pode ser extraído da Normal padrão[13]. O tempo mínimo adotado é o tempo em que todos os valores se encontram dentro deste intervalo de dados para uma confiança de 99,9%. Para isso, $Z_{\gamma/2}$ é igual a 2,567.

$$IC(\mu, \gamma) = \left[\bar{X} - z_{\gamma/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{X} + z_{\gamma/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right] \quad [3.14]$$

4. PROGRAMA PARA O ESTUDO DAS VARIAÇÕES DOS NÍVEIS DE TENSÃO NO SISTEMA ELÉTRICO

A finalidade deste capítulo em comento é de apresentar a ferramenta computacional proposta neste trabalho. Sendo assim, fez-se necessária a escolha de uma ferramenta de programação. O programa escolhido foi o Matlab®.

Sua escolha como linguagem base para o desenvolvimento de um programa com vistas à análise da variação dos níveis de tensão em regime foi feita devido a seu poder matemático, excelentes respostas gráficas e possibilidade de tratamento de grande volume de dados. Além de ser uma programação relativamente simples, despendendo pouco tempo em sua aprendizagem.

4.1. A FERRAMENTA MATLAB®

O Matlab® teve sua primeira versão em 1984. Seu criador foi Clever Moler, cientista chefe da The MathWorks, resalta que esta ferramenta é apropriada para um ambiente técnico-científico para o desenvolvimento de sistemas sofisticadas e eficientes.[9]

Desde sua origem, o Matlab® vem sendo bastante utilizado por empresas, nos meios acadêmicos e científicos sempre voltado para a criação, análise e simulação de modelos matemáticos em diversas áreas. Adicionalmente, é uma poderosa linguagem de programação de alto nível baseada em matrizes, conferindo-lhe uma potência matemática muito grande, além de possuir diversos e eficientes recursos de geração de gráficos e de boa interface de dados com outros sistemas.[9]

Para a instalação do MATLAB® 6.5 e a execução do aplicativo proposto são exigidos os seguintes recursos mínimos, microcomputador PC Pentium III – 1.0 GHz (ou similar), com 128 MB de RAM e sistema operacional Windows 98 (ou superior). A resolução recomendada e utilizada para o monitor no momento da confecção da ferramenta fim deste trabalho foi de 1152 x 824, porém resoluções menores não acarretaram em erro, apenas imagens e letras podem ficar distorcidas.

4.2. O PROGRAMA PQEE

Como forma de auxiliar os estudos da qualidade de energia, o GSEP vem desenvolvendo uma ferramenta computacional que englobará o estudo dos problemas de qualidade. Este programa terá como parte inicial, a caracterização do banco de dados. Após a coleta de dados estes serão carregados pelo programa e a partir daí, serão analisados de acordo com a necessidade do usuário. Suas etapas de análise podem ser vistas na figura 4.1:

- Distorção Harmônica de Tensão e Corrente;
- Afundamentos e Elevações de Tensão;
- Cintilação Luminosa (*Flicker*);
- Desequilíbrio de Tensão;
- Análise de Transitórios e,
- Variação dos Níveis de Tensão em Regime Permanente.

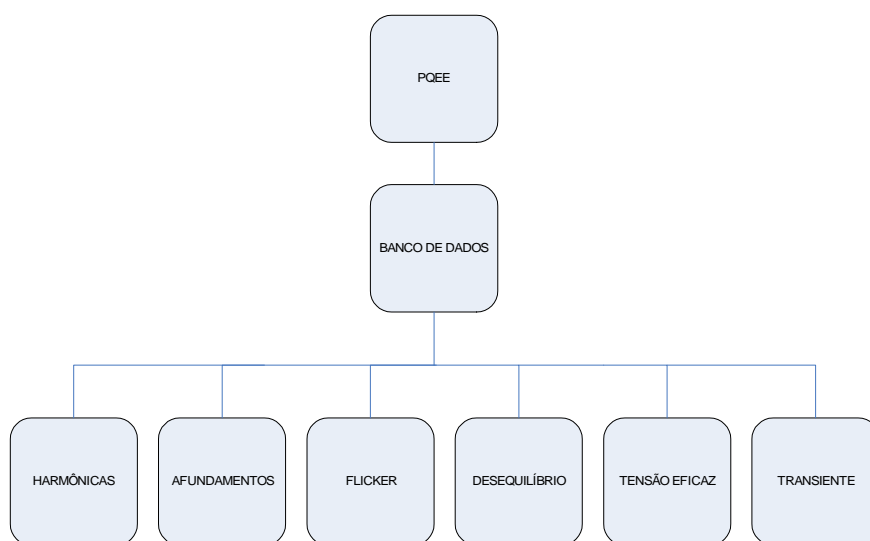


Figura 4.2 – Fluxograma do projeto

O foco da ferramenta desenvolvida neste trabalho refere-se, primordialmente, às variações de níveis de tensão. O programa em questão possui sete etapas de análises e três sub-etapas de Qualificação e Suportabilidade de Equipamentos. Sua estruturação está disposta no fluxograma da figura 4.2.

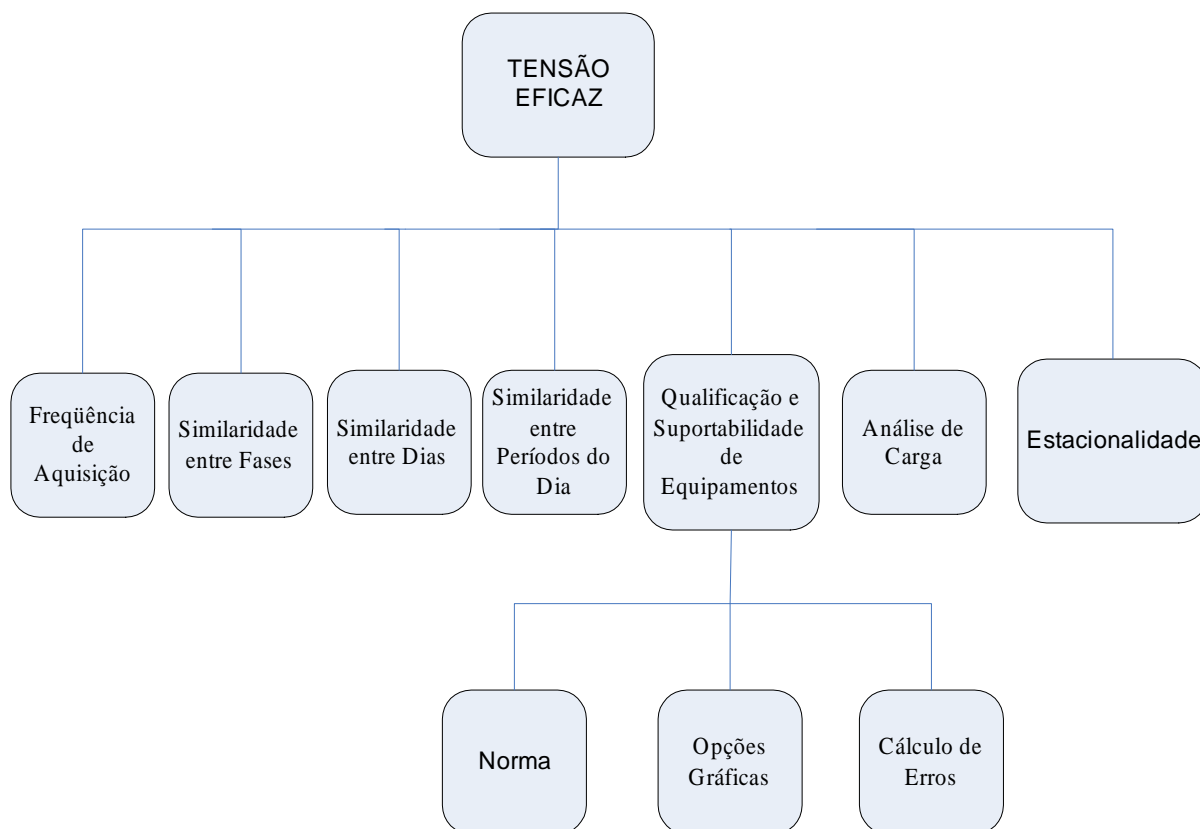


Figura 4.3 – Fluxograma do programa

Ressalta-se que, os 7 módulos do aplicativo, embora independentes, são complementares. Em todos os módulos, excetuando-se o de “Estacionalidade”, as ferramentas estatísticas de análise disponíveis ao usuário, conforme definidas no capítulo 3, são: valores máximo, média quadrática e aritmética, desvio padrão, P95% e P99%. Também estão presentes em todas as etapas, saídas gráficas e facilidades encontradas em diversos aplicativos computacionais, como exportação de dados, salvar imagem e compactação e descompactação de arquivos.

Inicialmente, são caracterizados de forma clara e sucinta, cada um dos módulos que compõem a estrutura geral de avaliação dos Níveis de Tensão em Regime:

- **Módulo de entrada:** Corresponde ao módulo de inicialização do aplicativo, responsável pela leitura do banco de dados e apresentação de suas principais características. São elas: a data de início e número de dias de medição, apresentação das grandezas contidas no banco de dados bem como as etapas e ferramentas (métodos) estatísticas de análise.

- **Módulo 1: Análise da Frequência de Aquisição:** Realiza, com o auxílio das ferramentas estatísticas de análise uma comparação entre diferentes intervalos de aquisição de dados de tensão tais como: 1 em 1, 5 em 5, 10 em 10, 15 em 15, 30 em 30 e 60 em 60 minutos. A partir desta análise é possível concluir-se a respeito da descaracterização ou não dos dados, sobretudo, quando da quantificação dos erros cometidos com a utilização de amostras com diferentes taxas de amostragem.
- **Módulo 2: Análise de Similaridade entre Fases:** A partir da aplicação dos métodos de análise, busca-se comprovar a existência ou não de similaridade entre as fases de todo o grupo de dias, com o intuito de redução do volume de dados a serem processados.
- **Módulo 3: Análise de Similaridade entre Dias:** Dispõe sobre a existência ou não de similaridade entre os dias fornecidos.
- **Módulo 4: Análise de Similaridade entre Períodos do Dia:** Realiza, a partir da aplicação dos métodos de análise, uma comparação entre diferentes períodos dentro de um mesmo dia. Busca-se um intervalo de medição no qual se possa obter períodos com valores representativos aos mais elevados patamares de tensão de um dia.
- **Módulo 5: Estacionalidade:** Permite a verificação do tempo mínimo de medição a partir da utilização do ferramental vinculado a processos estocásticos.
- **Módulo 6: Análise da carga:** Neste módulo, é realizado o estudo das potências ativa, reativa e aparente, tensão e corrente para auxiliar na análise dos motivos que estão causando o problema de variação de tensão em regime.
- **Módulo 7: Qualificação e Normas:** Responsável pela avaliação qualitativa dos dados de tensão oriundos da medição. Possibilita a apreciação dos dados com respeito aos limites de tensão impostos pelas principais Normas e Recomendações, bem como entender se os equipamentos do local em estudo suportam ou não os níveis de distorção em função do seu tempo de exposição.

Em todas as etapas é possível extrair-se os resultados de forma numérica e gráfica, esta facilidade visa sobretudo auxiliar a análise e o entendimento dos dados contidos no banco de dados. Várias opções para exportação de dados estão disponíveis.

4.2.1. Banco de Dados

O banco de dados é montado com base em medições realizadas na rede de energia elétrica. Existem vários modelos de aparelhos de medição de qualidade de energia que medem as grandezas relacionadas ao assunto em questão. Com relação a este trabalho, também existe a possibilidade da utilização de aparelhos de tarifação digital de energia que fazem a medição de tensão.

Em um futuro próximo, com a implantação do PLC no Brasil, a obtenção dos dados será bastante facilitada. Hoje em dia, os aparelhos de medição necessitam de todo um aparato para conectá-los à internet ou a redes privadas, conforme no esquema apresentado na figura 4.3:

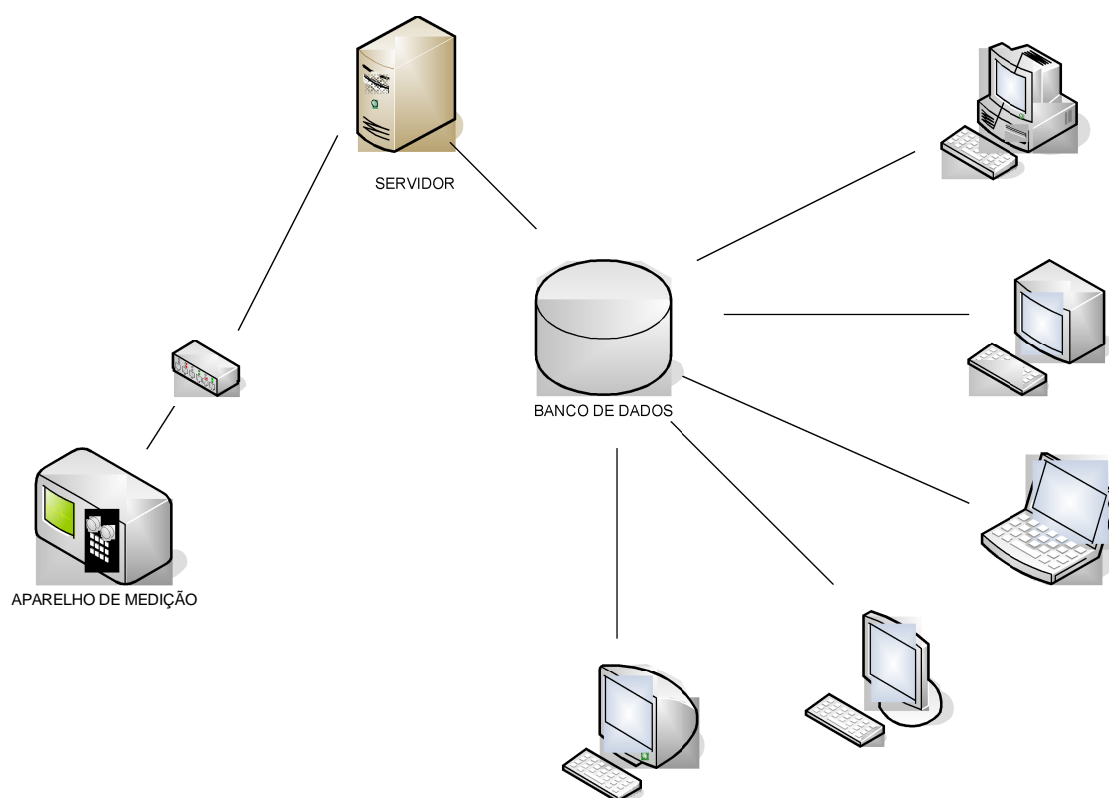


Figura 4.4 – Esquema de medição

Esta ferramenta computacional executa leituras a partir dos medidores ION 7600, ACM 3720 e CCK. Para outros aparelhos de medição, é necessária a adequação dos dados

em arquivo Excel de acordo com o modelo na tabela 4.1. Dessa forma, faz-se necessário que os dados estejam dispostos de tal forma que obedecem a um critério predeterminado, a saber: a primeira coluna (data e hora), as três colunas subsequentes de tensão, as três seguintes sendo respectivamente de corrente, potência ativa e potência reativa correspondendo as três fase do sistema trifásico.

Tabela 4.6 – Formato do banco de dados em Excel.

Data hora	Grandeza1	Grandeza2	Grandeza3	...
dd/mm/aaaa hh:mm:ss	n°	n°	n°	
dd/mm/aaaa hh:mm:ss	n°	n°	n°	
dd/mm/aaaa hh:mm:ss	n°	n°	n°	

Cada célula da primeira linha contém o rótulo dos dados contidos em sua respectiva coluna, sejam eles de tensão, corrente ou potência. A primeira coluna tem a função de fornecer os dados relativos ao eixo da abscissa para plotagem dos gráficos, estando relacionada ao tempo no qual ocorreu a medição. Aplica-se à estruturação do banco de dados todas as facilidades inerentes ao Microsoft Excel.

Para executar o programa implementado, o usuário deve, primeiramente, abrir o Matlab®. A figura 4.4 apresenta a tela de abertura, onde o usuário deve certificar-se de que o diretório corrente (*Current Directory*) selecionado é o local em que se encontram os arquivos que constituem o aplicativo inicial chamado “tensão.m”. Logo após, digita-se no lado direito a palavra “tensão” no “*Command window*” do Matlab®, conforme a figura 4.4 e tecla-se *enter*.

