TESE
1200

BI - UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA TENSÃO EM PONTOS DE CONTROLE DA REDE DE OPERAÇÃO

HELOIZA HELENA XIMENES DE MELO E MENEZES

ITAJUBÁ - MG
SETEMBRO DE 2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

INSTITUTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA TENSÃO EM PONTOS DE CONTROLE DA REDE DE OPERAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Biblioteca
MAUÁ
BIM
UNIFEI

Engª HELOIZA HELENA XIMENES DE MELO E MENEZES

Dissertação submetida à Universidade Federal de Itajubá para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica

Orientador Local: Prof. Dr. Héctor Arango, UNIFEI
Orientador Externo: Prof. Dr. Marcus Th. Schilling, UFF

ITAJUBÁ - MG

SETEMBRO DE 2002

CLASS. 621.311 (043.2)
CUTTER. M528a
TOMBO. 1200

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

M528a

Melo e Menezes, Heloiza Helena Ximenes de
Avaliação de desempenho da tensão em pontos de controle da rede de operação / por Heloiza Helena Ximenes de Melo e Menezes; orientado por Héctor Arango e co-orientado por Marcus Theodor Schilling. -- Itajubá (MG) : UNIFEI, 2002.
107 p. il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Variação de tensão de curta duração. 2. Afundamentos momentâneos. 3. Avaliação de desempenho. 4. Cartas de controle. 5. Controle estatístico de processo. I. Arango, Héctor, orient. II. Shilling, Marcus Theodor, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

CDU : 621.311 (043.2)

Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

A N E X O I

PRONUNCIAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

A Banca Examinadora, abaixo assinada, nomeada pela Portaria nº 319 de 25 de Setembro de 2002, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: **"Avaliação de Desempenho da Tensão em Pontos de Controle da Rede de Operação"** apresenta pronunciamento no sentido de que o Coordenador dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá solicite ao DRA (Departamento de Registro Acadêmico) a expedição do título de **Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica**, na **Área de Concentração Sistemas Elétricos de Potência,** satisfeitas as demais exigências regimentais, a **Heloiza Helena Ximenes de Melo e Menezes.**

Itajubá, 26 de setembro de 2002.

Dr. Delmo de Macedo Correia
1º Examinador - ONS

Dr. Jocélio Souza de Sá
2º Examinador – INATEL

Dr. José Wanderley Marangon Lima
3º Examinador - UNIFEI

Dr. Marcus Theodor Schilling
4º Examinador - UFF

Dr. Hector Arango
5º Examinador - UNIFEI (orientador)

Pró-Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Av BPS, 1303 - Caixa Postal 50 - 37500-903 - ITAJUBÁ/MG - BRASIL
Tel.: (35) 3629-1118 - 3629-1121 - Fax (35) 3629-1120

À minha mãe, Sarah Ximenes,
ao meu pai, Hercílio Sérgio *(in memoriam)*,
ao meu marido, Hélio Burle,
à minha filha Bianca Helena e
ao meu filho Eduardo Henrique.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me ter concedido a vida, a família e todas as oportunidades imprescindíveis à minha carreira profissional, cuidando de cada detalhe, e dando-me a plena consciência da sua presença em tudo.

Agradeço aos meus pais, que sempre me incentivaram, valorizando o conhecimento como o caminho para grandes realizações, e, muito especialmente à minha mãe, que, sozinha, desde a minha adolescência, proveu-me com todos os recursos necessários ao meu desenvolvimento pessoal, bem como pelo seu carinho e atenção, sem os quais não teria conseguido o equilíbrio que me fez almejar o crescimento educacional e profissional. Nesse enfoque, destaco também minha irmã, que também teve participação efetiva nesse resultado.

Agradeço ao meu marido, pelo seu exemplo na constante busca do saber, e no seu incansável interesse e dedicação no desempenho de suas funções como profissional, e ainda, pelo seu incentivo e ajuda nessa minha realização e até mesmo co-orientação do trabalho, sem os quais essa etapa não teria sequer sido iniciada.

Agradeço aos meus filhos, que, mesmo muito crianças, presenciaram cada passo desta fase da minha caminhada rumo a esse alvo, dando-me, mesmo sem saber, toda a força e determinação para a consecução deste meu objetivo.

Também agradeço ao Corpo Docente da UNIFEI, que me preparou no nível de Pós-Graduação para que eu pudesse almejar ao grau de Mestre em Ciências e, em especial, ao Prof. Dr. José Wanderley Marangon Lima que, como coordenador do CESE-97 conduziu-me nos passos necessários a essa escalada. Agradeço ao orientador Prof. Dr. Héctor Arango, que me deu as diretrizes para a realização do trabalho, e intermediou a definição de mais um orientador, Prof. Dr. Marcus Th. Schilling, que, com sua experiência, dedicação, incentivo e ânimo, também pôde ajudar-me, complementarmente, no desenvolvimento do trabalho.

Finalmente, agradeço às pessoas que fizeram e fazem a Empresa Chesf, que me proporcionaram a realização do CESE-97 e, ao longo de 1998, me deram oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos e também, utilizando o parque de instrumentos instalados para acompanhamento da qualidade de energia da rede, me permitiram coletar os dados que são o objeto das análises e tratamentos estatísticos propostos neste trabalho. Nesse enfoque, destaco os colegas da época, e tantos outros que, hoje, ao meu lado, no ONS, ou mesmo à distância, em outras Empresas do Setor Elétrico, têm manifestado seu carinho e alegria por este sonho que se tornou realidade. A cada um, o meu mais sincero e profundo, muito obrigada!

RESUMO

Resumo da Dissertação apresentada à UNIFEI como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA TENSÃO EM PONTOS DE CONTROLE DA REDE DE OPERAÇÃO

HELOIZA HELENA XIMENES DE MELO E MENEZES

SETEMBRO / 2002

Orientadores: Prof. Héctor Arango, D. Sc.
Prof. Marcus Theodor Schilling, D. Sc.

O objetivo principal desta Dissertação é proceder a uma análise de dados, que sejam obtidos de instrumentos de medição para fins de avaliação de Qualidade de Energia, com o interesse, não só de diagnosticar o estado de um determinado ponto da rede elétrica, no que se refere às variações de tensão de curta duração, em especial, aos afundamentos momentâneos da tensão, mas também de avaliar seu comportamento histórico, identificando suas tendências.

Palavras-chave: *Avaliação de Desempenho, Variações de Tensão de Curta Duração, Afundamentos Momentâneos, Cartas de Controle, Controle Estatístico de Processo.*

RESUMO

Resumo da Dissertação apresentada à UNIFEI como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA TENSÃO EM PONTOS DE CONTROLE DA REDE DE OPERAÇÃO

HELOIZA HELENA XIMENES DE MELO E MENEZES

SETEMBRO / 2002

Orientadores: Prof. Héctor Arango, D. Sc.
Prof. Marcus Theodor Schilling, D. Sc.

O objetivo principal desta Dissertação é proceder a uma análise de dados, que sejam obtidos de instrumentos de medição para fins de avaliação de Qualidade de Energia, com o interesse, não só de diagnosticar o estado de um determinado ponto da rede elétrica, no que se refere às variações de tensão de curta duração, em especial, aos afundamentos momentâneos da tensão, mas também de avaliar seu comportamento histórico, identificando suas tendências.

Palavras-chave: *Avaliação de Desempenho, Variações de Tensão de Curta Duração, Afundamentos Momentâneos, Cartas de Controle, Controle Estatístico de Processo.*

ABSTRACT

Abstract of Dissertation presented to UNIFEI as fulfillment of partial requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.).

VOLTAGE PERFORMANCE EVALUATION OF CONTROL POINTS OF THE OPERATION GRID

HELOIZA HELENA XIMENES DE MELO E MENEZES

SEPTEMBER / 2002

Supervisors: Prof. Héctor Arango, D. Sc.
Prof. Marcus Theodor Schilling, D. Sc.

The main goal of this Dissertation is to provide data analysis, obtained from measurements collected from instruments used for Power Quality evaluation, with the interest of, not only making a diagnosis of the conditions of a specific point of the electric network, (ie referring to the short duration voltage variations, highlighting voltage sags), but also evaluating trends and historical performance.

Keywords: *Performance Evaluation, Short Duration Voltage Variations, Voltage Sags, Control Charts, Process Statistical Control.*

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS iv
RESUMO v
ABSTRACT vi
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO 1
I.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES 1
I.2. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO 2
I.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 2
I.4. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES 3
CAPÍTULO II – CONCEITUAÇÃO 4
II.1. INTRODUÇÃO 4
II.2. COMPORTAMENTO DAS TENSÕES EM GRANDES SISTEMAS ELÉTRICOS 4
II.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA NO BRASIL 8
II.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO PARA ANÁLISE DE MEDIDAS 12
II.5. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO [12, 13] 15
II.6. SUMÁRIO 32
CAPÍTULO III – A MEDIÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA 33
III.1. INTRODUÇÃO 33
III.2. ASPECTOS TEÓRICOS [17] 33
III.3. O INSTRUMENTO UTILIZADO [18,19] 46
III.4. SUMÁRIO 56
CAPÍTULO IV – TRATAMENTO DOS DADOS 57
IV.1. INTRODUÇÃO 57
IV.2. CRITÉRIOS 57
IV.3. TRATAMENTO 58
IV.4. SUMÁRIO 64
CAPÍTULO V – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO 65
V.1. INTRODUÇÃO 65
V.2. APLICAÇÃO DO CEP AOS CASOS ESTUDADOS 65
V.3. SUMÁRIO 82
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES 83
APÊNDICE A – Fatores para Construção das Cartas de Controle para Variáveis [16] 86
APÊNDICE B – Dados Obtidos do Instrumento de Medição Utilizado 87
APÊNDICE C – Dados Tratados para Identificação dos Afundamentos Momentâneos de Tensão 103
APÊNDICE D – Dados para os Gráficos Tridimensionais 105
APÊNDICE E – Dados para Testes das Cartas para os Pontos de Controle 107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 108

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1 – Histograma dos Dados Sumarizados nas Tabelas II.3 e II.4. 15
Figura II.2 – Processo não-estável [13] 17
Figura II.3 – Linhas-Limites das Cartas de Controle [13] 20
Figura II.4 – Análise conjunta das cartas $\overline{X}$ e R [13] 24
Figura II.5 – Influência de n e p na assimetria da distribuição binomial [13] 28
Figura II.6 – Cartas de controle para atributos [13] 30
Figura III.1 – (a) Divisor de Tensão Capacitivo; (b) TP com Acoplamento Capacitivo [17] 44
Figura III.2 – Painel de Funções do 3720 ACM [19] 47
Figura III.3 – Configuração para Comunicação via Modem Serial [19] 48
Figura III.4 – Configuração para Comunicação via Cabo Serial [19] 48
Figura III.5 – Monitoração de um Distúrbio pelo Instrumento 49
Figura III.6 – Forma de Registro do Instrumento 50
Figura III.7 – Registros de Máximos e Mínimos 51
Figura III.8 – Registro Rápido de Valores Instantâneos 51
Figura III.9 – Registro de Eventos do Instrumento 52
Figura III.10 – Gravação de Formas de Onda 53
Figura III.11 – Função de Captura de Formas de Onda e Diagramas Fasoriais 54
Figura IV.1 – Tela de Abertura do Programa de Tratamento dos Dados 58
Figura IV.2 – Amplitude de Tensão dos Eventos Ocorridos em Cada Dia. 60
Figura IV.3 – Representação Gráfica dos Dados Apresentados no Apêndice C. 61
Figura IV.4 – Classificação dos Afundamentos de Tensão do Ponto P1 62
Figura IV.5 – Classificação dos Afundamentos de Tensão do Ponto P2 63
Figura IV.6 – Classificação dos Afundamentos de Tensão do Ponto P3 63
Figura V.1 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar NM do Ponto P1 69
Figura V.2 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar DM do Ponto P1 70
Figura V.3 – Carta de Controle C, construída para avaliar MP do Ponto P1 70
Figura V.4 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar NM do Ponto P2 71
Figura V.5 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar DM do Ponto P2 71
Figura V.6 – Carta de Controle C, construída para avaliar MP do Ponto P2 72
Figura V.7 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar NM do Ponto P3 72
Figura V.8 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar DM do Ponto P3 73
Figura V.9 – Carta de Controle C, construída para avaliar MP do Ponto P3 73
Figura V.10 – Teste de amostra de NM para o Ponto P1 75
Figura V.11 – Teste de amostra de DM para o Ponto P1 75
Figura V.12 – Teste de amostra de MP para o Ponto P1 76
Figura V.13 – Teste de amostra de NM para o Ponto P2 78
Figura V.14 – Teste de amostra de DM para o Ponto P2 78
Figura V.15 – Teste de amostra de MP para o Ponto P2 79
Figura V.16 – Teste de amostra de NM para o Ponto P3 80
Figura V.17 – Teste de amostra de DM para o Ponto P3 80
Figura V.18 – Teste de amostra de MP para o Ponto P3 81

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1 – Fenômenos Associados à Qualidade da Energia Elétrica [1] 6
Tabela II.2 – Limites Globais de Tensão Expressos em Porcentagem da Tensão Fundamental 11
Tabela II.3 – Distribuição de Freqüência e Distribuição Acumulada do Total de Registros de Tensão, Inferiores ao Valor Nominal, Coletados em Subestação 230/69 kV Durante Seis Meses de Monitoração 14
Tabela II.4 – Índices Calculados Sobre a Amostra de Valores de Tensão em 69 kV, Ocorridos Durante Seis Meses de Monitoração em Subestação do Nordeste. 14
Tabela II.5 – Teste Kolmogorov-Smirnov da Normalidade de Médias Amostrais [13] 18
Tabela II.6 – Testes para CEP 31
Tabela III.1 – Comparação dos métodos de medição para várias ondas [17] 37
Tabela III.2 – Capacidades dos Medidores de Qualidade de Energia [17] 46
Tabela IV.1 – Análise Comparativa dos Pontos de Controle 64
Tabela V.1 – Valores Utilizados Para Cada Classificação dos 3 Pontos. 66
Tabela V.2 – Média das Médias e Desvio Padrão das Amostras 67
Tabela V.3 – Média das Médias e Desvio Padrão das Amostras, após Homogeneização 68
Tabela V.4 – Resultados das amostras de NM, DM e MP para o Ponto P1 76
Tabela V.5 – Resultados das amostras de NM, DM e MP para o Ponto P2 79
Tabela V.6 – Resultados das amostras de NM, DM e MP para o Ponto P3 81

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA TENSÃO EM PONTOS DE CONTROLE DA REDE DE OPERAÇÃO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

A vida é uma oportunidade, aproveita-a;
a vida é uma beleza, admira-a;
a vida é um sonho, realiza-o;
a vida é um desafio, enfrenta-o.

Tereza de Calcutá

I.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O crescente interesse pelas questões ligadas à Qualidade da Energia, tanto do ponto de vista da qualidade do fornecimento, quanto da qualidade do produto, têm evidenciado uma carência de propostas que sistematizem processos de avaliação, principalmente no que se refere à qualidade do produto Energia Elétrica.

R. DUGAN *et alii* [1] definem a Qualidade da Energia como sendo igual à Qualidade da Tensão, já que é sobre a tensão que os sistemas de potência têm controle. Esse argumento se fundamenta no fato de que quase não há controle sobre as correntes associadas à operação das chamadas cargas especiais. Além disso, embora os geradores gerem tensões quase perfeitamente senoidais, as correntes, passando através da impedância do sistema, podem causar uma variedade de distúrbios na tensão. Por exemplo:

- *a corrente resultante de um curto-circuito, provoca uma redução ou até o desaparecimento total da tensão, conforme o caso;*
- *correntes de descargas atmosféricas passando através do sistema de potência causam impulsos de tensão elevados, que, freqüentemente, rompem o isolamento e levam a outros fenômenos como curto-circuitos;*
- *correntes distorcidas de cargas que produzem harmônicos também distorcem a tensão, à medida que passam pelo sistema. Desse modo, uma tensão distorcida é levada a outros usuários do sistema.*

Tem-se verificado que a incidência de distúrbios na tensão, decorrentes de curto-circuitos, é dominante no cenário dos problemas dos sistemas elétricos, caracterizando-se, como principal causa de um dos mais importantes tipos de não-conformidades na Qualidade da Energia Elétrica, quais sejam, os afundamentos momentâneos de tensão e as interrupções momentâneas [2].

Essa constatação é produto da crescente implantação de equipamentos de monitoração de grandezas elétricas e de registro de perturbações nos sistemas elétricos, que vem sendo efetuada por diversas empresas no Brasil e no mundo.

I.2. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho visa apresentar o conhecimento atual relacionado aos distúrbios de tensão, bem como propor uma metodologia de avaliação de desempenho da tensão, no que se refere aos ***afundamentos momentâneos****, que permita efetuar o controle do processo no qual ela está inserida. Para este fim, foram analisados, durante um ano, os dados de três Pontos de Controle da Rede de Transmissão do Nordeste.*

Com isso, pretende-se que os dados que vêm sendo coletados e armazenados pelos equipamentos de monitoração sejam devidamente tratados, permitindo um diagnóstico imediato das condições do sistema elétrico associado, bem como um acompanhamento do seu desempenho e conseqüente avaliação da sua evolução ao longo do tempo. Isso permitirá uma previsão de degradação do sistema, orientando investimentos, estudo e implantação de medidas corretivas adequadas.

I.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A Dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos. O primeiro situa o problema.

O segundo apresenta a importância da qualidade de tensão no contexto da operação de sistemas elétricos e uma conceituação dos diversos tipos de distúrbios, fazendo um breve descritivo dos tratamentos estatísticos usuais para o tipo de dado a ser trabalhado. Com relação às questões específicas de avaliação de desempenho, é apresentada a ferramenta Controle Estatístico do Processo.

O terceiro trata da questão das medições de grandezas elétricas, com especial destaque para as medições para fins de análise de Qualidade de Energia, ressaltando o medidor utilizado para obtenção dos dados trabalhados.

O quarto, dando continuidade ao terceiro, apresenta o universo de dados utilizados, o tratamento prévio efetuado e as saídas obtidas, culminando com o diagnóstico do comportamento típico dos três pontos analisados, como subproduto.

O quinto faz a aplicação da ferramenta Controle Estatístico do Processo aos dados tratados no capítulo IV, destacando os resultados dessa forma de avaliação de desempenho, com vistas à manutenção permanente dos níveis adequados de qualidade, desejados pelo Setor Elétrico Brasileiro. Nesse capítulo encontram-se os produtos principais do trabalho.

Finalmente, no sexto capítulo apresentam-se as conclusões, ressaltando-se as contribuições e recomendações cabíveis.

I.4. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

As principais contribuições desta Dissertação podem ser resumidas nos seguintes itens:

i. *A metodologia, aqui proposta, efetua a avaliação de desempenho da tensão, quanto ao aspecto de afundamentos momentâneos, e permite efetuar o controle do processo no qual ela está inserida. Sua aplicação foi feita aos dados obtidos de monitoração realizada durante mais de um ano em três Pontos de Controle da Rede de Transmissão do Nordeste. Os resultados obtidos evidenciaram o caráter prático da proposta, podendo, facilmente, ser incorporados às atividades de análise / estatística das empresas do setor elétrico.*

ii. *Os desenvolvimentos propostos foram parcialmente publicados nos artigos citados nas referências [3] e [4], tendo sido o primeiro deles apresentado no III Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica, em 1999, e o segundo, no IX Encontro Regional Latino Americano da Cigré e no XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, ambos em 2001.*

CAPÍTULO II – CONCEITUAÇÃO

Eu sou um simples aprendiz; não tenho erudição profunda.
Aceito a verdade, onde quer que a encontre
e procuro viver de acordo com ela.

Gandhi

II.1. INTRODUÇÃO

O interesse em efetuar a análise e a avaliação do desempenho da tensão nos sistemas elétricos, decorre de sua importância no comportamento desses sistemas, em regime permanente e em distúrbios de longa ou de curta duração.

O desempenho ao longo do tempo também se reveste de suma importância pela necessidade de se antecipar gestões para priorização de investimentos.

Neste capítulo, detalham-se os tipos de distúrbios mais freqüentes nos sistemas elétricos, bem como as ferramentas estatísticas utilizadas para o tratamento dos dados e para as inferências efetuadas.

II.2. COMPORTAMENTO DAS TENSÕES EM GRANDES SISTEMAS ELÉTRICOS

A capacidade de controlar adequadamente o perfil de tensão de uma rede contribui significativamente para a segurança da operação e é parte da qualidade do produto entregue aos consumidores. Conseqüentemente, os métodos e ações utilizados no controle das tensões da rede contribuem para a consecução dos três objetivos principais apresentados abaixo [5]:

i. Qualidade de Tensão

Os níveis de tensão devem ser mantidos conforme os acordos contratados com as empresas distribuidoras e as restrições técnicas.

ii. Segurança do Sistema de Potência

a) a perda de um alimentador, linha ou outro equipamento não deve colocar a rede em risco de colapso de tensão, ou seja, deveria haver disponibilidade suficiente de reserva de potência reativa.

b) os valores de tensão devem permanecer dentro de faixas compatíveis com as especificações funcionais dos equipamentos (comportamento do equipamento em eventos de sobretensões, tensão mínima nos serviços auxiliares de subestações, etc).

c) os esforços de controle deveriam estar corretamente distribuídos entre os recursos disponíveis, de modo a evitar estresse adicional excessivo.

d) a coordenação cuidadosa do controle de tensão contribui para a estabilidade da rede (por exemplo, pode ser possível reduzir a diferença de ângulo entre geradores eletricamente próximos).

iii. Economia Operativa

O custo de produção, incluindo perdas (problema de otimização estática) e o custo de geração operada para a segurança ou o atendimento da carga (essencialmente um problema dinâmico) devem ser minimizados. *O controle da tensão é, portanto, um problema de otimização dinâmica, com restrições de segurança.*

Pode ser assinalado que há uma faixa extremamente larga de constantes de tempo (de algumas centenas de milissegundos, para a compensação de rápidas flutuações, a várias horas, para atendimento a carga e para partida e parada de geradores). Por estas razões, ações de controle são obrigadas a serem estruturadas fora da fase de planejamento. Além do mais, o controle de tensão requer vários estudos de planejamento (diários, semanais, mensais,...), cujo alvo é definir a melhor estratégia para o controle em tempo real.

Quando se seleciona um método de otimização, ênfase é dada às questões econômicas e de segurança, dependendo da filosofia de projeto. Entretanto, a robustez em segurança é geralmente enfatizada até quando uma otimização econômica é desejada.

Sob o ponto de vista conceitual, podem-se classificar os fenômenos eletromagnéticos pelo espectro e duração típicos e magnitude típica da tensão. R. DUGAN *et alii* [1] propuseram essa classificação conforme a Tabela II.1. Dentre estes fenômenos, destacam-se os distúrbios de tensão a seguir comentados [6, 7, 8]:

i. Interrupções de tensão

Para o consumidor, uma interrupção de tensão caracteriza-se pela descontinuidade no recebimento da energia elétrica, representando uma queda de 100 % na tensão nominal. Para fins de classificação, são entendidas como interrupções as reduções de tensão para níveis inferiores a 0,1 pu.

ii. Variações de tensão

As variações de tensão caracterizam-se pelos tipos de causas que as acarretam, quais sejam: alteração da demanda do sistema, que ocasiona variações de regime permanente, ou de longa duração; ocorrências de descargas atmosféricas e chaveamentos e ocorrências de curto-circuitos, déficits e superávits de geração, ocasionando variações de curta duração, sejam instantâneas (transitórias), momentâneas ou temporárias, positivas ("swells") ou negativas ("sags" ou "dips").

Tabela II.1 – Fenômenos Associados à Qualidade da Energia Elétrica [1]

CATEGORIAS			ESPECTRO TÍPICO	DURAÇÃO TÍPICA	MAGNITUDE TÍPICA DA TENSÃO
Transitórias	Impulsivas	nanossegundos	5 ns de pico	< 50 ns	
		microssegundos	1 μs de pico	50 ns-1 ms	
		milissegundos	0,1 ms pico	> 1 ms	
	Oscilatórias	baixa freqüência	< 5 kHz	0,3-50 ms	0 - 4 pu
		média freqüência	5-500 kHz	20 μs	0 - 8 pu
		alta freqüência	0,5-5 MHz	5 μs	0 - 4 pu
Variações de Curta Duração	Instantâneas	interrupções		0,5 a 30 ciclos	<0,1pu
		"sags" ou "dips"			0,1-0,9 pu
		"swells"			1,1-1,8 pu
	Momentâneas	interrupções		30ciclos-3s	<0,1pu
		"sags" ou "dips"			0,1-0,9 pu
		"swells"			1,1-1,4 pu
	Temporárias	interrupções		3s-1min	<0,1pu
		"sags" ou "dips"			0,1-0,9 pu
		"swells"			1,1-1,2 pu
Variações de Longa Duração	Interrupção sustentada			> 1min	0,0 pu
	Subtensões				0,8-0,9 pu
	Sobretensões				1,1-1,2 pu
Desequilíbrio de tensão				Reg.Perm.	0,5-2%
Distorção de onda	DC offset *			Regime Permanente	0-0,1%
	Harmônicos		0-100°.harm		0-20%
	Inter-harmônicos		0-6 kHz		0-2%
	Cortes na Tensão ("Notching")				
	Ruído		Banda larga		0-1%
Flutuação tensão			<25 Hz	Intermit.	0,1-7%
Variações freq.				<10s	

* Presença de tensão ou corrente DC em sistema AC.

São efeitos típicos desses distúrbios:

- extinção em lâmpadas de descarga;
- operação indevida de contactores;

- falhas ou erros computacionais;
- variações de velocidade fora da faixa de tolerância em motores elétricos;
- falhas de comutação em pontes de tiristores operando no modo inversor e sobrecorrente em retificadores, no restabelecimento da tensão;
- motores síncronos fora de passo, etc.

iii. Desequilíbrios de Tensão

Decorrem da operação de cargas monofásicas, como fornos monofásicos, subestações de trem providas com suprimento monofásico, etc, e das linhas de transmissão mal transpostas. Podem também resultar de acoplamentos desbalanceados entre linhas de transmissão de mesma faixa de servidão, ou da operação desequilibrada de bancos de capacitores, ocasionando assimetria na impedância da rede. Matematicamente, são definidos como a razão da componente de seqüência negativa ou zero pela componente de seqüência positiva da tensão.

Caracterizam-se como efeitos típicos:

- o sobreaquecimento em máquinas síncronas e assíncronas;
- modulação da tensão DC de saída de retificadores;
- surgimento de harmônicos não característicos em sistemas a estado sólido.

iv. Distorção Harmônica

Caracteriza-se pela operação de cargas não-lineares, tais como: retificadores, inversores, cicloconversores, fornos a arco e de indução, máquinas de solda, reatores saturados, etc. Equipamentos eletrônicos, como: computadores, impressoras, copiadoras, televisores, que, isoladamente, produzem pequena quantidade de correntes harmônicas, algumas vezes geram uma considerável parte de harmônicos na rede, dado ao elevado número de aparelhos no sistema.

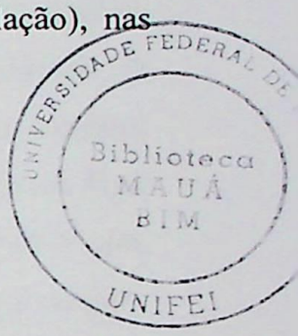
Registram-se como principais inconvenientes provocados:

- aumento das perdas e aquecimento em máquinas, transformadores, capacitores, cabos e condutores, (particularmente do neutro);
- aumento das solicitações ao dielétrico ("stress") nos equipamentos, com possíveis falhas de isolamento;
- imprecisão e instabilidade na operação de sistemas de controle, proteção e medição;
- redução de vida útil de equipamentos;

- aparecimento de torques oscilatórios nos eixos das máquinas;
- queima de fusíveis e/ou danificação de células capacitivas;
- aparecimento de torques adicionais (positivos ou negativos) em disco de indução, causando erros nos medidores de energia e alterando a característica de tempo dos relés de proteção; interferência telefônica, etc.

v. Flutuações de Tensão

As flutuações caracterizam-se pela operação de grandes consumidores com cargas especiais, que solicitam potência reativa variável no tempo, tais como: fornos a arco, motores de potência elevada, aceleradores de partículas nucleares, fornos de indução. Essas flutuações, dependendo da sua amplitude ser inferior a 1%, e de ser de baixa freqüência (na faixa de 0 a 30 Hz), podem provocar o já conhecido efeito "Flicker" (cintilação), nas lâmpadas incandescentes.



Outros efeitos que podem ser causados são:

- variação no tamanho da imagem em aparelhos televisores;
- operação incorreta de instrumentos radiográficos;
- problemas de temporização na operação de dispositivos de regulação;
- variações de torque em máquinas rotativas causando perdas e fadiga adicional de material, etc.

II.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA NO BRASIL

A reestruturação do setor elétrico e o aumento do contingente de empresas desse setor sob controle da iniciativa privada têm revelado o grande interesse que as questões relacionadas à Qualidade da Energia Elétrica despertam atualmente. O diagnóstico da necessidade de quantificar os eventos ocasionadores de mau desempenho, visando ao estabelecimento de limites admissíveis, tem levado as empresas a investirem na monitoração de pontos críticos como forma de identificar comportamentos típicos e acompanhar, ao longo do tempo, possíveis alterações nesse desempenho.

Os Procedimentos de Rede da Transmissão (documentos elaborados pelo ONS, com a participação dos Agentes do setor elétrico e homologados pela ANEEL, que estabelecem os procedimentos e os requisitos técnicos para o planejamento, a implantação, o uso e a operação do Sistema Interligado Nacional e as responsabilidades do ONS e de todos os demais Agentes de

Operação) apresentam no Submódulo 2.2 do Módulo 2 valores referenciais para alguns dos fenômenos citados, com base na experiência nacional e internacional e se aplicam à Rede Básica, conforme definida pela Resolução 66 de 16 de abril de 1999 da ANEEL. Para isso, foi formado um Grupo de Trabalho Especial – Qualidade de Energia Elétrica, coordenado pelo ONS, que vem propondo um Projeto Piloto de monitoração de grandezas, visando ao estabelecimento de valores referenciais para os fenômenos chamados de afundamentos momentâneos de tensão. A ANEEL, por sua vez, estabeleceu na Resolução 024 de 27 de janeiro de 2000, a necessidade de se apurar interrupções da Rede Básica, que venham a afetar os consumidores. Com isso, vem sendo verificado o aspecto de continuidade do serviço de suprimento de energia, avaliando tanto as interrupções de origem sistêmica quantoas de origem local, nas Distribuidoras, as quais já contam com indicadores e valores referenciais de freqüência e duração de interrupção.