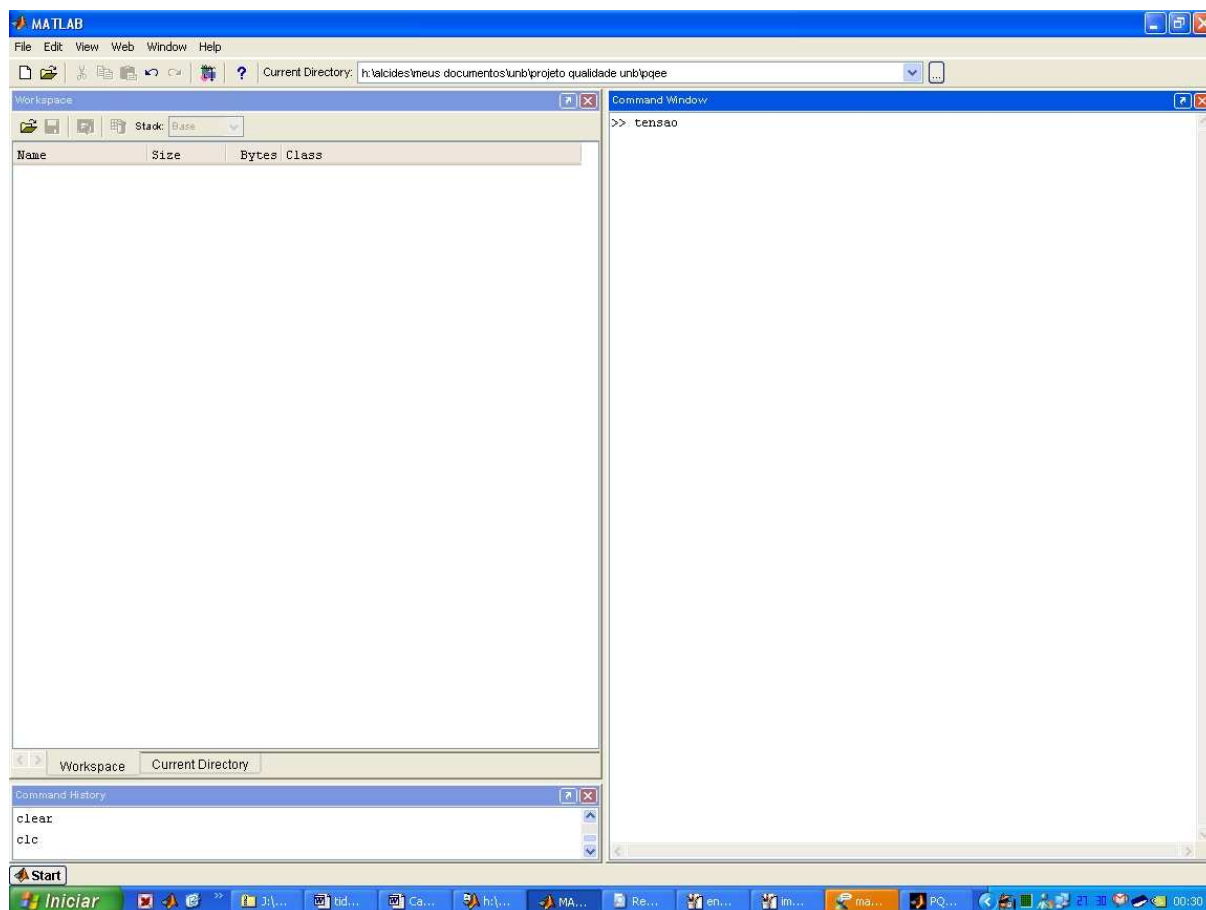


Figura 4.5 – Inicialização do programa

Uma vez executada a operação anterior, a janela de apresentação aparecerá como na figura 4.5. Logo em seguida, surgirá a janela de introdução ao programa como na figura 4.6, nela deve-se clicar em “*iniciar o programa*”. Como consequência, abrirá o módulo de caracterização do banco de dados.

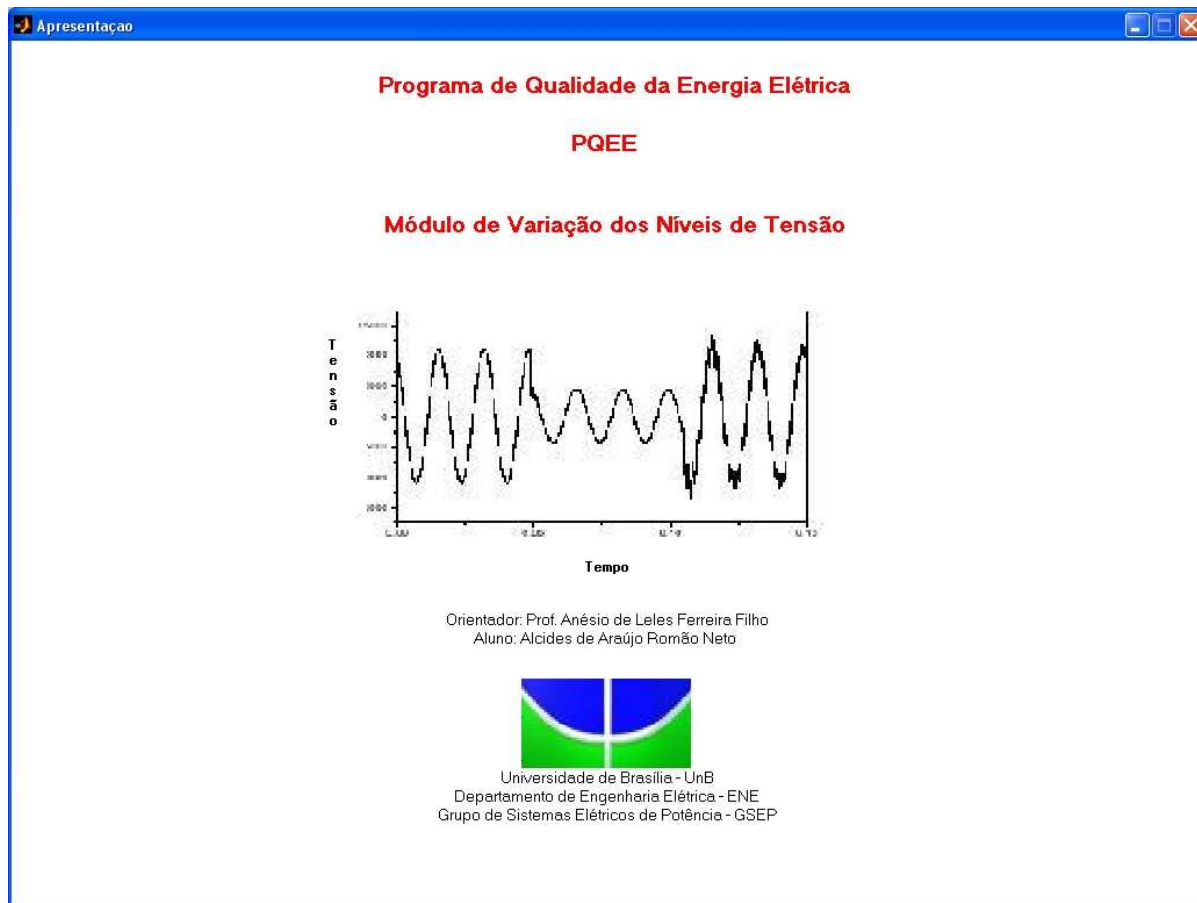


Figura 4.6 – Tela de apresentação I

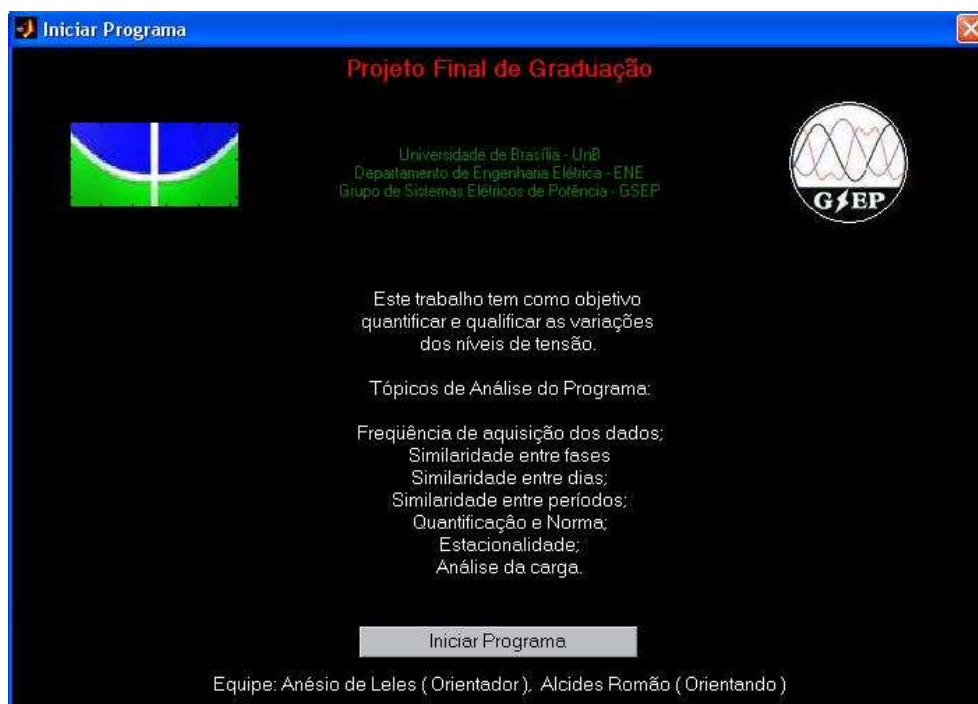


Figura 4.7 – Tela de apresentação II

Em seguida, o usuário deve clicar em “leitura dos dados” ou na barra de ferramentas, menu “Arquivo”, na opção “carregar dados” para proceder à leitura dos dados, figura 4.7. O usuário terá como opção ler os dados em Excel ou em arquivo de texto como na figura 4.8, dependendo do aparelho que foi utilizado para medição. Devido a um pequeno problema no Matlab® 6.5 com a biblioteca de leitura de arquivos “.xls”, ele não consegue ler os dados do ACM e ION gerados automaticamente se estes forem de arquivos com uma quantidade significativa de dados. Para corrigir este problema, basta copiar a planilha que contem os dados de medição, para a primeira planilha de um outro arquivo de Excel. Por último, é preciso verificar se o valor nominal de tensão do sistema sugerido pelo programa está correto. Caso haja necessidade de adequação, deve-se trocar o valor e pressionar o botão “Ok”. Este valor também servirá como base para o sistema p.u., o que pode ser visto na figura 4.9.

Figura 4.8 – Caracterização dos bancos de dados

Figura 4.9 – Escolha do tipo de arquivo para leitura dos dados

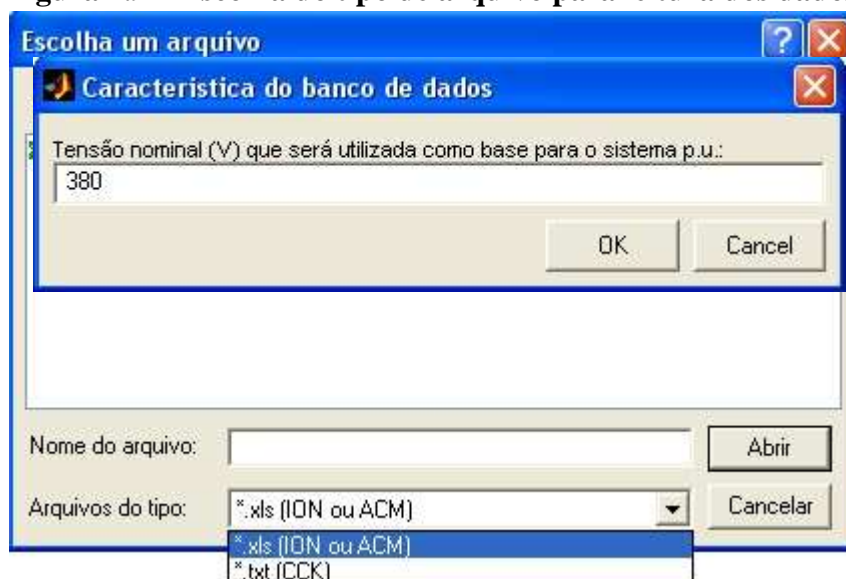


Figura 4.10 – Entrada do valor nominal de tensão do local em medição

Importante ressaltar que quando se carrega um novo banco de dados, em substituição a um outro que estava em processo de análise, deve-se obrigatoriamente fechar todos os módulos a menos do módulo de entrada.

4.2.2. Freqüência de Aquisição

A análise de freqüência de aquisição pode ser iniciada por meio do botão inferior esquerdo “Freqüência de Aquisição de Dados” ou pelo menu “Análises” ambos localizados no módulo de entrada. Como pré-requisito deste e de todos os outros módulos, a sua inicialização deve acontecer após o usuário concluir a leitura dos dados no módulo de entrada. A figura 4.10 apresenta sua estrutura e disposição.

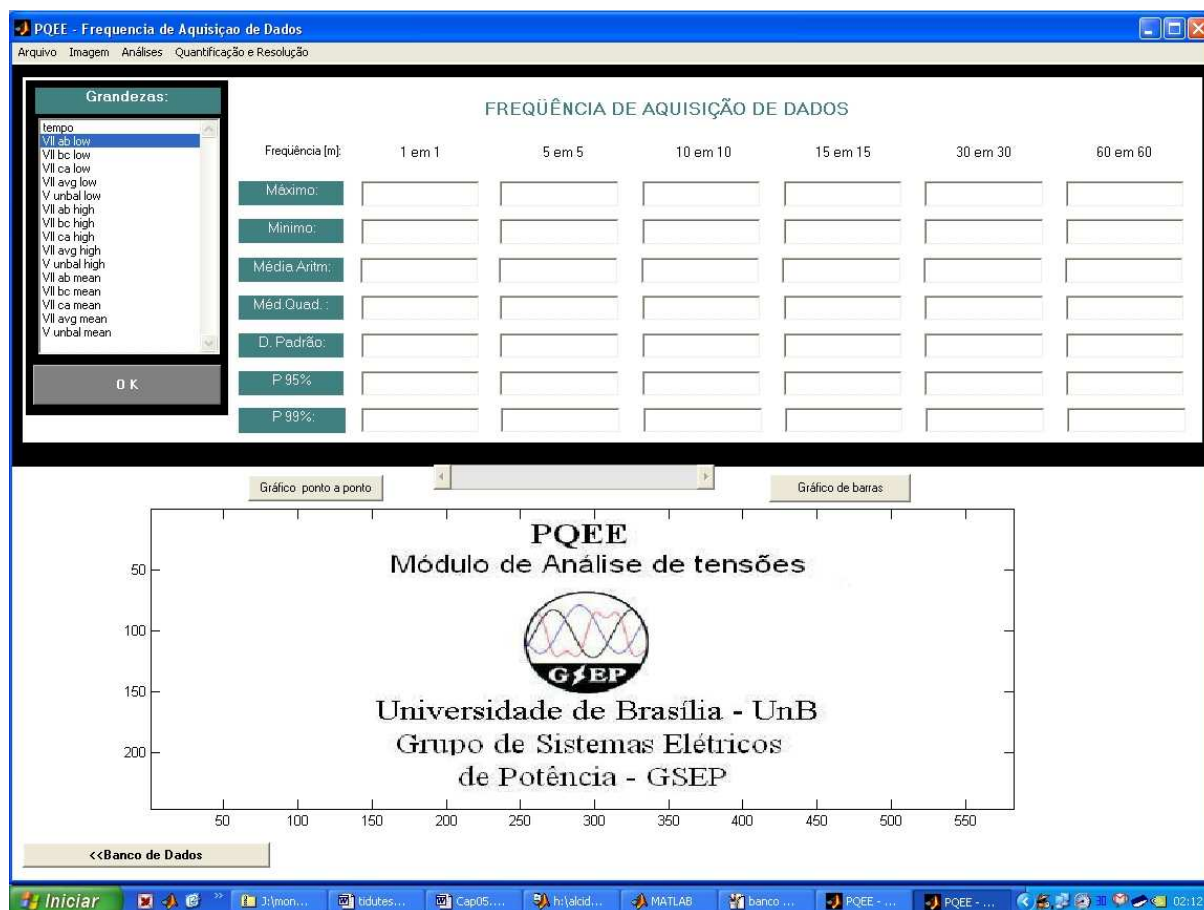


Figura 4.11 – Módulo Análise de Frequência de Aquisição.

Inicialmente deve-se selecionar a grandeza desejada para análise, na janela “Grandezas”. Posteriormente, basta clicar em “Ok” para que os dados sejam tratados e a resposta seja dada ao usuário.

Para se proceda a uma investigação sobre as diferenças entre as frequências de aquisição, deve-se analisar os dados medidos, de acordo com o valor máximo, as médias quadrática e aritmética, desvio padrão, P95%, P99%, gráfico ponto a ponto (figura 4.11) e gráfico de barras (figura 4.12).

Na plotagem do gráfico ponto a ponto, deve-se escolher o dia de medição para análise. Caso queira que outro dia seja mostrado basta andar com a barra de rolagem ou pedir para plotar novamente o gráfico. Também há a possibilidade de se plotar todos os dias. Outra possibilidade é plotar o gráfico de barras com os dados calculados. Na barra de menu, ao clicar a opção “imagem”, é possível realizar zoom e exportar o gráfico para o formato de compressão de imagem jpg.

Outra facilidade do programa é a possibilidade de exportar os dados calculados para arquivos Word, Excel e Bloco de notas.

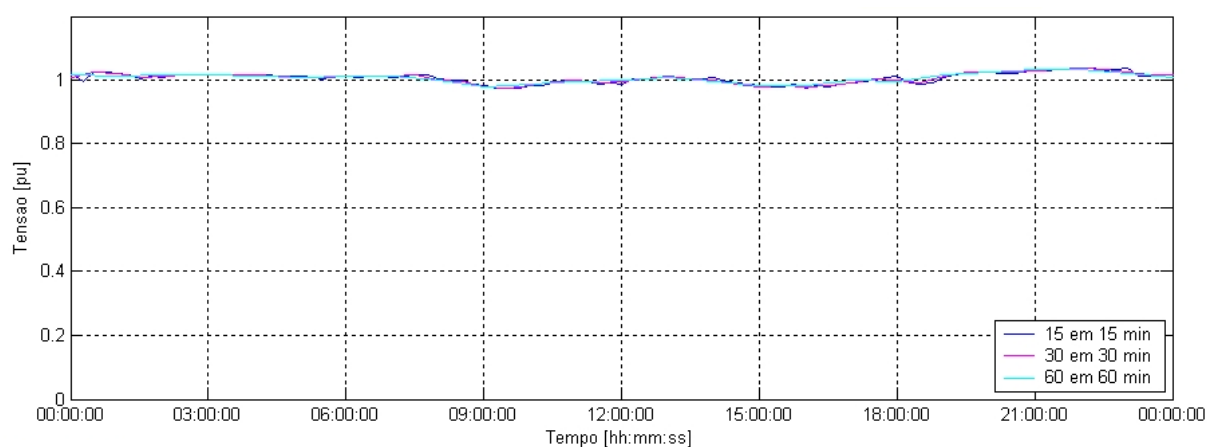


Figura 4.12 – Exemplo de gráfico ponto a ponto da análise de frequência de aquisição.

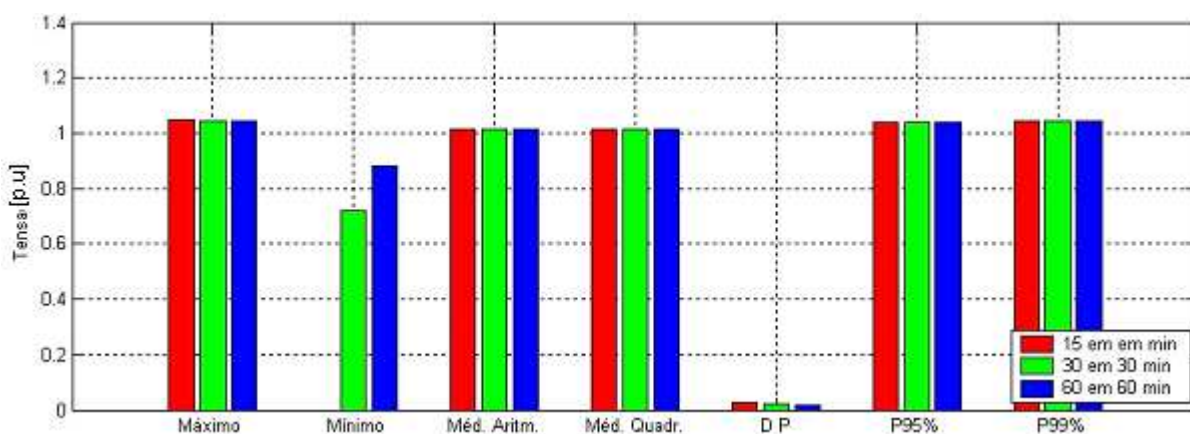


Figura 4.13 – Exemplo de gráfico de barras análise de frequência de aquisição.

4.2.3. Análise de Similaridade entre Fases

Neste módulo, é necessária a escolha de três grandezas relacionadas às três fases para a execução do programa. O aplicativo permite que o usuário escolha exatamente três variáveis disponíveis na janela “Grandezas”.

Para se prosseguir o cálculo das estatísticas de análise, faz-se mister a escolha da frequência de aquisição a ser empregada, figura 4.13. Para conclusão a respeito da similaridade entre as fases têm-se disponíveis as mesmas opções numéricas e gráficas, assim como os gráficos disponibilizados. A diferença vem das grandezas plotadas.

Todas as facilidades gráficas e de tratamento dos dados estão disponíveis neste módulo e nos subsequentes.

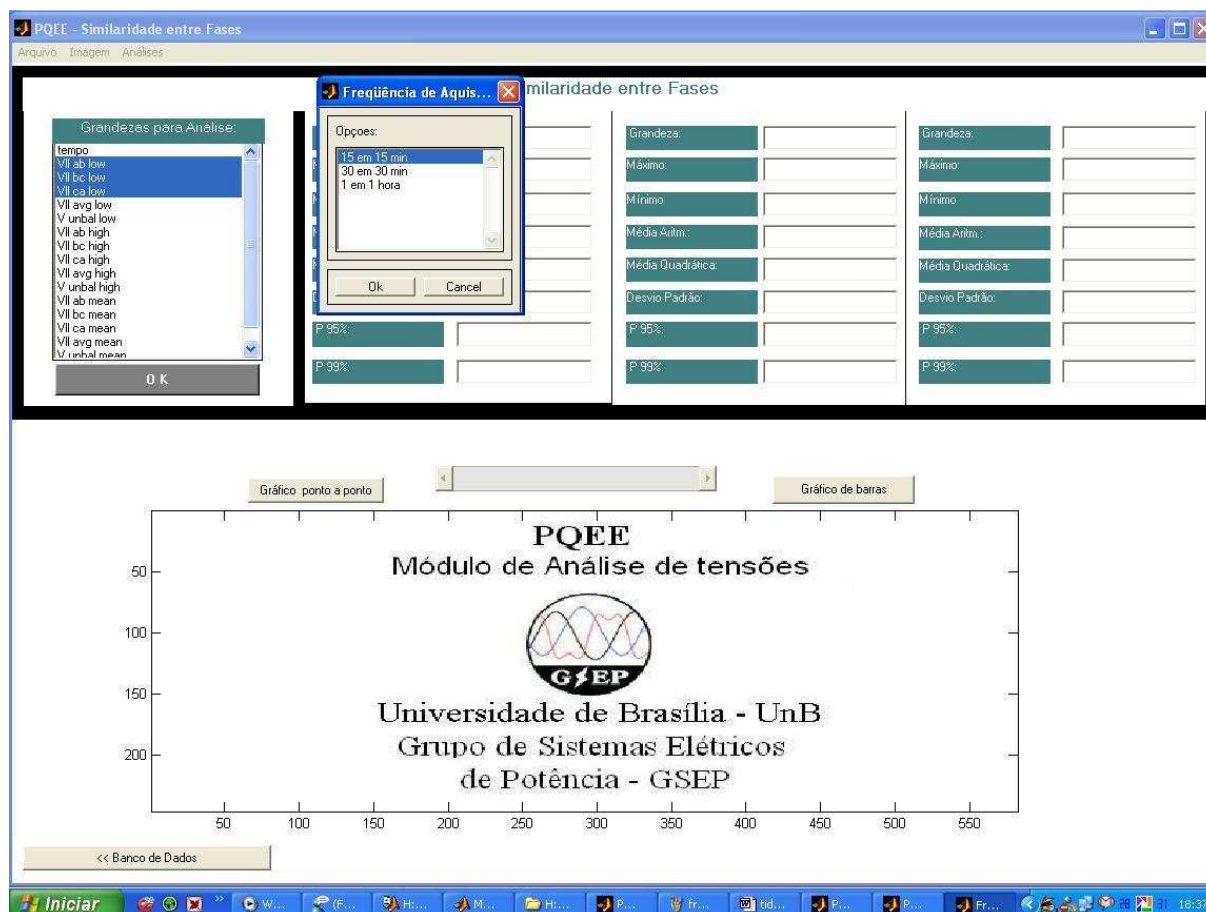


Figura 4.14 – Módulo Análise de Similaridade entre Fases

4.2.4. Análise de Similaridade entre Dias

Indubitavelmente, as estruturas de organização dos módulos, até então empregadas, são semelhantes, por conseguinte, não serão diferentes nesta etapa. Suas singularidades estão disponíveis na figura 3.14. Nesta etapa, deve-se escolher apenas uma grandeza a ser observada, logo em seguida tecla-se o botão “OK” para a sua confirmação, após esta operação, seleciona-se sete dias a serem analisados, podendo ser dias consecutivos ou não.

A norma recomenda que seja necessária a escolha de sete dias, os quais devem ser consecutivos, sem que na semana em evidência haja feriados ou eventos especiais tanto de natureza técnica como por parte do consumidor, conforme descrito no capítulo 2.3.

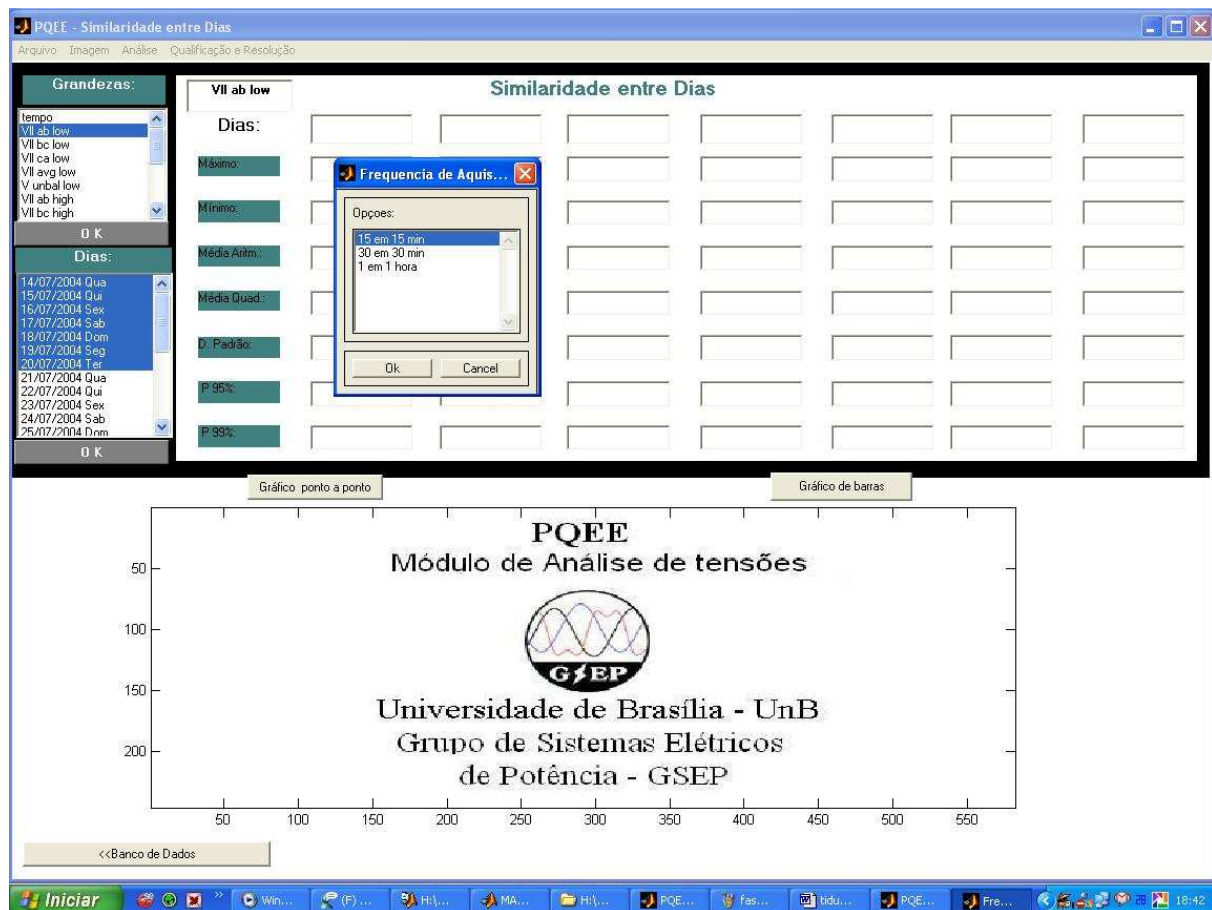


Figura 4.15 – Módulo Análise de Similaridade entre Dias

4.2.5. Análise de Similaridade entre Períodos

O quarto módulo do programa estuda intervalos de períodos no decorrer de cada dia. O usuário deve escolher o período para análise sendo o mínimo de 1 (uma) e o máximo de 24 (vinte e quatro) horas, no canto superior direito conforme consta na figura 4.15.

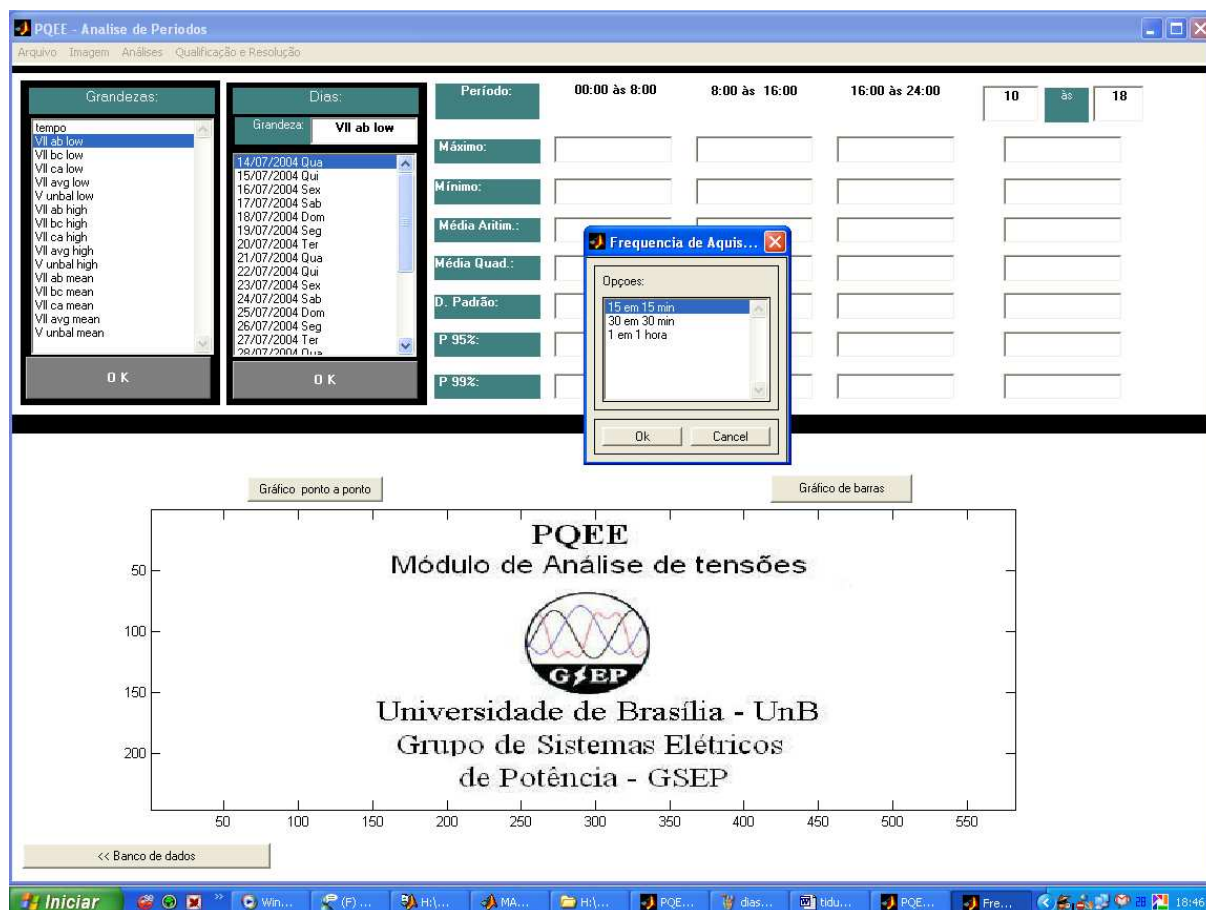


Figura 4.16 – Módulo Análise de Similaridade entre Períodos

4.2.6. Estacionalidade

Este módulo é de extrema importância, pois é nele que se verifica a estacionalidade do processo estatístico. Por meio de gráficos e valores de convergência e tempo mínimo de convergência, é possível se concluir sobre a estacionalidade, o período mínimo necessário para medição, e a similaridade entre fases. Para isso, utiliza-se a média de probabilidades e a média temporal. Seu layout é diferenciado dos demais módulos, como pode ser visto na figura 4.16.