Com o objetivo de apurar a continuidade da Rede Básica é que foi estabelecido o conceito de Ponto de Controle do Sistema Interligado Nacional que é a instalação ou conjunto de instalações da Rede Básica que faz fronteira com os ativos de conexão dos diversos Agentes, independentemente do nível de tensão. *Define-se também, como interrupção de serviço da Rede Básica, no Ponto de Controle, a falta de tensão no mesmo, ou a perda de continuidade do Ponto, o que caracteriza uma perda de serviço, desde que por um período igual ou superior a 1 minuto.*

No que se refere aos valores referenciais estabelecidos nos Procedimentos de Rede, ou padrões de desempenho da Rede Básica, destacamos o caso dos fenômenos que se seguem [9]. Esses padrões têm os seus limites caracterizados por níveis globais, de caráter sistêmico, e individuais, associados a cada Acessante. Entende-se por limites globais os valores máximos que podem ser atingidos no sistema com todas as fontes de perturbação em operação. Entende-se por limites individuais os valores máximos que podem ser introduzidos no sistema por um único Acessante.

i. **Flutuação de Tensão** – O indicador Pst, "probability short term", representa a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 minutos e é calculado a partir dos níveis instantâneos de sensação de cintilação, medidos conforme a seguinte expressão:

$$P_{st} = \sqrt{0{,}0314 P_{0{,}1} + 0{,}0525 P_1 + 0{,}0657 P_3 + 0{,}28 P_{10} + 0{,}08 P_{50}} \qquad \text{(II.1)}$$

onde Pi corresponde ao nível de sensação de cintilação que foi ultrapassado durante i % do tempo, resultante do histograma de classificação por níveis, calculado conforme estabelecido na Publicação IEC-61000-4-15.

O indicador Plt, "probability long term", representa a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 2 horas e é calculado a partir dos registros de Pst conforme a seguinte expressão:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12}\sum_{i=1}^{12}(P_{sti})^3} \qquad \text{(II.2)}$$

Os indicadores de severidade de cintilação, aqui adotados como representativos da flutuação de tensão num dado barramento da Rede Básica, são:

(a) PstD95%: valor do indicador Pst que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de 1 dia (24 horas);

(b) PltS95%: valor do indicador Plt que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de uma semana, 7 (sete) dias completos e consecutivos.

ii. **Desequilíbrio de Tensão** – O indicador para avaliar o desequilíbrio de tensão nos barramentos da Rede Básica é o Fator de Desequilíbrio de Tensão (K), que exprime a relação entre as componentes de seqüência negativa (V2) e seqüência positiva (V1) da tensão, expresso em termos percentuais da componente de seqüência positiva:

$$K = \frac{V_2}{V_1} \text{ x } 100$$

O limite global nos barramentos da Rede Básica é de:

$$K \leq 2\%$$

iii. **Distorção Harmônica** – O indicador para avaliar o desempenho global quanto a harmônicos nos barramentos da Rede Básica corresponde à distorção de tensão harmônica. Entende-se por Distorção de Tensão Harmônica Total (DTHT) a raiz quadrada do somatório do quadrado das tensões harmônicas de ordens 2 a 50. Esse indicador procura quantificar o conteúdo harmônico total existente em um determinado barramento da Rede Básica:

$$\text{DTHT} = \sqrt{\sum V_h^2} \qquad \text{(II.3)}$$

onde:

$V_h = 100\frac{v_h}{v_1}$ $\Rightarrow$ tensão harmônica de ordem h em porcentagem da fundamental;

v_h = tensão harmônica de ordem h em volts;

v_1 = tensão fundamental nominal em volts.

Os padrões globais de tensões harmônicas de ordens 2 a 50 são apresentados na Tabela II.2, bem como o padrão para a Distorção de Tensão Harmônica Total (DTHT). Entende-se por limites globais os máximos valores que podem ser atingidos no sistema com todas as fontes de perturbações em operação, segundo critérios estabelecidos de apuração.

Tabela II.2 – Limites Globais de Tensão Expressos em Porcentagem da Tensão Fundamental

V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
ÍMPARES		PARES		ÍMPARES		PARES	
ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)
3, 5, 7	5%			3, 5, 7	2%		
		2, 4, 6	2%			2, 4, 6	1%
9, 11, 13	3%			9, 11, 13	1,5%		
		≥8	1%			≥8	0,5%
15 a 25	2%			15 a 25	1%		
≥27	1%			≥27	0,5%		
DTHT = 6%				DTHT = 3%			

iv. **Variações de Tensão de Curta Duração** – deverá ser efetuado um levantamento de informações, durante período de tempo a ser estabelecido. Deverão ser monitoradas as três tensões fase-neutro e as informações deverão ser disponibilizadas de tal forma que permitam a agregação futura das fases por qualquer critério que venha a ser estabelecido. Para tanto, deverá ser armazenado, além da duração e amplitude em cada fase, um tempo comum de referência. A partir desse levantamento, o ONS, em conjunto com os demais Agentes, também deverá buscar meios para definir indicadores que qualifiquem determinada área do sistema, sob o aspecto de Variações de Tensão de Curta Duração, bem como estabelecer valores de referência para estes indicadores, a serem submetidos à ANEEL.

II.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO PARA ANÁLISE DE MEDIDAS

Qualquer programa de monitoração, limitado que seja, vai se deparar com uma enorme quantidade de dados coletados, que precisarão ser devidamente organizados numericamente a fim de que seja possível uma análise eficiente. Para tanto, será necessária a aplicação de algumas técnicas estatísticas para que se tenha uma visão mais clara do que aquela massa bruta de dados coletados representam para aquele local monitorado.

Uma das técnicas mais usada é a representação gráfica dos dados, já que qualquer conjunto de dados fica mais fácil de ser analisado se for representado graficamente. Quando se deseja resumir grandes massas de dados, costuma-se distribuí-los em classes ou categorias e determinar o número de eventos pertencentes a cada uma das classes, denominado freqüência de classe. Um arranjo tabular dos dados por classe, juntamente com as freqüências correspondentes, é denominado distribuição de freqüência ou tabela de freqüência. A Tabela II.3 é uma distribuição de freqüência ou tabela de freqüência dos "sags" coletados em uma monitoração realizada em uma das subestações 230/69 kV da Rede de Transmissão do Nordeste durante seis meses no primeiro semestre de 1997.

No caso de se fazer uma distribuição de freqüência de "sags" para um determinado local, a representação gráfica associa a cada intervalo no gráfico a um retângulo, cuja base coincide com a largura do próprio intervalo de freqüência escolhido e cuja área é idêntica, ou pelo menos proporcional à freqüência de "sags" correspondente. O gráfico obtido dessa forma é chamado de histograma ou histograma de freqüência, que consiste em um conjunto de retângulos que têm as bases sobre um eixo horizontal (eixo X) com centro no ponto médio e as larguras iguais às amplitudes dos intervalos de classes e com as áreas proporcionais às freqüências das classes. Como a soma de todas as freqüências tem de ser igual a um (isto é, a soma de todas as porcentagens tem de ser igual a 100%), a área total do histograma também é igual a um, se a área de cada retângulo for igual à freqüência do intervalo correspondente. A Figura II.1 mostra um histograma construído através dos valores da Tabela II.3.

A freqüência total de todos os valores inferiores ao limite superior de um dado intervalo de classe é denominada freqüência acumulada até e inclusive aquele intervalo. Uma tabela que apresente essa freqüência acumulada denomina-se distribuição de freqüência acumulada, tabela de freqüência acumulada ou abreviadamente, distribuição acumulada e é exemplificada na Tabela II.3.

As vantagens da representação gráfica são evidentes. A concentração dos "sags" em torno da faixa de 90 a 95% da tensão é percebida imediatamente, assim como a diminuição da freqüência progressiva à medida que nos afastamos desse valor. Isso seria muito difícil de perceber se a representação dos dados se limitasse à Tabela II.3. A primeira coisa a fazer, portanto quando se dispõe de um conjunto de dados, é tentar representá-lo graficamente. Esta é uma regra geral da estatística.

O histograma representa graficamente todos os valores de "sags" da amostra. Suas características básicas, isto é, a localização das observações numa certa região do eixo horizontal e a sua dispersão ao longo dessa região pode ser representada de forma abreviada por várias grandezas estatísticas [10, 11]. As mais usadas nos programas de monitoração são:

- Média: Valor típico ou representativo de um conjunto de dados. Como esses valores típicos tendem a se localizar em um ponto central, dentro de um conjunto de dados ordenados segundo suas grandezas, as médias também são denominadas medidas da tendência central. Alguns softwares de análise dos dados coletados calculam a média aritmética, a mediana e a moda (medida que ocorre com a maior freqüência).

$$\overline{X} = \frac{x1 + x2 + \ldots + xn}{n} \qquad \text{(II.4)}$$

- Desvio Padrão: O desvio padrão de um conjunto de observação é a média quadrática dos desvios em relação a média. Note-se que o denominador não é o número total de observações n e sim n-1. Isso se deve ao fato de que, ao tomarmos uma amostra de uma população, estamos subestimando o desvio-padrão do processo como um todo. Para corrigir essa distorção é que reduzimos o denominador para n-1

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{n} (Xi - \overline{X})^2}{n-1}} \qquad \text{(II.5)}$$

- Variância: A variância de um conjunto de dados é definida como o quadrado do desvio padrão.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=2}^{n} (Xi - \overline{X})^2}{n-1} \qquad \text{(II.6)}$$

- Percentis: Se um conjunto de dados é ordenado em ordem crescente, o valor que divide o conjunto em duas partes de freqüências iguais é a mediana. Por extensão desse conceito, pode-se pensar que os valores que dividem o conjunto em cem partes de freqüências iguais

são chamados percentis e são representados por P1, P2, P3,...,P99. Na Tabela II.4 estão calculados o 5° percentil e o 95° percentil da amostra representada pelo histograma da Figura II.1. Esses dois percentis são geralmente mais importantes do que os valores mínimo e máximo respectivamente, os quais podem ser dados extremos devido ao erro amostral.

- Amplitude: é a diferença entre o menor e o maior valor da amostra e dá uma medida de dispersão dos dados.

Tabela II.3 – Distribuição de Freqüência e Distribuição Acumulada do Total de Registros de Tensão, Inferiores ao Valor Nominal, Coletados em Subestação 230/69 kV Durante Seis Meses de Monitoração

Categoria	Freqüência	% Cumulativo
0,00<x<=0,05	1	0,26
0,05<x<=0,10	0	0,26
0,10<x<=0,15	0	0,26
0,15<x<=0,20	1	0,52
0,20<x<=0,25	0	0,52
0,25<x<=0,30	0	0,52
0,30<x<=0,35	0	0,52
0,35<x<=0,40	0	0,52
0,40<x<=0,45	1	0,79
0,45<x<=0,50	0	0,79
0,50<x<=0,55	2	1,31
0,55<x<=0,60	3	2,10
0,60<x<=0,65	2	2,62
0,65<x<=0,70	5	3,94
0,70<x<=0,75	6	5,51
0,75<x<=0,80	17	9,97
0,80<x<=0,85	52	23,62
0,85<x<=0,90	76	43,57
0,90<x<=0,95	204	97,11
0,95<x<=1,00	11	100,00

Tabela II.4 – Índices Calculados Sobre a Amostra de Valores de Tensão em 69 kV, Ocorridos Durante Seis Meses de Monitoração em Subestação do Nordeste.

Estatística de dados de tensão	
Amostra	381
Mínimo	0,0210
Máximo	0,9570
Media	0,8823
Mediana	0,9100
Moda	0,9490
Desvio Padrão	0,0947
5° Percentil	0,7320
95° Percentil	0,9490
Amplitude	0,9360

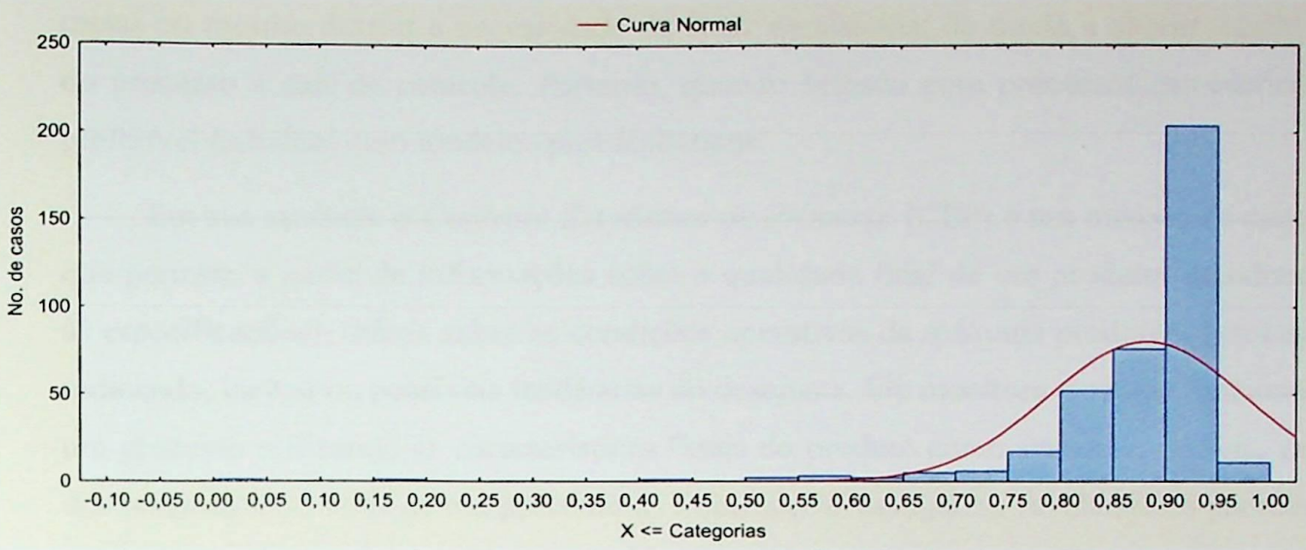


Figura II.1 – Histograma dos Dados Sumarizados nas Tabelas II.3 e II.4.

II.5. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO [12, 13]

Os processos de avaliação de desempenho normalmente fazem uso de ferramentas estatísticas e probabilísticas, dado o caráter aleatório dos dados das grandezas que se quer avaliar. Desse modo, também para a tensão em sistemas elétricos, é indiscutível a pertinência da utilização de tais métodos, se bem estabelecidos. Neste item, pretende-se delinear os principais aspectos a serem observados, no tratamento dessa grandeza elétrica, já estando direcionado o tipo de abordagem que se entende como adequada ao caso. Por isso, não serão discutidos vários métodos ou ferramentas que poderiam ser empregados. Apenas serão apresentadas as utilizadas, justificando a sua adequabilidade.

A utilização de índices para o controle e avaliação de desempenho de sistemas é uma prática comum no gerenciamento de processos. Estes índices são, em geral, mais fáceis de construir, entender e lidar, e parecem, numa visão superficial, caracterizar adequadamente um processo, ou estado de um sistema. Ressalte-se, no entanto, que eles, via de regra, não contêm a informação completa sobre o processo que representam. Isto é evidenciado quando nos defrontamos com a necessidade de fazer uma previsão para a tomada de decisão. Inevitavelmente constataremos que a informação disponível é insuficiente. Como responder questões do tipo: Qual a chance (risco) de obter índices piores? Caso se utilize uma abordagem probabilística do problema, baseada em um modelo, e não apenas em um índice, que é um resultado determinístico, poderemos avaliar

o comportamento e a tendência da variável em análise. Isso nos permitirá estabelecer metas ou mesmo detetar a necessidade de atuar no sistema, de modo a alterar tendências do processo a sair de controle. Portanto, quando lidando com processos estocásticos, é preferível trabalhar com modelos probabilísticos.

Em sua essência o *Controle Estatístico de Processo* (CEP) é um método de controle que permite, a partir de informações sobre a qualidade final de um produto (atendimento às especificações), inferir sobre as condições operativas da máquina produtora (processo), indicando, inclusive, possíveis tendências ao desajuste. Ele monitora o estado funcional de um processo utilizando as características finais do produto como sensores, ou seja, extrai dos resultados de saída de um processo as informações agregadas, revelando os padrões de comportamento, e as organiza de modo a viabilizar o diagnóstico. Esta propriedade do CEP é coincidente com o principal objetivo deste trabalho: extrair de informações de tensão a qualificação de seu desempenho e a detecção de tendência à degradação.

Os padrões e demais parâmetros de sintonia do CEP são determinados a partir da análise de uma série de medidas coletadas, determinando o efetivo comportamento do sistema. Após esta primeira etapa, estão criadas as condições para o acompanhamento do processo, que será periodicamente avaliado a partir da coleta e análise de amostras dos seus produtos finais, de acordo com procedimentos e testes padronizados. Os testes aplicados ao conjunto de pontos devem ser capazes de detectar tanto violações de limites quanto tendências de degradação.

O principal motivo para a utilização do CEP é contar com uma ferramenta simples e eficiente na detecção de mudanças não previstas no comportamento de um processo. Ele permite iniciar a análise para identificação e eliminação das causas destas alterações o mais breve possível, restabelecendo as condições originais, desejáveis. Está aí explicitada a premissa básica de *estabilidade do processo* para que faça sentido a utilização do CEP. Qualquer tentativa de aplicá-lo a um processo não-estável chegará a resultados sem qualquer significado. Um simples gráfico da série de dados no tempo - *série temporal* -, no entanto, às vezes é suficiente para indicar a inadequação de uma ferramenta como o CEP, conforme mostrado no exemplo da Figura II.2.

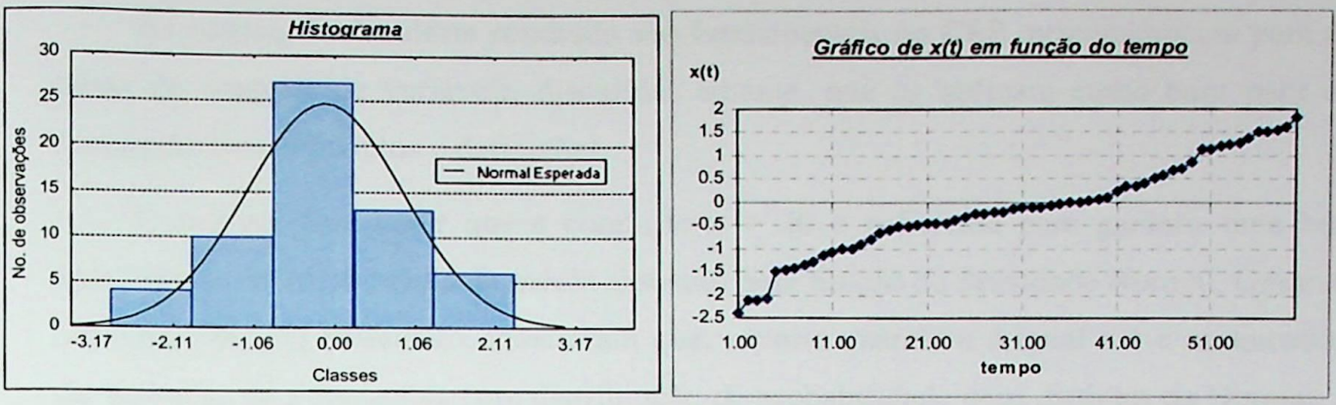


Figura II.2 – Processo não-estável [13]

A amostra de dados do exemplo tem um histograma que sugere o comportamento compatível com a distribuição Normal. A média e variância amostrais podem ser calculadas, mas são desprovidas de significado, à luz da análise da série de dados disposta ao longo do tempo, que também é mostrada na figura. O processo não é estável. Seu nível médio apresenta tendência crescente, e não faz sentido calcular a variância em relação a um valor médio em constante alteração. Existe uma variável importante, que é o tempo, que introduz uma ordem natural na apresentação dos dados.

Considerando-se uma seqüência de variáveis aleatórias independentes $X_1, X_2, X_3, \ldots$, e seja S_1 , S_2 , S_3 , ... a seqüência de somas parciais, definidas por $S_n = X_1 + X_2 + \ldots + X_n$. Admitindo que todas as S_i tenham média e variância finita e que pelo menos uma das variâncias seja estritamente maior que zero, pode ser mostrado que a variável aleatória definida por:

$$\frac{Sn - E(Sn)}{\sqrt{Var(Sn)}} , \qquad \text{(II.7)}$$

onde $E(S_n)$ é o valor esperado e $Var(S_n)$ a variância de S_n , converge em distribuição para a distribuição Normal-padrão N(0,1), quando n tende para infinito.

$$\frac{Sn - E(Sn)}{\sqrt{Var(Sn)}} \xrightarrow{D} \text{N(0,1)} \quad \text{quando} \quad n \to \infty \qquad \text{(II.8)}$$

Este é o enunciado do Teorema Central do Limite, um resultado fundamental da teoria das probabilidades, cuja prova pode ser encontrada em detalhes em diversas publicações estatísticas. É relevante o fato de não haver restrições quanto ao formato da curva de distribuição de probabilidade de X_i. A única restrição à distribuição da população é a de que possua média e variância finitas.

As conseqüências deste resultado são fundamentais no CEP, principalmente para as cartas de controle de variáveis, discutidas adiante, que as utilizam como base para os demais desenvolvimentos e definições.

É comum considerar que a condição n > 30 é suficiente para garantir uma boa aproximação da distribuição da média amostral pela função de densidade Normal. Grant & Leavenworth [14] entretanto, mostraram que, mesmo quando n é igual a 4 e as amostras são retiradas de populações com distribuição de probabilidade bem distintas da Normal, a distribuição das médias amostrais já é muito próxima da Normal. Na prática usual das aplicações do CEP, os tamanhos de amostra n, ficam, em geral, entre 3 e 6, sendo mais freqüentemente utilizados os valores 4 ou 5.

A Tabela II.5 mostra os resultados dos testes de aderência à curva Normal, de um conjunto de 25 médias de amostras, retiradas de populações com diferentes distribuições de probabilidade. Os conjuntos de médias amostrais são testados para tamanhos de amostra 4, 5, 6, 8, 12 e 24. Os valores críticos das estatísticas D para riscos de rejeição da hipótese nula verdadeira (risco α) de 0.01, 0.05 e 0.20 , estão no primeiro retângulo, em destaque.

Tabela II.5 – Teste Kolmogorov-Smirnov da Normalidade de Médias Amostrais [13]

Risco α	**0.20**	**0.05**	**0.01**
D significativo	0.21	0.27	0.32

	Estatísticas D_{Max} x Tamanho da amostra					
Distribuição	**4**	**5**	**6**	**8**	**12**	**24**
Normal	0.107	0.125	0.089	0.131	0.152	0.100
Uniforme	0.080	0.107	0.159	0.093	0.141	0.102
Exponencial	0.139	0.165	0.146	0.109	0.127	0.093
Poisson	0.148	0.132	0.100	0.098	0.084	0.097

Com este exemplo ilustrativo, verifica-se que a hipótese nula - distribuição Normal das médias amostrais - é aceita em todos os casos.

Maiores valores do risco α são mais restritivos e caminham na direção de um teste mais rigoroso para aceitação da hipótese nula, e melhor, no sentido que o risco β associado (aceitar como verdadeira a hipótese nula, quando, na realidade, ela é falsa) está

diminuindo. Este é o "trade-off" típico de uma curva característica de operação, construída a partir das condições de teste estabelecidas.

II.5.1. Cartas de Controle [12, 13]

As cartas de controle, foram originariamente projetadas por Shewhart [15] , que as introduziu para o acompanhamento dos processos de fabricação da Bell Telephone Laboratories. Seu principal impacto é visual, pois a idéia central na sua concepção foi a de simplificar o diagnóstico sobre o comportamento dos processos fabris para o pessoal encarregado pela inspeção e controle de qualidade. Além de prover o registro visual das amostras ao longo do tempo, na sua ordem natural de processamento, elas mostram também os limites máximos permitidos para as variações das amostras. A utilização das cartas de controle visa a atender, entre outras, à finalidade de controle rotineiro de qualidade. Esta é a situação mais característica de utilização das cartas de controle, quando o processo, já com todas as causas especiais identificadas, é acompanhado para efeito de garantia de qualidade, identificando-se, o mais rápido possível, uma eventual condição de ausência de controle estatístico.

A característica de qualidade que se deseja controlar pode ser uma *variável* e, neste caso, as amostras são constituídas por medidas dessa variável. Quando não é possível, ou conveniente, efetuar o controle com base em medições, como no caso em que os itens elaborados por um processo são apenas classificados entre as categorias *conforme* e *não-conforme*, denomina-se a característica de qualidade de *atributo.* No caso de variáveis, as cartas de controle mais utilizadas são a $\overline{\mathbf{X}}$ e **R**, para o controle da média e da amplitude das amostras, respectivamente. No caso de atributos, as cartas mais utilizadas são a **p**, a **np**, a **c** e a **u.** Adiante são apresentados os procedimentos para a construção de cada gráfico. Também são estabelecidos os casos típicos de aplicação de cada um deles.

Para que uma carta de controle seja utilizada é necessário estabelecer a média do processo, representada pela linha central do gráfico, e os limites admissíveis de variação, dentro dos quais o processo é considerado sob controle estatístico. Estes limites são chamados de *limites de controle* ou *limites de ação* e, uma vez extrapolados, exigem ação do operador, visando o retorno às condições de controle estatístico. Às vezes, a ação inicial do operador se restringe apenas a acompanhar mais rigorosamente o processo, retirando uma nova amostra para análise, ou aumentando a freqüência de amostragem. Esta segunda estratégia é adotada quando o custo das ações corretivas é elevado, em

relação ao custo de produzir alguns itens fora dos limites de controle, devendo a ausência de controle estatístico ser confirmada nas amostragens seguintes. A estratégia também é recomendada quando os agentes que afetam o processo apresentam a característica de desaparecer permitindo-o retornar à condição de controle estatístico. Uma estratégia alternativa, freqüentemente utilizada, é estabelecer *limites de advertência,* mais próximos à linha central que os limites de controle. Uma vez extrapolados os limites de advertência, toma-se, imediatamente, uma nova amostra, marcando-a na carta. Caso os limites de advertência sejam novamente extrapolados, considera-se que o processo está fora de controle estatístico. A Figura II.3 mostra a aparência de uma carta de controle com os seus limites de controle e advertência.

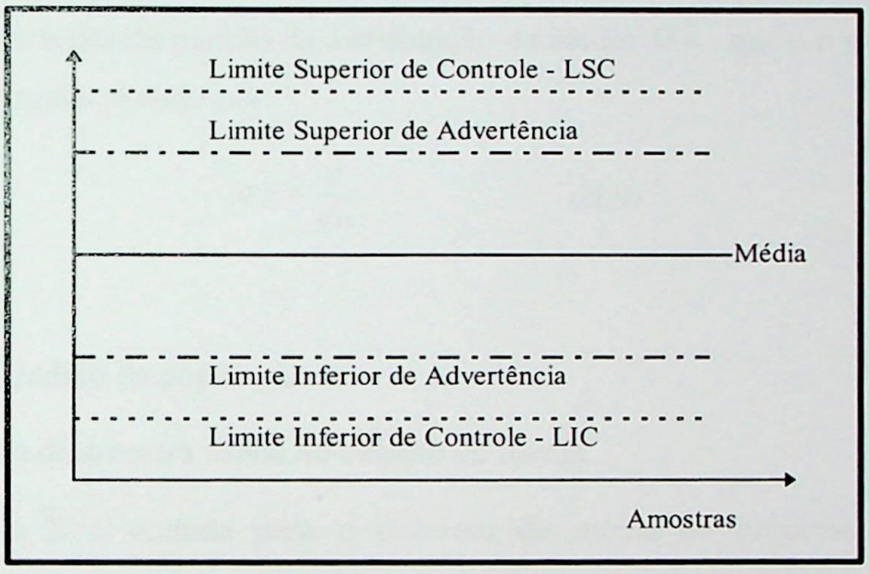


Figura II.3 – Linhas-Limites das Cartas de Controle [13]

Os limites de controle e de advertência para a carta $\bar{X}$ são estabelecidos com base nas probabilidades da curva Normal.

Como se sabe, o afastamento simétrico em relação à média de 3σ engloba 99,73% da população, e por isto, para populações normalmente distribuídas, os limites deste intervalo estabelecem os limites de controle. Os limites de advertência são definidos, em geral, com base nos limites referentes ao intervalo de afastamento simétrico 2σ em relação à média. Alguns pesquisadores preferem estabelecer os limites de controle na linha onde a probabilidade de ocorrência de extrapolação é 0,001 (1/1000), o que define um intervalo que abrange 99,80% da população quando se considera a região entre os limites superior e inferior. Da mesma forma, os limites de advertência são definidos no ponto onde a probabilidade de ocorrência de extrapolação é de 0,025 (1/40). Esta corrente é mais forte na Europa, enquanto a anterior é a mais usada nos Estados Unidos e Japão. Em termos

práticos, acredita-se que não há diferença significativa entre as duas, uma vez que o ponto onde a probabilidade é 0,001 está a 3,09σ da média, e o ponto de probabilidade 0,025 tem afastamento 1,96σ, também em relação à média, e podem ser aproximados por 3σ e 2σ , respectivamente. As cartas de controle onde os limites são determinados com base nas probabilidades da curva Normal, são denominadas de *cartas de controle de Shewhart.* O gráfico de controle da média utiliza por princípio básico o teorema do limite central, que garante para a distribuição da média o comportamento aderente à curva Normal, mesmo que a população de onde é extraída a amostra não seja normalmente distribuída, mas tenha média e variância finitas. Os limites de controle e de advertência para a carta de controle da média, $\overline{X}$, são estabelecidos, por conseguinte, com base na curva Normal. Deve ser observado que o desvio padrão da distribuição da média $\sigma_{\overline{x}}$, que é o valor a ser usado no cálculo dos limites, é dado por:

$$\sigma_{\overline{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad \text{(II.9)}$$

onde

σ é o desvio padrão da população e

n é o tamanho da amostra usada no cálculo da média.

A carta $\overline{X}$ é voltada para o controle da média do processo, estimada a cada amostragem a partir dos dados coletados, enquanto a carta R (R vem da palavra inglesa "range") verifica o estado de controle estatístico da amplitude das amostras. Na carta $\overline{X}$ são válidas as conseqüências do teorema central do limite. A distribuição de $\overline{X}$ é aproximadamente Normal, mesmo para amostras pequenas, de tamanho 4 ou 5. Ressalte-se, no entanto, que isto não é verdade para a carta R, cuja distribuição nem mesmo é simétrica, concentrando-se mais para a direita, ainda que a distribuição subjacente à população amostrada seja Normal. Assim a determinação das linhas-limites do seu gráfico, usando probabilidades baseadas na Normal, é apenas uma aproximação. Os limites de controle para ambas as cartas são estabelecidos pela utilização do afastamento simétrico de 3 desvios padrão, em relação à linha central.

A utilização da amplitude, R, em lugar da variância amostral, S^2, para controlar a dispersão, decorre da facilidade de cálculo. Também é necessário dizer que R é um bom estimador da dispersão da população, enquanto o tamanho da amostra varia de 2 a 10.

Neste intervalo, sua eficiência em relação a S^2, na estimação da dispersão, varia de 1,00 a 0,85 . A partir de tamanhos de amostra maiores que 10, a dispersão deve ser controlada com as cartas S^2 ou S, da variância ou desvio padrão amostral, respectivamente. A dificuldade no cálculo da variância, hoje, com o uso de microcomputadores, pode ser contornada com facilidade, principalmente quando o controle estatístico é feito de forma automática.

A seguir são apresentadas as equações usadas na construção das cartas $\overline{X}$ e R para determinação da linha central e dos limites de controle de cada gráfico.