Depois de escolhida a grandeza relacionada às três fases para análise, deve-se clicar no botão “média de probabilidade”. Será solicitada a escolha dias para análise. Por conseguinte, estará disponível a média temporal. Deve-se proceder da mesma maneira, escolhendo os dias para análise.

A média de temporal informa se o banco de dados possui convergência e para qual valor este tende. Por meio deste dado é possível determinar o tempo de convergência, ou

tempo de medição necessário para se ter uma análise mais segura. Valores numéricos e gráficos auxiliam o usuário nesta análise.

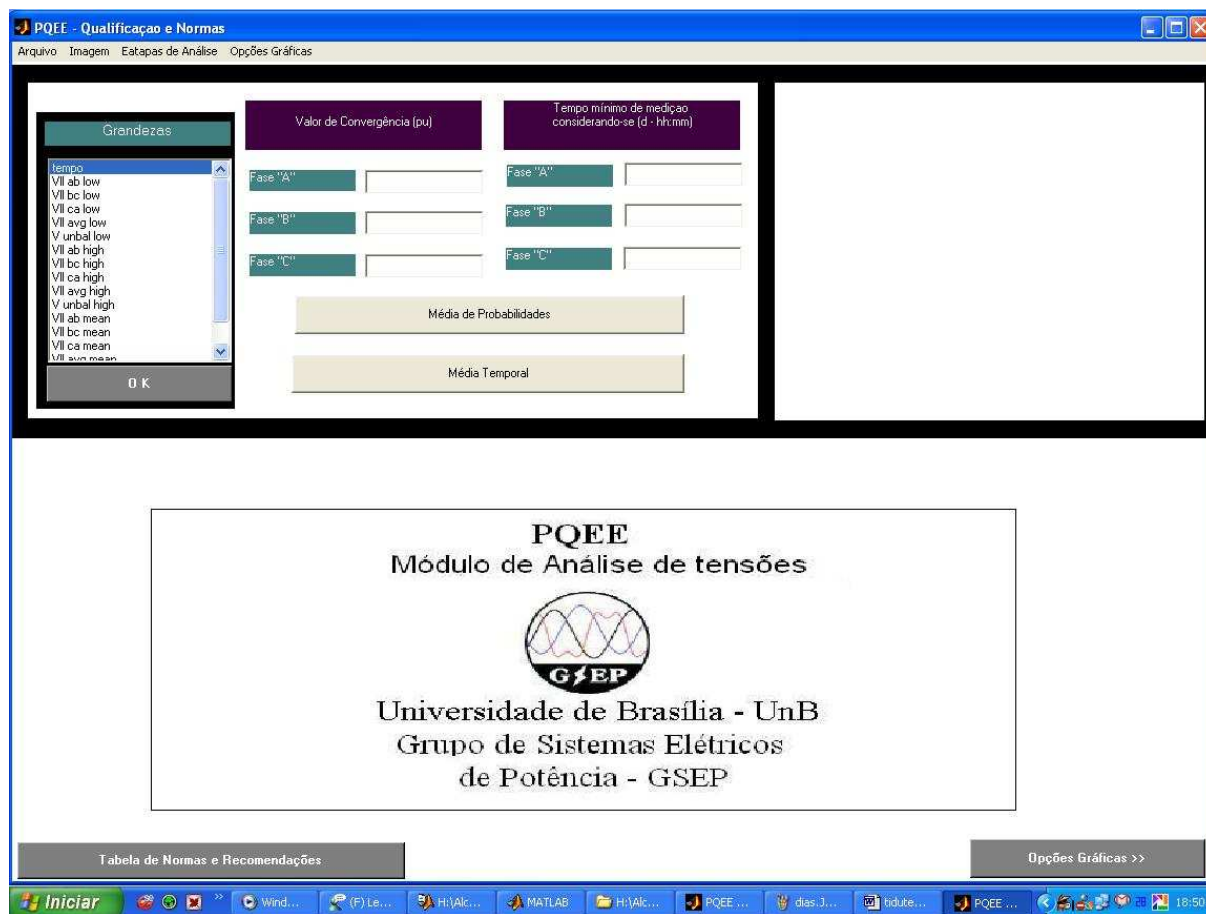


Figura 4.17 – Módulo Análise de Estacionalidade

4.2.7. Análise da carga

Neste módulo faz-se o estudo da tensão podendo compará-lo com a corrente e as potências. Para sua perfeita execução é preciso que os dados estejam organizados como sugerido no capítulo 4.1. Caso não esteja, os resultados não serão os esperados.

Na figura 4.17 é possível perceber que para se inicializar a rotina computacional, é necessário escolher a grandeza no canto superior esquerdo e em seguida clicar no botão “Ok”. Posteriormente selecione o dia a ser estudado e posteriormente clique em “Ok”.

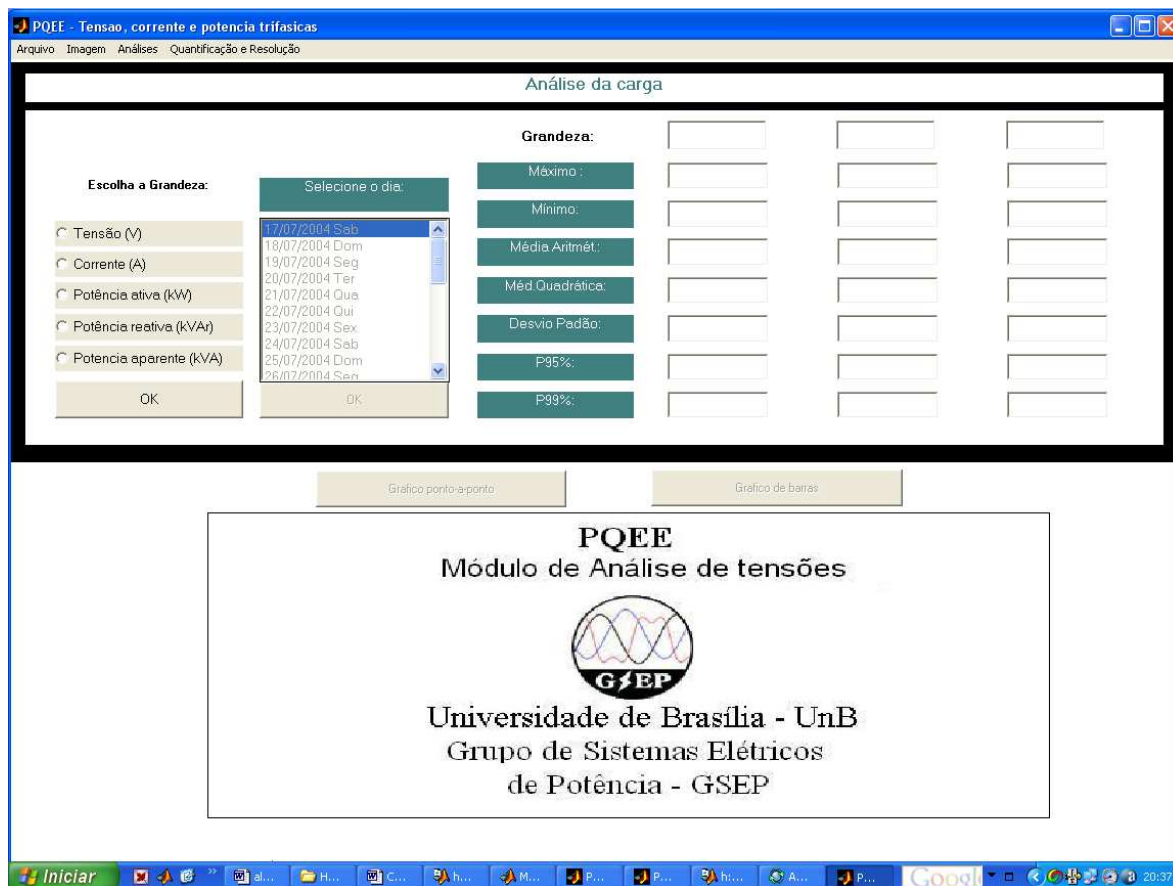


Figura 4.18 – Módulo Análise de Carga

4.2.8. Qualificação e Norma

Como pode ser percebido, as etapas anteriores assemelham-se com exceção à tela de caracterização dos dados. A figura 4.18 detalha as diferenças inerentes ao módulo Qualificação e Normas. Além das grandezas calculadas anteriormente, há a possibilidade de cálculos extras que culminam em diversos resultados úteis aos interessados no conhecimento de como se dá a distribuição no tempo dos piores valores de tensão medidos.

Inicia-se a execução do módulo selecionando a grandeza e o dia para análise, podendo ser mais de um dia. Em seguida, para execução da avaliação qualitativa dos dados oriundos da medição, um valor limite (VL) deve ser especificado pelo usuário no sentido de se investigar o ambiente em estudo com relação aos:

- Limites impostos pela Norma 505 da ANEEL;
- Limites de suportabilidade de equipamentos elétricos;

- Níveis de tensão em função do seu tempo de exposição;
- Discrepância dos dados frente ao valor nominal; e
- Verificação do comportamento dos dados no tempo.

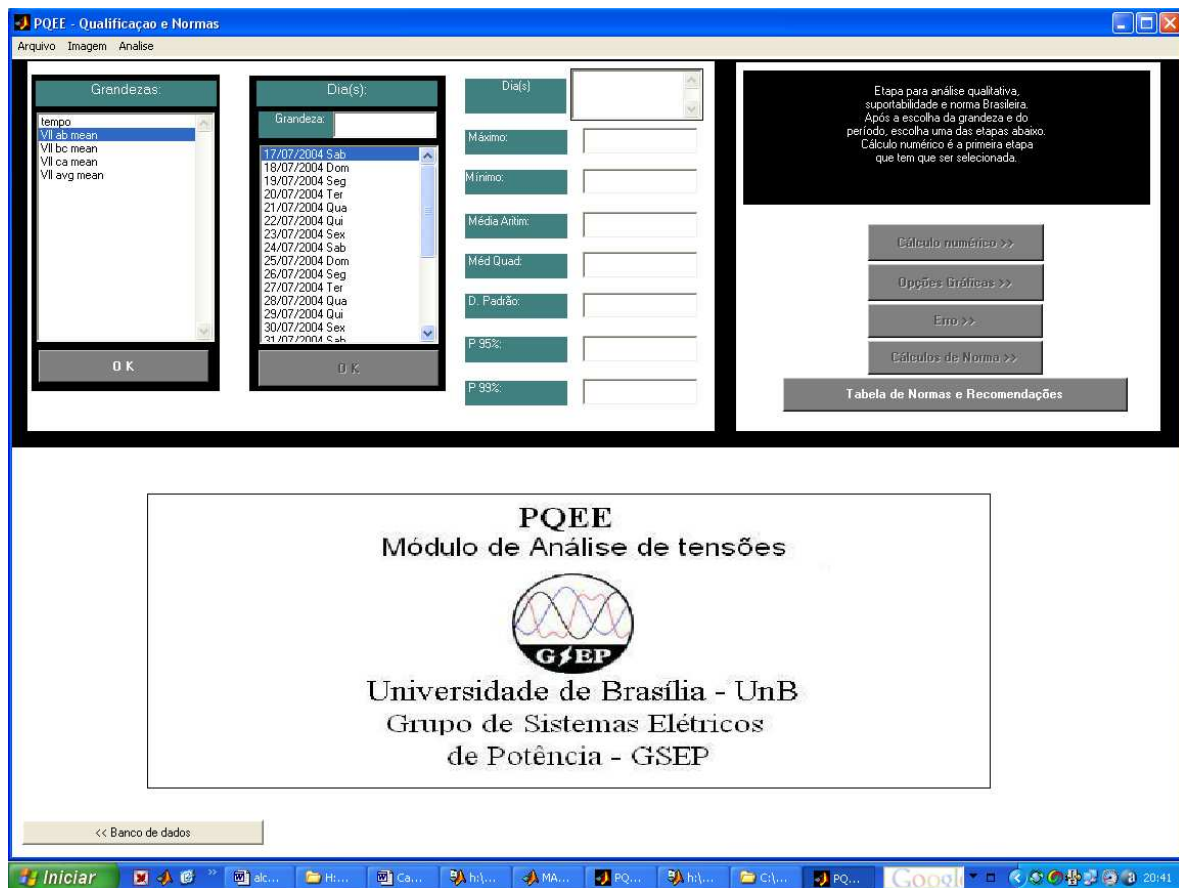


Figura 4.19 – Módulo de Qualificação e Norma

4.2.8.1. Cálculo numérico

O cálculo numérico corresponde à investigação sobre o comportamento da tensão frente a um limite pré-estabelecido. É preciso escolher uma grandeza e o período de dias que será analisado. A figura 4.19 mostra a disposição destes detalhes.

Como resposta é possível ver o tempo em que o sistema ficou ininterruptamente com valor de tensão acima e abaixo do valor limite.

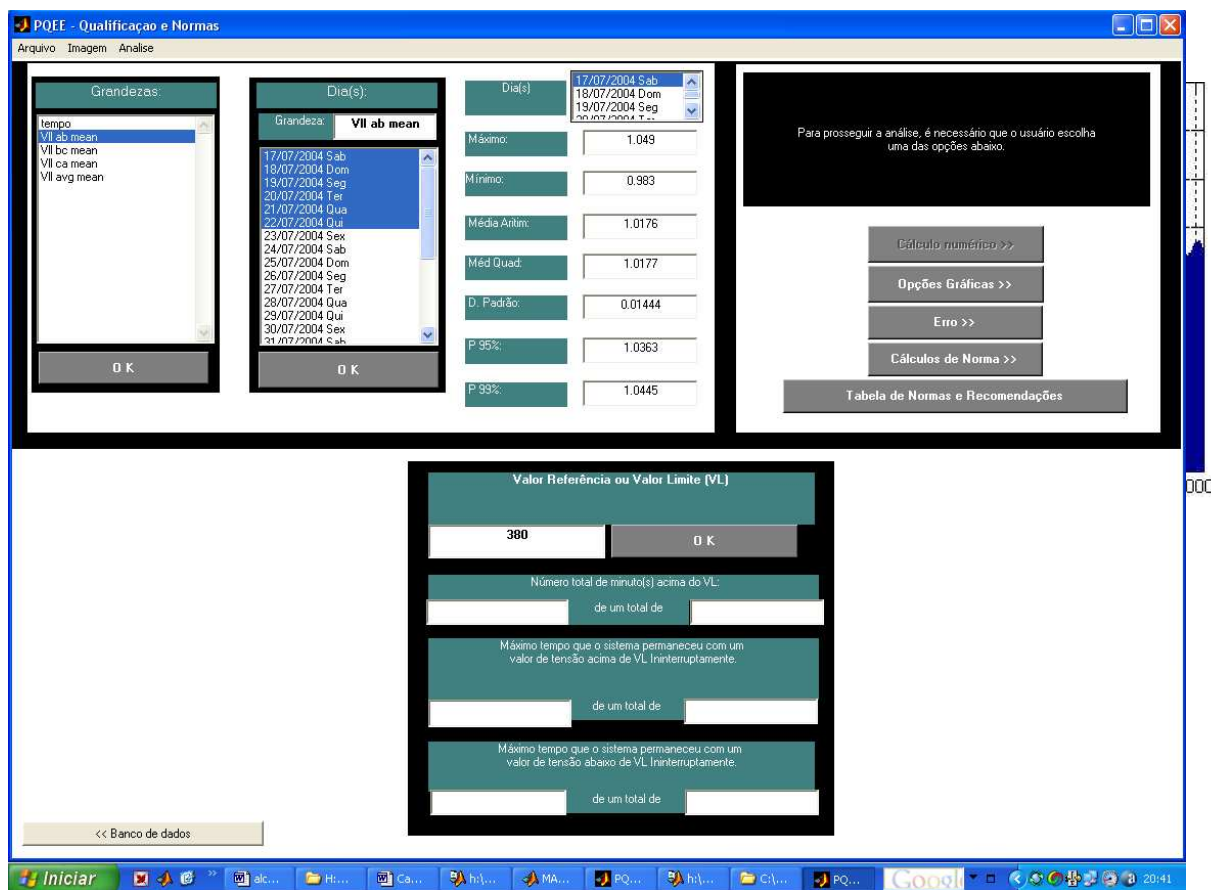


Figura 4.20 – Cálculo numérico

4.2.8.2. Norma

Nesta etapa são calculados todos os parâmetros especificados pela norma brasileira como descrito no capítulo 2.4. Sua execução apenas é possível depois de efetuado o cálculo numérico.

É necessário a escolha de sete dias completos e logo após clica-se no botão em vermelho. Em seguida, caso seja desejável, há a opção de calcular uma provável multa, para a condição onde os valores de tensão extrapolaram certos limiares de valores precários e críticos. Caso o resultado continue sendo nulo é porque para a legislação, essa transgressão não é passível de penalização. A saída do modelo do gráfico e a disposição das opções estão respectivamente nas figuras 4.20 e 4.21.

Figura 4.21 – Histograma de tensões

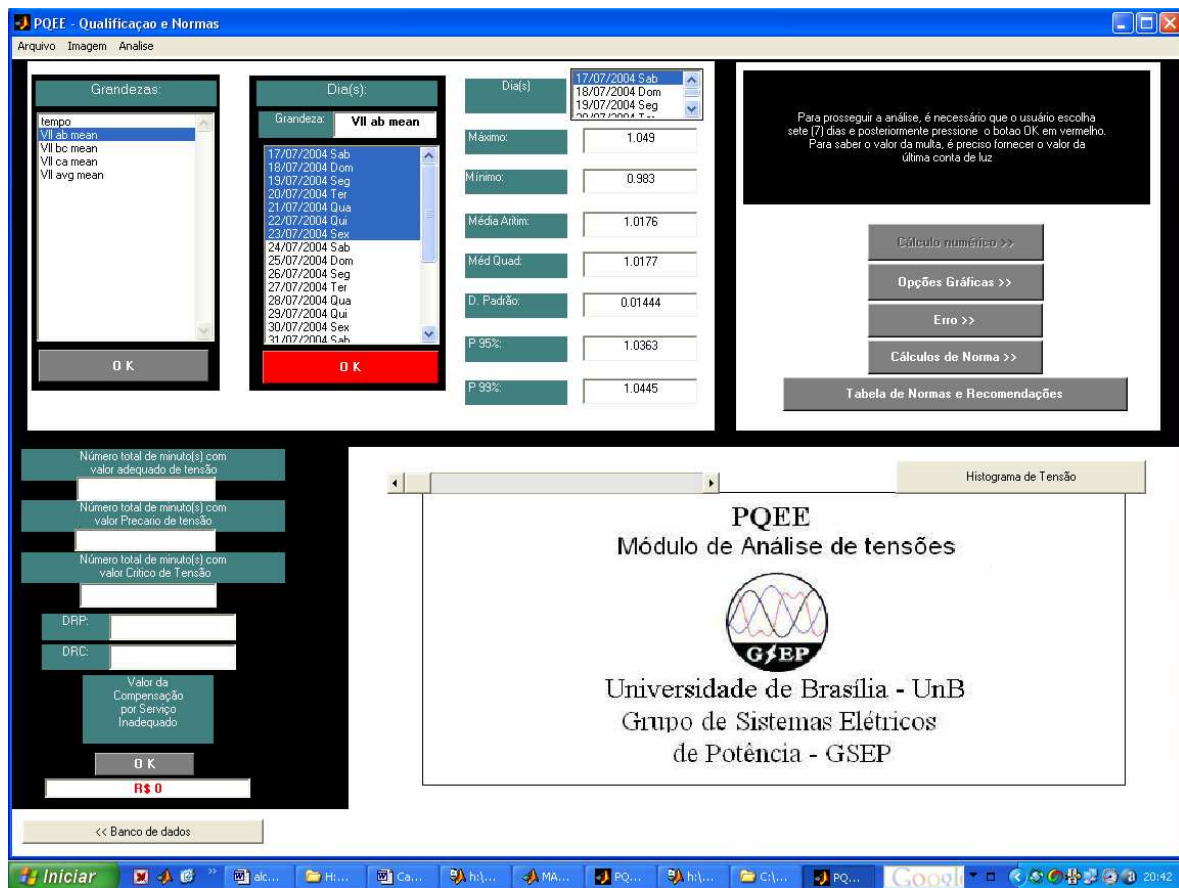


Figura 4.22 – Sub-módulo de Análise da Norma.

4.2.8.3. Análise Gráfica

Ao Clicar em “Opções Gráficas” no canto superior direito da figura 4.18 disponibilizam-se botões para a escolha de plotagem de gráficos como mostrado em 4.22. É possível ver várias opções.

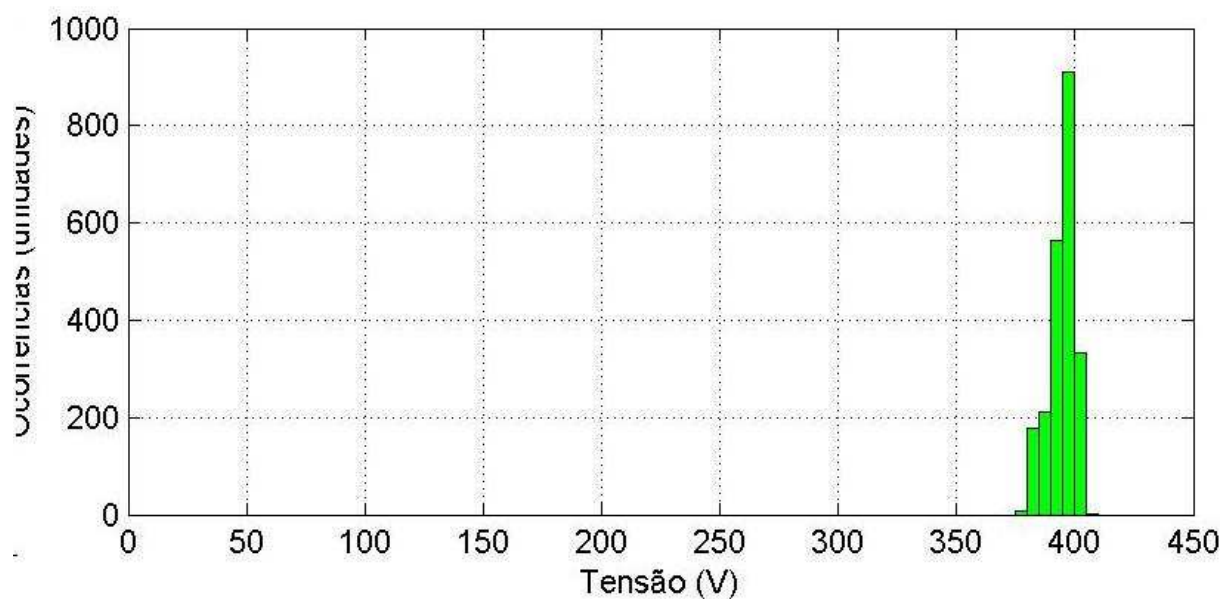


Figura 4.24 – Histograma de Ocorrência de tensões

A função de distribuição de probabilidade acumulada de tensão está mostrada na figura 4.24.

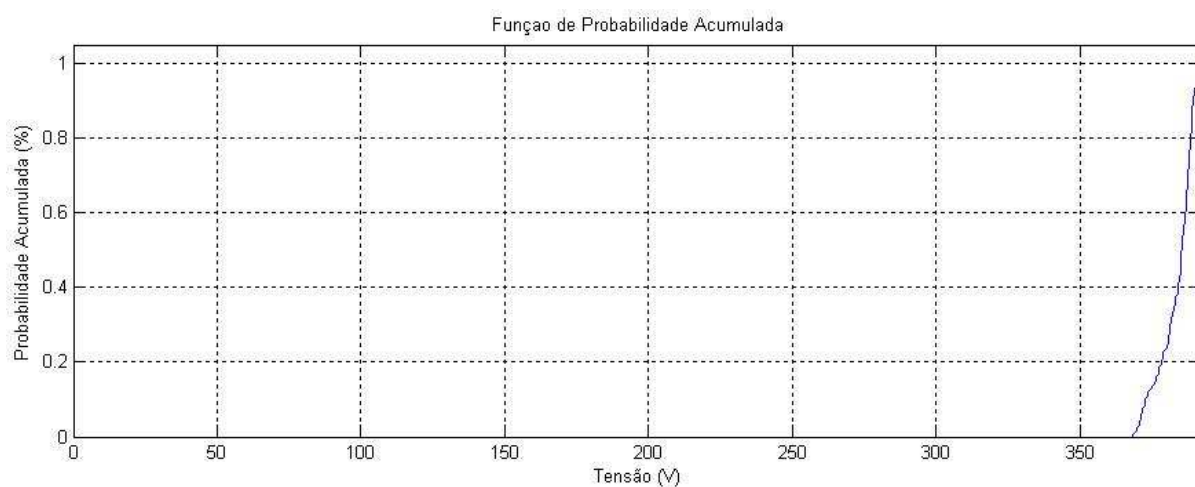


Figura 4.25 – Função de Probabilidade Acumulada

A junção da Função de Distribuição Acumulada de tensão com o histograma de ocorrências, é interessante para tipificar as derivadas da função de distribuição acumulada, figura 4.25.

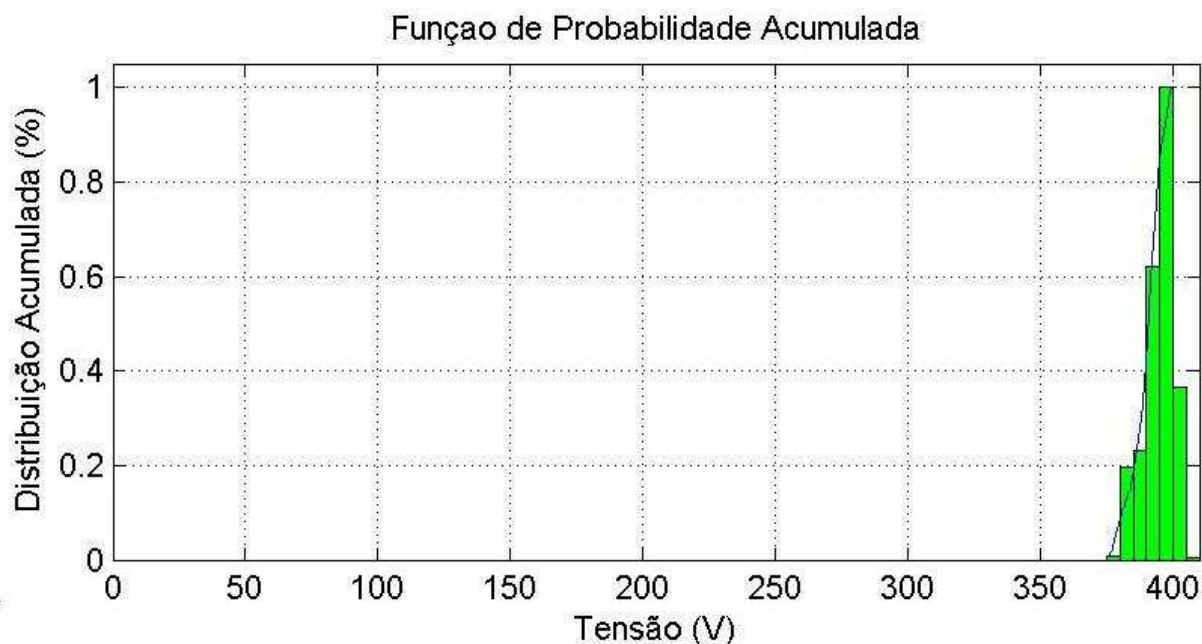


Figura 4.26 – Função de Probabilidade Acumulada em junção com Histograma de Ocorrência de Tensões

A Função de Distribuição Acumulada Inversa de tempo, figura 4.26, possibilita a visualização de como se distribuem as tensões com relação a suas durações totais.

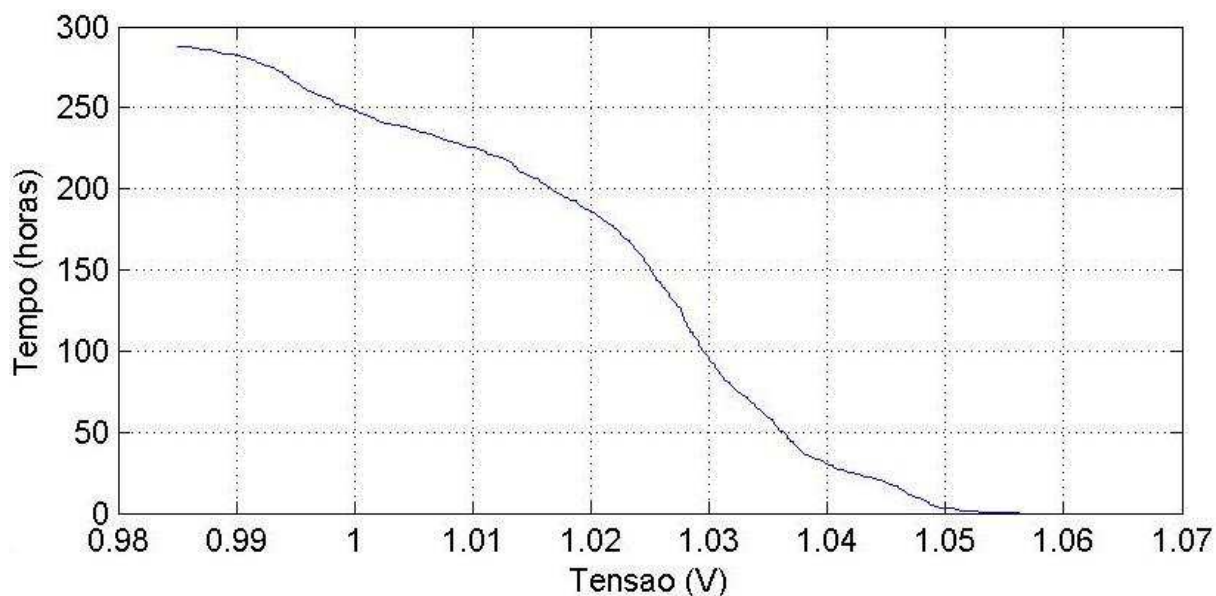


Figura 4.27 – Função de Distribuição Acumulada Inversa de Tempo

Outro importante gráfico é o de intervalos de tempo ininterruptos abaixo de VL, onde pode ser visto os intervalos de tempo necessários para que, depois de surgir um valor de tensão abaixo ao valor limite estabelecido pelo usuário, um outro valor de tensão, desta vez maior ou igual ao mesmo valor estabelecido, venha surgir (figura 4.27).