Quando o valor da média μ e do desvio padrão σ da população não são conhecidos, estes parâmetros devem ser estimados a partir dos dados. A estimativa deve estar baseada em 20 a 25 subgrupos de tamanho n, onde n, em geral, é 4 ou 5. Na formação dos subgrupos, é necessário observar o critério do *subgrupo racional,* para que a amostra seja adequada aos objetivos da aplicação. Shewhart foi o introdutor deste conceito. As amostras periódicas do processo devem ser subgrupos racionais, que são escolhidos de modo que, na presença de causas especiais, a chance de variação entre os subgrupos seja maximizada, enquanto a chance de diferenças dentro do subgrupo é minimizada.

II.5.2. Carta $\overline{X}$

A linha central da carta $\overline{X}$ (a média das médias), quando o número de subgrupos é k, é determinada pela equação:

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2 + \ldots + \overline{X}_k}{k} \qquad \text{(II.10)}$$

Para estabelecer os limites de controle, é necessário estimar σ, o desvio padrão da população. Este estimador é obtido a partir do valor médio das amplitudes R_i de cada subgrupo, onde $\mathbf{R_i = x_{max} - x_{min}}$. A amplitude média, $\overline{R}$, é dada por:

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_k}{k} \qquad \text{(II.11)}$$

O estimador de σ é

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{R}}{d_2}, \qquad \text{(II.12)}$$

Uma vez que $\sigma_{\overline{x}} = \sigma / \sqrt{n}$, os limites de controle da carta $\overline{X}$ são, então:

$$LIC = \overline{\overline{X}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\overline{R} = \overline{\overline{X}} - A_2\,\overline{R} \quad \text{e} \qquad \text{(II.13)}$$

$$LSC = \overline{\overline{X}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\overline{R} = \overline{\overline{X}} + A_2\,\overline{R} \quad , \qquad \text{(II.14)}$$

onde os valores d_2 e A_2 são tabelados e constam do Apêndice A. [16]

II.5.3. Carta R

Na construção da carta R, é necessário o valor do desvio padrão da distribuição de R. Este valor, σ_R , é dado por $\sigma_R = d_3\,\sigma$.

O estimador de σ_R é, então:

$$\hat{\sigma}_R = d_3\frac{\overline{R}}{d_2} \qquad \text{(II.15)}$$

O gráfico tem a linha central determinada por $\overline{R}$, e seus limites de controle ficam estabelecidos pelas equações seguintes.

$$LIC = \overline{R} - 3\,d_3\frac{\overline{R}}{d_2} = \overline{R}\left(1 - \frac{3\,d_3}{d_2}\right) = \overline{R}\,D_3 \quad \text{e} \qquad \text{(II.16)}$$

$$LSC = \overline{R} + 3\,d_3\frac{\overline{R}}{d_2} = \overline{R}\left(1 + \frac{3\,d_3}{d_2}\right) = \overline{R}\,D_4 \qquad \text{(II.17)}$$

onde o valor d_3 é tabelado e consta do Apêndice A. [16]

Encaradas dessa forma, com base em critérios quantitativos, as cartas de controle são equivalentes a testes de hipótese . O procedimento de efetuar a amostragem, marcar um novo ponto no gráfico e analisá-lo, é equivalente a testar a *hipótese nula*, de que o processo está *sob controle estatístico*, contra a *hipótese alternativa*, da *ausência de controle*. Assim, tal como nos testes de hipótese convencionais, existem os dois tipos de erros de decisão associados: o erro do tipo I, de rejeitar a hipótese nula quando o processo está sob controle estatístico, e o erro do tipo II, de aceitar a hipótese nula quando o processo está fora de controle estatístico. O risco de cometer erros do tipo I está associado às probabilidades utilizadas na definição dos testes de detecção. Se são definidos k critérios cujo risco de erro do tipo I do critério i é α_i, então, o risco α do conjunto de testes é dado por:

$$\alpha = 1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - \alpha i) \qquad \text{(II.18)}$$

A equação pressupõe a independência entre os critérios, o que, provavelmente, não será verdadeiro, na prática. Desta forma, a equação deve ser considerada como uma aproximação.

A análise das cartas de controle é efetuada para cada gráfico por vez, de acordo com critérios que podem ser específicos para cada processo ou variável sob observação. Deve-se lembrar, no entanto, que, ao lidar com o controle de variáveis, o diagnóstico final do processo deve considerar o resultado conjunto da carta de controle da média e a daquela que controla a dispersão, R ou S. O processo só está sob controle estatístico no caso de ambas as cartas apresentarem esta condição. Alguns autores recomendam começar a análise pela carta R, ou outra qualquer que esteja sendo utilizada para o controle da dispersão. Caso a ausência de controle estatístico seja detectada, deve-se procurar confirmar e identificar as causas especiais responsáveis pelo problema. Nenhuma análise da carta $\overline{X}$ deve ser conduzida quando a ausência de controle estatístico é detectada na carta R. A Figura II.4 ilustra a necessidade da análise conjunta das cartas de controle.

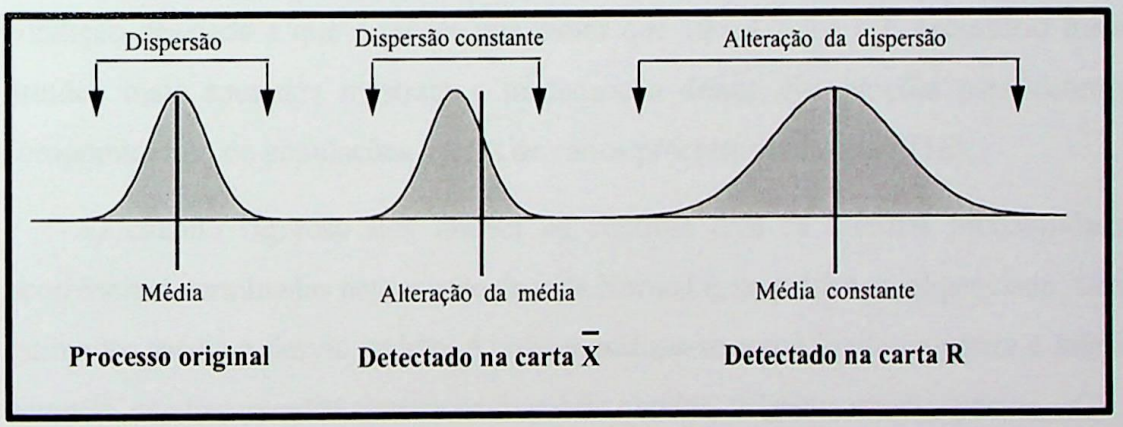


Figura II.4 – Análise conjunta das cartas $\overline{X}$ e R [13]

II.5.4. Cartas de Controle para atributos [13]

Uma característica fundamental das cartas de controle para atributos é que os limites de controle são calculados para abranger a variação de toda a população, ao contrário da carta $\overline{X}$, que prevê limites de variação para a média da população, estimada a cada amostragem efetuada. No controle por atributos, toda a amostra é utilizada para determinar um único valor da característica de qualidade em observação, como, por exemplo, o número de itens defeituosos, ou, mais comumente, a fração de itens defeituosos. O tamanho das amostras nestes casos é, em geral, grande, tipicamente maior

ou igual a 25 ($n \geq 25$). A média e amplitude dessas características podem ser estimadas, mas o procedimento tornar-se-ia muito oneroso, uma vez que seriam necessárias, pelo menos, 4 ou 5 amostras de tamanho 25 para cada ponto de uma carta $\overline{X}$. A conseqüência imediata do controle não ser efetuado sobre a média, estimada a cada amostra, é que não mais são válidas as premissas que permitem a utilização do teorema do limite central. A distribuição de probabilidade a ser utilizada na determinação dos limites de controle é a inerente à população, que, só eventualmente será uma Normal. Se a distribuição de probabilidade não é simétrica em relação à média, os intervalos compreendidos entre esta e afastamentos simétricos delimitam 2 regiões com probabilidades de ocorrência distintas. Dependendo da característica da qualidade em observação, considera-se, nas aplicações práticas, que a distribuição de probabilidade binomial, ou a de Poisson, descrevem adequadamente o comportamento da população. Para grandes tamanhos n de amostra, onde n igual a 50 já é considerado suficiente, e desde que obedecidas determinadas condições, a aproximação pela Normal é válida para estas distribuições. A condição requerida para a distribuição binomial é np maior que 5 ($np > 5$) e nq também maior que 5 ($nq > 5$) , onde p é a probabilidade de ocorrência do evento de interesse em uma única tentativa, e q é a probabilidade complementar , $q = 1 - p$. Para a distribuição de Poisson a condição desejada é que a média seja maior que 10 ($\lambda > 10$). É necessário frisar que estudos mais apurados mostram a inadequação dessas distribuições para descrever o comportamento de populações típicas de vários processos industriais [16].

O cálculo rigoroso dos limites de controle com as mesmas probabilidades de ocorrência determinadas para o caso de uma Normal é, na prática, negligenciado. Uma vez estimados média e desvio padrão, é comum utilizar-se como limites superior e inferior de controle, os afastamentos simétricos da média obtidos, respectivamente, por:

$$\overline{x} + 3\,s \quad \text{e} \quad \overline{x} - 3\,s\,,$$

onde $\overline{x}$ é a média amostral e s é o desvio padrão amostral. A validação das condições para a aproximação Normal, em geral, não é efetuada. Não existe justificativa para a utilização destes limites além daquela, baseada na experiência, de que eles funcionam.

Os limites de controle são, por vezes, determinados com um procedimento empírico baseado em tentativas. Deixa-se o processo operando livremente e efetua-se amostragens periódicas que são marcadas no gráfico. Pela análise do gráfico, determina-se a presença,

ou não, da ação de causas especiais que, em caso afirmativo, são sucessivamente eliminadas, até que a condição de controle estatístico fique estabelecida. Neste ponto, os limites de controle, adequados às características do processo sob observação, podem ser determinados.

A seguir, as diversas cartas de controle para atributos são apresentadas e alguns dos seus detalhes, são, brevemente, discutidos.

II.5.5. Carta p - Fração defeituosa

Utilizada para controlar a fração defeituosa de itens elaborada por um processo, onde um item pode ter uma ou mais características de qualidade em observação, bastando uma delas não atender aos requisitos de conformidade para que o item seja classificado como defeituoso. É uma alternativa às cartas $\overline{X}$ e R, quando o número de características de qualidade sob observação é grande, e nenhuma delas é preponderantemente mais importante que as demais, tornando atrativo o menor custo envolvido na amostragem e testes. Caso problemas sejam detectados, pode-se, a partir da carta p, identificar um pequeno grupo de características que devem ser acompanhadas com o auxílio das cartas de controle para variáveis. Assume-se que a variável controlada, p, obedece à distribuição binomial, e o seu valor, a ser marcado na carta, é dado por:

$$p = \frac{\textit{Numero de itens defeituosos na amostra}}{\textit{Tamanho da amostra}} \qquad \text{(II.19)}$$

O valor de $\overline{p}$, que será marcado como linha central do gráfico, deve ser estimado tomando-se o valor médio de p a partir de 20 a 25 subgrupos de tamanho n. Os limites de controle inferior e superior são dados, respectivamente, por:

$$LIC = \overline{p} - 3\sqrt{\frac{\overline{p}\,(1-\overline{p})}{n}} \quad e \quad LSC = \overline{p} + 3\sqrt{\frac{\overline{p}\,(1-\overline{p})}{n}} \qquad \text{(II.20)}$$

Caso o limite inferior de controle calculado seja menor que zero, deve-se assumir o valor zero para o mesmo, já que não há sentido em uma fração de defeituosos negativa. Quando isto ocorre, tem-se um indicativo da assimetria da distribuição, e da dificuldade em atender às premissas necessárias à aproximação pela distribuição Normal.

Uma característica desta carta é que seus limites de controle variam com a mudança de tamanho da amostra. Na prática, é comum considerar limites médios fixos, mesmo para tamanhos de amostra distintos, desde que a variação deste último não supere a faixa dos ±

20%. Nos casos onde a faixa é extrapolada, recomenda-se efetuar o cálculo dos limites de controle apropriados, antes da verificação da condição de controle estatístico.

II.5.6. Carta np - Número de defeituosos

Também baseada na distribuição binomial, e com as mesmas aplicações da carta p, só é utilizada quando o tamanho da amostra, n, é constante. A carta np é tida como de mais fácil interpretação que a da fração defeituosa. Por isso, é preferida por aqueles que têm pouca experiência e afinidade com estatística. A variável de controle é n $\bar{p}$, e é dada por:

$$n\bar{p} = \textit{Numero de itens defeituosos na amostra} \qquad \text{(II.21)}$$

O valor de $\bar{p}$, que será usado juntamente com n, para determinar a linha central do gráfico, deve ser estimado a partir de 20 a 25 subgrupos de tamanho n. Os limites de controle inferior e superior são dados, respectivamente, por:

$$LIC = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad \text{e} \quad LSC = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \qquad \text{(II.22)}$$

Tal como na carta p, se o limite inferior de controle calculado for menor que zero, deve-se assumir o valor zero para o mesmo, uma vez que não há sentido em um número de itens defeituosos negativo. O fato indica a assimetria da distribuição, e, portanto, que as premissas necessárias para a aproximação Normal não são adequadamente satisfeitas.

A Figura II.5 ilustra a influência do tamanho de amostra n, e da fração defeituosa p, na assimetria da distribuição binomial. O coeficiente de assimetria, usado na construção do gráfico, é dado por:

$$\textit{Coeficiente de Assimetria} = \frac{q-p}{\sqrt{npq}} = \frac{1-2p}{\sqrt{n(p-p^2)}} \qquad \text{(II.23)}$$

Para efeito de comparação, é interessante lembrar que para a distribuição de probabilidade Exponencial, onde 63,2 % da população está concentrada até a média, o coeficiente de assimetria é 2.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Biblioteca
UNIFEI

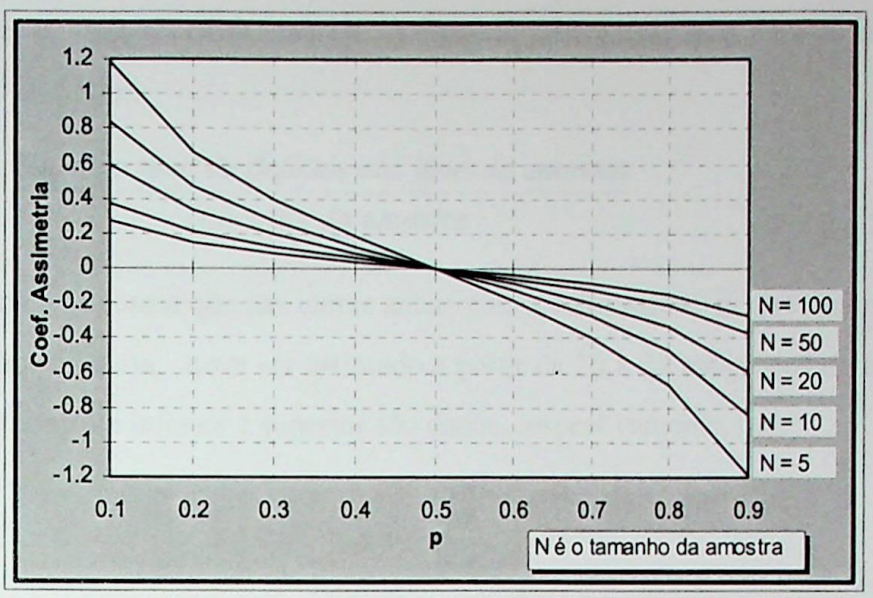


Figura II.5 – Influência de n e p na assimetria da distribuição binomial [13]

A distribuição de np é simétrica em relação à média quando o coeficiente de assimetria é zero. Esta condição é satisfeita quando p = q = 0,5. A simetria é assintoticamente aproximada quando n tende para infinito; conclusão evidente pela inspeção da equação do coeficiente de assimetria. Esta tendência pode ser vista na Figura II.5, para n = 100, onde a distribuição pode ser considerada aproximadamente simétrica, para a variação de p entre 0,2 e 0,8 ($0,2 < p < 0,8$).

II.5.7. Carta c - Número de defeitos

Esta carta de controle (C – do inglês "count") só é utilizada quando o tamanho da amostra é constante. Admite-se que variável de controle, c, representando o número total de defeitos em uma amostra, obedece à distribuição de Poisson. A carta c é empregada quando um certo número de defeitos por unidade é tolerado. Admite-se que, ao controlar estatisticamente o número total de defeitos presentes numa amostra de tamanho constante, o número médio de defeitos por item também está sob controle estatístico.

O valor de $\bar{c}$, que será marcado como linha central do gráfico, deve ser estimado como o valor médio, obtido a partir de 20 a 25 subgrupos de tamanho n constante. Os limites de controle inferior e superior são dados, respectivamente, por:

$$LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad e \quad LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \qquad \text{(II.24)}$$

II.5.8. Carta u - Número de defeitos por unidade

Utilizada como alternativa à carta c quando o tamanho n das amostra varia, também é baseada na distribuição de Poisson, uma vez que é obtida por uma transformação linear

da variável c, vista na carta anterior. A variável de controle u, o número de defeitos por unidade, é dada por:

$$u = \frac{\textit{Numero total de defeitos nos itens da amostra}}{\textit{Tamanho da amostra}} \qquad \text{(II.25)}$$

Da mesma forma que nas cartas anteriores, o valor médio $\bar{u}$, que será marcado como linha central da carta, deve ser estimado a partir de 20 a 25 subgrupos de tamanho n. Os limites de controle inferior e superior são dados, respectivamente, por:

$$LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad e \quad LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \qquad \text{(II.26)}$$

Também nesta carta, os limites de controle variam com a mudança de tamanho da amostra. O procedimento de considerar os limites de controle constantes para uma variação de $\pm$ 20%, em relação ao tamanho médio das amostras, só efetuando o recálculo nos casos onde a faixa é extrapolada, é geralmente adotado.

A Figura II.6, a seguir, apresenta um resumo sobre as cartas de controle para atributos.

Originariamente, as cartas de controle de Shewhart restringiam-se a análise apenas ao último ponto marcado no gráfico, comparando-o com os limites de controle. A crítica feita a esse procedimento é que ele despreza a informação contida na seqüência de pontos no tempo, que pode revelar a ação de causas especiais no processo. Ao longo dos anos, com a maior utilização das cartas, essa deficiência forçou a agregação de novos procedimentos, visando reconhecer padrões e seqüências associados a causas especiais, e aumentar o poder de detecção. Paralelamente, a adição desses novos procedimentos tem eliminado a facilidade original, perseguida por Shewhart, para análise e interpretação dos gráficos.

É raro existir na bibliografia referências quantitativas para balizar a análise sobre os pontos periodicamente coletados no CEP. Quando encontradas, elas são puramente qualitativas. Como, em geral, o CEP é aplicado com base em cartas de controle, a análise é visual e algumas situações indicativas da ausência de controle estatístico não são detectadas na avaliação subjetiva do observador do gráfico. Algumas das seqüências, excetuando-se a extrapolação dos limites de controle e o padrão de pontos consecutivos com tendência, são, realmente, de difícil percepção visual. Desde que se disponha de um

computador, entretanto, todo o procedimento de análise pode ser automatizado, e as decisões tomadas a partir de um critério quantitativo pré-estabelecido. O gráfico, caso seja construído, será ilustrativo sobre os padrões da série temporal da grandeza sob observação, e útil na formação ou aprimoramento de uma experiência subjetiva, para especialistas envolvidos com o processo.

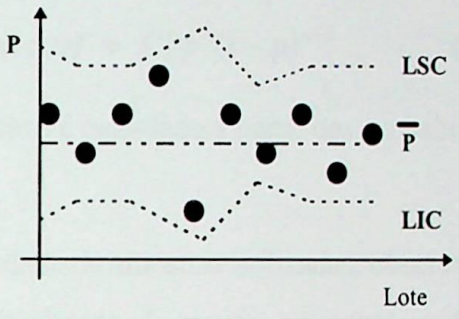
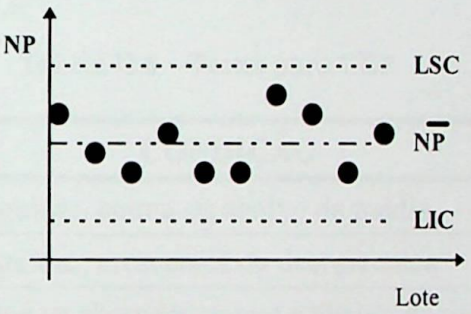
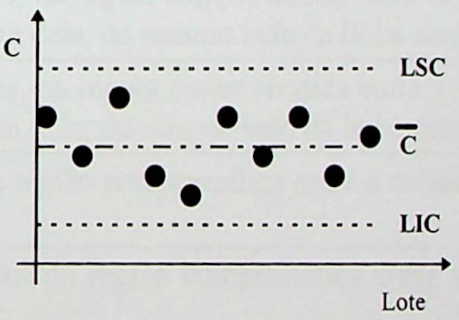
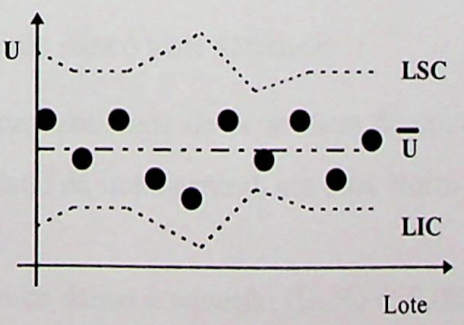
Gráfico de controle	Aparência do gráfico	Cálculo dos limites
Fração defeituosa ***Gráfico p***		$LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ $LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Número de defeituosos ***Gráfico np***		$LIC = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$ $LSC = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
Número de defeitos ***Gráfico c***		$LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$ $LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$
Número de defeitos por unidade ***Gráfico u***		$LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ $LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

Figura II.6 – Cartas de controle para atributos [13]

A partir da suposição de normalidade para a distribuição dos pontos de um gráfico, e admitindo a hipótese de independência entre eles, pode-se propor testes para detecção de eventos com probabilidade menor que um determinado valor de interesse, tal como foi feito para estabelecer os limites de controle.

Na Tabela II.6 está listado um conjunto de testes apresentados em [16], efetuados a partir das indicações qualitativas da literatura, estabelecendo, como diretriz quantitativa, considerar como fora de controle estatístico qualquer condição com probabilidade de ocorrência menor ou igual a 0,01. O cálculo das probabilidades é feito com a equação:

$$Prob[teste] = C_k^n p^k (1-p)^{n-k} , \qquad (II.27)$$

onde o valor de p em cada caso é calculado a partir das probabilidades da função densidade de probabilidade Normal.

Para as condições de quantidade de amostras utilizadas, observa-se que um comportamento histórico em que a probabilidade é menor ou igual a 0,01, apresenta uma das configurações da Tabela II.6:

Tabela II.6 – Testes para CEP

TESTE	CONDIÇÃO	PROBAB.
1	9 amostras seguidas, acima ou abaixo da média	0,001953
2	6 amostras seguidas, crescentes ou decrescentes	-
3	14 amostras que se alternam, acima e abaixo da média	-
4	2 de 3 amostras, na região compreendida entre 2 e 3 desvios-padrões ou além dela, do mesmo lado da linha central	0,001517
5	4 de 5 amostras, na região compreendida entre 1 e 2 desvios-padrões ou além dela, do mesmo lado da linha central	0,002679
6	15 amostras na região compreendida entre a média e 1 desvio-padrão	0,003261
7	8 amostras além da região compreendida entre a média e 1 desvio-padrão	0,0001099

Exemplificando o cálculo para o teste 4, tem-se:

p= 0,02275, que é a probabilidade de ocorrência de um ponto na região além de 2 desvios-padrões, para cada lado da linha central, em uma Normal; k=2 e n=3.

O resultado, aplicando os dados à equação (II.24) é: 0,001517 para a probabilidade de ocorrência dessa condição, a qual é menor que 0,01, conforme afirmado anteriormente.

No teste 5, p=0,15886; k=4 e n=5

No teste 6, p=0,682689; k=15 e n=15

No teste 7, p=0,317311; k=8 e n=8

Semelhantemente aos testes 6 e 7, no teste 1, p=0,5; k=9 e n=9

Os testes 2 e 3 são avaliados apenas qualitativamente. O primeiro deles indica um tendência na média do processo, que pode estar relacionado à ferramenta utilizada, a uma deterioração da manutenção, a uma melhora do planejamento (habilidade), etc.

Os testes 3 e 6 previnem a chamada falta de variabilidade e os padrões decorrentes de inspeções mal executadas por conta de instrumental inadequado, falta de treinamento apropriado dos inspetores e informações falsas. Não são, em geral, necessários quando o procedimento de coleta e análise de dados é automático.

II.6. SUMÁRIO

Este capítulo apresentou os diversos fenômenos elétricos associados à Qualidade da Energia, e descreveu alguns indicadores estatísticos normalmente utilizados, exemplificando resultados para uma amostra de dados de tensão. Descreveu também uma metodologia de avaliação de desempenho, a partir de cartas de controle.

CAPÍTULO III – A MEDIÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA

Para que um dia cheguemos a realizar grandes coisas,
é preciso começar a se alegrar de poder fazer as pequenas.

Lanza Del Vasto

III.1. INTRODUÇÃO

Problemas de qualidade de energia elétrica envolvem uma vasta faixa de distúrbios e condições nos sistemas. Entre eles podemos destacar transitórios de sobretensão muito rápidos (microssegundos) até saídas de longa duração (horas ou dias), fenômenos em estado permanente tais como distorção harmônica e fenômenos intermitentes como cintilação de tensão. Esta ampla variedade de condições que forma a "Qualidade de Energia" torna o desenvolvimento de equipamentos e o procedimento de medição muito difíceis .

Neste capítulo descrevem-se alguns tipos de instrumentos de medição de grandezas elétricas mais utilizados para fins de avaliação de Qualidade de Energia que podem ser utilizados tanto em barramentos de um sistema quanto no de uma instalação específica de um consumidor.

III.2. ASPECTOS TEÓRICOS [17]

III.2.1. Tipos de Instrumentos

Embora tenham sido desenvolvidos instrumentos que medem uma grande variedade de distúrbios, um número de diferentes instrumentos é geralmente necessário, dependendo do fenômeno que está sendo investigado. Categorias básicas de instrumentos que podem ser aplicados incluem os citados a seguir, que se apresentam descritos adiante:

- Dispositivo de teste da instalação e do aterramento
- Multímetro
- Osciloscópios
- Analisadores de distúrbios
- Analisadores harmônicos/analisadores de espectro
- Combinação de analisadores de distúrbios e analisadores de harmônicos

- Medidores de Flicker (cintilação)
- Monitoração de energia.

Ao lado desses instrumentos que medem o sinal em estado permanente ou distúrbios diretamente no sistema de potência, outros instrumentos podem ser usados para ajudar a diagnosticar problemas de qualidade de energia elétrica pela medição de condições ambientais:

- Medidores de infravermelho podem ser valiosos na detecção de perdas de conexão e superaquecimento de condutores. Uma verificação anual pode ajudar a prevenir problemas de qualidade de energia elétrica devido a conexões mal feitas, arcos, e sobrecarga de condutores.
- Problemas de ruídos relacionados à radiação eletromagnética podem requerer medição da força do campo eletromagnético nas proximidades do equipamento afetado. Medidores magnéticos de graus são usados para medir a força do campo magnético em um acoplamento indutivo. Medidores de campo elétrico podem medir a força do campo elétrico para acoplamentos eletrostáticos.
- Medidor de eletricidade estática tem a finalidade de medir a eletricidade estática nas proximidades do equipamento sensível. Descargas eletrostáticas podem ser uma importante causa de problemas de qualidade de energia elétrica em alguns equipamentos eletrônicos.

Com relação ao tipo de instrumento necessário, para um determinado teste, diversos fatores importantes podem ser considerados, quando escolhemos o instrumento. Entre outros, podem ser citados os seguintes:

- Número de canais (tensão e/ou corrente) – que correspondem às informações da alimentação de entrada do instrumento;
- Temperatura de operação – que corresponde à especificação da faixa de temperatura de funcionamento do instrumento;
- Faixa de tensão de alimentação – que normalmente abrange os valores típicos de 110 e 220V;
- Requisitos de potência – que se refere à possibilidade de alimentação por fonte independente da rede de distribuição de energia;
- Capacidade de medir tensões trifásicas;

- Isolamento de entrada (isolamento entre os canais de entradas e cada entrada para terra);

- Capacidade de medirem correntes;
- Portabilidade do instrumento – para os casos em que o instrumento for itinerante;
- Facilidade de uso;
- Documentação;
- Capacidade de comunicação (modem, interface de redes) – para permitir acesso remoto aos dados;
- Software de análise – que permita a leitura e tratamento dos dados.

A flexibilidade do instrumento é também importante. Quanto mais funções forem executadas por um só instrumento, menos equipamentos será necessário instalar.

Dispositivos de Testes da Instalação e do Aterramento

A maioria dos problemas de qualidade de energia elétrica verificada nas indústrias é causada por problemas nas instalações e/ou no aterramento dentro da indústria. Esses problemas podem ser identificados pela inspeção visual da instalação, inspeção nas conexões e nos painéis e também pela execução de testes com dispositivos especiais com a finalidade de detectar problemas da instalação ou aterramento. É importante que esses dispositivos sejam capazes de:

- Detectar curtos de terra isolado e ligação neutro terra
- Medir ou dar indicação da impedância de terra e impedância do neutro
- Detectar terras abertos, neutro aberto ou fase aberta
- Detectar inversão de fase/neutro ou neutro/terra

Testes de instalação trifásica podem também testar a rotação de fase e as tensões de fase-fase. Esses dispositivos de testes podem propiciar um excelente teste inicial da integridade do circuito. Muitos problemas podem ser detectados sem que seja necessária uma monitoração, com equipamentos mais caros.

Multímetro

Após os testes iniciais da integridade das instalações, pode ser necessário fazer uma rápida verificação dos níveis de tensão e/ou corrente dentro de uma instalação. Problemas de sobrecarga de circuitos e sobretensão ou subtensão, bem como desbalanceamento entre circuitos, podem ser assim detectados. Essas medições só requerem um simples multímetro. A verificação deve incluir:

- Tensão fase-terra
- Tensão fase-neutro
- Tensão neutro-terra
- Tensão fase-fase (sistemas trifásicos)
- Corrente de fase
- Corrente no neutro

O fator mais importante a ser considerado quando for escolher o multímetro é o método de cálculo usado no medidor. A maioria dos multímetros é ajustada para dar uma indicação de valor eficaz (rms) do sinal medido. Diferentes métodos são usados para calcular o valor eficaz. Porém, os três mais comum são:

- ***Método de Pico:*** Supõe que o sinal seja senoidal, mede o valor de pico do sinal e divide por $\sqrt{2}$, para obter o valor eficaz, conforme mostrado na equação III.1.

$$E\,rms = \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi}(Em\,\mathrm{sen}\,\omega t)^2\,dt\right)} = \frac{Em}{\sqrt{2}} \qquad \text{(III.1)}$$

onde *Em* é o valor de pico.

- ***Método da Média:*** O medidor determina o valor médio do sinal retificado. O valor médio é relacionado a uma senóide pura por uma constante de valor 1,11. Esta constante vem da relação entre o valor de π dividido por 2 vezes $\sqrt{2}$, considerando que a relação entre o valor lido e o valor de pico é dada por:

$$Vl = \frac{2Em}{\pi} \qquad \text{(III.2)}$$

$$E\,rms = \frac{Em}{\sqrt{2}} = Vl\,\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \qquad \text{(III.3)}$$

onde Em é o valor de pico, e Vl é o valor lido.