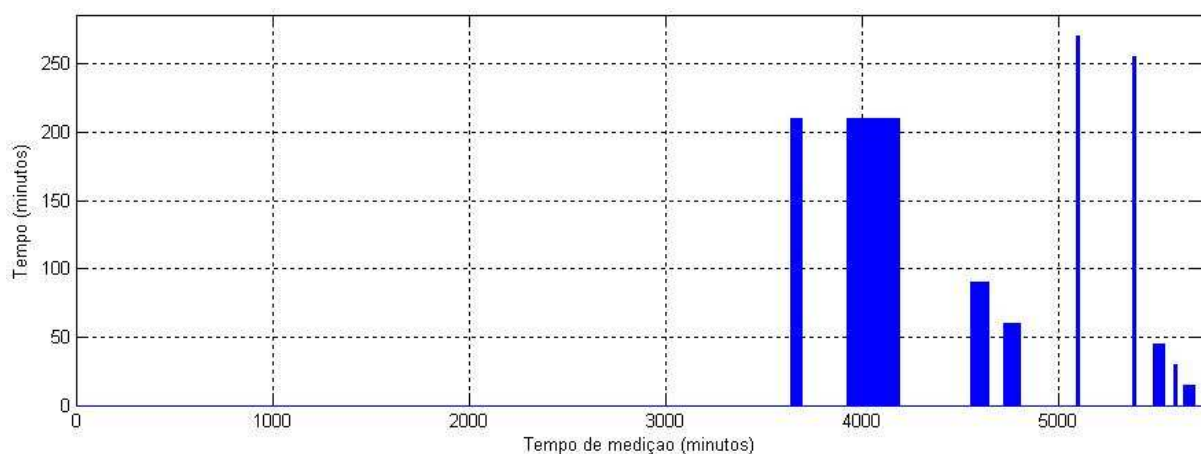


Figura 4.28 –Intervalos ininterruptos abaixo de VL

Já os intervalos de tempo ininterruptos acima de VL mostram os tempos em que, cada valor de tensão maior ou igual ao valor limite estabelecido pelo usuário, depois de se manifestar, permanece no sistema (figura 4.28).

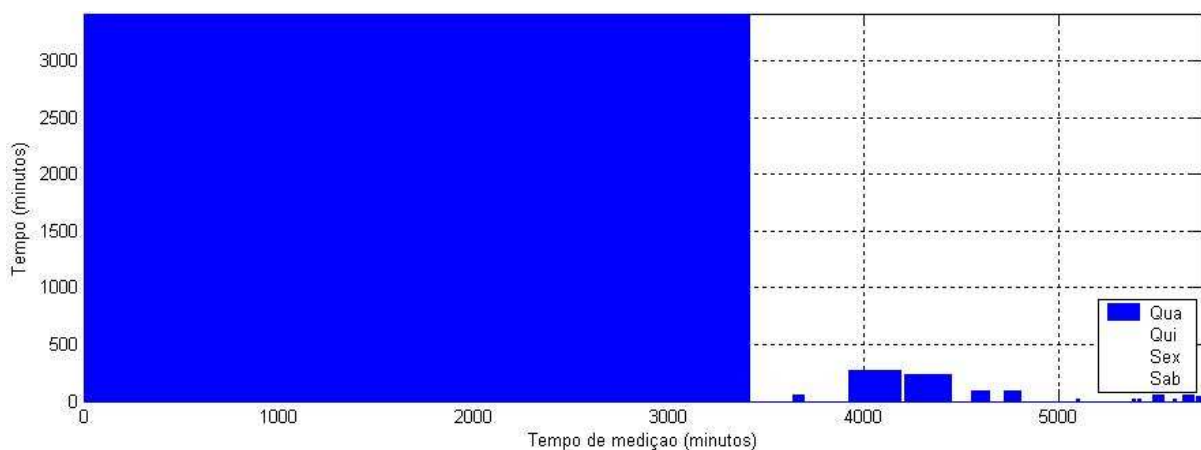


Figura 4.29 – Intervalos ininterruptos acima de VL

A figura 4.29 ilustra a probabilidade de se ter intervalos ininterruptos de tempo com tensões maiores que a tensão VL dentro de uma determinada faixa de tensão. Este mesmo gráfico pode ser utilizado para valores de tensões abaixo de VL.

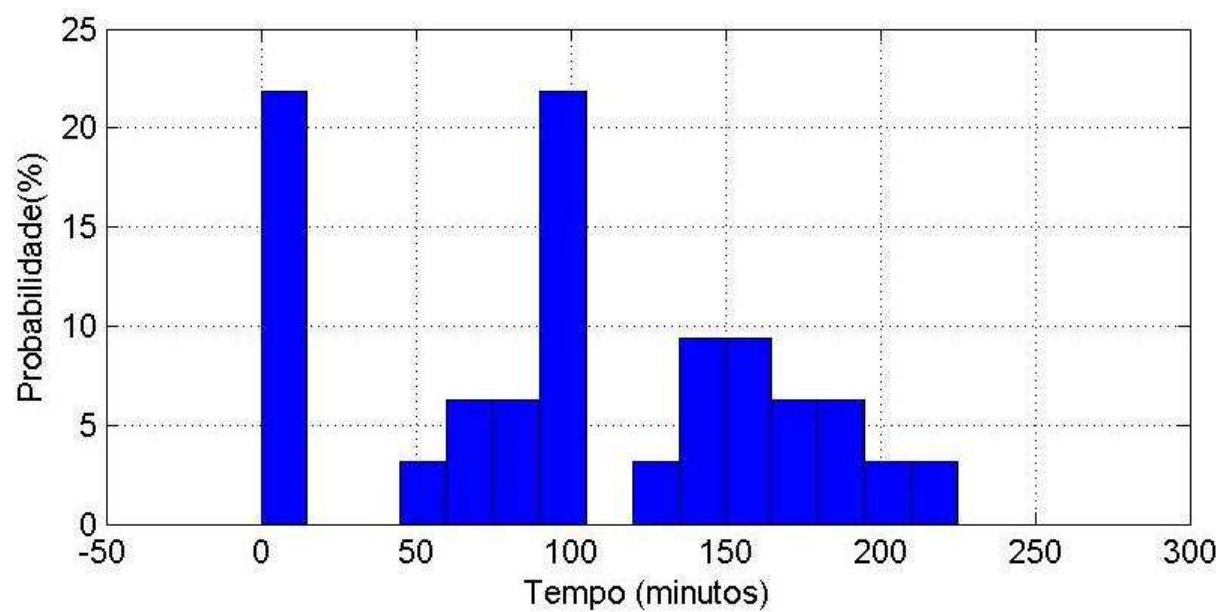


Figura 4.30 – Probabilidade de ocorrência de intervalos de tempo ininterruptos de tensão com $V_1 > V_L$

Utilizando-se o gráfico da figura 4.29, pode-se concluir a respeito da distribuição no tempo dos valores de $V > V_L$ ou $V \leq V_L$.

5. ESTUDO DE CASOS

Com o intuito de ilustrar os resultados que podem ser obtidos do aplicativo, efetua-se o tratamento estatístico das amostras no sentido de se estabelecer um período típico que melhor caracteriza as variações dos níveis de tensão numa dada instalação. Serão apresentados e comparados entre si os índices valor médio quadrático e médio aritmético, e os valores com probabilidade de 95% e 99% de não serem excedidos. Em seguida, será efetuada a qualificação dos locais em análise.

A partir deste estudo, poderá se concluir sobre a adequação ou não dos níveis de tensão à norma 505 da ANEEL e aos padrões de rede do ONS. Com esta metodologia, pode-se quantificar e qualificar a rede elétrica de determinado segmento e região, o que levará à conclusão sobre a adequação das especificações dos equipamentos instalados no local em estudo.

Utilizou-se banco de dados formado por valores de tensão do Centro de Processamento de dados (CPD) - UnB. Trata-se de um ambiente constituído basicamente por computadores, ar condicionado e lâmpadas fluorescentes.

As medições foram realizadas no secundário do transformador com tensão de linha nominal de 380V, por um período de 23 dias (do dia 17/07/2004, Sábado, ao dia 08/08/2004, Domingo). A frequência de aquisição dos dados foi de 15 minutos.

O equipamento de medição utilizado foi o ION 7600 da *Power Measurement*, uma unidade de aquisição de dados que mede várias grandezas relacionadas à qualidade de energia. Os dados são capturados e depois descarregados em computadores via comunicação por internet.

5.1. ANÁLISE DOS DADOS

Devido ao fato deste banco de dados conter apenas valores de tensão, o estudo da carga não poderá ser efetuado nesta etapa.

5.1.1. SIMILARIDADE ENTRE AS FASES

Com o intuito de se concluir a respeito da similaridade ou não entre fases, serão analisados os dados medidos por 03 métodos diferentes: comparação gráfica, análise dos valores médios e desvios padrão e análise dos P95%.

As figuras 5.1 e 5.2 mostram, respectivamente, as tensões de um Quarta-feira, dia 21/03/04, e de um Domingo, dia 19/07/2004.

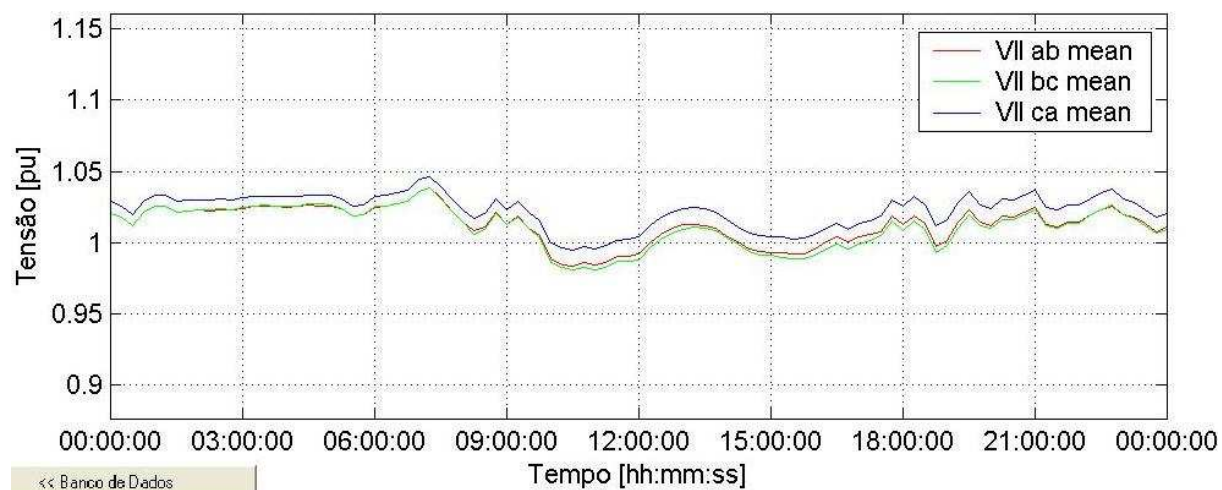


Figura 5.31 – Tensões das 3 fases de uma Quarta-feira.

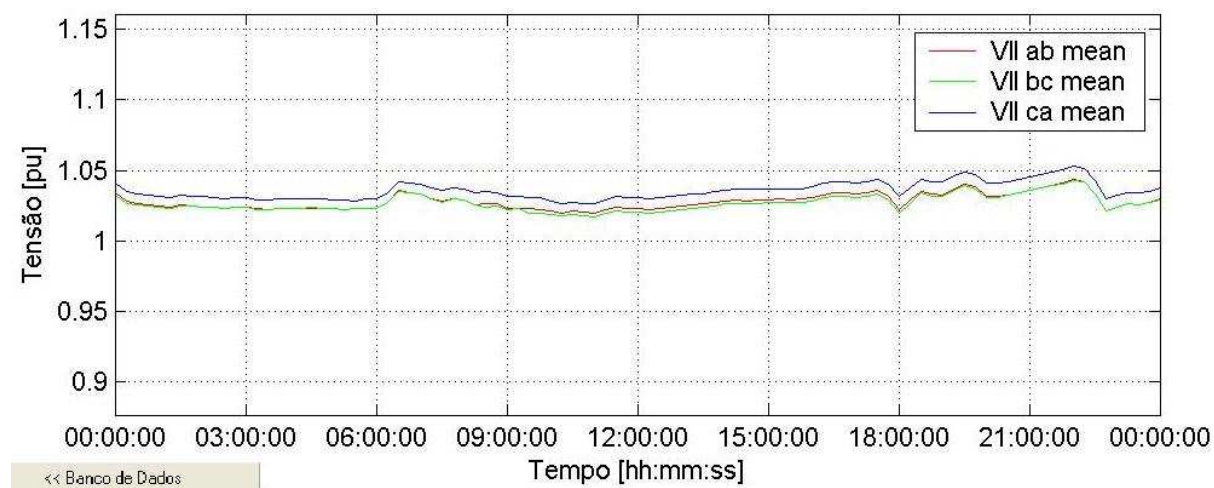


Figura 5.32 – Tensões das 3 fases de um Domingo.

Analisando-se as figuras 5.1 e 5.2, pode-se observar um comportamento mais dinâmico das tensões nas 3 fases na quarta-feira ao domingo. Os valores em volts das faixas de variação apresentam-se próximo entre si (cerca de 21 volts para a segunda e 10 volts para o domingo). As maiores amplitudes e médias foram detectadas no domingo. Os perfis das tensões nas fases assemelham-se entre si, mas ainda assim a fase “c” apresenta os valores

mais elevados quando da análise ponto a ponto. A figura 5.3 e a tabela 5.1 mostram os valores das estatísticas de comparação das fases.

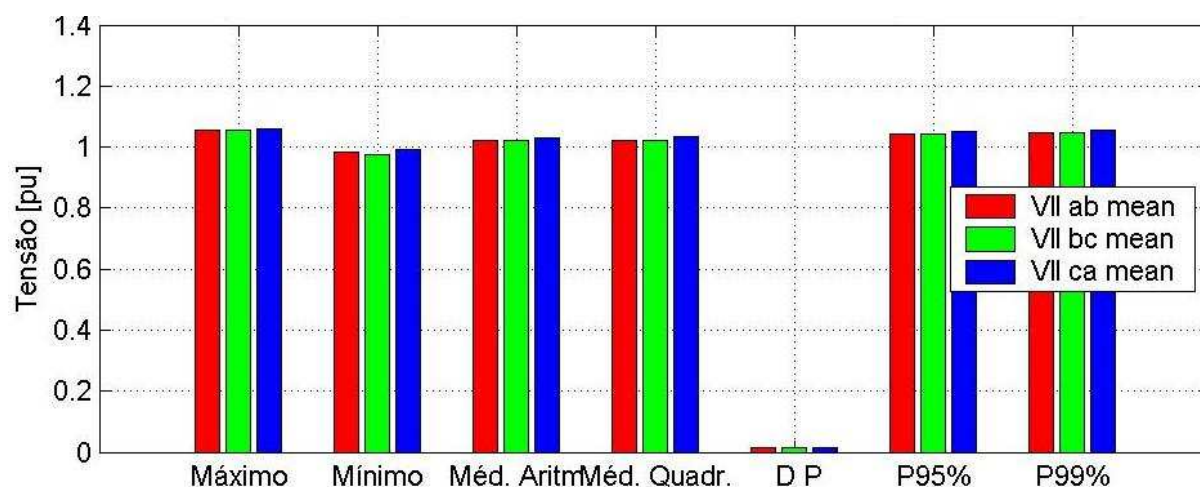


Figura 5.33 – Estatística das três fases.

Tabela 5.7 – Estatísticas da Análise de Similaridade entre Fases

Variável:	VII ab mean	VII bc mean	VII ca mean
Maximo	1,054	1,054	1,061
Mínimo	0,983	0,9763	0,9932
Média Aritmética	1,0233	1,0221	1,032
Média Quadrática	1,0234	1,0222	1,0321
Desvio Padrão	0,01476	0,01571	0,01357
Probabilidade 95%	1,0447	1,0445	1,0524
Probabilidade 99%	1,0477	1,0476	1,0551

Observa-se da figura 5.3 e da tabela 5.1, que não há uma variação significativa entre os dados das três fases. Os dados da fase “c” são na média, ligeiramente maiores que os das outras, sendo a maior diferença igual a 1,00%. As P95% estão bem próximas entre si, principalmente entre as fases b e c.