- ***RMS Verdadeiro:*** Os medidores digitais modernos, usam um cálculo digital do valor eficaz (*rms)* do sinal através da média do quadrado de várias amostras em um período e tomando a raiz quadrada do resultado, conforme mostrado na Equação (III.4),

$$E\,rms = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2}}{n}} \qquad \text{(III.4)}$$

admitindo-se que, durante o período programado, tenham sido tomadas n medidas, com n tendendo a infinito.

Todos esses métodos dão o mesmo resultado quando a medição é feita em um sinal puro. Porém podem dar respostas significativamente diferentes para sinais com distorções. Isto é muito importante porque níveis de distorção significativos são muitos comuns, especialmente para corrente fase-neutro industriais. A Tabela III.1 pode ser usada para melhor ilustrar esse ponto.

Cada forma de onda na Tabela III.1 tem um valor de 1,0 pu (100%). O valor medido correspondente para cada tipo de medidor é mostrado sob uma forma de onda associada, normalizada para o valor *rms* verdadeiro.

Tabela III.1 – Comparação dos métodos de medição para várias ondas [17]

Forma de Onda	Tipo de Medidor		
	RMS Verdadeiro	Pico	Média
	Tipo do Circuito		
	Conversor RMS	Pico/ $\sqrt{2}$	Média senoidal x 1,11
Onda Senoidal	100%	100%	100%
Onda Quadrada	100%	82%	110%
Onda Triangular	100%	121%	96%
Corrente de micro computador	100%	184%	60%
Variador de Luminosidade *(dimmer)*	100%	113%	84%

Osciloscópios

Quando se vai fazer um teste real nas instalações com problemas de qualidade de energia elétrica, um osciloscópio pode ser bastante valioso. A visualização prévia das formas de onda da tensão e corrente pode dar muita informação acerca do que está acontecendo, sem que seja necessário fazer uma análise harmônica detalhada na forma de onda. Pode-se também tomar as magnitudes das tensões e correntes, visualizar suas distorções óbvias e detectar algumas variações importantes no sinal. Existem numerosos modelos de osciloscópios disponíveis no mercado. Adicionalmente os osciloscópios digitais são capazes de fazer comunicação, permitindo que formas de ondas sejam transmitidas para um microcomputador para posterior análise em pacotes de programas mais especializados.

Os osciloscópios desenvolvidos ultimamente são instrumentos portáteis com capacidade de mostrar a forma de onda, bem como fazer alguns processamentos de sinal. Estes são bastante usados em investigações de qualidade de energia elétrica devido a sua portabilidade e podem operar como medidor volt-ohm. Eles são ideais em pesquisas iniciais na planta das indústrias. Esses instrumentos também são capazes de fazer análise harmônica e permitem conexão com PC para análises futuras de dados e saídas de relatórios.

Analisadores dos Distúrbios

Monitores analisadores de distúrbios formam uma categoria de instrumentos que têm sido desenvolvidos especificamente para monitoração da qualidade de energia elétrica. Eles medem uma grande variedade de distúrbios no sistema provenientes de transitórios de tensão de curta duração até ocorrências de longa duração ou subtensões. Os limiares podem ser ajustados e o instrumento é deixado para registrar os distúrbios por um período de tempo especificado. Geralmente, as informações são registradas em fita de papel, porém muitos monitores têm dispositivos anexados que podem armazenar dados em discos flexíveis ou rígidos.

Os dispositivos caem basicamente dentro de duas categorias:

i. ***Analisadores convencionais:*** resumem eventos com informações específicas tais como magnitudes de subtensão e sobretensão, magnitudes e duração de afundamentos momentâneos e surtos, etc.

ii. ***Analisadores baseados em gráficos:*** salvam e imprimem a forma de onda real, além de fornecer informações descritivas que são geradas por um analisador convencional.

Nem sempre é possível determinar as características dos distúrbios ou transitórios apenas com as informações disponíveis de analisadores convencionais de distúrbios. Por exemplo, um transitório oscilatório não pode ser descrito eficazmente por um pico e uma duração. Logo, é quase imperativo que o instrumento tenha capacidade de capturar a forma de onda para uma análise detalhada de problemas de qualidade de energia elétrica. Contudo, um monitor convencional de distúrbios pode ser útil na verificação inicial do comportamento de um ponto.

Analisadores de Espectros e Analisadores de Harmônicos

Os instrumentos analisadores de distúrbios têm uma capacidade muito limitada de análise harmônica. Alguns dos mais potentes analisadores possuem módulos que podem usar cálculos computacionais que utilizam a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para determinar os harmônicos de baixa ordem. Entretanto, alguns requisitos de medição de harmônico significativo são necessários em um instrumento destinado para análise espectral ou análise harmônica. Características úteis na medição de harmônicos incluem:

- Capacidade de medir tensão e corrente simultaneamente para que informações do fluxo harmônico sejam obtidas.
- Capacidade de medição tanto de magnitude como do ângulo de fase de componentes harmônicos individuais necessários também em cálculos de fluxo de potência.
- Sincronização e uma taxa de amostragem alta o bastante para obter medições precisas de componentes harmônicas até pelo menos o 37° harmônico (este requisito é uma combinação de uma alta taxa de amostragem e um intervalo de amostragem baseado na fundamental de 60 Hz).
- Capacidade para caracterizar a natureza estatística dos níveis de distorção harmônica (os níveis harmônicos mudam com a mudança das condições de carga e com a mudança das condições do sistema).

Existem basicamente três categorias de instrumentos de análise harmônica:

i. ***Medidores Simples:*** Podem ser necessários para fazer uma verificação rápida dos níveis harmônicos para uma localização do problema. Um instrumento portátil simples é ideal para esse propósito. Esses dispositivos geralmente usam circuitos baseados em microprocessadores para fazer os cálculos necessários para determinar harmônicos individuais até o 50° harmônico, bem como o valor *rms*, a Distorção Harmônica Total (THD), o Fator de Influência Telefônica (TIF). Alguns dispositivos podem calcular potência harmônica (magnitude e ângulo) e podem descarregar formas de ondas e dados de cálculos para um microcomputador.

ii. ***Analisadores de Espectros Para Propósito Geral:*** Instrumentos dessa categoria são designados para fazer análise espectral na forma de onda para uma ampla variedade de aplicações. Eles são instrumentos de análise geral do sinal. A vantagem desses instrumentos é que eles oferecem características muito potentes com preço razoável. Eles são projetados para um mercado bem mais amplo do que para simples aplicação de sistemas de potência. A desvantagem é que eles não são projetados especificamente para amostragens de formas de onda em 60 Hz, portanto devem ser usados com cuidado para assegurar uma análise precisa. Existe uma grande variedade de instrumento nessa categoria.

iii. ***Analisadores Harmônicos para Propósito Específico de Sistemas de Potência:*** Baseados em análise espectral de propósitos gerais descrita acima, são instrumentos destinados especificamente para análise de sistemas de potência. São baseados em FFT com taxas de amostragem especificamente projetadas para determinar componentes harmônicas no sinal de potência. Eles são geralmente deixados no campo e possuem capacidade de monitoramento remoto.

Combinação de Analisadores de Distúrbios e de Harmônicos

Os instrumentos mais modernos combinam limitada amostragem harmônica e funções de monitoração de energia com completa função de monitoração de distúrbios. A saída é geralmente gráfica e os dados são coletados remotamente por linha telefônica em uma central de dados. Análises estatísticas podem ser feitas com os dados coletados. Os dados ficam disponíveis para uso por outros programas.

Estes instrumentos são projetados para uso em empresas concessionárias e para uso em pólos industriais. São capazes de monitorar corrente e tensão trifásicas (mais neutro) simultaneamente, característica essa muito importante para o diagnóstico de problemas de qualidade de energia elétrica. O instrumento faz a captura de uma massa de dados e registra em sua memória para uma posterior transmissão. Análises a posteriori são feitas através de potentes programas que podem produzir uma variedade de saídas. Assim, enquanto há poucos anos, monitoramento de qualidade de energia elétrica era uma rara característica encontrada em instrumentos, está se tornando muito mais comum e disponível comercialmente.

Medidores de Cintilação

A cintilação é o termo que se refere a pequenas mas rápidas mudanças no suprimento de tensão. Esse termo é usado porque o efeito dessas variações, tipicamente na faixa de 1 a 30 Hz, em lâmpadas elétricas é percebida como um tremor na luminosidade pelo olho humano. Fornos a arco são a maior causa da flutuação de tensão, que ocasiona a cintilação, mas outras cargas com características de variação aleatória como britadeiras e testador de pneus, são também causas de problemas similares.

Várias concessionárias têm desenvolvido e construído seus próprios medidores de cintilação baseados em circuitos analógicos, e também existem medidores de cintilação disponíveis comercialmente. Alguns são medidores autocontidos e outros são baseados em microcomputadores.

Monitoração de Energia

Para a seleção de um instrumento para monitoração de energia, destacam-se as seguintes características:

- Capacidade de registrar surtos e oscilações transitórias;
- Registrar variações e interrupções RMS de curta duração (menores que 1 minuto);
- Registrar variações e interrupções RMS de longa duração;
- Registrar perturbações de tensão com duração desde microssegundos até segundos;
- Registrar tensões em regime permanente;
- Registrar a forma de onda das perturbações.

- Registrar a distorção harmônica total (THD);
- Reinicializar automaticamente a monitoração após qualquer falha de energia;
- Armazenar os dados coletados, em microcomputador associado;
- Permitir acesso remoto aos dados armazenados, para facilitar posterior processamento computacional.

II.5.1. Características da Instalação

Requisitos para Transdutores

Os monitores de qualidade em sistemas de potência geralmente necessitam de transdutores para obter níveis de sinal de tensões e correntes aceitáveis. A monitoração de tensão em sistemas secundários geralmente pode ser feita com uma conexão direta, mas esses locais requerem TC para o sinal de corrente. Muitos instrumentos de monitoração de qualidade de energia elétrica são projetados para uma tensão de entrada em torno de 600 V rms e corrente de entrada em torno de 5 A rms. Os transdutores de tensão e corrente devem ser selecionados para fornecer esses níveis de sinal. Dois cuidados importantes devem ser levados em conta quando se for selecionar os transdutores:

i. ***Níveis do Sinal:*** O nível do sinal deverá ser usado na escala máxima do instrumento sem distorcer ou cortar o sinal desejado.

ii. ***Resposta de Freqüência***: Isto é particularmente importante para monitoração de transitórios e distorção harmônica, onde sinais de alta freqüência são particularmente importantes.

Essas preocupações e considerações sobre a instalação são discutidas abaixo.

Níveis do Sinal

É necessário cautela na hora de dimensionar os transdutores TP e TC para que se tire vantagem da resolução completa do instrumento sem que haja corte do sinal medido. O dimensionamento impróprio pode resultar em danos para o transdutor ou instrumento de monitoração.

Monitores com tecnologia digital incorporam o uso de conversores Análogo-digital (A/D). Esses A/D convertem o sinal analógico recebido pelo instrumento através de

transdutores em um sinal digital para processamento. Para obter a mais precisa representação do sinal que está sendo monitorado, é importante que se use o máximo possível da faixa total do conversor A/D. O nível de ruído de um conversor típico é aproximadamente 33% de sua escala completa. Por exemplo, um A/D de 16 bits tem uma faixa 5 bits como nível de ruído. Portanto, como regra geral, o sinal que entra no instrumento nunca deve ser menor que um oitavo do valor total da escala para que esteja bem abaixo do nível de ruído do conversor A/D. Isto pode ser conseguido pela escolha do próprio transdutor.

Transformadores de potencial - TP devem ser dimensionados de modo a não ter problemas de saturação. Para medição de transitórios, geralmente se deseja que o ponto do joelho da curva de saturação do transdutor esteja pelo menos em 200% da tensão nominal do sistema.

Transformadores de Corrente - A escolha de um transformador de corrente apropriado é mais difícil. A corrente em alguns sistemas muda mais freqüentemente e com maiores valores que a tensão. Muitos fabricantes de instrumentos de qualidade de energia elétrica fornecem TC com seus equipamentos. Esses TC já são especificados de forma a acomodar diferentes níveis de carga e são tabelados para diversas correntes de carga máximas. A corrente do TC e a relação de espiras dependem do objetivo da medição. Se o interesse for a medição de corrente de falta ou corrente de energização, o TC deve ser dimensionado na faixa de 20 a 30 vezes a corrente de carga. Isto resulta em uma baixa resolução da corrente de carga e incapacidade para caracterizar corrente de carga harmônica.

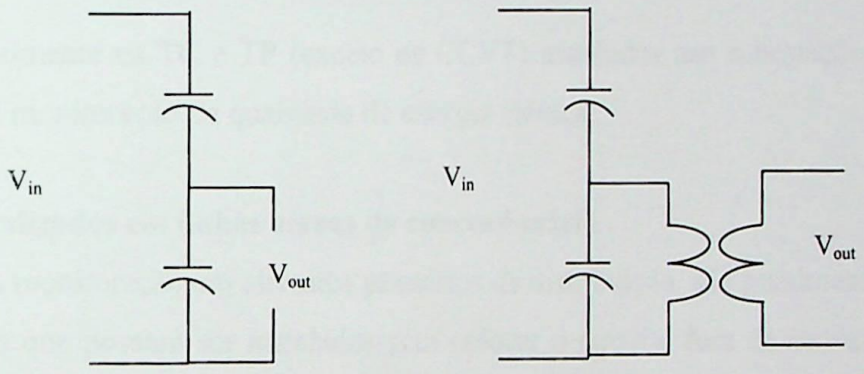
Respostas de freqüência

Transformadores de potencial - A resposta de freqüência de TP de classe de exatidão para medição depende da carga ligada ao TP. Em geral, a carga deverá ter uma impedância bem alta. Isto geralmente não é problema com muitos monitores disponíveis hoje. Monitores de qualidade de energia elétrica, multímetros digitais, osciloscópios, e outros instrumentos apresentam uma carga de impedância muito alta, conseguindo-se uma resposta de freqüência adequada em torno de 5 kHz.

Algumas subestações usam TP com acoplamento capacitivo (CCVT) como transdutores de tensão. Os mesmos não devem ser usados para monitoração de qualidade de energia. Como

pode ser visto na Figura III.1, existe um transformador em paralelo com o capacitor inferior no divisor capacitivo. Esta configuração resulta em um circuito que é um filtro para 60 Hz e não tem precisão na representação de alguns componentes de alta freqüência. Componentes de medição de tensão para alta freqüência requerem divisores capacitivos ou divisores resistivos puros. A Figura III.1 ilustra a diferença entre um CCVT e um divisor capacitivo. Divisores capacitivos para propósitos especiais podem ser obtidos para medição de precisão na caracterização de transitórios de pelo menos 1 MHz.

Transformadores de Corrente - TC padrão para classe de medição são geralmente adequados para freqüências até 2 kHz. A partir desse valor, erros de fase podem começar a tornarem-se significativos. Para altas freqüências, os TC tipo janela com alta relação de espiras podem ser usados.



(a) (b)

Figura III.1 – (a) Divisor de Tensão Capacitivo; (b) TP com Acoplamento Capacitivo [17]

Alguns atributos adicionais desejados para os TC:

- Grande relação de espiras como por exemplo 2000:5, ou maior.
- TC tipo janela são preferidos. Os TC em que a corrente do sistema flua através de um enrolamento podem ser usados, desde que o número de espiras seja menor que cinco.
- Pequeno fluxo remanescente (por exemplo ≤ 10% do valor de saturação do núcleo).
- Grande área do núcleo. Quanto mais aço é usado no núcleo, melhor é a resposta de freqüência do TC.
- Resistência do enrolamento e impedância de perda menores possíveis. Isso permite que uma parcela maior do sinal de entrada circule na carga, em vez de se perder nas capacitâncias e impedância de excitação do núcleo.

Considerações sobre a Instalação

A monitoração na distribuição primária requer transdutores tanto de tensão como de corrente. A escolha da melhor combinação desses transdutores depende de um número de fatores como por exemplo:

- Local do monitoramento (subestação, aéreo, subterrâneo, etc.);
- Limitação de espaço;
- Possibilidade de interromper o circuito para instalação do transdutor;
- Necessidade de monitoração da corrente.

Transdutores da subestação

Geralmente os TC e TP (exceto os CCVT) instalados nas subestações podem ser usados para monitoração de qualidade de energia elétrica.

i. Localizados em linhas aéreas da concessionária

Para monitoração em circuitos primários de distribuição, são geralmente desejáveis transdutores que possam ser instalados sem colocar o circuito fora de serviço. Têm sido desenvolvidos, recentemente, transdutores de monitoração tanto de tensão como de corrente que podem ser instalados em linha viva.

Esses dispositivos incorporam TP tipo divisor resistivo e TC tipo janela em uma só unidade.

A experiência de campo, com essas unidades, tem mostrado que a resposta de freqüência para 60 Hz depende da magnitude da corrente, temperatura e comprimento do cabo secundário. Isso dificulta o uso desses dispositivos para monitoração de precisão em qualidade de energia elétrica. Deve-se ter muito cuidado no uso desses transdutores.

Em geral, os locais primários devem ser monitorados com TP e TC com classe de exatidão adequada para se obter resultados precisos sobre o espectro de freqüência requerido. A instalação requer que o circuito seja desligado, mas um bom planejamento pode ser feito para minimizar o tempo de desligamento do local.

Outra opção para o monitoramento de locais primários inclui monitorar secundários de um transformador de distribuição descarregado, os quais são capazes de dar resultados precisos até 3 kHz.

ii. "Site" secundário

É possível, para sistema com tensão de serviço, a conexão direta do monitor. Isto permite uma completa utilização da resposta de freqüência do instrumento.

Os requisitos de transdutores para "sites" secundários são muito simples. As correntes podem ser monitoradas ou com TC de medição ou TC tipo "clamp-on" para locais dentro da indústria. Os TC "clamp-on" estão disponíveis em um larga faixa de relação de espiras. A faixa de freqüência é geralmente publicada pelo fabricante.

Resumo da Capacidade de Equipamento de Medição

A Tabela III.2 resume a capacidade dos instrumentos de medição para várias categorias de variações de qualidade de energia elétrica.

Tabela III.2 – Capacidades dos Medidores de Qualidade de Energia [17]

	Problemas Na Instalação	Impulsos E Transitórios	Variação De Tensão	Interrupções	Harmônicos	Flicker	Ruídos
Instalação aterramento	■						
Multímetro	■		■				
Osciloscópio		■					
Analisadores de Distúrbios		■	■	■			■
Analisadores Harmônicos					■		
Medidor de Flicker						■	

III.3. O INSTRUMENTO UTILIZADO [18,19]

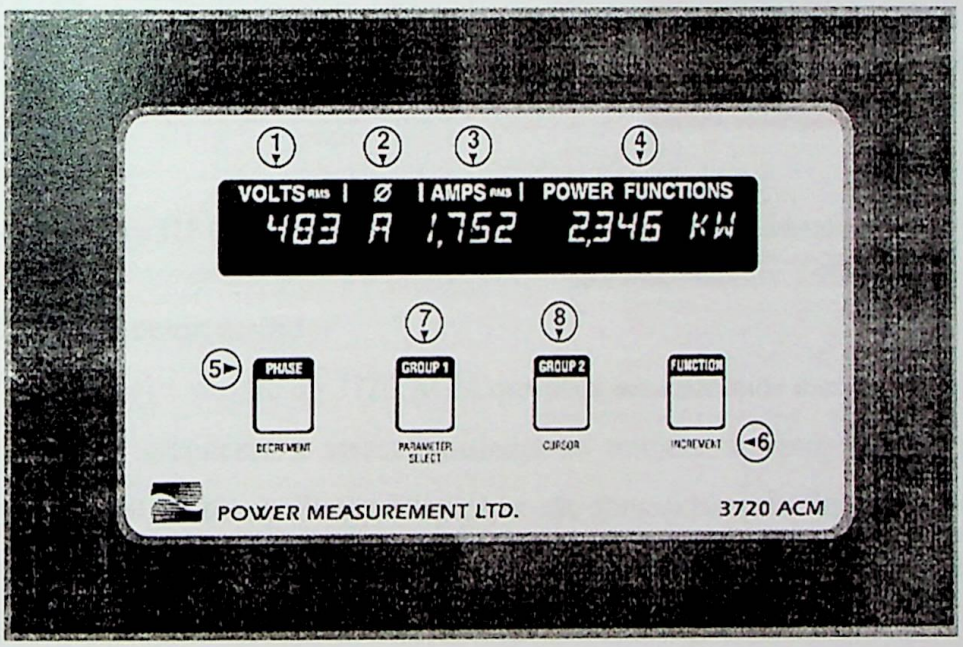
Nesta Dissertação, o registrador digital 3720 ACM foi o aparelho usado no campo a fim de coletar dados e medidas do sistema. É definido pelo seu fabricante como um "aparelho monitor e registrador de grandezas trifásicas processado". Por "Monitor", entenda-se que o mesmo tem capacidade de medir grandezas trifásicas como tensões, correntes e grandezas derivadas destas e tomar decisões programadas a partir delas. Por "Registrador", entenda-se que ele possui memória própria a fim de gravar valores das grandezas medidas com registro de data e hora da gravação, de acordo com decisões programadas tomadas. A Figura III.2 mostra o aspecto físico do registrador digital, que

possui na sua frente um mostrador de "leds" e 4 botões para operação e programação, tendo sido projetado para instalação em painel ou armário de medição.

Entradas e Saídas

O 3720 ACM possui vários tipos de entradas e saídas para medição e comando, não apenas para medição de tensão e corrente. A lista completa consta dos seguintes itens:

- V1, V2, e V3: Medição de tensão das 3 fases;
- I1, I2, I3 e I4: Medição de corrente das 3 fases mais corrente de neutro;
- Vx: Medição de tensão para transdutor;
- IOUT: Saída de corrente para galvanômetro de painel;
- S1, S2, S3 e S4: Entradas digitais e/ou contadoras auto-excitadas;
- R1, R2 e R3: Contatos de 3 relés de 3 terminais cada, tipo NA/NF;
- Interfaces de Comunicação Serial RS-232C e RS-485, para comunicação com um computador via cabo serial ou via modem serial e linha telefônica.



(1) Display de tensão - 4 dígitos
(2) Indicador de fase - 1 carácter
(3) Display de corrente - 4 dígitos
(4) Display de funções de potência - 8 caracteres (5 dígitos)
(5) Seleção de fase
(6) Funções programáveis (pode ser utilizado para reset de máximos e mínimos)
(7) Configuração selecionada para visualização
(8) Configuração alternativa para visualização, porém bloqueada.

Figura III.2 – Painel de Funções do 3720 ACM [19]

No caso de MODEM SERIAL, tem-se a configuração da Figura III.3, e no caso de CABO SERIAL, tem-se a da Figura III.4.

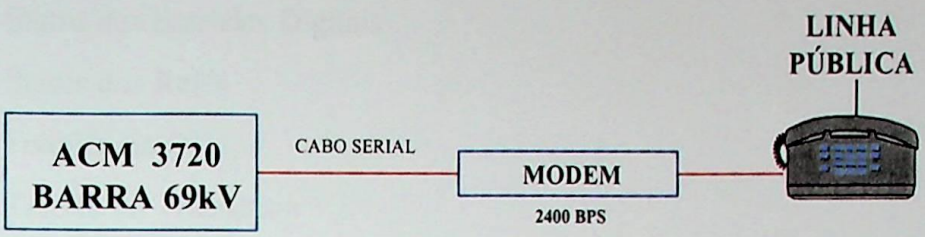


Figura III.3 – Configuração para Comunicação via Modem Serial [19]

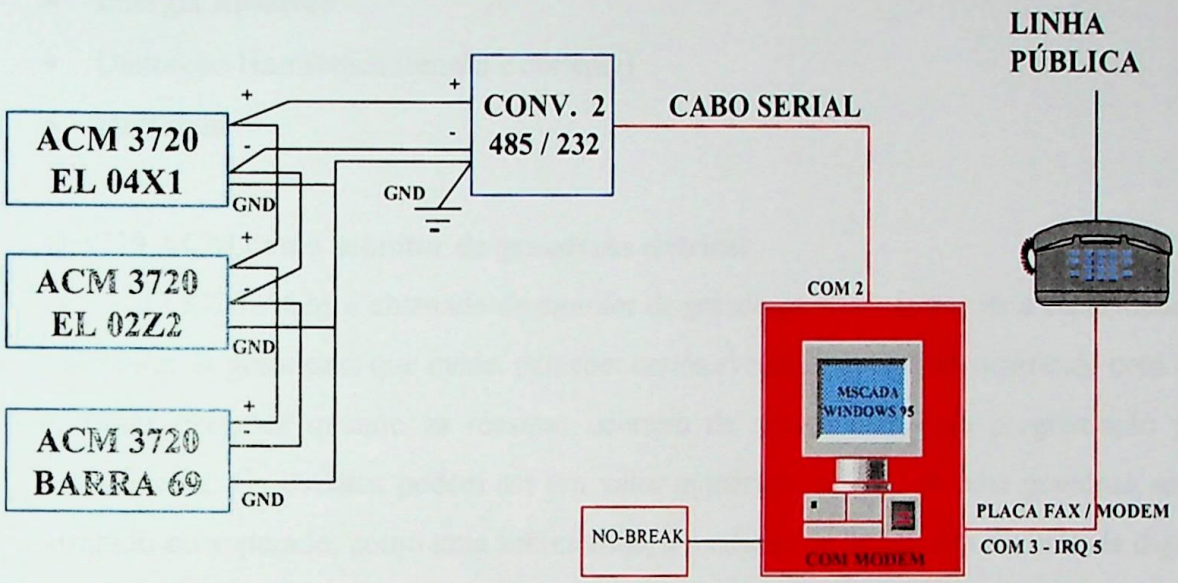
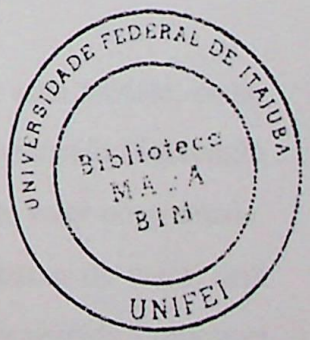


Figura III.4 – Configuração para Comunicação via Cabo Serial [19]

O 3720 ACM como medidor

A primeira função do 3720 ACM que pode ser discernida é como simples medidor de painel. As grandezas a serem mostradas no medidor são programadas através dos programas MSCADA ou Power View, que são fornecidos pelo fabricante. Através dos botões do painel do 3720, é possível selecionar estas grandezas para visualização. As grandezas medidas em tempo real do 3720 ACM são as seguintes:

- Tensão Fase-Neutro
- Tensão Fase-Fase
- Corrente de Fase
- Corrente de Neutro
- Potência Ativa (total e por fase)
- Potência Reativa (total e por fase)
- Potência Aparente (total e por fase)
- Fator de Potência (total e por fase)



- Status das Entradas Digitais
- Status dos Relés
- Freqüência (V1)
- Tensão do Transdutor
- Energia Ativa
- Energia Reativa
- Energia Aparente
- Distorção Harmônica (tensão e corrente)
- Demanda

O 3720 ACM como monitor de grandezas elétricas

O 3720 ACM é chamado de monitor de grandezas elétricas por ter a capacidade de monitorar as grandezas que mede, perceber certos eventos que estejam ocorrendo com elas e tomar decisões quando as mesmas ocorrem de acordo com uma programação pré-estabelecida. Os eventos podem ser um valor numérico definido de uma grandeza sendo atingido ou superado, como uma sobretensão, a mudança de estado de uma entrada digital, uma hora marcada no seu relógio interno, etc. (Vide Figura III.5).

Evento é um estado ou mudança de estado de uma medida do registrador digital, seja ela analógica ou digital.

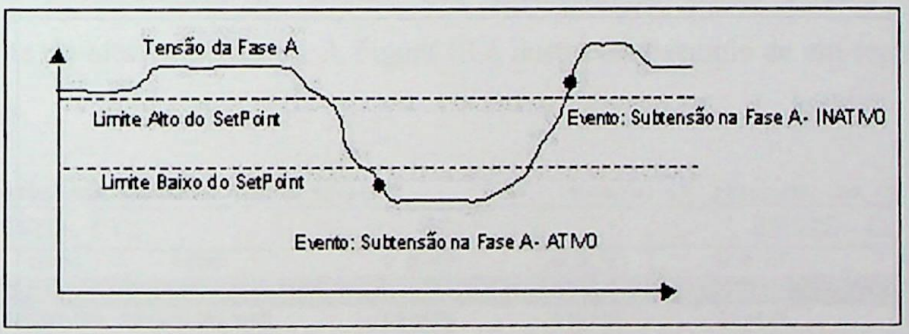


Figura III.5 – Monitoração de um Distúrbio pelo Instrumento

Quando o 3720 está programado para monitorar um evento de uma medida, como por exemplo um valor de tensão na fase A abaixo de outro valor programado (Subtensão na Fase A), ele lê o valor em tempo real da fase A e compara com este valor programado. O tempo em cada leitura e comparação varia. Caso a tensão caia abaixo do valor, será registrado que o evento de subtensão da fase A, na data e hora registrada, tornou-se ATIVO. Se após isso a tensão voltar a atingir um patamar superior ao programado, nada

data e hora em que isto ocorrer o evento de subtensão na fase A será registrado como INATIVO. Isto irá ocorrer de maneira similar para sobretensões, sobre ou subcorrentes, fechamento ou abertura das entradas digitais, etc.

A partir do momento em que um evento se torna ativo ou inativo, pode-se programar AÇÕES em função deste eventos. AÇÕES são eventos ou comandos que o 3720 ACM executa em função da ocorrência de um evento anterior. Como exemplo, pode-se programá-lo para registrar uma forma de onda após uma subtensão na fase A ou fechar/abrir um relé caso uma entrada digital seja fechada/aberta.

A programação do que seja um evento, que é constituída pela grandeza a ser medida, pelos valores a serem comparados com a grandeza, pelo critério de comparação e pelas ações que deverão ser executadas pelo registrador quando ocorrer este evento é chamada de SETPOINT, que significa algo como "ajuste do ponto de sensibilidade". Para cada evento monitorado, podem ser programadas até duas ações diferentes.

O 3720 ACM permite que se programe até 17 SetPoints, ou seja, 17 conjuntos de eventos de uma medida. Destes SetPoints, 11 possuem velocidade máxima de leitura e comparação de 1 segundo, sendo recomendados para reconhecerem eventos não muito críticos, como variações de frequência, fator de potência ou entradas digitais. Os 6 SetPoints restantes possuem velocidade máxima de leitura e comparação de dois ciclos ou 33 milissegundos, sendo usados para eventos cujo reconhecimento exija rapidez, como variações momentâneas de tensão. São chamados de HIGH SPEED SETPOINTS (SetPoints de alta velocidade). A Figura III.6 ilustra um exemplo de um registro típico de medições.