Logo, a partir da aplicação dos três métodos de análise supracitados, comprova-se a existência de similaridade entre as fases de todo o grupo de dias. Conseqüentemente, qualquer uma das três fases pode ser utilizada como representativa às demais. Empregar-se-á a fase 1 para as demais análises deste estudo.

5.1.2. ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO

Para se concluir quanto à análise da frequência de aquisição, 2 métodos serão utilizados: análise gráfica das curvas dos valores instantâneos das tensões, e análise dos valores médios e desvios padrão. Os 2 critérios serão aplicados aos conjuntos de dados formados a partir dos seguintes intervalos de aquisição: de 15 em 15 minutos, de 30 em 30 minutos, e de 1 em 1 hora.

Deseja-se nesta análise gráfica, verificar se as curvas dos intervalos adotados assemelham-se ou não entre si. Para tanto, plotou-se as curvas da figura 5.4, que ilustram as tensões do Sábado, dia 27/07/2004.

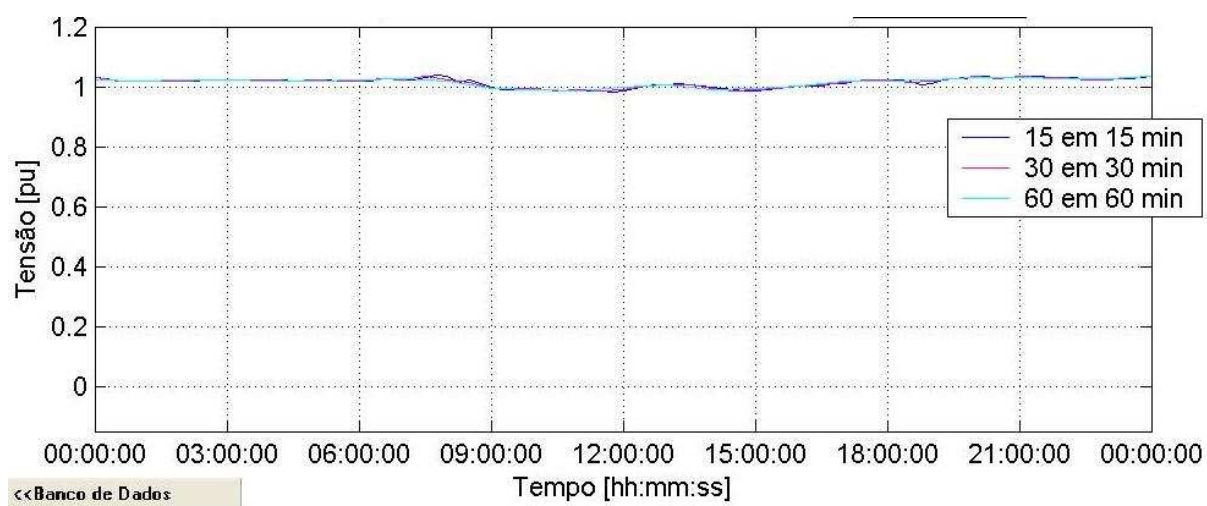


Figura 5.34 – Curvas das tensões para 3 frequências de aquisição.

Da figura 5.4, constata-se que as curvas para as frequências de aquisição de 15, 30 e 60 minutos, superpõem-se em todo o intervalo de 24 horas. Percorrendo os outros dias, percebe-se que esta situação se repete para todo o banco de dados. A tabela 5.2 apresenta os dados estatísticos calculados.

Tabela 5.8 - Estatísticas da Análise de Frequência de Aquisição

Aquisição	Máximo	Mínimo	Média Aritmética	Media Quadrática	Desvio Padrão	P95%	P99%
15 em 15	1,054	0,983	1,023	1,023	0,01476	1,0447	1,0477
30 em 30	1,052	0,9836	1,023	1,023	0,01461	1,0444	1,0475
60 em 60	1,049	0,9854	1,023	1,023	0,01425	1,0439	1,0474

Da tabela 5.2 nota-se que as médias e os desvios padrão apresentam valores próximos entre si, assim como todas as outras grandezas.

Logo, da análise da frequência de aquisição, observa-se que, tanto para a reprodução do perfil das tensões como para análise de médias e desvios padrão, medições com intervalos de até 60 minutos, não comprometem os resultados.

5.1.3. ANÁLISE VOLTADA À DETERMINAÇÃO DO PERÍODO MÍNIMO NECESSÁRIO PARA MEDIÇÃO

Neste ponto serão levados em consideração os módulos de Análise de Similaridade entre dias e Análise de similaridade entre períodos. A figura 5.5 apresenta as tensões medidas por todo o período para as três fases, obtida usando o módulo de similaridade entre fases.

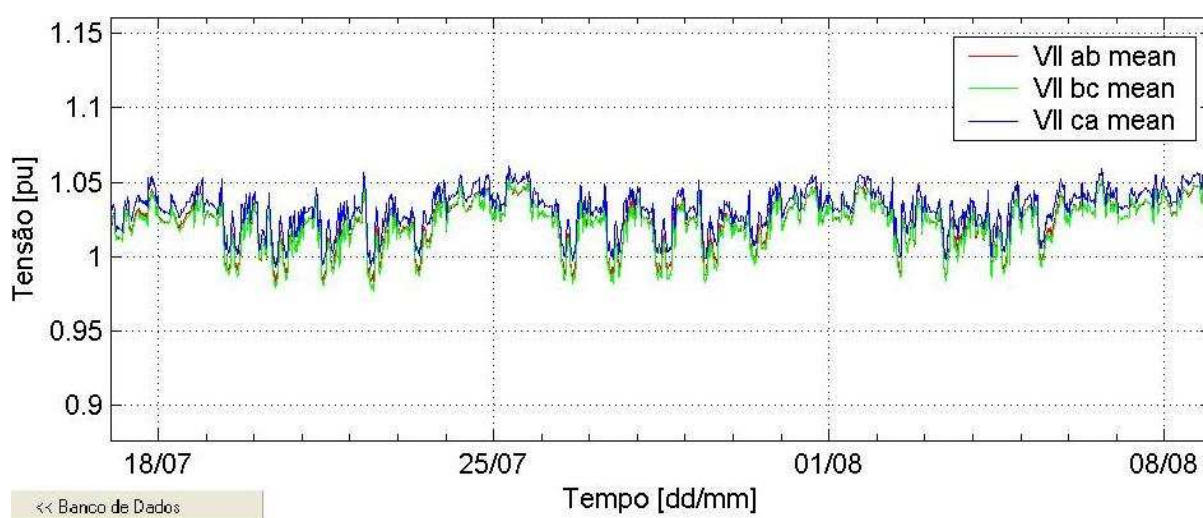


Figura 5.35 – Medição de todos os dados.

Da figura 5.5 pode-se constatar que há semelhança entre os perfis das tensões medidas tanto para dias úteis como para dias de final de semana, sendo que aos finais de semana, as tensões tendem a variar menos e a terem um patamar médio mais elevado.

As tabelas 5.3 e 5.4 apresentam as estatísticas para, respectivamente, dias de semana e finais de semana.

Tabela 5.9 - Estatísticas da Análise de Freqüência de Aquisição

Dias:	19/07 Seg	20/07 Ter	21/07 Qua	22/07 Qui	23/07 Sex	26/07 Seg	27/07 Ter
Máximo	1,045	1,037	1,039	1,049	1,044	1,039	1,041
Mínimo	0,9899	0,9832	0,9835	0,983	0,9891	0,9852	0,9864
Média Aritmética	1,016	1,008	1,012	1,015	1,018	1,016	1,017
Média Quadrática	1,017	1,008	1,012	1,015	1,018	1,017	1,017
Desvio Padrão	0,0146	0,0137	0,013	0,0162	0,0132	0,0149	0,0151
Probabilidade 95%	1,033	1,032	1,027	1,041	1,039	1,037	1,037
Probabilidade 99%	1,04	1,037	1,037	1,048	1,044	1,039	1,04

Tabela 5.10 - Estatísticas da Análise de Freqüência de Aquisição

Dias:	17/07 Sab	18/07 Dom	24/07 Sab	25/07 Dom	31/07 Sab	01/08 Dom
Máximo	1,045	1,044	1,048	1,054	1,047	1,048
Mínimo	1,01	1,02	1,017	1,024	1,019	1,023
Média Aritmética	1,026	1,028	1,036	1,038	1,033	1,034
Média Quadrática	1,026	1,028	1,036	1,038	1,034	1,034
Desvio Padrão	0,00874	0,00567	0,00596	0,00836	0,0074	0,00817
Probabilidade 95%	1,042	1,039	1,046	1,049	1,046	1,045
Probabilidade 99%	1,044	1,043	1,047	1,052	1,047	1,048

Pelas tabelas 5.3 e 5.4, é possível perceber que as tensões de dias de semana e de finais de semana são semelhantes entre si.

Das análises vinculadas aos valores eficazes das tensões para os dias considerados, pode-se concluir que o patamar mínimo registrado foi de 373,62 V e o máximo, de 400,52 V.

Logo, pode-se concluir que há similaridade entre os dias que constituem o grupo de dias úteis em estudo. Há também similaridade entre os dias que constituem o grupo de dias de final de semana. Deve-se ressaltar que, os patamares encontrados para os finais de semana são ligeiramente mais elevados, como era de se esperar devido ao menor consumo de energia.

Dentro do mesmo dia, pode-se observar que a variação de tensão não é muito significativa (figura 5.6). Tal figura é referente ao dia 03/08. Os demais dias assemelham-se muito a este dia em análise.

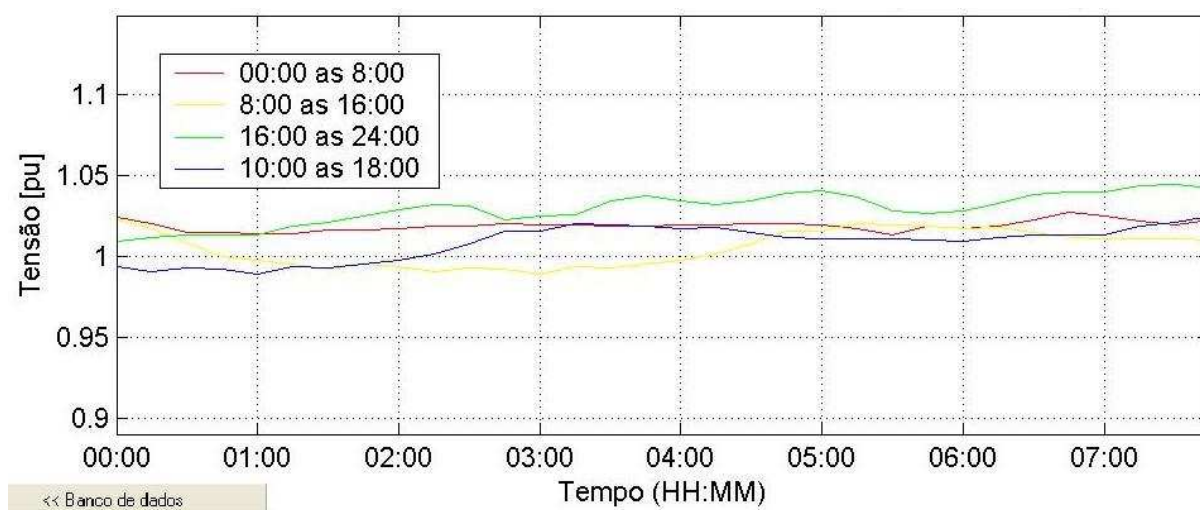


Figura 5.36 – Curvas das tensões para 3 frequências de aquisição.

5.1.4. ANÁLISE ALTERNATIVA DESTINADA À AVALIAÇÃO DA SUPOSTABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS FRENTE AOS NÍVEIS DE TENSÃO E NORMA

A partir da análise dos dados aqui proposta, espera-se tornar possível, inclusive aos fabricantes, entender se o seu equipamento suporta ou não os níveis de tensão apresentados, em função do tempo de exposição. Para tal, um limite, ou melhor, um valor de referência deve ser especificado pelo usuário. Neste estudo será considerado $V_L=395,2$ volts (1,04 pu da tensão nominal da instalação).

Com o auxílio da ferramenta computacional, observa-se que, do período de medição em análise, cerca de 23 dias (33120 minutos), a grande maioria dos dados apresenta $V_1 \leq 395.2$ volts. De fato, são 3735 minutos (62,25 horas) com $V_1 \geq 395.2$ volts.

A figura 5.7 apresenta o gráfico com os intervalos ininterruptos de tempo em que $V_1 \leq 395.2$ volts.

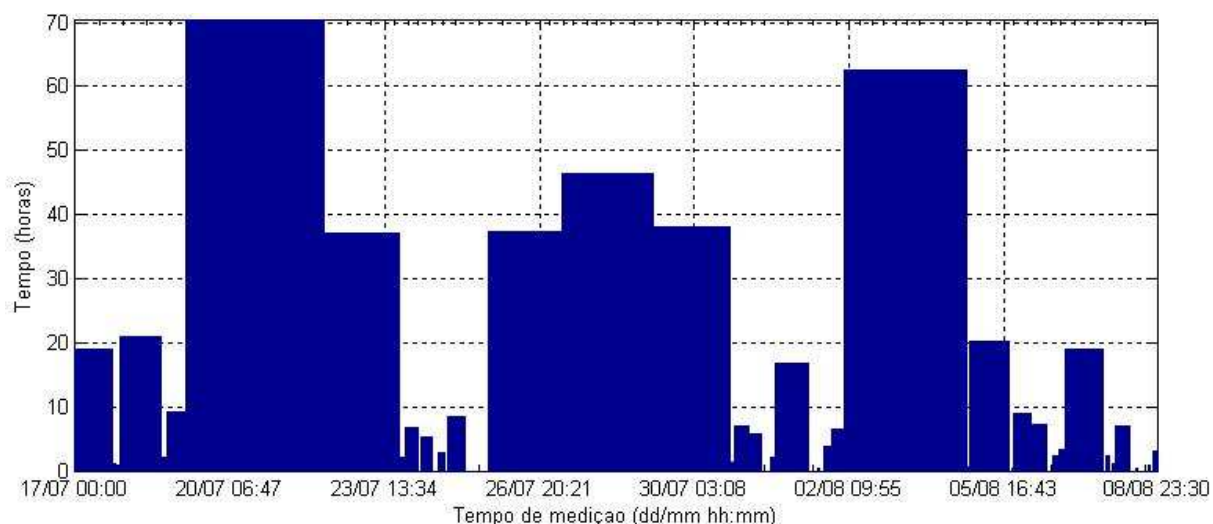


Figura 5.37 – Intervalos ininterrupto de tempo com $V_1 \leq 395.2$ volts

Da figura 5.7 conclui-se que, o maior intervalo de medição sem a presença de $V_1 \geq 395.2$ volts é da ordem de 4230 minutos (70,5 horas), considerando-se os 23 dias de medição.

A figura 5.8 apresenta o gráfico com os tempos em que, cada valor $V_1 \geq 395.2$ volts, depois de se manifestar, permaneceu no sistema ininterruptamente, versus tempo medido.

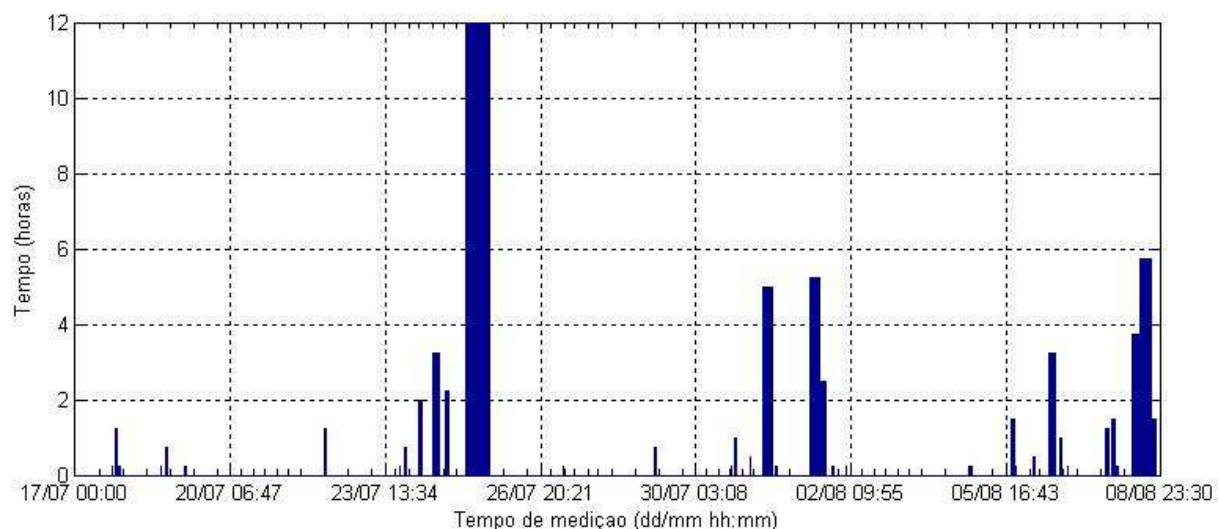


Figura 5.38 – Intervalos ininterrupto de tempo com $V_1 \geq 395.2$ volts

Já da figura 5.8 observa-se que, o máximo tempo que o sistema permaneceu com $V_1 \geq 395.2$ volts sem apresentar qualquer outro valor abaixo deste foi de 720 minutos (12 horas) de um total de 23 dias. Cabe ressaltar que este período é suficiente para causar danos a equipamentos que porventura não suportam tensões acima de 395,2 volts.

As figuras 5.9 e 5.10 mostram, respectivamente, as probabilidades de ocorrência de intervalos ininterruptos com $V_1 \geq 395.2$ volts e $V_1 \leq 395.2$ volts.

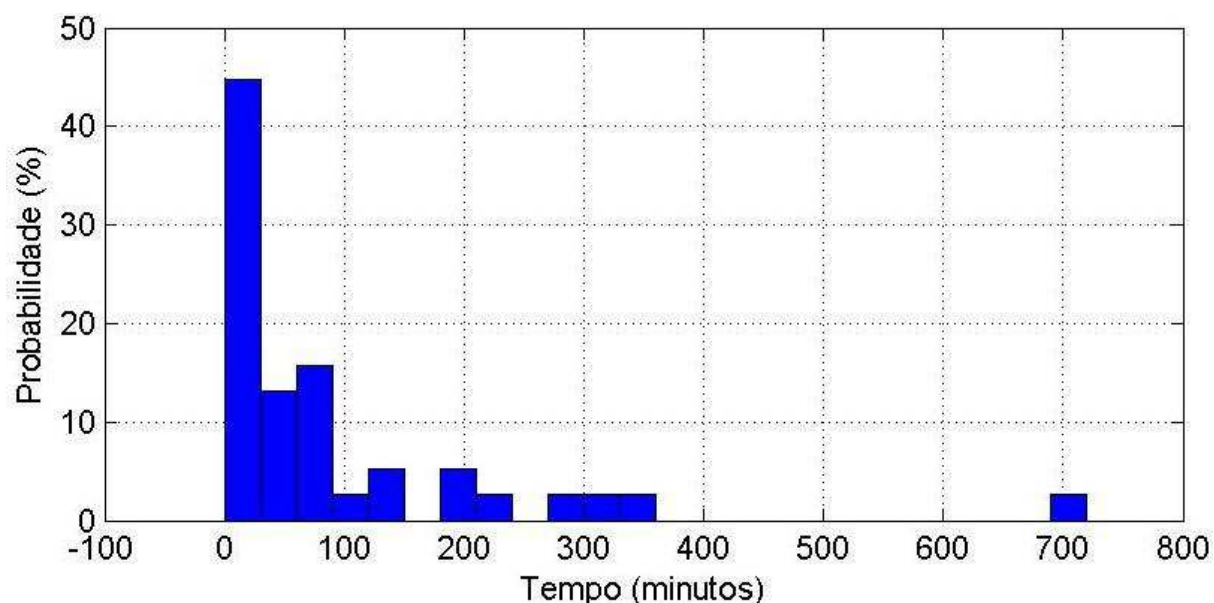


Figura 5.39 – Probabilidade de intervalos ininterrupto de tempo com $V_1 \geq 395.2$ volts

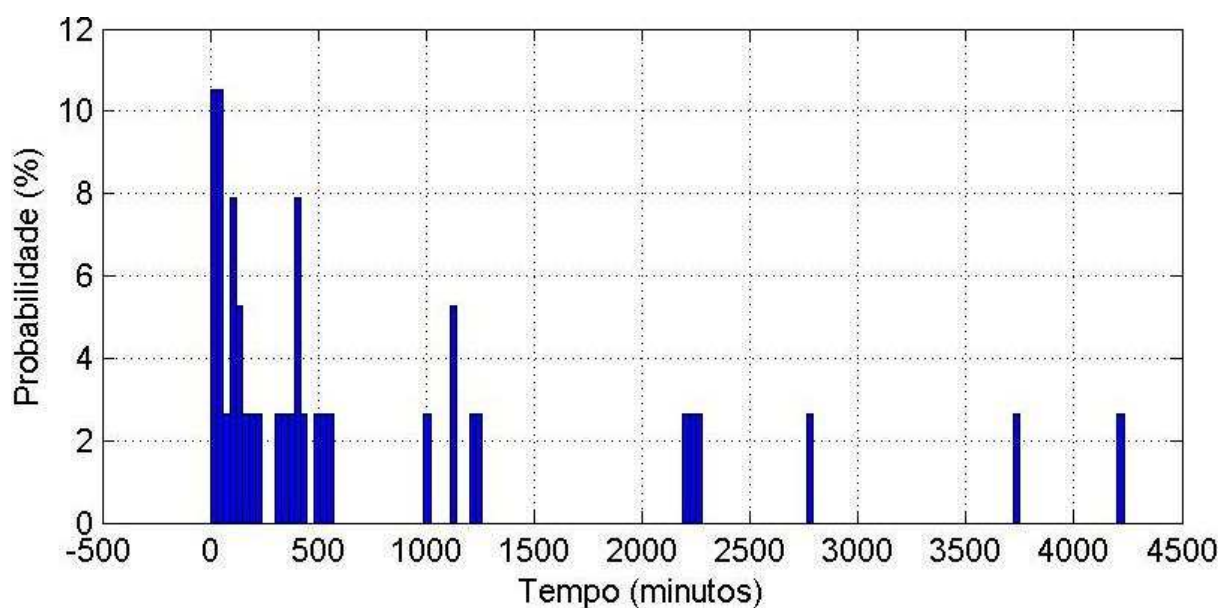


Figura 5.40 – Probabilidade de intervalos ininterrupto de tempo com $V_1 \leq 395.2$ volts

Por meio das figuras 5.9, observa-se que a probabilidade de se ter intervalos ininterruptos de tempo com $V_1 \geq 395.2$ volts em intervalos espaçados de 0 a 30 minutos é de 45%. Considerando a figura 5.10, nota-se que a probabilidade de se ter intervalos ininterruptos de tempo com $V_1 \leq 395.2$ volts em intervalos espaçados de 0 a 30 minutos é 10,5 %.

Pode então concluir que os valores de $V_1 \geq 395.2$ volts surgem na maioria das vezes em intervalos entre 0 e 30 minutos, espaçados entre si por períodos bastante variados. No entanto, há de se ressaltar a presença de fases com valores de $V_1 \geq 395.2$ volts com 12 horas de duração.

5.1.5. QUALIFICAÇÃO DAS TENSÕES

Objetivando uma avaliação qualitativa dos dados oriundos da medição, buscou-se compará-los com os limites estabelecidos pela Recomendação Brasileira. A tabela 2.4 apresenta os limites de tensão.

Tem-se considerando-se a semana entre os dias 20/07, sábado, e 26/07, sexta-feira, o valor de $DRP=11,012\%$ e $DRC=0$. Isto quer dizer que não há valores críticos de tensão (abaixo de 327 V ou acima de 403 V) e que pouco mais de 11% dos valores de tensão estão na faixa de valores precários.

Com os parâmetros calculados, tem-se que devido ao descumprimento da regulamentação, isso acarretaria uma multa de R\$ 0,421 à cada R\$ 1,00 pago no valor da última conta de luz do usuário.

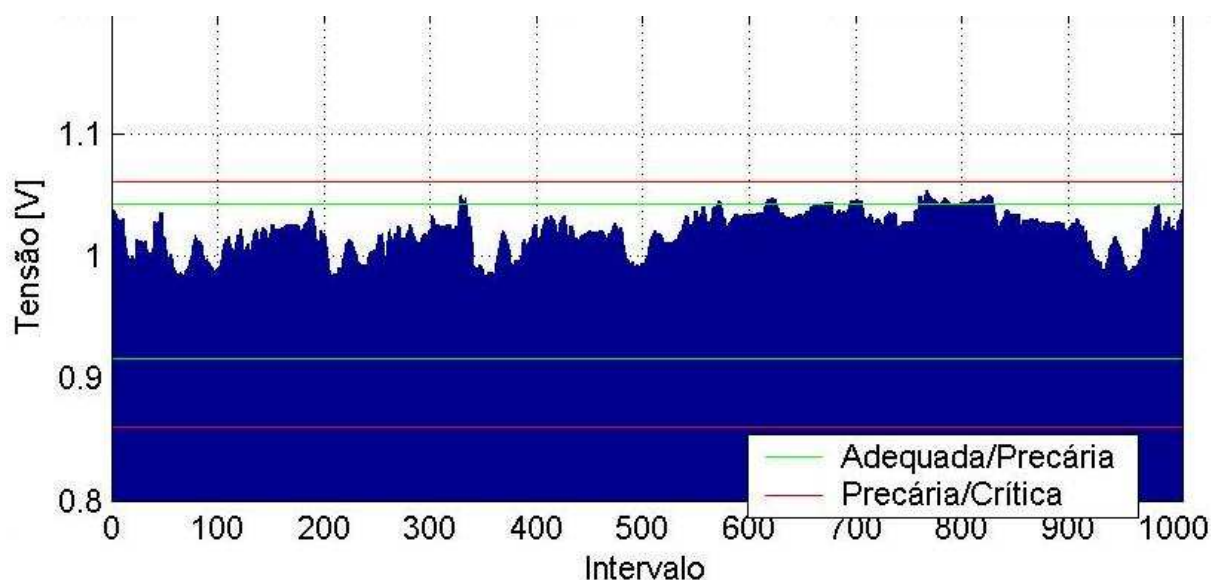


Figura 5.41 – Histograma de tensões

Considerando-se os limites adequados para tensão, conclui-se que o local em estudo não se enquadra no grupo de fornecimento de energia com valores dentro dos patamares adequados exigidos pela recomendação brasileira.

6. CONCLUSÃO

A proposta inicial deste trabalho foi de elaboração de uma ferramenta computacional que visasse à análise da variação dos níveis de tensão em regime permanente, utilizando para tanto, um programa com alta capacidade de processamento de dados e cálculos e de simples interface cujo passo inicial já havia sido dado anteriormente em outro trabalho com a ferramenta de análise de distúrbios harmônicos e ferramenta para análise de afundamentos de tensão.

O que motivou este e outros trabalhos foi a possibilidade de se criar um programa computacional que possa analisar os diferentes distúrbios referentes ao fornecimento de energia elétrica. Distúrbios estes que podem danificar equipamentos e acarretar em significativos danos econômicos.

Do tratamento estatístico relacionado ao estudo de caso, conclui-se que, caso esteja-se buscando obter o perfil das tensões do ambiente em estudo, são suficientes 1 dia útil e 1 dia de final de semana. Porém, se o objetivo concentra-se na obtenção de valores representativos aos apresentados nos períodos de máximos patamares das tensões, sugere-se a análise de um domingo.

Das análises efetuadas, verificou-se similaridade entre as fases na totalidade dos dias. Logo, qualquer uma das três fases pode ser utilizada como representativa às demais. Da análise da frequência de aquisição, observa-se que, tanto para a reprodução do perfil das tensões como para análise de médias e desvios padrão, medições com intervalos de até 60 minutos, não comprometem os resultados.

Após a verificação de similaridade entre dias, foi executada análise alternativa destinada à avaliação da suportabilidade dos equipamentos frente aos níveis de tensão. Dos gráficos ilustrados nesta análise, observou-se que os diversos valores de $V_1 \geq 395.2 \text{ V}$ (valor correspondente a 1,04 pu da tensão nominal), estão concentrados em intervalos de curta duração e se manifestam principalmente aos finais de semana. Estes intervalos são ainda espaçados entre si, na maioria das vezes, por períodos superiores a 1 hora. A metodologia utilizada na supracitada análise, permite ao fabricante, de posse dos níveis máximos de suportabilidade às tensões, em função do tempo de exposição às mesmas, atestar se o seu

produto pode ou não ser utilizado, sem riscos de danos, causados por um sistema como o em estudo.

Quanto à qualificação dos dados medidos para, verificou-se que o ambiente em estudo não obedece aos requisitos exigidos pela Recomendação Brasileira em certas semanas.

Lançado mão da metodologia aqui apresentada é possível analisar tanto o fornecimento de energia como os equipamentos que estão conectados na rede elétrica. Como sugestão para trabalhos futuros fica a coleta e análise de dados de locais diferentes e de equipamentos diversos para se obter uma real visão da situação atual do sistema elétrico brasileiro. Outra sugestão é a tradução do programa para alguma linguagem de programação que não tenha um elevado custo para sua utilização como é o caso do Matlab, a saber: C, Java e Python.

BIBLIOGRAFIA

- [1] DUGAN, R.C.; MCGRANAGHAN, M.F., BEATY, H. Electrical Power Systems Quality. Editora McGraw-Hill, E.U.A.,1996..
- [2] OLIVEIRA, DAVID; Análise, Quantificação e Qualificação do Desequilíbrio de Tensão. Dissertação de Projeto Final de Graduação da Universidade de Brasília, 2001.
- [3] ROMÃO NETO, A. A.; FERREIRA FILHO, A. L.; e DE OLIVEIRA,M.A.; Uma Metodologia para a Quantificação e Qualificação dos Níveis de Tensão em uma Instalação Universitária, T&D Latin America 2004
- [4].....AMBONI, G. P. DE M.; Ferramenta Computacional para Quantificação e Qualificação da Distorções Harmônicas, Dissertação de Projeto Final de Graduação da Universidade de Brasília, 2003
- [5].....ONS
– “Procedimentos de Rede; Módulo 2 – Padrões de Desempenho da Rede Básica e Requisitos Mínimos para suas Instalações”, Dezembro de 2002.
- [6].....ANEEL – “Procedimentos de Distribuição – Versão Preliminar”.
- [7] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Nº 505, Novembro 2001.
- [8]ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica -Resolução Nº 024, Janeiro 2000.
- [9]MATSUMOTO, E. Y., "Matlab 6.5: Fundamentos de Programação”, São Paulo: Editora Érica, 2002.
- [10] IRWIM, DAVID J.; Análise de Circuitos em Engenharia, 4ª edição, Editora Makron Books, 2000.
- [11] ALMEIDA, W.G.; FREITAS, F.D. Circuitos Polifásicos, Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos, Brasília, 1995.

- [12] Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul, <http://www.agergs.rs.gov.br/indica/indiqua1.htm>
- [13] Simão, Fabiano; Diretrizes Básicas para Quantificação das Distorções Harmônicas no Campus Universitário, Dissertação de Projeto Final de Graduação da Universidade de Brasília, 1999.
- [14] DECKMANN, M. SIGMAR; Estudo Sobre Qualidade de Energia Elétrica: Relatório 4 – Tensão de suprimento – Indicadores de Avaliação; ANEEL 2000.
- [15] Ferreira Filho, A. L.; Freitas, F. D.; e Vogel, P. R. O. Statistical Analysis of Voltage Harmonic Distortions for a Commercial Load. 10th International Conference on Harmonics, 2002, Rio de Janeiro. 10th International Conference on Harmonics em CD, 2002.
- [16] ANEEL; Índice de Satisfação do Consumidor; maio 2005.
- [17] Magalhães, M. N.; Pedroso de Lima, A. C.; Noções de Probabilidade e Estatística; IME-USP, 2001.
- [18] DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – Portaria n° 047, Abril de 1978
- [19] DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – Portaria n° 087, Agosto de 1980.
- [20] DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – Portaria n° 004, Janeiro de 1989.
- [21] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica -Resolução N° 676, Dezembro 2003.