3720 ACM SNAPSHOT LOG 1 Screen Updated at 12:26:02 JUL 01 1999

SITE: FTZ DEVICE: EL 04F4

DATE	TIME	V A RT	V B RT	V C RT	KW RT
99/07/01	12:26:00.000	134656	136192	134016	146048
99/07/01	12:25:00.000	134784	136320	134144	145536
99/07/01	12:24:00.000	134784	136320	134144	145408
99/07/01	12:23:00.000	135296	136832	134656	142976
99/07/01	12:22:00.000	135168	136576	134400	144128
99/07/01	12:21:00.000	135424	136960	134784	142336
99/07/01	12:20:00.000	136192	137600	135424	142720
99/07/01	12:19:00.000	136192	137600	135424	142720
99/07/01	12:18:00.000	136192	137600	135424	144128
99/07/01	12:17:00.000	136064	137600	135424	144256
99/07/01	12:16:00.000	135808	137216	135040	146560
99/07/01	12:15:00.000	135808	137216	135040	145792
99/07/01	12:14:00.000	135936	137216	135168	145408
99/07/01	12:13:00.000	135680	137216	134912	147072
99/07/01	12:12:00.000	135680	137216	134784	147712
99/07/01	12:11:00.000	135680	137216	134912	147584
99/07/01	12:10:00.000	135552	137216	134784	147328
99/07/01	12:09:00.000	135680	137088	134912	148608

Help: F1 Load: Alt-S Print: F4 Trending: F10 Exit: Esc

Figura III.6 – Forma de Registro do Instrumento

O 3720 ACM Como Registrador de Grandezas Elétricas

O 3720 ACM possui memória interna capaz de guardar vários tipos de registros. Seus principais registradores são os seguintes:

- Registrador com lista completa de eventos no tempo, coletados pelo instrumento, como por exemplo o estado ATIVO ou INATIVO de SetPoints, AÇÕES tomadas após SetPoints, se registrador foi ligado ou desligado, se sua programação foi mudada, etc;

3720 ACM RT Min/Max Screen — Updated at 00:01:18 JUL 13 1999

SITE: BGI — DEVICE: 04T4

PARAMETER	MIN VALUE	MIN DATE/TIME	MAX VALUE	MAX DATE/TIME
V LN RT	37459	99/06/14 10:43:31	41757	99/04/28 08:05:32
V A RT	36857	99/04/10 11:20:16	41738	99/04/28 08:05:32
V B RT	37454	99/06/14 10:43:31	43272	99/04/10 11:20:16
V C RT	36576	99/04/05 11:31:40	41767	99/04/28 08:05:32
V LL RT	64881	99/06/14 10:43:31	72327	99/04/28 08:05:32
V AB RT	64879	99/06/14 10:43:31	72317	99/04/28 08:05:32
V BC RT	64879	99/06/14 10:43:31	73541	99/04/10 11:20:16
V CA RT	63727	99/04/05 11:31:40	72317	99/04/28 08:05:32
AMP RT	331	99/06/13 08:42:08	864	99/04/15 17:46:54
AMP A RT	330	99/06/13 08:42:09	864	99/04/15 17:46:54
AMP B RT	334	99/06/13 08:42:09	867	99/04/15 17:46:54
AMP C RT	328	99/06/13 08:42:08	862	99/04/15 17:46:54
I4 RT	0	99/03/30 11:16:51	0	99/03/30 11:16:51
VAUX RT	0	99/03/30 11:16:51	0	99/03/30 11:16:51
KW RT	-97377	99/04/22 18:03:26	-36729	99/06/13 08:42:09
KW A RT	-32543	99/04/20 17:59:27	-12252	99/06/13 08:42:09
KW B RT	-32594	99/04/20 17:59:29	-12377	99/06/13 08:42:09
KW C RT	-32257	99/04/22 18:03:26	-12100	99/06/13 08:42:09

Help: F1 Load: Alt-S Print: F4 Clear: F3 Exit: Esc

Figura III.7 – Registros de Máximos e Mínimos

- Registrador de valores máximos e mínimos após serem zeradas todas as grandezas medidas em tempo real gravadas, os quais ficam com data e hora de ocorrência do pico ou do vale registrados;

3720 ACM SNAPSHOT LOG 8 Screen — Updated at 14:09:06 JUL 10 1999

SITE: FTZ — DEVICE: TR 02T2

DATE	TIME	V A HS	V B HS	V C HS	AMP A HS
99/07/10	13:59:21.575	21448	22888	34502	426
99/07/10	13:59:21.542	21211	23083	34502	427
99/07/10	13:59:21.508	21211	23126	34603	426
99/07/10	13:59:21.475	21067	23176	34603	426
99/07/10	13:59:21.442	21067	23176	34502	426
99/07/10	13:59:21.408	21067	23270	34502	426
99/07/10	13:59:21.375	21254	23414	34646	426
99/07/10	13:59:21.341	21254	23508	34840	425
99/07/10	13:59:21.308	21254	23796	35028	425
99/07/10	13:59:21.274	21492	23839	35172	425
99/07/10	13:59:21.241	21679	24076	35359	425
99/07/10	13:59:21.207	21873	24271	35596	424
99/07/10	13:59:21.174	22111	24508	35884	421
99/07/10	13:59:21.140	22204	24933	36165	421
99/07/10	13:59:21.107	22579	25315	36597	419
99/07/10	13:59:21.073	23198	25884	37353	416
99/07/10	13:59:21.040	24098	26596	38304	411
99/07/10	13:59:21.006	24760	27309	39160	399

Help: F1 Load: Alt-S Print: F4 Trending: F10 Exit: Esc

Figura III.8 – Registro Rápido de Valores Instantâneos

- Registrador Programável de valores RMS das medidas em tempo real no tempo. O 3720 ACM possui oito registradores de valores RMS. Cada qual pode ser programado para gravar grandezas escolhidas pelo usuário até um máximo de 12 grandezas por registro no tempo, ou seja, a lista de registros por data e hora terá 12 grandezas gravadas por registro no máximo. A gravação pode ser executada ou encerrada através de um SetPoint ou por temporização. Sete destes registradores possuem velocidade máxima de gravação de 1 segundo, ou seja, quando iniciada a gravação, a diferença de tempo entre um registro e o seguinte poderá ser de no mínimo 1 segundo. Estes registradores são preferencialmente usados para gravar grandezas de variação lenta, como o fator de potência, a freqüência ou o estado de uma entrada digital.

3720 ACM Event Log Screen — Updated at 13:06:36 JUL 11 1999

SITE: FTZ — DEVICE: CE 230 KV

CAUSE	VALUE	EFFECT	VALUE	DATE	TIME
[illegible]	106392	SETPOINT H04	ACTIVE	99/07/10	13:59:21.070
V C HS	138240	SETPOINT H06	INACTIVE	99/07/07	05:59:04.957
SETPOINT H06	ACTIVE	SL8 TRIGGERED	1	99/07/07	05:59:04.489
SETPOINT H06	ACTIVE	WFR TRIGGERED		99/07/07	05:59:04.489
V C HS	97416	SETPOINT H06	ACTIVE	99/07/07	05:59:04.489
V B HS	135120	SETPOINT H05	INACTIVE	99/07/05	12:39:02.977
V B HS	120216	SETPOINT H05	ACTIVE	99/07/05	12:39:02.876
V B HS	136368	SETPOINT H05	INACTIVE	99/07/05	12:38:57.689
SETPOINT H05	ACTIVE	SL8 TRIGGERED	1	99/07/05	12:38:57.589
SETPOINT H05	ACTIVE	WFR TRIGGERED		99/07/05	12:38:57.589
V-B HS	121152	SETPOINT H05	ACTIVE	99/07/05	12:38:57.589
V B HS	134640	SETPOINT H05	INACTIVE	99/07/04	16:18:01.024
V B HS	122088	SETPOINT H05	ACTIVE	99/07/04	16:18:00.890
V B HS	129480	SETPOINT H05	INACTIVE	99/07/04	16:17:34.790
SETPOINT H05	ACTIVE	SL8 TRIGGERED	1	99/07/04	16:17:34.657
SETPOINT H05	ACTIVE	WFR TRIGGERED		99/07/04	16:17:34.657
V B HS	121464	SETPOINT H05	ACTIVE	99/07/04	16:17:34.657
COMMUNICATIONS		TIME SET		99/07/01	08:23:49.044

Help: F1 — Load: Alt-S — Print: F4 — Exit: Esc

Figura III.9 – Registro de Eventos do Instrumento

- O oitavo registrador possui velocidade máxima de gravação de 2 ciclos ou 33 milissegundos, ou seja, pode gravar 30 registros a cada segundo. Este registrador é usado preferencialmente para monitorar perturbações como subtensões ou sobretensões momentâneas, de alta velocidade. Os registradores com velocidade máxima de 1 registro por segundo entre registros são chamados de SNAPSHOT LOGS (Registros de Valores Instantâneos) ou SL e o registrador com velocidade máxima de 30 registros por segundo é chamado de HIGH SPEED SNAPSHOT LOG ou HSS.

- Registro de Formas de onda (Figura III.10) das entradas de tensão e de corrente: o 3720 ACM pode gravar até 36 ciclos de forma de onda, que podem ser distribuídos em 1 registro de 36 ciclos, 2 registros de 18 ciclos ou 3 registros de 12 ciclos. A gravação das formas de onda pode ser iniciada por ajuste automático ou manualmente.
- Captura de um ciclo de forma de onda (Figura III.11) de uma das entradas de tensão ou de corrente: este tipo de registro é parecido com o anterior, mas apenas um ciclo é registrado com 128 amostras. Este tipo de registro serve para fazer uma análise acurada de harmônicos e também para, após capturas sucessivas manuais de cada fase de tensão e de corrente em regime permanente num mesmo registro, a visualização de um diagrama fasorial. A gravação pode ser iniciada também por ajuste automático.

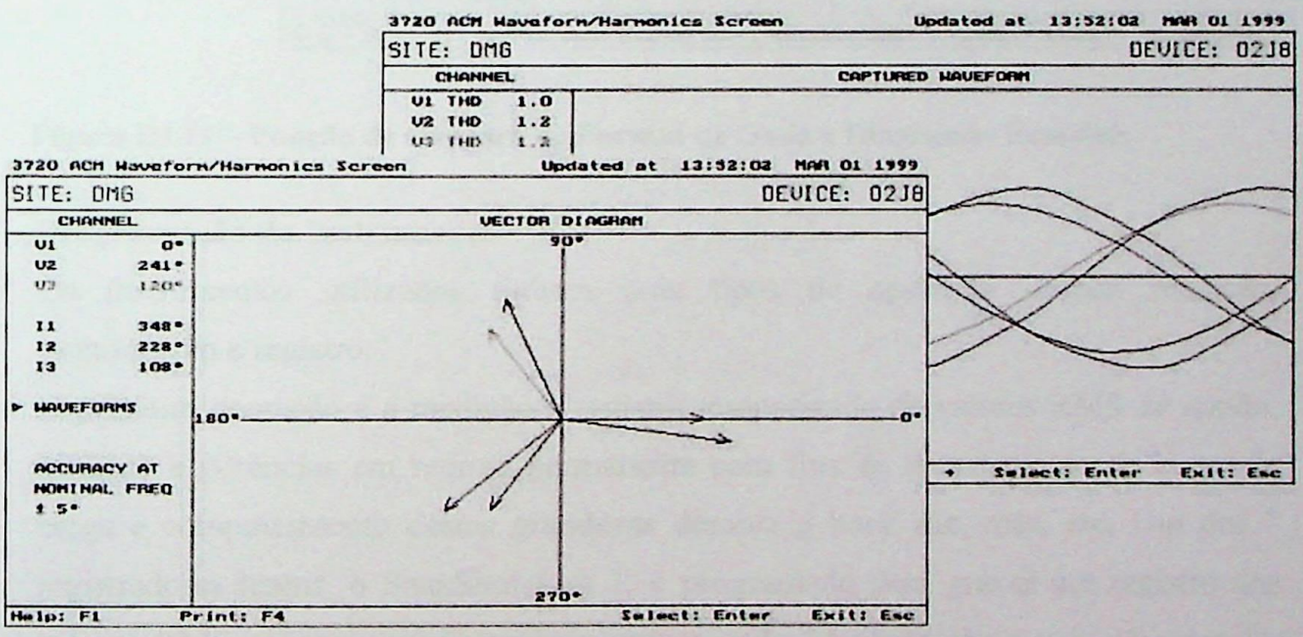


Figura III.10 – Gravação de Formas de Onda

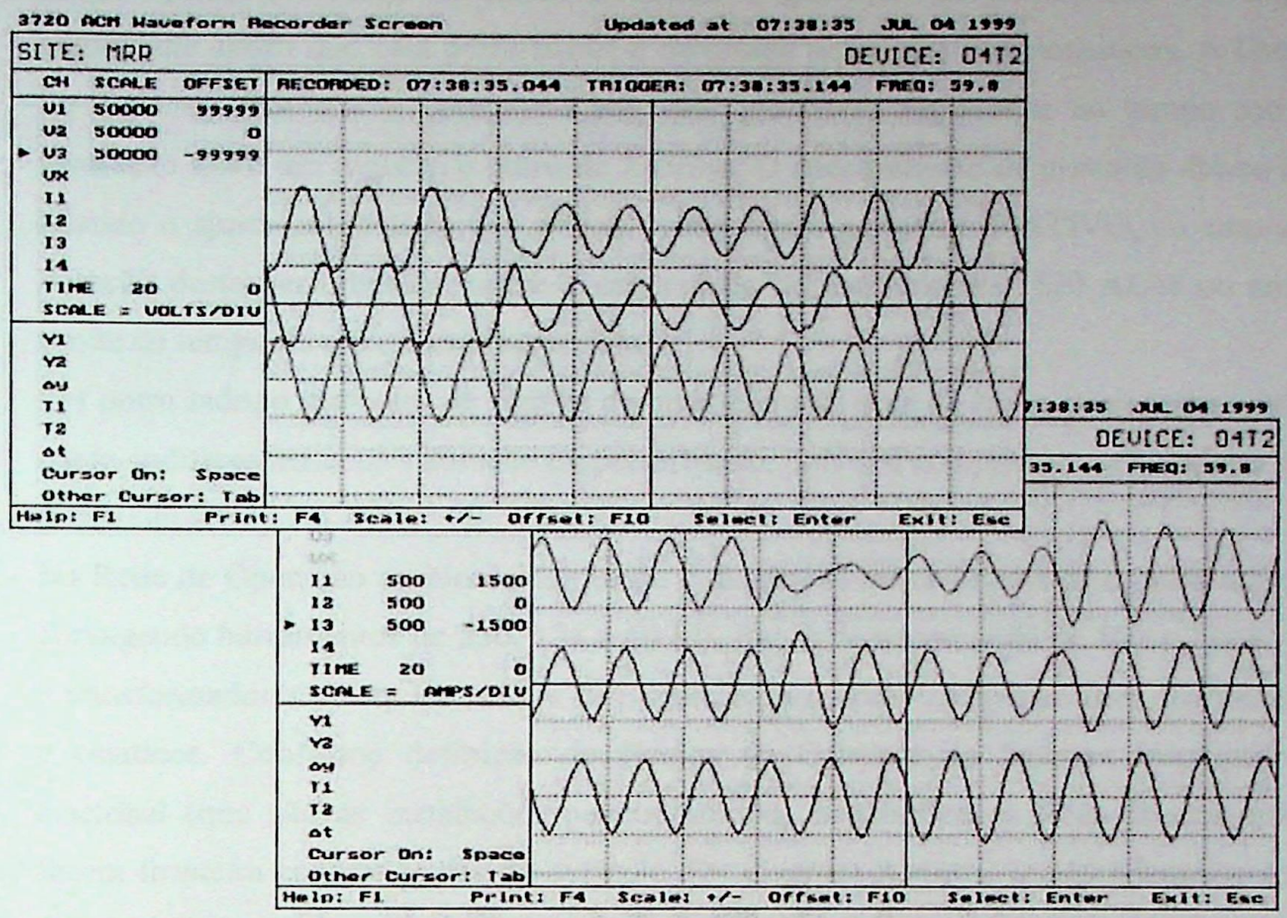


Figura III.11 – Função de Captura de Formas de Onda e Diagramas Fasoriais

Programação do Instrumento

Os instrumentos utilizados tinham dois tipos de operação usando medição, monitoração e registro:

A primeira operação é a medição e registro temporizado de valores RMS de tensão, corrente e potências em regime permanente com fins de levantamento de curva de carga e comportamento destas grandezas durante a hora, dia, mês, etc. Um dos 7 registradores lentos, o SnapShot Log 1, é programado para gravar um registro dos valores RMS em tempos que variam entre a cada 1 minuto até a cada 10 minutos. Confirmando, este registro não é disparado por ajuste automático, é temporizado e está sempre sendo executado;

A segunda operação é o registro de valores RMS de tensão, corrente e potências no tempo e de 12 ciclos de formas de onda durante perturbações com fins de análise posterior das mesmas.

O registrador rápido é o Registro de Valor Instantâneo 8 ou High Speed SnapShot Log. Ele é programado para ser disparado por ajustes automáticos também rápidos

(High Speed SetPoint), de modo a iniciar a gravação da perturbação em alta velocidade assim que esta perturbação é detectada pelos ajustes automáticos. A lista de registros mostrará o comportamento das grandezas registradas no tempo com resolução entre um registro e outro de 2 ciclos. O encerramento da gravação dar-se-á quando o ajuste automático que ativou o registrador se tornar INATIVO, ou caso a duração desta perturbação supere a capacidade de memória do 3720 ACM ou um limite de tempo de gravação programado.

Por outro lado, o gravador de formas de onda efetuará seus 12 ciclos de registro e irá parar, indiferentemente à duração da perturbação, pois seu comprimento de registro é pré-estabelecido.

Na Rede de Operação do Nordeste, foram definidos diversos pontos de monitoração, abrangendo barramentos de 230, 138 e 69 kV, linhas de transmissão de 500 e 230 kV e transformadores de equipamentos de regulação, tais como compensadores síncronos e estáticos. Conforme definição de Pontos de Controle do Sistema Interligado Nacional (que são as instalações ou conjunto de instalações da Rede Básica que fazem fronteira com os ativos de conexão dos diversos Agentes, independentemente do nível de tensão), estão incluídos nessa classificação, os barramentos de 69 kV, dentre outros.

Para esses pontos, foi definida a programação de ajustes automáticos e de Registros de Valores Instantâneos (eventos monitorados e registros programados) compreendendo os limites de disparo e corte, e a periodicidade de gravação dessas grandezas, conforme segue:

Registro de Valores Instantâneos 1: V_a, V_b, V_c, P_{3f}, Q_{3f}, cos Φ (1 minuto)

Registro de Valores Instantâneos 2: f, V_a, P_{3f}, (1 segundo)

Registro de Valores Instantâneos 8 e Forma de Onda: V_a, V_b, V_c, $I_{,a}$, I_b, I_c, P_{3f}, S_{3f}, f (duração = 600 ciclos)

Ajustes: S01 – subfreqüência - Disparo: 59,4 Hz - Corte: 59,8 Hz
H01 – subtensão V_a - Disparo: 92% - Corte: 95%
H02 – subtensão V_b - Disparo: 92% - Corte: 95%
H03 – subtensão V_c - Disparo: 92% - Corte: 95%
H04 – sobretensão V_a - Disparo: 110% - Corte: 107%
H05 – sobretensão Vb - Disparo: 110% - Corte: 107%
H06 – sobretensão Vc - Disparo: 110% - Corte: 107%

III.4. SUMÁRIO

Neste capítulo, foram discutidos diversos aspectos teóricos e práticos relacionados à medição das grandezas físicas de interesse nesta investigação.

CAPÍTULO IV – TRATAMENTO DOS DADOS

Bendito sejas, Pai, pelos planos corajosos que nos inspiras
e pela chama que és tu mesmo crepitando em nós.

D. Hélder Câmara

IV.1. INTRODUÇÃO

Para diagnosticar o comportamento da tensão em um determinado ponto, sob o aspecto dos afundamentos momentâneos, e considerando a massa de dados apurados com o instrumento descrito no capítulo anterior, é necessário realizar um tratamento prévio dos dados, visando à segregação dos fenômenos que se quer estudar. Esse tratamento foi efetuado com um aplicativo computacional simples, sendo estabelecidos alguns critérios que serão apresentados.

Nessa perspectiva, o objetivo deste capítulo é descrever sucintamente o processo de obtenção dos dados, e o tratamento que deve ser efetuado para permitir o diagnóstico do comportamento de um ponto de controle da rede elétrica.

IV.2. CRITÉRIOS

Considerando que a definição de *afundamentos momentâneos se refere aos níveis de tensão iguais ou inferiores a 0,90 pu*, e que esses fenômenos se caracterizam pela duração, magnitude e freqüência, o tratamento dos dados deve efetuar uma primeira filtragem dos casos que se enquadram nessa primeira classificação, para que se possa medir apropriadamente cada uma das suas características. O fato de se coletarem dados medidos por fase, implica em que se estabeleçam os parâmetros para agregação das informações das três fases, da maneira que melhor representem os fenômenos que interferem na rede elétrica.

Com essa finalidade, foi criado um aplicativo computacional simples de filtragem desses dados, cuja tela é apresentada na Figura IV.1 a seguir.

O aplicativo permite que, não só se verifique o número dos afundamentos (pu < 0,90), incluindo a duração e a magnitude deles, mas também os das sobretensões momentâneas (pu > 1,10), o tempo em que a tensão se recupera, conforme as classes até 0,5 s, entre 0,5 e 1,0 s e maior que 1,0 s, até atingir 0,97 pu e o número de eventos em que o módulo da tensão variou mais de 10%. Também é elaborado gráfico tridimensional, contendo as características dos afundamentos analisados.

Para essa classificação, foram estabelecidas as seguintes premissas, baseado nas medidas de 2 em 2 ciclos:

i. A duração do afundamento se inicia quando a tensão da primeira das três fases cai a valor igual ou inferior a 0,90 pu e termina quando a última das três fases volta a valor superior a 0,90 pu.

ii. A magnitude de um afundamento é assumida como o valor mínimo atingido por qualquer das três fases.

iii. O evento é entendido como concluído, quando se passam pelo menos 6 ciclos sem registro no instrumento. O próximo valor é assumido como pertencendo a um novo evento.

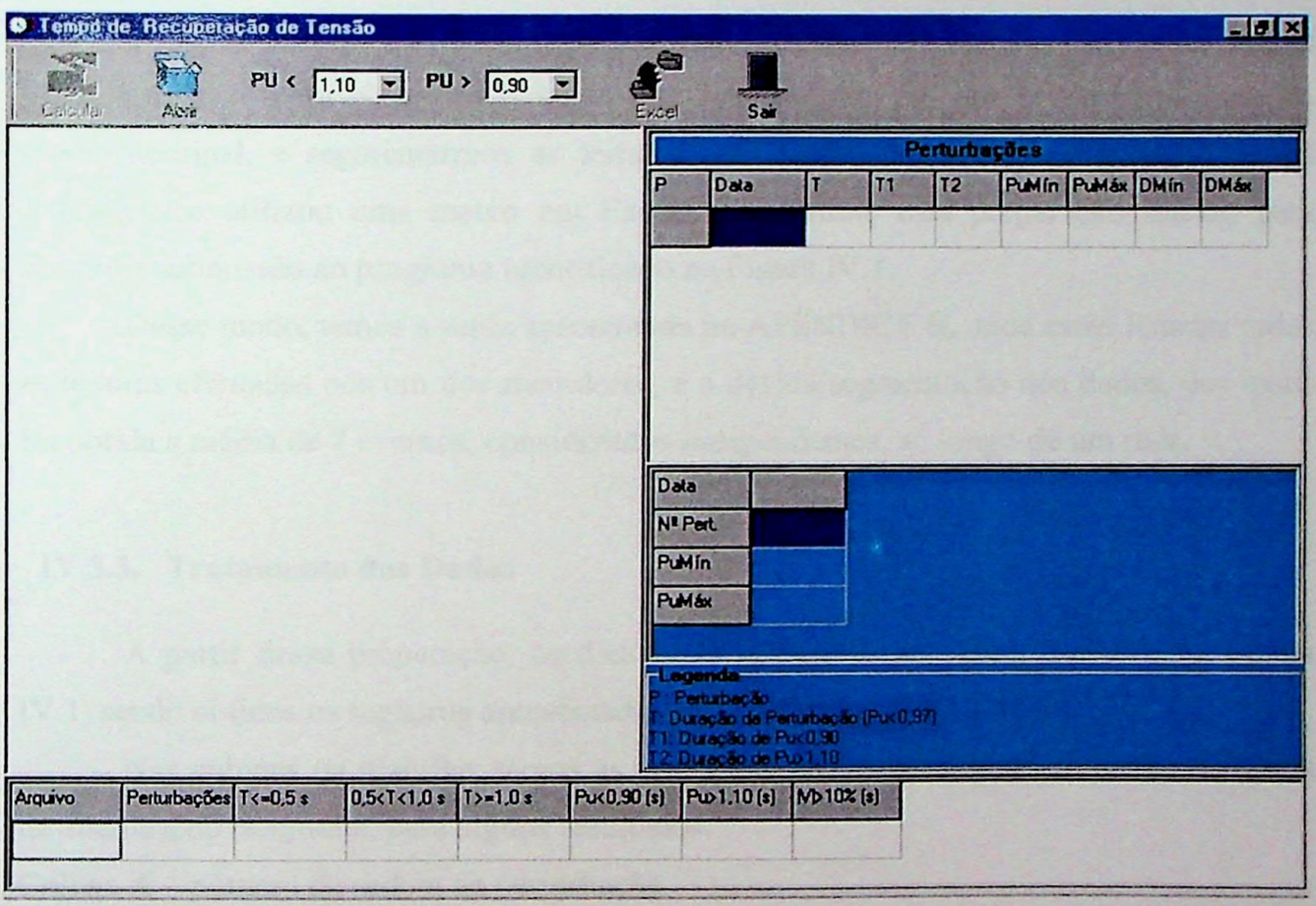


Figura IV.1 – Tela de Abertura do Programa de Tratamento dos Dados

IV.3. TRATAMENTO

IV.3.1. Leitura dos Dados

O aparelho utilizado – 3720 ACM, é fornecido com um programa de computador para leitura dos dados armazenados no próprio aparelho, ou em um computador pessoal

que esteja a ele conectado. O programa é chamado de MSCADA 4.4 e é utilizado para configurar no micro os parâmetros dos medidores da série 3000 da POWER, bem como para análise e coleta dos dados armazenados no citados medidores.

O MSCADA é um programa para o DOS, que pode ser utilizado dentro do WINDOWS 95.

Os dados podem ser lidos em Excel ou em outra linguagem tipo ASCII. Entretanto, outros programas são disponibilizados pelo fabricante do instrumento (PEGASYS, por exemplo), que permitem o manuseio mais simples das informações.

IV.3.2. Preparação dos Dados

Como as leituras de tensão efetuadas pelo instrumento utilizado são realizadas em Volts fase-terra, para obtermos o valor fase-fase, referido em *por unidade*, na base da tensão nominal, e segmentarmos as leituras por evento, conforme o critério *iii* acima referido, se utilizou uma macro em Excel, que permite essa preparação inicial, para posterior submissão ao programa identificado na Figura IV.1.

Desse modo, temos a saída apresentada no APÊNDICE B, onde estão listadas todos as leituras efetuadas por um dos medidores, e a devida segmentação dos dados, dos quais foi obtida a média de 7 eventos, considerados independentes, ao longo de um mês.

IV.3.3. Tratamento dos Dados

A partir dessa preparação, os dados são lidos pelo programa indicado na Figura IV.1, sendo obtidos os registros apresentados na planilha do APÊNDICE C.

Nas colunas da planilha, temos as seguintes informações, conforme consta na tela de abertura do programa, para alguns resultados:

Coluna A – número de ordem da perturbação

Coluna B – data da perturbação

Coluna C – duração da perturbação, sendo considerado, para cada perturbação, todo o tempo em que a tensão ficou inferior a 0,97 pu.

Coluna D – duração do afundamento momentâneo, sendo considerado, para cada perturbação, todo o tempo em que a tensão ficou inferior a 0,90 pu.

Coluna E – duração da sobretensão momentânea, sendo considerado, para cada perturbação, todo o tempo em que a tensão ficou superior a 1,10 pu.

Coluna F – valor de tensão mínima, entre as 3 fases, em pu, para cada perturbação.

Coluna G – valor de tensão máxima, entre as 3 fases, em pu, para cada perturbação.

Coluna H – valor de tensão mínima, e inferior a 0,90 pu, entre as 3 fases, para cada perturbação.

Coluna I – valor de tensão máxima, e superior a 1,10 pu, entre as 3 fases, para cada perturbação.

Colunas K, L, M, N – dados dispostos por dia, ao longo do mês, de onde foram extraídas as informações listadas nas colunas A, B, F e G. Nesse caso, todas as informações são totalizadas por dia, no caso de mais de uma perturbação em um determinado dia. Esse tratamento busca apenas identificar os dias críticos do mês, em termos de severidade dos eventos e não de quantidade. A partir desses resultados, pode-se desenhar gráficos de amplitude de variações, ao longo do mês. A Figura IV.2 apresenta um gráfico deste tipo, para os dados tratados.

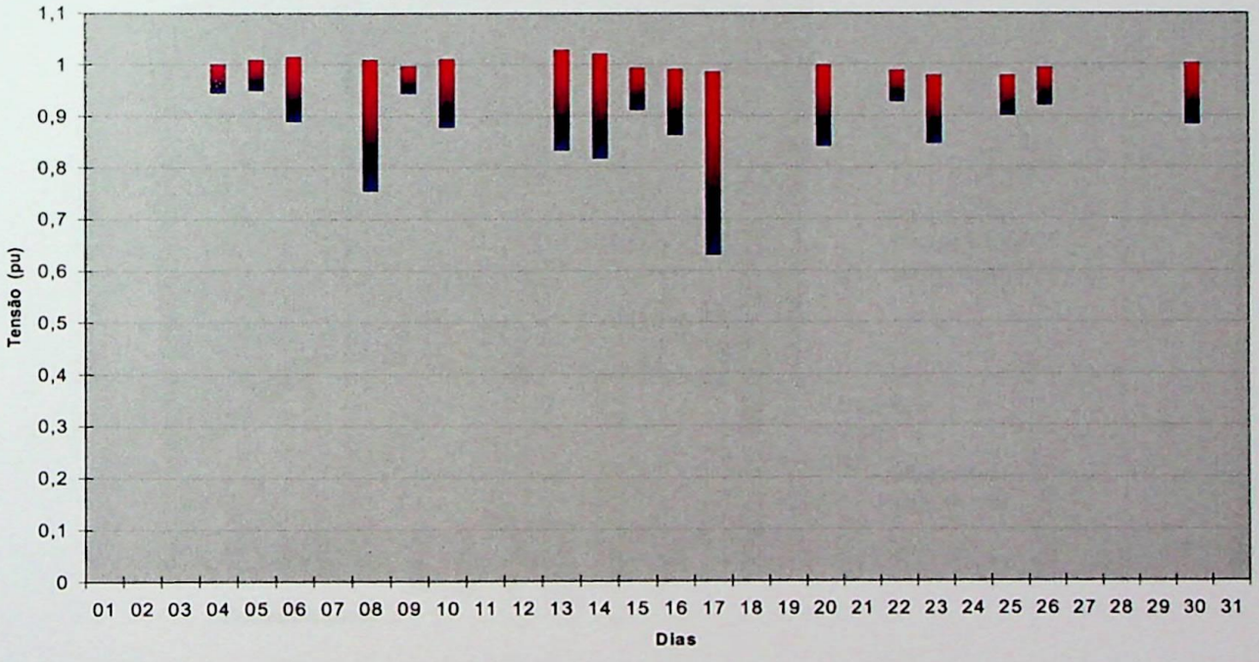


Figura IV.2 – Amplitude de Tensão dos Eventos Ocorridos em Cada Dia.

A partir dessas informações, pode ser elaborado o gráfico referente ao desempenho do ponto de controle, no mês em referência. Para o caso analisado, obtivemos o gráfico da Figura IV.3.

O diagnóstico do comportamento de um determinado ponto de interesse passa pela comparação com um padrão de referência. No Brasil, não estão estabelecidos padrões ou

limites aceitáveis para afundamentos momentâneos de tensão, pelo fato de não se conhecer suficientemente o comportamento dos diversos pontos de controle do Sistema Interligado Nacional, devido a não se dispor de um histórico de medições que permita essa avaliação e proposição. Conforme mencionado no Capítulo II, desde 2001, vem sendo realizado um Projeto Piloto de medições, coordenado pelo ONS, com o fim de efetuar esse diagnóstico para pontos das diversas regiões do Brasil, e permitir a definição de um ou mais de um padrão de referência.

Entretanto, entende-se que, onde se dispõe desses resultados, como é o caso de diversos pontos da rede de transmissão do Nordeste, pode-se efetuar uma avaliação comparativa desses pontos, compondo, eles próprios, o universo de análise. Essa informação, inclusive, pode ser utilizada para subsídio aos diversos acessantes da Rede Básica, para os quais as condições do ponto, quanto ao aspecto da qualidade de energia, seja relevante.

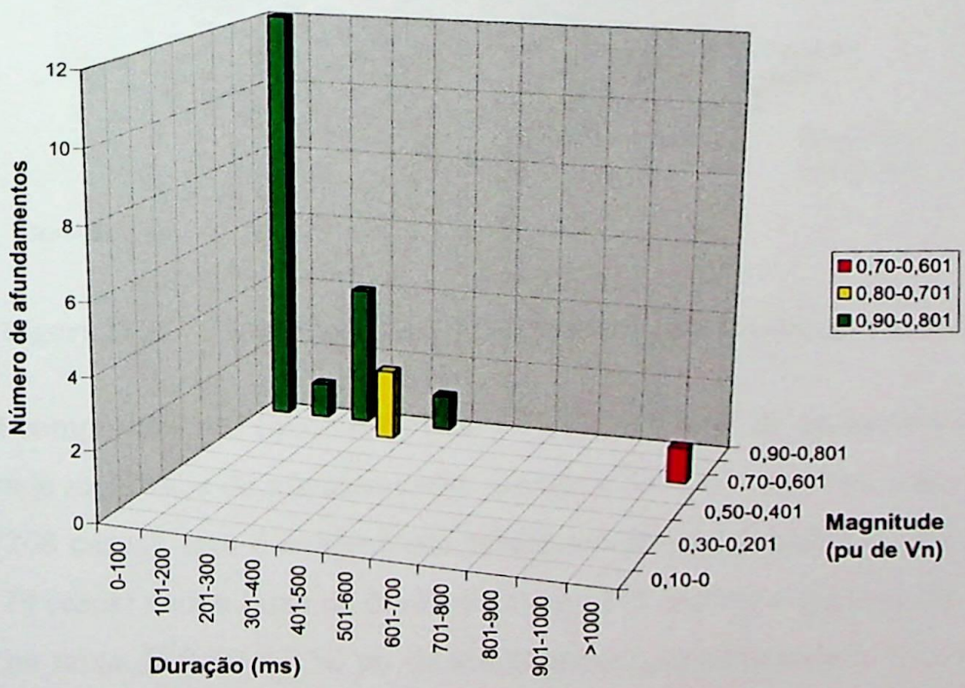


Figura IV.3 – Representação Gráfica dos Dados Apresentados no Apêndice C.

IV.3.4. Avaliação Comparativa de Pontos de Controle

A classificação de todos os dados em vários patamares de duração e magnitude, permite a formação de tabelas do tipo das apresentadas no Apêndice D, para cada ponto analisado.

A partir do acompanhamento de diversos pontos da rede de transmissão do Nordeste, ao longo de 12 meses, pôde-se selecionar os três pontos que seguem, como exemplos de diagnósticos observados e que apresentam comportamento distinto.

Os gráficos tridimensionais, a seguir, apresentam, para cada ponto, a distribuição do quantitativo de afundamentos momentâneos de tensão, quanto à Magnitude e à Duração, para o período de 12 meses avaliado, que constam das tabelas do Apêndice D.

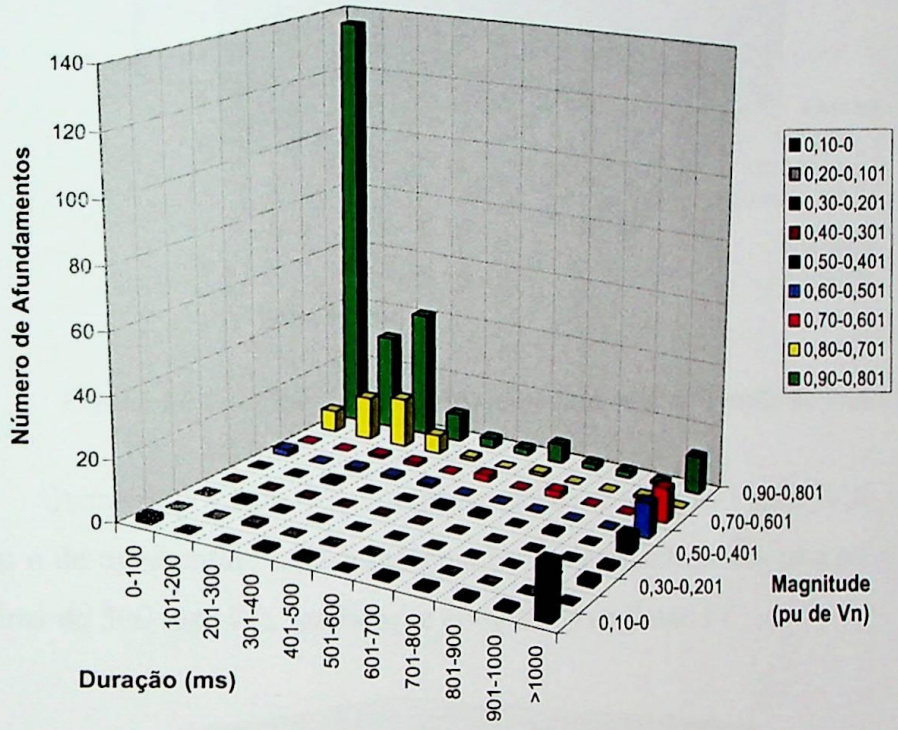


Figura IV.4 – Classificação dos Afundamentos de Tensão do Ponto P1

O comportamento típico do Ponto P1 (Fig. IV.4) é de apresentar dominantemente uma elevada incidência de afundamentos na faixa de 0,90 a 0,80 pu e duração máxima de 300 ms (208 casos). Isso é evidenciado relacionando-se a incidência das faixas de 0,80 a 0,50 pu (79 casos) com a faixa de 0,90 a 0,80 pu (245 casos), o que resulta que a incidência de casos na faixa de 0,80 a 0,50 pu de afundamento, corresponde a 32% da incidência de casos classificados na faixa de 0,90 a 0,80 pu.

O comportamento típico do Ponto P2 (Fig. IV.5), com relação ao P1, é de apresentar uma incidência relativamente baixa de afundamentos para até 0,80 pu e duração máxima de 300 ms (72). Ainda em comparação a P1, a incidência de afundamentos para a faixa de 0,80 até 0,50 pu, por outro lado, é mais representativa (96), se relacionada com a faixa de 0,90 a 0,80 (101), resultando em valor da mesma ordem de grandeza (95%).

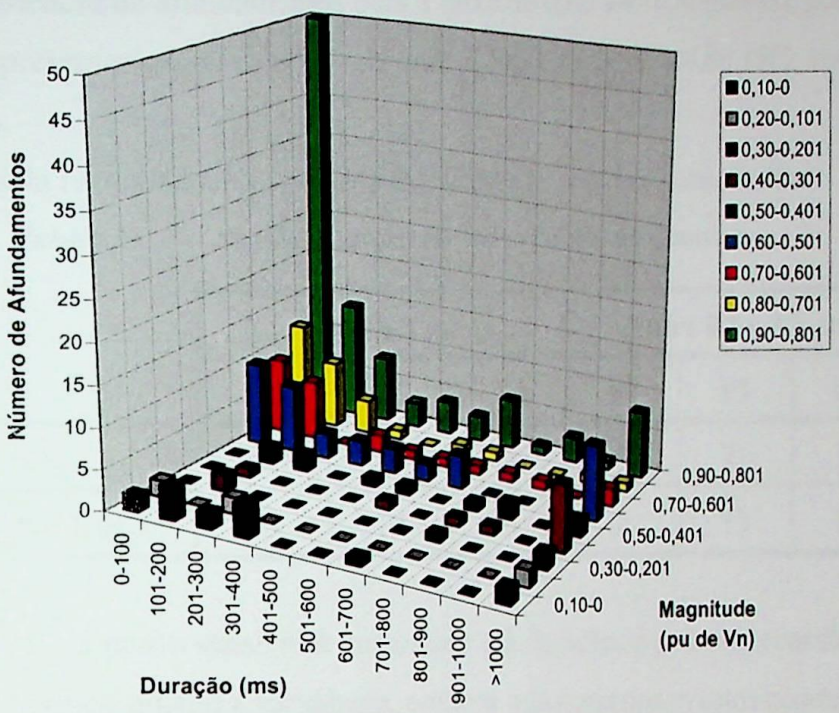


Figura IV.5 – Classificação dos Afundamentos de Tensão do Ponto P2

Quanto ao Ponto P3, conforme pode ser visto na Figura IV.6, o comportamento típico é de apresentar uma incidência baixa de afundamentos para até 0,80 pu e duração máxima de 300 ms (43), também se comparado ao Ponto P1.

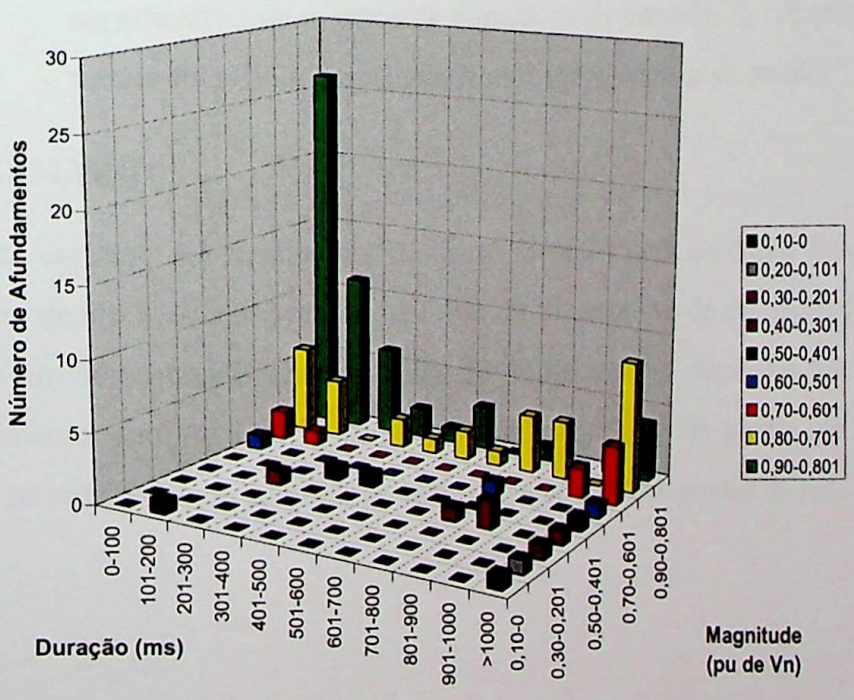


Figura IV.6 – Classificação dos Afundamentos de Tensão do Ponto P3

A incidência de afundamentos para a faixa de 0,80 até 0,50 pu (45), por outro lado, é bastante representativa, se relacionada com a faixa de 0,90 a 0,80 (56), resultando em valor de 80%.

A Tabela resumo abaixo, permite extrairmos as seguintes conclusões:

Tabela IV.1 – Análise Comparativa dos Pontos de Controle

	Até 0,8 pu			Entre 0,8 e 0,5 pu		
	P1	**P2**	**P3**	**P1**	**P2**	**P3**
Até 0,5s	220	79	46	51	71	17
Entre 0,5 e 1,0s	13	14	6	6	13	14

- P1 é muito sensível à magnitude e à duração, e pode ser considerado muito crítico quanto à incidência, embora a maioria dos eventos ocorra numa faixa menos severa.
- P2 apresenta sensibilidade à duração e pode ser considerado crítico por apresentar número elevado de eventos de magnitude mais severa.
- P3 apresenta pouca sensibilidade à duração, na faixa de 0,8 a 0,5 pu, mas pode ser considerado crítico quanto a duração por apresentar percentual significativo de eventos de duração mais elevada. É, entretanto, o ponto de menor incidência de afundamentos momentâneos de tensão.

IV.4. SUMÁRIO

Este capítulo apresentou o tratamento efetuado com os dados brutos obtidos do instrumento de medição apresentado no Capítulo III, para fins de avaliação da qualidade de energia de um determinado ponto de interesse, enfocando os afundamentos momentâneos. Esse tratamento permite o diagnóstico do comportamento do ponto, em relação a um padrão de referência, onde disponível, ou em relação a outros pontos da rede elétrica.

CAPÍTULO V – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Caminhar sempre, na certeza de chegar;
buscar sempre, na certeza de alcançar;
não desistir da luta, para vencer;
saber esperar sempre, para realizar os ideais do meu ser.

Luizinho Bastos

V.1. INTRODUÇÃO

A atividade de avaliação de desempenho de sistemas visa verificar o atendimento a determinados requisitos pré-estabelecidos. No caso da tensão, em grandes sistemas elétricos, existem pontos críticos do sistema que requerem um controle mais rigoroso, já que podem colocar em risco o sistema como um todo. Para a determinação dos requisitos, faz-se necessário estabelecer um referencial comparativo. Entretanto, as diferentes sensibilidades, nos diversos pontos do sistema, tornam esta tarefa particularmente difícil, dadas as variadas faixas de operação, tidas como aceitáveis, dependendo do ponto analisado. Entretanto, a despeito da diversidade das faixas operativas, as tensões, nos diversos barramentos, se comportam em torno de valores típicos. É por esta característica que se diagnostica a aplicabilidade de uma abordagem probabilística que sirva para avaliação do seu desempenho.

O objetivo deste capítulo é, a partir do diagnóstico efetuado conforme o capítulo anterior, avaliar-se o comportamento histórico de um determinado ponto de interesse, verificando suas tendências e antecipando decisões que possam corrigir seu comportamento, elevando-o ou trazendo-o de volta para um patamar de característica aceita como satisfatória.

V.2. APLICAÇÃO DO CEP AOS CASOS ESTUDADOS

O acompanhamento histórico dos dados tratados no capítulo anterior, permitiu a aplicação do CEP que passaremos a apresentar, com relação aos três pontos de controle cujo diagnóstico foi concluído naquele capítulo.

Considerando o tipo de informação necessária para a especificação de equipamentos de mitigação de problemas relacionados a Qualidade de Energia, os dados obtidos com os equipamentos de monitoração, na periodicidade de 2 em 2 ciclos, foram agrupados e condensados segundo as seguintes classificações:

i. Nível dos Afundamentos de Tensão (pu da tensão nominal)

ii. Duração dos Afundamentos de Tensão (ms)

iii. Número de Perturbações

Com base nessa distribuição, foi feita a avaliação estatística da média dos níveis de afundamento de tensão (NM), de suas durações (DM) e do número de perturbações (MP) que as originaram. Para os níveis e durações, foram tomadas médias de cada 7 eventos, utilizando–se, no máximo, 2 eventos de um mesmo dia, para evitar alguma possível tendência por similaridade. Para o número de perturbações, foi avaliado o total de eventos a cada 7 dias, de modo a permitir um diagnóstico de incidência ao longo do tempo. Para todas as variáveis em análise, foram tomados 25 valores, conforme Tabela V.1. As colunas NM contêm 25 médias de 7 valores de nível de afundamento em pu da tensão de 69 kV; as colunas DM contêm 25 médias de 7 valores de duração de afundamento, medidos em segundos e as colunas MP contêm 25 totalizações de eventos de afundamentos apurados a cada 7 dias.

Tabela V.1 – Valores Utilizados Para Cada Classificação dos 3 Pontos.

P1			P2			P3		
NM (pu)	**DM** (s)	**MP**	**NM** (pu)	**DM** (s)	**MP**	**NM** (pu)	**DM** (s)	**MP**
0,84	0,13	1	0,61	0,83	9	0,83	0,13	0
0,83	0,15	5	0,56	1,24	11	0,82	0,59	1
0,85	0,25	13	0,37	1,42	**26**	0,71	1,04	**8**
0,83	0,27	9	0,81	0,54	0	0,85	0,27	2
0,85	0,12	7	0,79	0,19	1	0,80	0,54	1
0,85	0,09	3	0,54	0,49	8	0,85	0,32	4
0,84	0,47	6	0,66	0,30	**18**	0,77	0,62	2
0,87	0,25	0	0,65	1,24	4	0,86	0,26	2
0,79	3,05	1	0,87	0,17	6	**0,04**	0,13	7
0,83	0,25	5	0,65	3,00	1	0,77	2,54	0
0,83	0,22	**22**	0,73	0,23	8	0,81	0,14	1
0,84	0,20	2	0,80	3,76	3	0,43	0,94	1
0,81	0,30	11	0,84	0,51	5	0,75	0,85	0
0,88	0,15	8	0,69	0,17	4	0,66	0,68	4
0,82	1,31	4	0,74	0,42	7	0,80	0,56	1
0,71	**5,24**	4	0,70	0,46	13	0,84	0,07	0
0,83	0,07	10	0,78	0,30	3	0,87	**15,60**	5
0,74	2,34	4	0,65	0,10	9	0,38	1,86	4
0,87	0,90	7	0,86	0,03	2	0,85	0,03	**8**
0,84	0,35	14	0,51	0,09	1	0,69	1,15	1
0,83	0,07	1	0,74	0,10	0	0,88	0,62	6
0,84	0,14	9	0,79	2,74	4	0,84	0,69	1
0,74	**5,60**	1	0,74	0,07	3	0,86	0,15	1
0,87	0,23	10	0,82	0,50	4	0,75	0,10	2
0,87	0,06	7	0,73	**4,08**	3	0,73	0,33	0

Justificam-se os valores iguais a 0, nas variáveis de número total de perturbações, pelo fato de poderem ter decorrido períodos de 7 dias, sem que tivesse ocorrido qualquer afundamento de tensão.

A partir dessas avaliações foi obtida a Tabela V.2, a seguir, que contém a média das médias tomadas, e o desvio padrão desses valores.

Tabela V.2 – Média das Médias e Desvio Padrão das Amostras

Variável	Estatística	Ponto P1	Ponto P2	Ponto P3
NM (pu)	Média	0,8280	0,7052	0,7376
	D.padrão	0,0417	0,1189	0,1706
DM (s)	Média	0,8884	0,9192	1,2084
	D.padrão	1,2071	1,0025	1,5908
MP	Média	6,5600	6,1200	2,4800
	D.padrão	2,5612	2,4739	1,5748

Pelo fato de alguns dados terem comportamento atípico, e isso poder ter-se refletido nas médias, foi realizada uma homogeneização das mesmas, calculando a nova média global e o novo desvio-padrão de todas essas médias. Em seguida, foram eliminadas as médias que extrapolaram o limite de 3 desvios-padrões. Para esse conjunto reduzido, foram recalculados a média e o desvio-padrão, conforme apresentado na Tabela V.3, obtendo-se os parâmetros necessários à construção das Cartas de Controle. Essa Carta será a referência para avaliarmos o comportamento dos três pontos selecionados, em meses posteriores. Para realizar a homogeneização, foi retirada uma das médias do Número de Perturbações do ponto P1 e duas dos pontos P2 e P3; uma das médias da variável Nível de Afundamentos do ponto P3, e uma das médias da variável Duração dos Afundamentos de Tensão dos pontos P2 e P3 e duas de ponto P1, identificadas em negrito na Tabela V.1.

Essa estatística reflete o comportamento observado nos gráficos tridimensionais, à exceção da média de duração dos eventos do Ponto P1, devido a umas poucas ocorrências com tempo elevado. Entretanto, no que se refere aos níveis atingidos, bem como à média de perturbações, verifica-se que a estatística apresentada representa bem a população. Registra-se que os pontos observados não apresentam, necessariamente, resultados de mesmo mês.

Para o cálculo das médias e dos desvios-padrões amostrais, para NM e DM, tanto da

Tabela V.2 como V.3, foram utilizadas as equações (V.1) e (V.2), respectivamente, e o coeficiente ***d2*** apresentado no apêndice A, para n=2, uma vez que as amplitudes são calculadas para cada duas amostras adjacentes, e delas advém o valor do desvio-padrão. Para MP, o desvio-padrão é dado pela raiz quadrada da média.

$$\text{Média das médias} = (m_1+m_2+...+m_k) / k \qquad (V.1)$$

$$\text{Desvio-padrão amostral} = (r_1 / d2 + ... + r_k / d2) / k \qquad (V.2)$$

onde k é o número de amostras.

Tabela V.3 – Média das Médias e Desvio Padrão das Amostras, após Homogeneização

Variável	Estatística	Ponto P1	Ponto P2	Ponto P3
NM (pu)	Média	0,8280	0,7052	0,7667
	D.padrão	0,0417	0,1189	0,1218
DM (s)	Média	0,4943	0,7875	0,6087
	D.padrão	0,5676	0,9082	0,6011
MP	Média	5,9167	4,7391	2,0000
	D.padrão	2,4324	2,1770	1,4142

Para os casos de nível e duração dos afundamentos de tensão, aplicaremos as cartas de controle $\overline{\mathbf{X}}$ (média das médias) e **R** (amplitude), para o controle da média e da amplitude das amostras, respectivamente, por estarmos tratando de variáveis, conforme mencionado no subitem II.5.1. Para os casos de número de perturbações, estaremos utilizando a carta de controle de atributo – **C**, pelo fato de estar sendo avaliada, nesse aspecto, apenas a ocorrência ou não de afundamentos (número de defeitos), e não suas características intrínsecas, e pelo fato de estarmos avaliando eventos cuja média depende do tamanho da amostra utilizada, mas seus limites de controle não devem ser afetados pelo tamanho dessa amostra.

Com base nos dados da população que gerou as Tabelas V.1 e V.3, foram elaboradas as Cartas de Controle, a partir da utilização do "software" Statistica 6.0, no seu módulo de Controle de Qualidade.

Ressalta-se que os pontos em vermelho, destacados nos gráficos, que extrapolam os limites de controle, são os que estarão correspondendo a alguma das condições de baixa probabilidade de ocorrência, citadas anteriormente, na Tabela II.6, e caracterizam "pontos

fora da curva" ou "outliers" que permaneceram, mesmo após a homogeneização dos dados.

Os valores de média e sigma apresentados no título da Carta $\overline{X}$ (X-BAR) são os apresentados na Tabela V.3.

Os valores de média e sigma apresentados no título da Carta R (Range) são calculados conforme as equações (V.3) e (V.4):

$$\text{Média das amplitudes} = (r_1 + r_2 + \ldots + r_k) / k \qquad \text{(V.3)}$$

$$\text{Sigma} = \text{Média das amplitudes} \cdot \frac{d3}{d2} \qquad \text{(V.4)}$$

Onde k é o número de amostras, e d2 e d3 são os coeficientes tabelados no Apêndice A, para n=2, pois a amplitude é dada pela diferença entre duas amostras adjacentes.

Cartas de Controle para P1

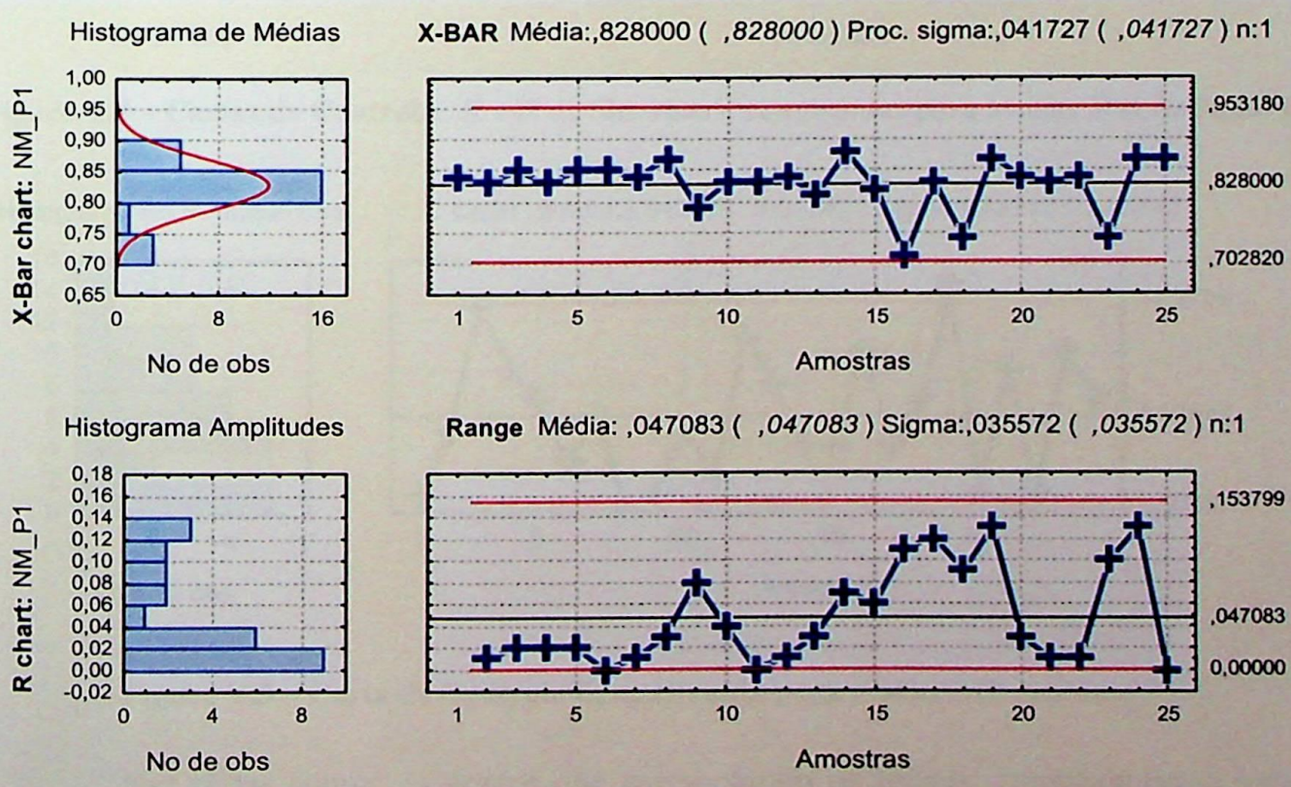


Figura V.1 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar NM do Ponto P1

Na Carta acima, estão plotados todos os pontos apresentados na coluna NM do

Ponto P1, da Tabela V.1. As linhas-limites correspondem aos valores resultantes da soma da média mais 3 sigma e da média menos 3 sigma, desde que não-negativos. No caso de resultados negativos, o limite atribuído é de 0. Isso é válido para as demais cartas apresentadas a seguir, excluindo-se apenas os valores que aparecem em negrito na referida Tabela.

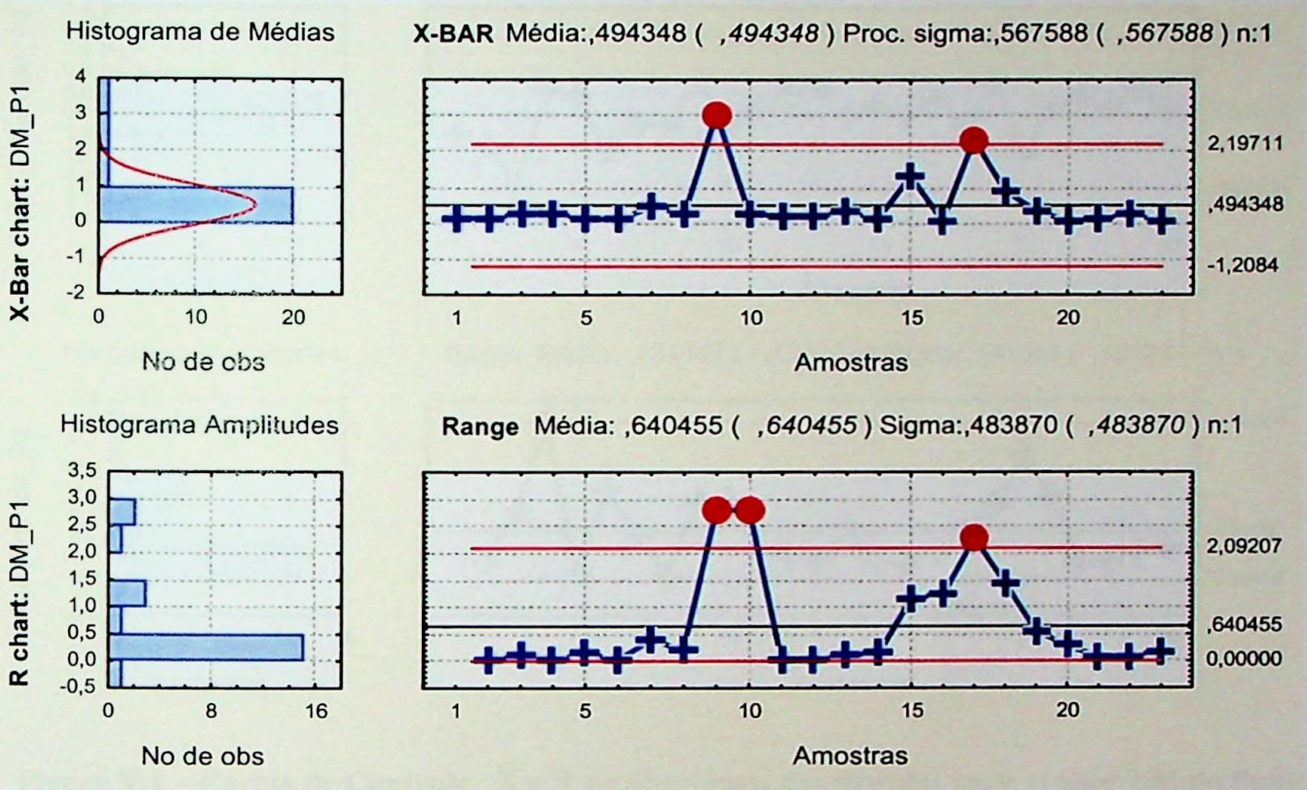


Figura V.2 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar DM do Ponto P1

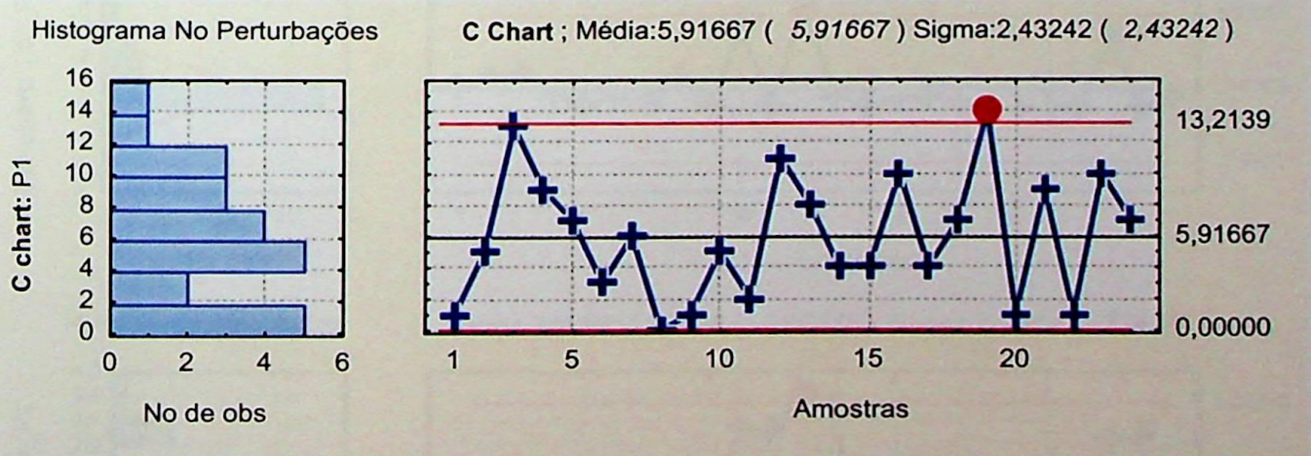


Figura V.3 – Carta de Controle C, construída para avaliar MP do Ponto P1

Nas cartas acima, os pontos que extrapolaram os limites, correspondem a valores extremos que permaneceram, mesmo após a homogeneização. Isso se deve ao fato de que, ao serem expurgados os primeiros "outliers", a média e o sigma das amostras também se

alterou e com isso, alguns valores que antes estavam dentro dos limites, vieram a extrapolá-lo.

Cartas de Controle para P2

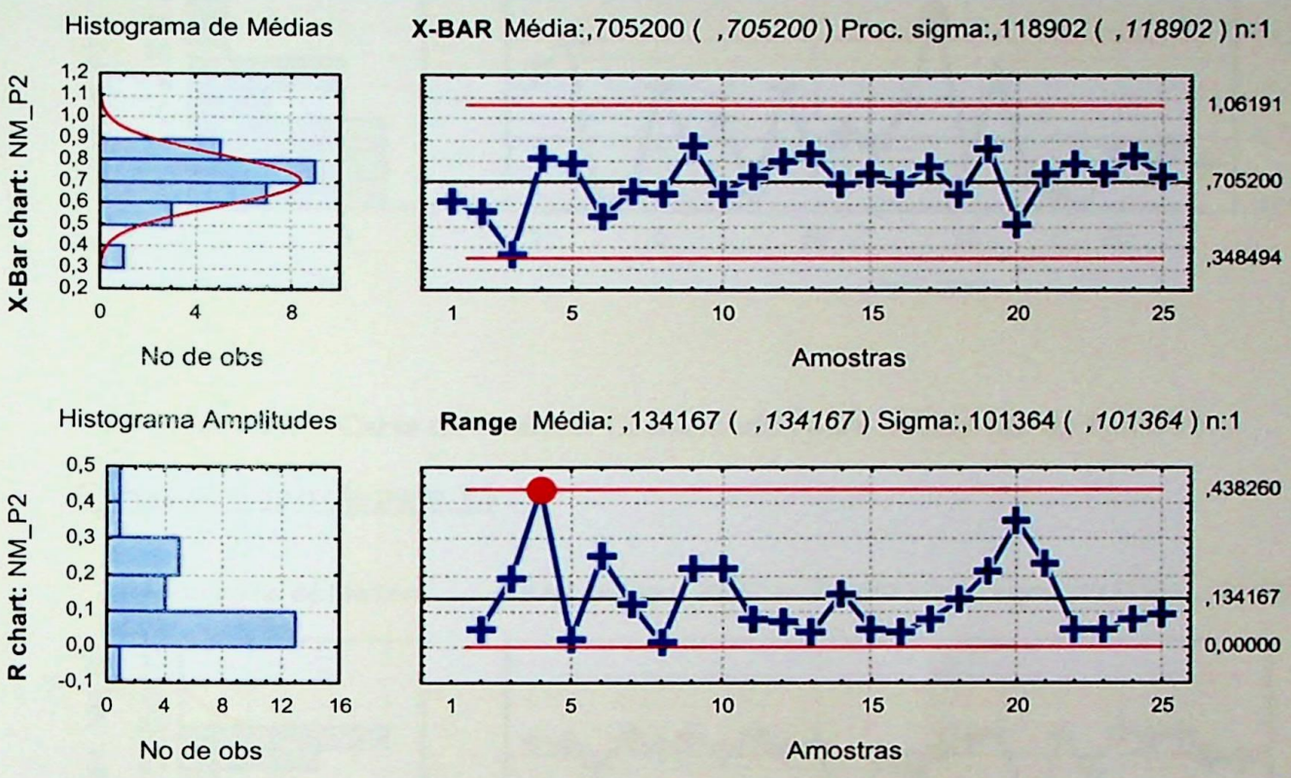


Figura V.4 – Cartas de Controle $\bar{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar NM do Ponto P2

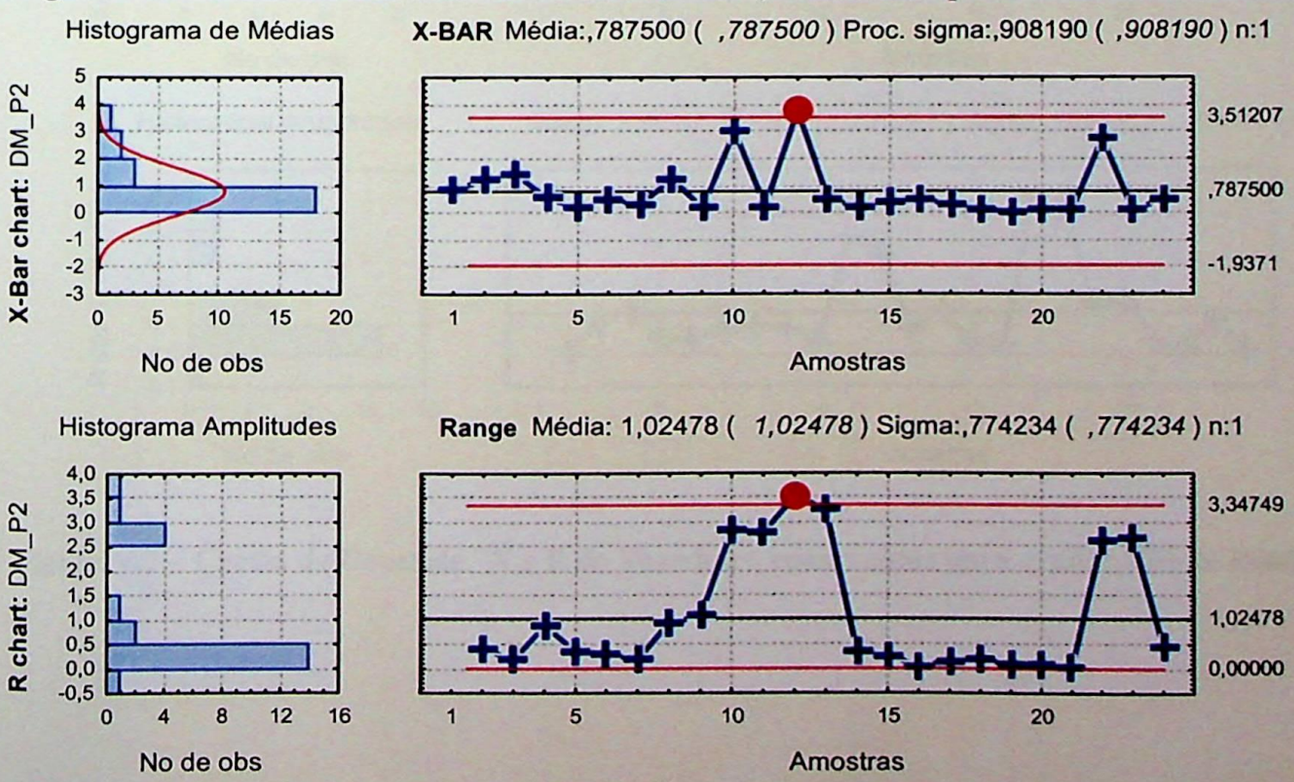


Figura V.5 – Cartas de Controle $\bar{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar DM do Ponto P2

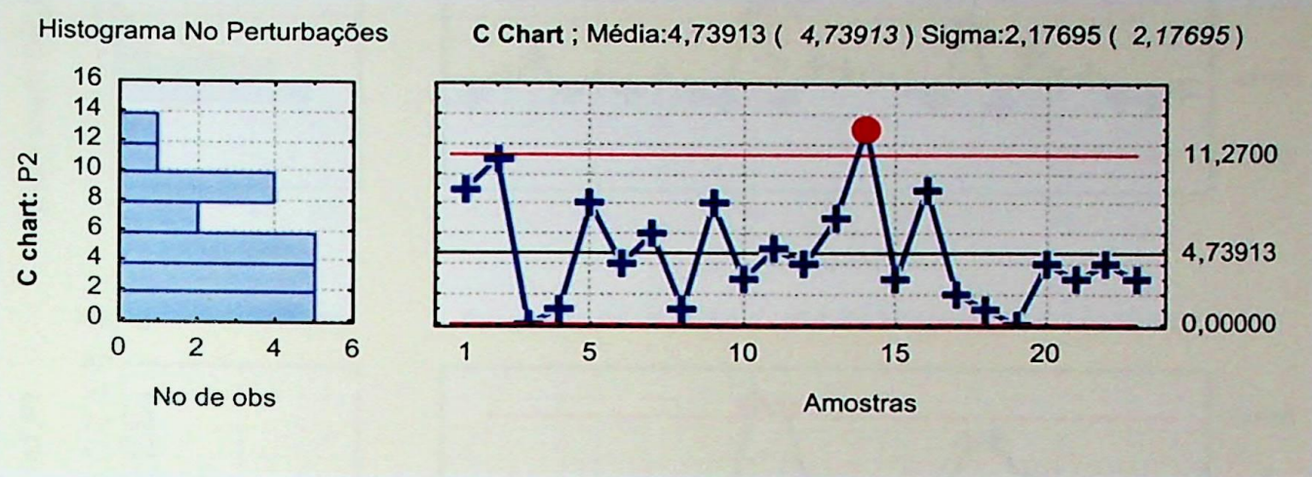


Figura V.6 – Carta de Controle C, construída para avaliar MP do Ponto P2

Cartas de Controle para P3

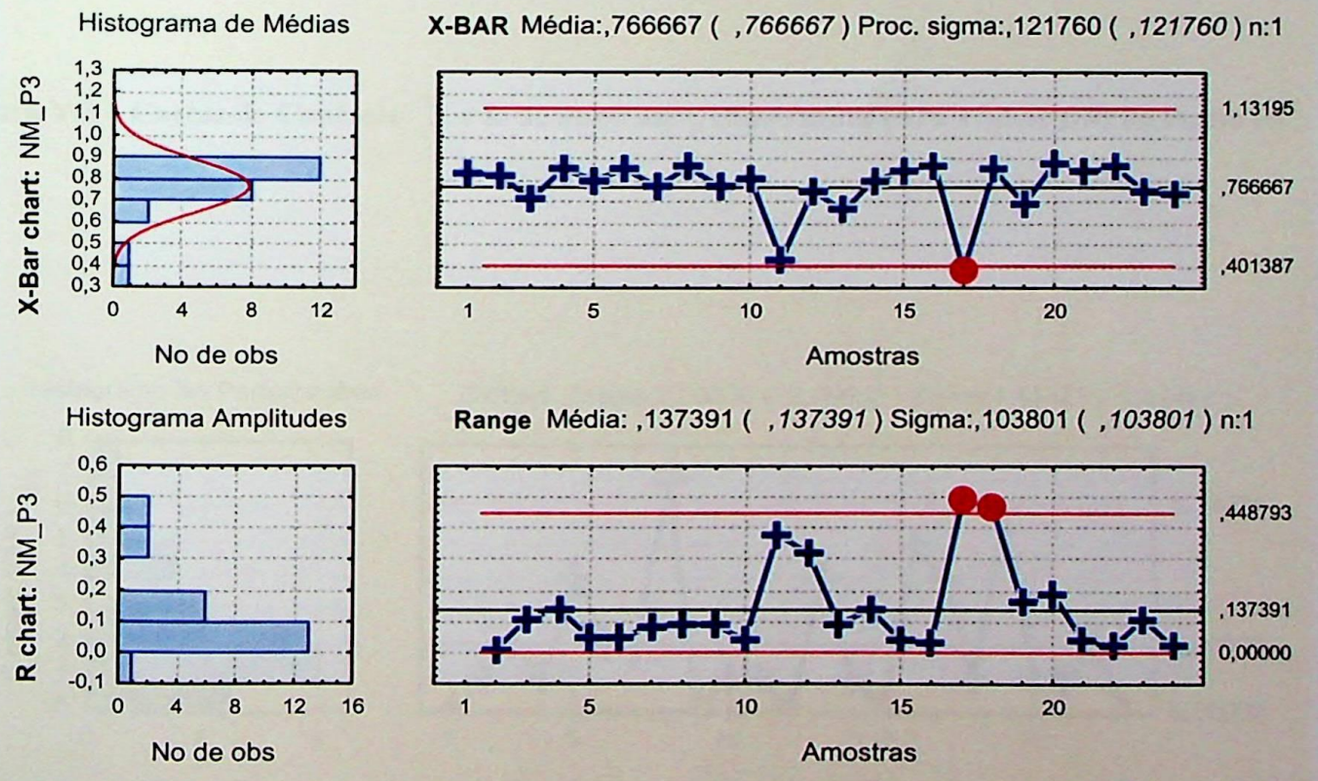


Figura V.7 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar NM do Ponto P3

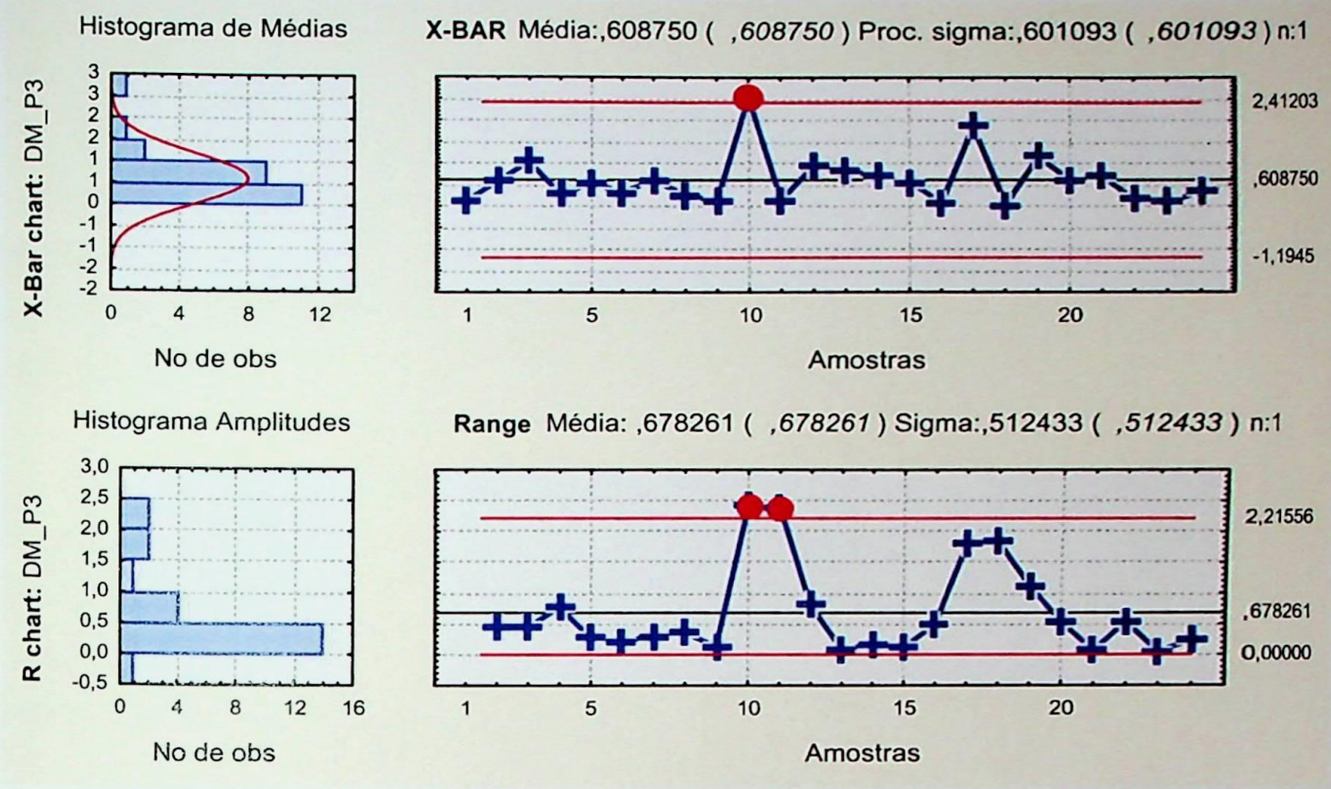


Figura V.8 – Cartas de Controle $\overline{X}$ e R de Shewhart, construídas para avaliar DM do Ponto P3

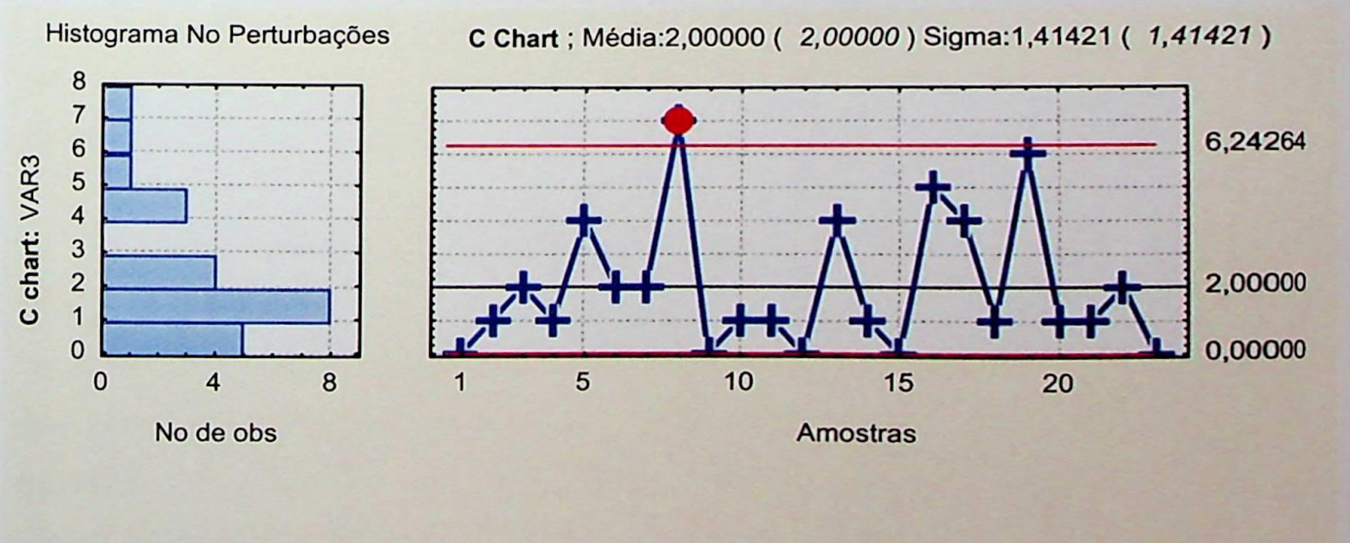


Figura V.9 – Carta de Controle C, construída para avaliar MP do Ponto P3

A partir das Cartas apresentadas acima, passaremos a testar medições posteriores dos Pontos P1, P2 e P3, quanto aos aspectos mencionados. Nos gráficos que se seguem,

serão verificados valores diferentes para Média e Sigma, dentro e fora dos parênteses. Os valores entre parênteses se referem aos parâmetros das Cartas. Em outras palavras, seriam os valores "desejáveis" para as novas amostras. Os valores fora dos parênteses são os valores reais correspondentes a Média e Sigma das amostras testadas. Abaixo de cada gráfico, está inserida a tabela referente aos resultados dos testes das amostras, onde serão identificadas as violações que caracterizarão a condição "fora de controle estatístico", quando for o caso.

Para o Ponto P1, devido à sua elevada incidência de perturbações, serão testadas 16 médias para número de perturbações e 8 para nível e duração média; para o Ponto P2, 13 para número de perturbações e 4 para nível e duração média, e para o Ponto P3, apenas 3, quanto a duração e nível de afundamento, e 17, quanto a número de perturbações. Estes dados estão apresentados no Apêndice E.

Nos casos em que a amostra para teste é de apenas 3 ou 4 médias, realizaremos apenas a verificação da existência de amostras que extrapolem o limite de 3 desvios-padrões, e a verificação da existência de 2 de 3 amostras na região compreendida entre 2 e 3 desvios-padrões ou além dela. Os casos não testados, por insuficiência de amostras, aparecem sombreados na tabela.

Nos casos de 8, poderemos verificar 4 dos 7 aspectos propostos; no caso de 13, serão verificados 5 dos 7 aspectos propostos, e nos casos de 16 e 17 médias, poderão ser testados todos os aspectos apresentados.

Ressalta-se, entretanto, que isso não compromete a utilização das Cartas, pois não é necessária a verificação de todas as condições citadas na Tabela II.6, para identificar se um determinado ponto está fora de controle estatístico. Cabe notar que, em se tratando de uma variável apurada anualmente, não faria sentido esperar 6, 9 ou mais anos, para identificar a necessidade de atuar sobre o sistema. Entretanto, no caso de sistemas elétricos, dentre outros, e sob o aspecto analisado, qual seja, afundamentos momentâneos de tensão, entende-se que têm relevância a incidência de pontos recentes fora dos limites de controle, para chamar a atenção quanto à repetição do fato, e a caracterização de crescimento das durações e número de afundamentos e decrescimento dos níveis atingidos. Essa caracterização corresponde ao quarto e ao segundo testes, respectivamente.

Testes do Ponto P1

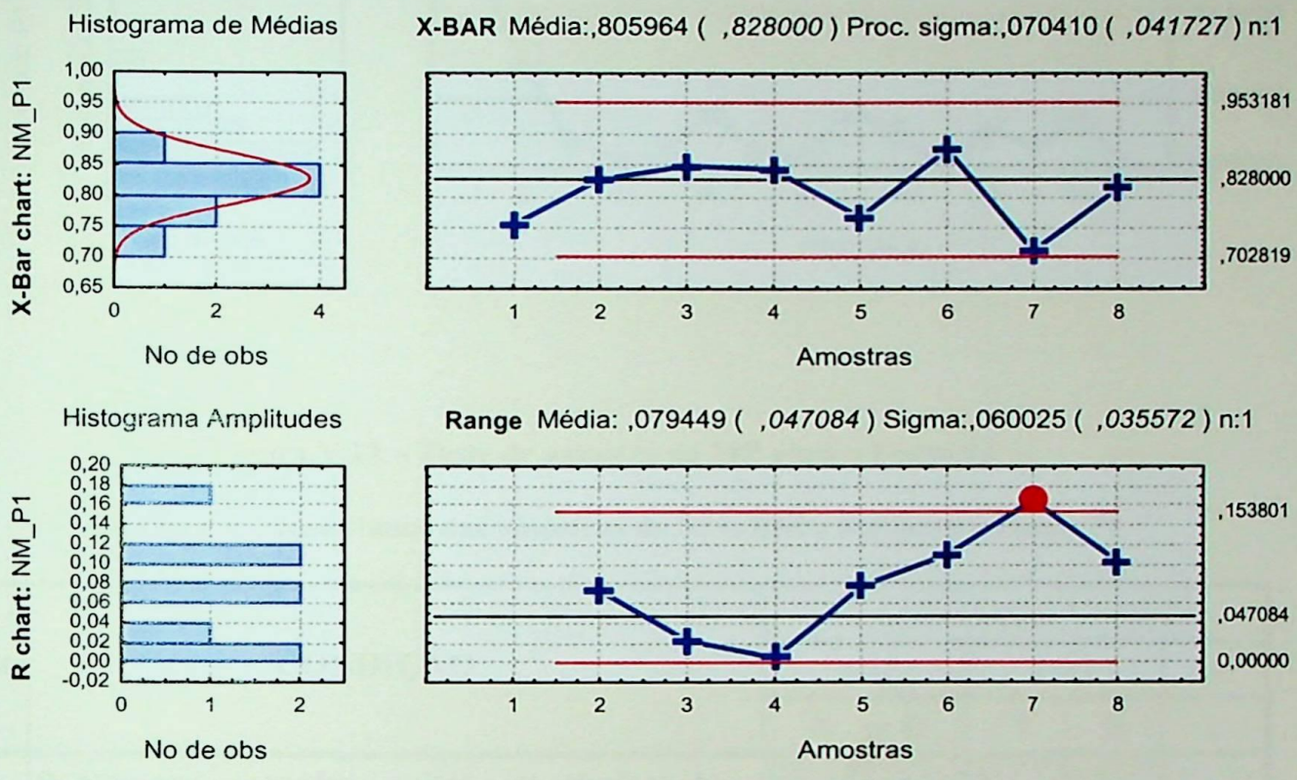


Figura V.10 – Teste de amostra de NM para o Ponto P1

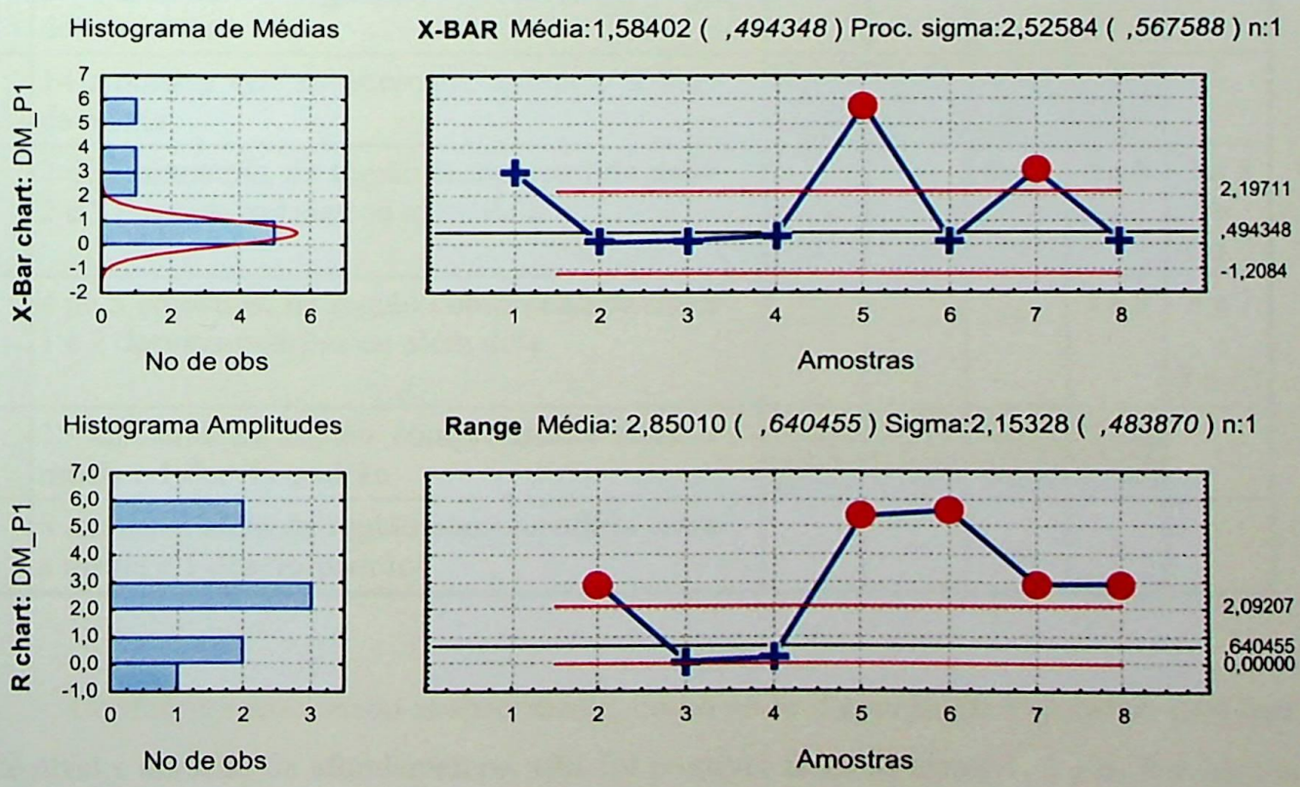


Figura V.11 – Teste de amostra de DM para o Ponto P1

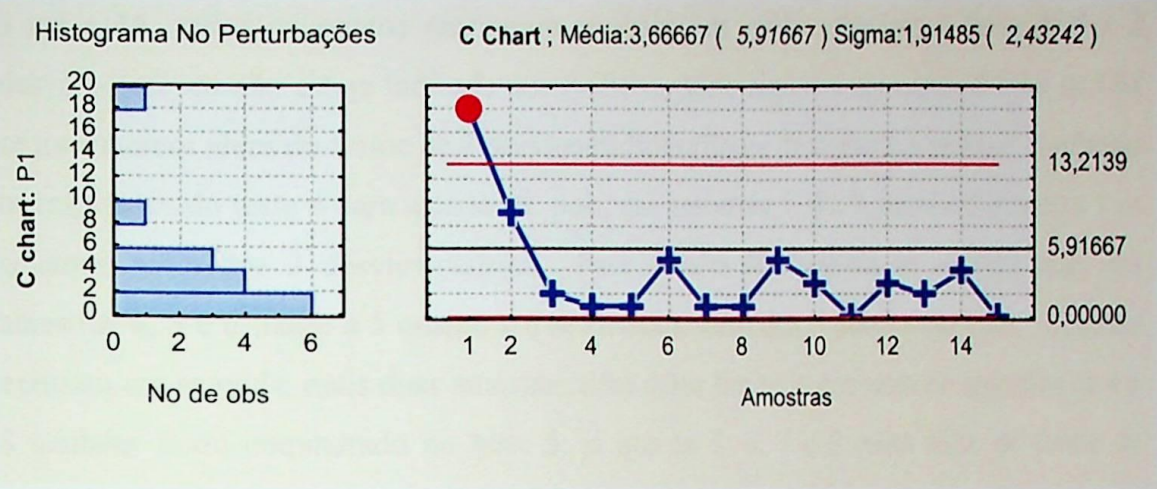


Figura V.12 – Teste de amostra de MP para o Ponto P1

Tabela V.4 – Resultados das amostras de NM, DM e MP para o Ponto P1

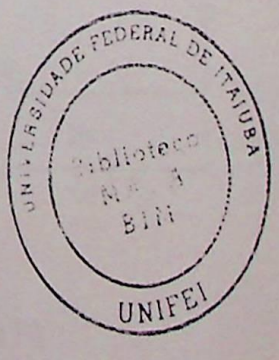
Teste	CONDIÇÃO	Amostras com Violação				
		NM		DM		MP
		$\bar{X}$	R	$\bar{X}$	R	C
1	9 amostras seguidas, acima ou abaixo da média					3 a 11
2	6 amostras seguidas, crescentes ou decrescentes	-	-	-	-	-
3	14 amostras que se alternam, acima e abaixo da média					-
4	2 de 3 amostras, na região compreendida entre 2 e 3 desvios-padrões ou além dela	-	-	5 a 7	4 a 6	3 a 5 e 6 a 8
5	4 de 5 amostras, na região compreendida entre 1 e 2 desvios-padrões ou além dela	-	-	-	4 a 8	3 a 7 e 8 a 12
6	15 amostras na região compreendida entre a média e 1 desvio-padrão					-
7	8 amostras além da região compreendida entre a média e 1 desvio-padrão	-	-	-	-	-

Conforme mencionado anteriormente, como só se dispunha de 8 amostras para teste de nível e duração de afundamentos, não foi possível fazer os testes 1, 2 e 6. Por isso, os campos correspondentes a NM e DM das cartas $\bar{X}$ e **R** estão sombreados. O resultado do teste 1 para MP pode ser constatado pela Figura V.12, na qual se observa que, da amostra

3 até a 15, todos os pontos encontram-se abaixo da média. Embora a faixa de 1 a 2 desvios-padrões não esteja indicada nos gráficos, como algumas amostras de teste de DM se localizaram além do limite de 3 desvios-padrões (limite de controle), pode-se confirmar os resultados do teste 4 para a carta $\bar{X}$ pois, das amostras 5, 6 e 7, tanto a 5 quanto a 7 se situaram além dos 3 desvios-padrões. Para a carta **R**, também se constata que, das amostras 4, 5 e 6, tanto a 5 quanto a 6 se situaram além dos 3 desvios-padrões. E, como existiam em seguida, mais duas amostras além desse limite, o conjunto de amostras de 4 a 8 também ficou enquadrado no teste 5, já que as 5, 6, 7 e 8 estão além do limite de controle. Finalmente, para a carta **C**, foi utilizado o mesmo critério de enquadramento. A falta da identificação das faixas de 1 a 2 desvios-padrões e de 2 a 3 desvios-padrões nos gráficos, dificulta a constatação do resultado, porém o "software" Statistica apresenta estes resultados tabelados.

A interpretação para as violações observadas na Carta $\bar{X}$ é de que houve casos de afundamentos momentâneos de duração elevada, que podem ser novos pontos fora da curva, conforme identificado na Carta de Controle elaborada para referência. Com isso, a dispersão representada pela diferença entre as amostras adjacentes ocasionou as violações da Carta **R**.

Com relação à Carta **C**, verifica-se uma clara tendência à redução do número de eventos de afundamentos momentâneos de tensão. Neste caso, o diagnóstico de que o processo está fora de controle estatístico revela uma condição positiva do sistema. Deve-se buscar representar esta nova condição do ponto analisado e compor nova carta de controle para acompanhamento desse aspecto. Associando esse comportamento ao sistema físico, pôde-se confirmar a ocorrência de investimentos de transmissão na área, que fortaleceram o sistema elétrico que alimenta este ponto, tornando-o menos susceptível aos curtos na sua vizinhança elétrica.



Testes do Ponto P2



Figura V.13 – Teste de amostra de NM para o Ponto P2

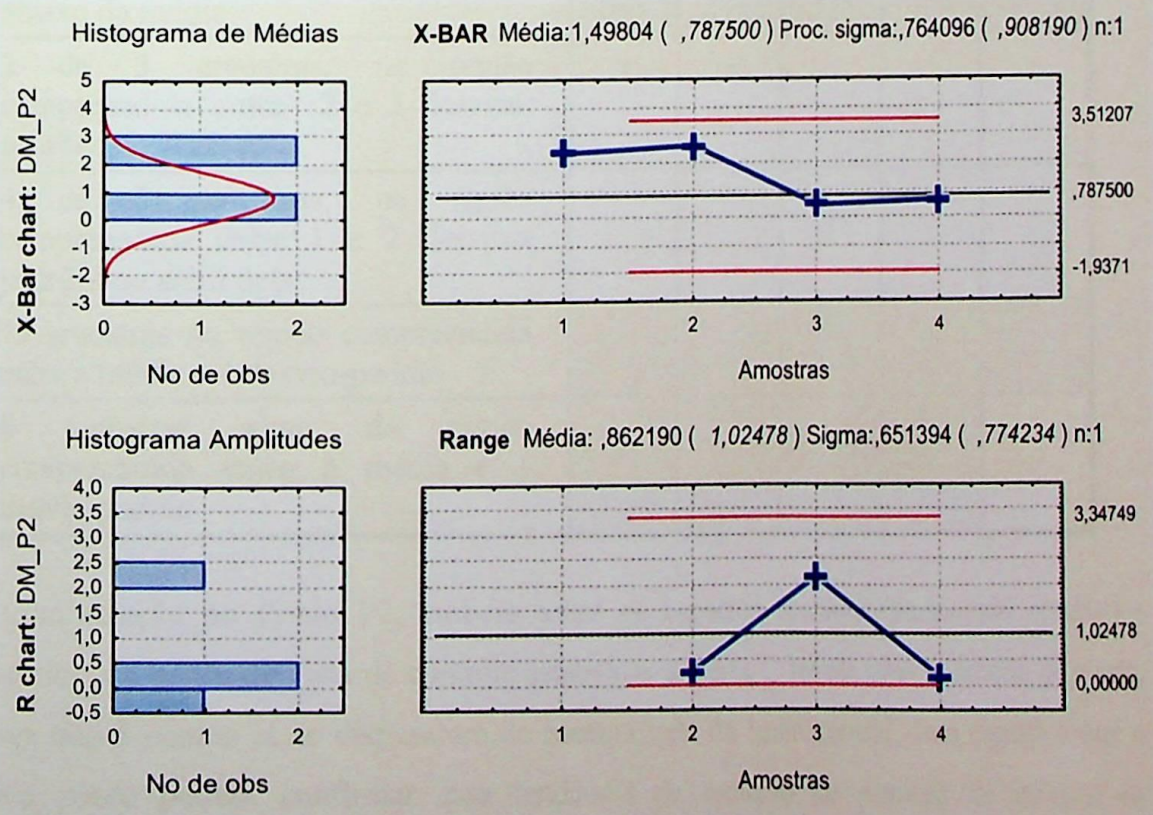


Figura V.14 – Teste de amostra de DM para o Ponto P2

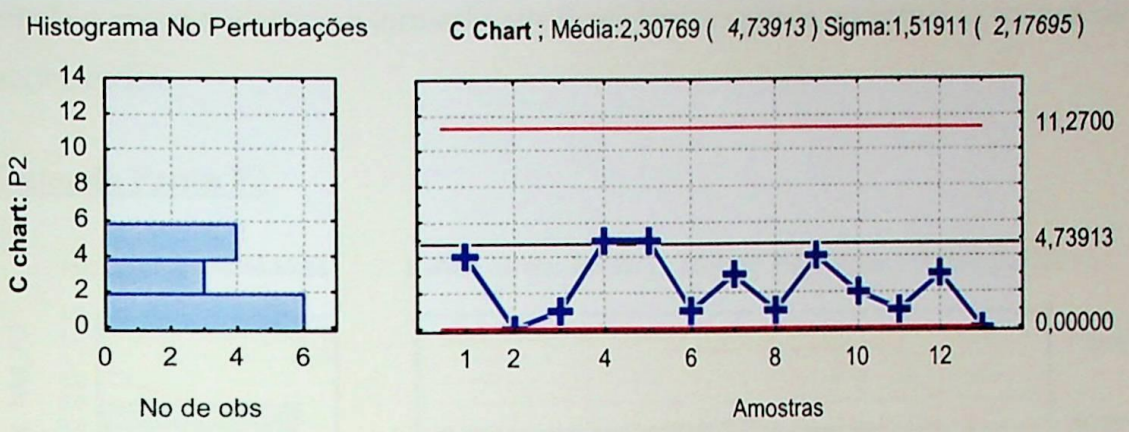


Figura V.15 – Teste de amostra de MP para o Ponto P2

Tabela V.5 – Resultados das amostras de NM, DM e MP para o Ponto P2

CONDIÇÃO	Amostras com Violação				
	NM		DM		MP
	$\bar{X}$	R	$\bar{X}$	R	C
9 amostras seguidas, acima ou abaixo da média					-
6 amostras seguidas, crescentes ou decrescentes					-
14 amostras que se alternam, acima e abaixo da média					
2 de 3 amostras, na região compreendida entre 2 e 3 desvios-padrões ou além dela	-	-	-	-	-
4 de 5 amostras, na região compreendida entre 1 e 2 desvios-padrões ou além dela	-	-	-	-	-
15 amostras na região compreendida entre a média e 1 desvio-padrão					
8 amostras além da região compreendida entre a média e 1 desvio-padrão					-

Com relação ao Ponto P2, embora todos os aspectos tenham apresentado resultados satisfatórios, do ponto de vista de controle estatístico, a Carta C revela uma condição de alerta, uma vez que 8 pontos já se dispuseram do mesmo lado da linha central. Isso significa que o próximo ponto poderá confirmar essa tendência de redução do número de eventos de afundamentos de tensão. De fato, associando ao sistema físico que alimenta este Ponto, semelhantemente ao Ponto P1, também foram identificados alguns reforços de transmissão,

fortalecendo o sistema elétrico e tornando este Ponto também menos susceptível a curtos na sua vizinhança elétrica.

Testes do Ponto P3

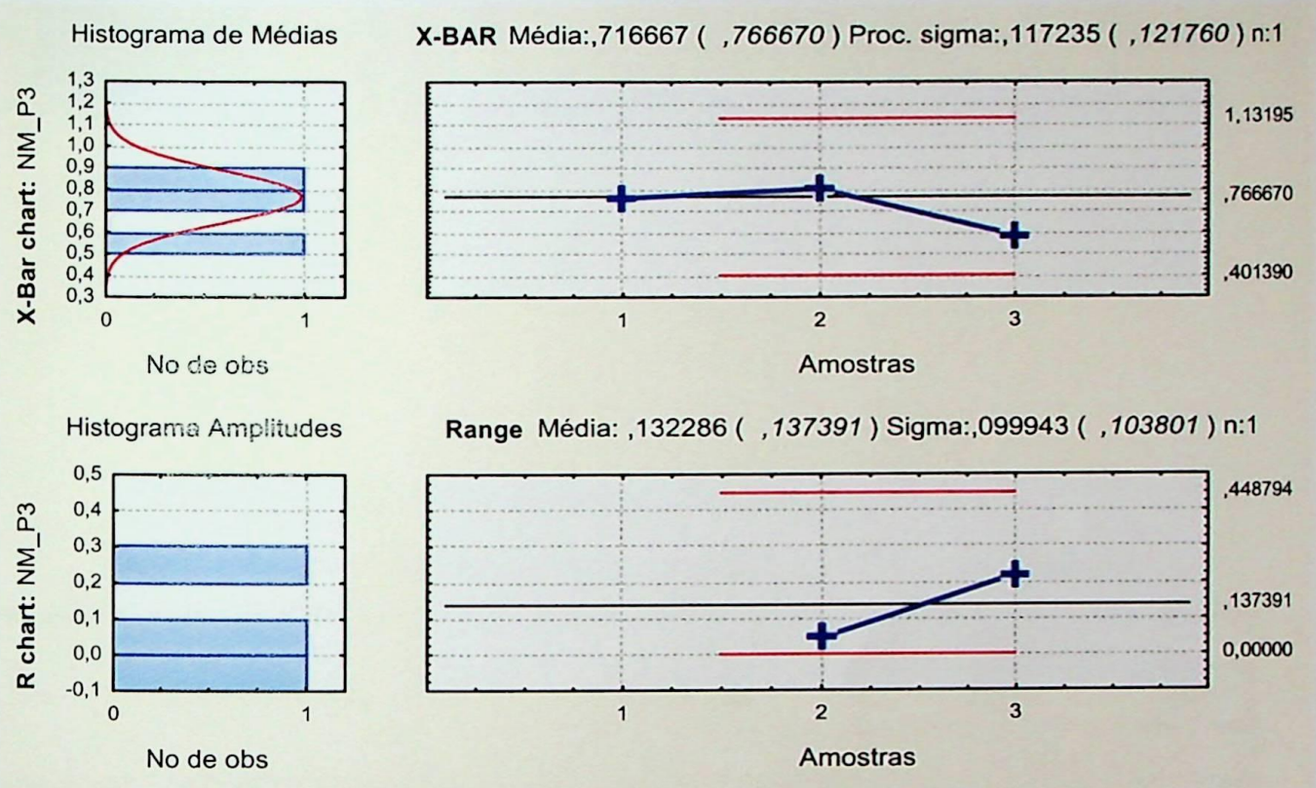


Figura V.16 – Teste de amostra de NM para o Ponto P3

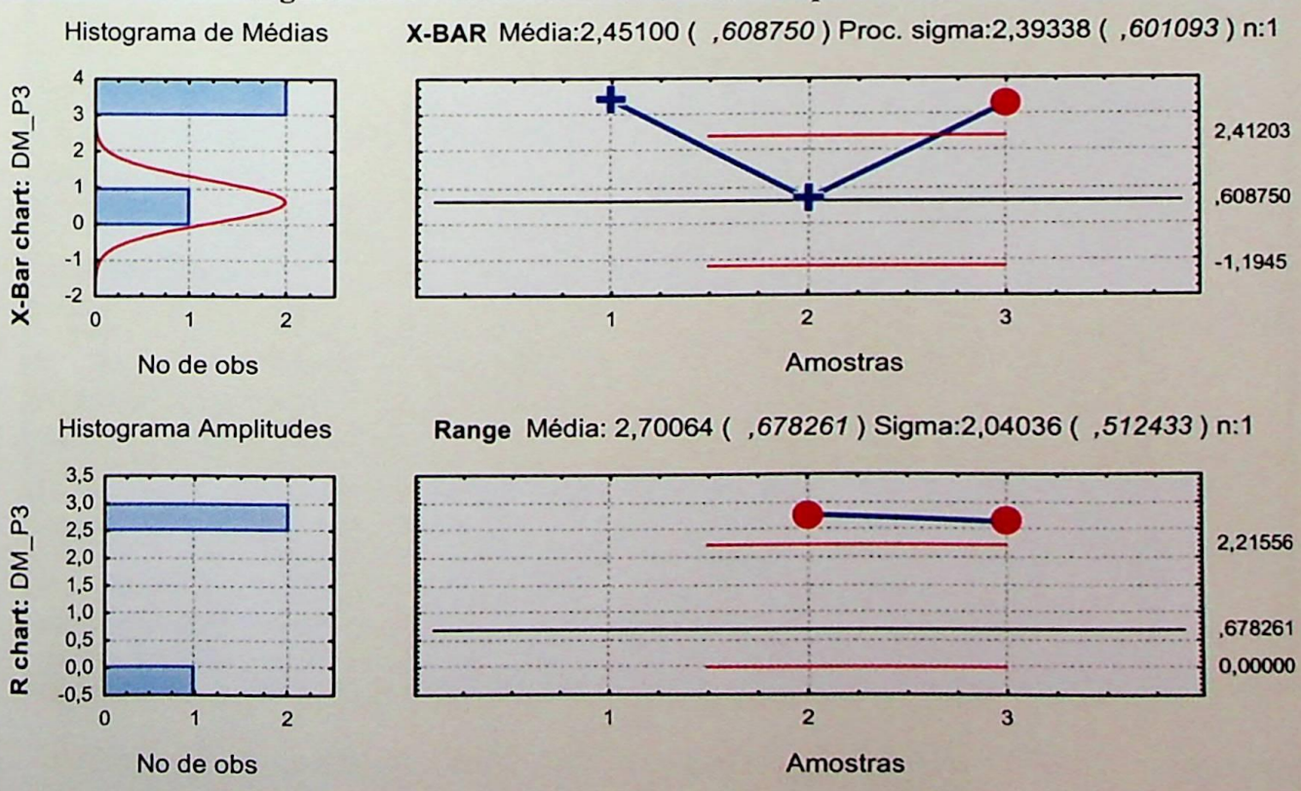


Figura V.17 – Teste de amostra de DM para o Ponto P3

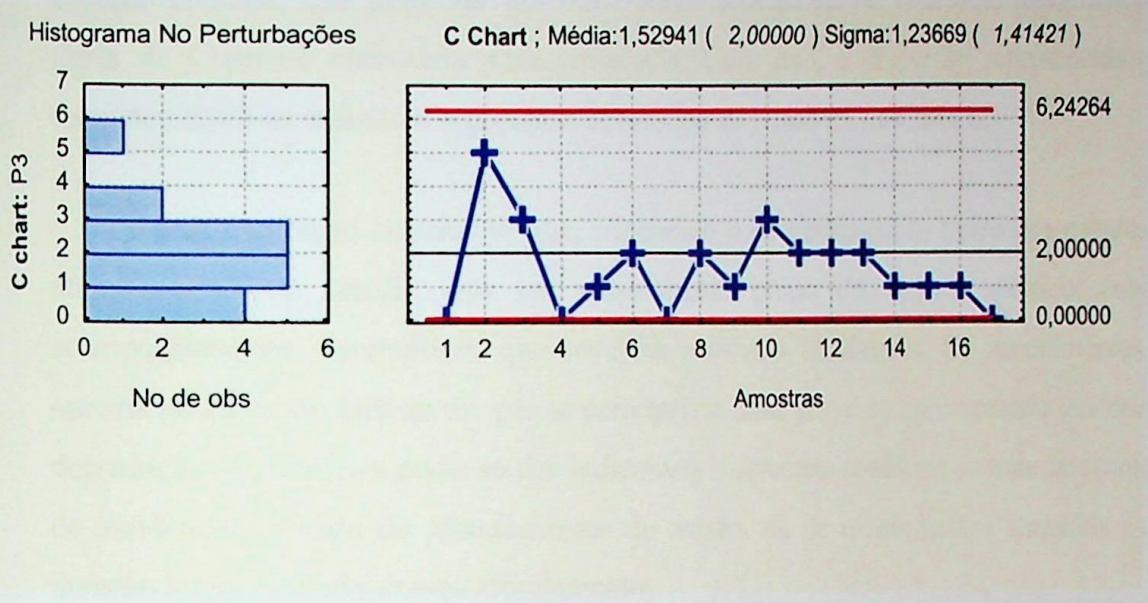


Figura V.18 – Teste de amostra de MP para o Ponto P3

Tabela V.6 – Resultados das amostras de NM, DM e MP para o Ponto P3

CONDIÇÃO	Amostras com Violação				
	NM		DM		MP
	$\bar{X}$	R	$\bar{X}$	R	C
9 amostras seguidas, acima ou abaixo da média					-
6 amostras seguidas, crescentes ou decrescentes					-
14 amostras que se alternam, acima e abaixo da média					-
2 de 3 amostras, na região compreendida entre 2 e 3 desvios-padrões ou além dela	-	-	1 a 3	1 a 3	-
4 de 5 amostras, na região compreendida entre 1 e 2 desvios-padrões ou além dela					-
15 amostras na região compreendida entre a média e 1 desvio-padrão					-
8 amostras além da região compreendida entre a média e 1 desvio-padrão					-

Semelhantemente ao Ponto P1, a interpretação para as violações observadas na Carta $\bar{X}$, referente ao Ponto P3, é de que houve um caso de afundamento momentâneo de

duração elevada, que pode ser um novo ponto fora da curva, conforme identificado na Carta de Controle elaborada para referência. Com isso, a dispersão representada pela diferença entre as amostras adjacentes ocasionou as violações da Carta R.

Dessa avaliação conclui-se que, conhecido o comportamento típico dos eventos de afundamentos de tensão, em um determinado ponto do sistema elétrico, cabe o acompanhamento sistemático, que revelará possíveis tendências. Os investimentos no sistema poder-se-ão balizar no que se caracterizar mais grave ou apresentando tendência a degradação. As análises poderão dar indicativos diferentes, conforme se trate de problema de incidência elevada de afundamentos de tensão, ou de níveis baixos atingidos ou de duração longa, quando desses afundamentos.

V.3. SUMÁRIO

Este capítulo apresentou o tratamento estatístico que pode ser aplicado ao histórico de dados relacionados a Qualidade de Energia, exemplificando para os casos de afundamentos momentâneos, e que permite a identificação prévia de tendências, possibilitando a adoção de medidas corretivas compatíveis.

Destaca-se a efetiva representação, nas Cartas de Controle, dos fatos físicos que afetaram a topologia da rede analisada, conforme verificado para os Pontos P1 e P2, onde se constataram reduções do número de afundamentos momentâneos de tensão (MP). Outra constatação relevante é que, o fato do processo poder ser diagnosticado como fora de controle estatístico, não necessariamente indica uma condição negativa do processo. Novas Cartas de Controle podem ser elaboradas, visando a acompanhar o novo desempenho do sistema analisado. De um modo geral, a natureza da variável analisada e a sua tendência é que evidenciarão um desempenho melhor ou pior, ao ser diagnosticada como fora de controle estatístico.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES

Se não houver frutos, valeu a beleza das flores;
Se não houver flores, valeu a sombra das folhas;
se não houver folhas, valeu a intenção das sementes.

Henfil

Nos últimos anos, as cargas mudaram de comportamento bem como cresceram em quantidade. Décadas atrás, havia apenas motores e lâmpadas incandescentes, cargas robustas a perturbações e não perturbadoras. Hoje, por um lado, temos também fornos a arco, retificadores industriais e aparelhos eletrônicos que podem causar afundamentos e distorções nas formas de onda da tensão e da corrente e, por outro lado, temos computadores, controladores lógicos industriais e processos ultra-rápidos que não admitem distorções de tensão ou de corrente e muito menos variações em seus níveis. Os consumidores assim passam a afetar uns aos outros e também à concessionária de energia elétrica.

Os fenômenos que afetam a Qualidade de Energia Elétrica têm sido mais e mais estudados, tanto no que se refere à identificação de seus reflexos no sistema elétrico, quanto aos métodos e equipamentos de mitigação. Para isso, diversas iniciativas de medir e avaliar esses fenômenos vêm sendo implementadas por parte de Empresas de Energia Elétrica e grandes consumidores, existindo também ações promovidas pela própria ANEEL, no sentido de que sejam efetuadas medições até o nível residencial.

Deve-se reconhecer, entretanto, que um tratamento sistemático dos dados obtidos, com os diversos equipamentos de monitoração, não tem sido suficientemente explorado. Nesse sentido, têm-se constatado ações do ONS, visando reunir diversas medições e aplicar um tratamento comum.à massa de dados obtida dos mais variados medidores e disponibilizada por várias Empresas do setor.

O processo de tratamento de dados, apresentado neste trabalho, com a aplicação da metodologia de Controle Estatístico do Processo, permite o acompanhamento dos reflexos desses fenômenos, e o gerenciamento dos resultados, de forma pró-ativa, identificando tendências de degradação da Qualidade da Energia nos diversos pontos do sistema elétrico, em tempo de se atuar corretivamente onde for necessário. A forma sistemática de acompanhamento proposta permite também que se conheçam as características do próprio

sistema, bem como o diagnóstico de seus pontos fracos, além de subsidiar análises que possam vir a indicar o que pode ser considerado aceitável e típico, em termos de afundamentos momentâneos de tensão. A partir desses resultados é que se poderia passar para a definição de padrões de referência, levando em conta os diferentes desempenhos que são observados.

Das análises efetuadas neste trabalho, pôde-se confirmar que o comportamento de um determinado ponto do sistema elétrico, com relação a afundamentos momentâneos de tensão, está intrinsecamente associado à topologia da rede. Recomenda-se, portanto, que a definição de padrões de referência passe por uma avaliação de comportamento típico de diversos pontos, conforme efetuado no capítulo IV, possivelmente agrupando-os por similaridade e estabelecendo padrões compatíveis com esse comportamento e com um desempenho desejável. Essa ponderação é fundamental, bem como a análise da viabilidade de realização dos necessários investimentos que poderão alterar a topologia da rede e, por conseguinte, trazer melhorias ao desempenho global do sistema elétrico brasileiro.

O trabalho mostrou como utilizar dados de campo, coletados de forma sistemática, e extrair informações relevantes para o atual cenário do sistema elétrico nacional e internacional, no qual estão inseridas cargas sensíveis e cargas perturbadoras. A Dissertação apresentou uma metodologia de acompanhamento histórico de pontos de interesse, que permite diagnosticar o comportamento típico de um ponto e identificar possíveis desvios desse desempenho, viabilizando a tomada de providências, no sentido de restaurar uma condição desejável, ou mesmo de melhorá-la. Essa avaliação é particularmente importante para as cargas que venham a se conectar à Rede pois, ao expor o seu comportamento histórico, viabiliza a preparação de medidas protetoras eficazes para a preservação da mesma.

A precisão de horários e períodos de distúrbios, conforme apresentado no Apêndice B, também sugere a associação da avaliação de desempenho, sob o aspecto da Qualidade da Energia Elétrica, com a avaliação da confiabilidade do ponto, quanto à incidência desses distúrbios em determinados horários. Esse assunto pode suscitar estudos adicionais e trazer resultados também de interesse dos acessantes do Sistema Interligado Nacional, sendo um tópico a ser trabalhado em futuras pesquisas.

NOTA

Algumas atividades relacionadas com a elaboração desta Dissertação foram parcialmente apoiadas pelo CNPq (projeto # 522849/96-2), pela FAPERJ (projeto # E-26/171.384/2001) e pelo projeto FINEP/RECOPE (# 0626/96-SAGE).

APÊNDICE A – Fatores para Construção das Cartas de Controle para Variáveis [16]

	Carta da média - $\bar{X}$			Carta do desvio padrão - s					Carta da amplitude - R					
n	A	A_2	A_3	C_4	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	0	3.267	0	2.606	1.128	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	0	2.568	0	2.276	1.693	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	0	2.266	0	2.088	2.059	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	0	2.089	0	1.964	2.326	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

Para n > 25, utilizar as equações seguintes:

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad , \quad A3 = \frac{3}{C4\sqrt{n}} \quad , \quad C4 = \frac{4(n-1)}{4n-3} \quad \text{e}$$

$$B3 = 1 - \frac{3}{C4\sqrt{2(n-1)}} \, , \; B4 = 1 + \frac{3}{C4\sqrt{2(n-1)}} \, , \; B5 = C4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \, , \; B6 = C4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

- **O valor da média μ, e do desvio padrão σ, da população são conhecidos.**

APÊNDICE B – Dados Obtidos do Instrumento de Medição Utilizado

Este Apêndice contém dados tratados, previamente registrados pelo instrumento de medição instalado no Ponto de Controle P1, durante o mês de agosto de 1998. Conforme mencionado no Capítulo III, subitem III.3. A cada 2 ciclos, foram registrados os valores de tensão de linha, corrente, potência ativa e potência aparente. Esses dados, depois de tratados para conversão de tensão de linha em tensão de fase, e após segmentação em diferentes eventos, caracterizados por períodos superiores a 6 ciclos sem registro, apresentaram da forma abaixo, onde:

HS = corresponde a um registro de alta velocidade das grandezas monitoradas, quais sejam, tensão e corrente de fase, potências ativa e aparente trifásicas.
P1, P2, P3, ... = ordem seqüencial cronológica da perturbação no sistema elétrico, no período analisado – 1 mês.
Tempo (ms) = tempo total de monitoração que gerou os dados registrados – a cada 2 ciclos de monitoração é registrado um valor.
Ciclos = número de ciclos ao qual corresponde o tempo em milissegundos, acima citado.
Leituras = número de registros gerados no período.
Va, Vb, Vc = valores de tensão de fase em pu de 69 kV
Ia, Ib, Ic = valores de corrente de fase em Ampères
kKW = valores de potência ativa trifásica em quilowatt
kVA = valores de potência aparente trifásica em quilo-Volt-Ampère

3720 ACM Snapshot 8 Log Printout
Relatório Gerado em 01/09/98
Total de Perturbações: 39
SITE: P1 DEVICE: X

DATE	TIME	V A HS	V B HS	V C HS	AMP AHS	AMP BHS	AMP CHS	KWHS	KVAHS
P1	Tempo(ms): 100,0001144	Ciclos:	6,060612991	Leituras:	3				
Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
04/Ago/98	06:50:37,908	0,945190353	0,975004392	0,981855598	226	235	220	26272	26247
04/Ago/98	06:50:37,941	0,962707356	0,983311165	0,983135493	244	237	237	27950	27930
04/Ago/98	06:50:37,975	0,99342485	0,99974904	0,991442267	258	247	244	29640	29690

P2	Tempo(ms): 201,0003712	Ciclos:	12,18184068	Leituras:	6				
Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
05/Ago/98	21:36:10,430	0,948628504	0,99974904	0,991442267	297	317	282	34789	34994
05/Ago/98	21:36:10,464	0,953321455	0,979697342	0,977162647	298	304	284	34124	34245
05/Ago/98	21:36:10,497	0,954576254	0,99505609	0,986573644	301	315	287	34974	35220
05/Ago/98	21:36:10,531	0,955655382	1,004642759	0,997214345	304	324	288	35624	35989

05/Ago/98	21:36:10,564	0,961628228	1,006976686	1,000828168	303	322	288	35662	36015
05/Ago/98	21:36:10,598	0,969935001	1,009335709	1,003187191	302	316	290	35598	35972

P3 Tempo(ms): 133,0000862 Ciclos: 8,060611287 Leituras: 4

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
06/Ago/98	18:49:43,753	1,00644967	0,985670188	0,931262077	345	278	288	35276	35440
06/Ago/98	18:49:43,786	0,995783873	0,970110673	0,888799659	351	271	278	34069	34247
06/Ago/98	18:49:43,820	0,99217005	0,998669912	0,965417723	335	307	298	36647	36923
06/Ago/98	18:49:43,853	1,009862725	1,015283459	1,006625342	332	318	310	38332	38658

P4 Tempo(ms): 634,9996013 Ciclos: 38,48482432 Leituras: 19

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
08/Ago/98	08:32:09,433	0,942655658	0,950058976	0,939393179	217	210	208	23761	23884
08/Ago/98	08:32:09,466	0,92385876	0,930007278	0,919517153	223	214	213	23739	23943
08/Ago/98	08:32:09,500	0,914472859	0,916806786	0,913569403	233	222	223	24565	24717
08/Ago/98	08:32:09,533	0,922779632	0,926393455	0,920621377	242	231	230	25861	25862
08/Ago/98	08:32:09,567	0,921524832	0,926393455	0,921876176	244	235	233	26264	26192
08/Ago/98	08:32:09,600	0,920420609	0,926393455	0,917183226	246	235	234	26307	26247
08/Ago/98	08:32:09,634	0,921524832	0,926393455	0,919517153	246	235	234	26368	26280
08/Ago/98	08:32:09,667	0,932165533	0,940673075	0,930007278	245	236	234	26703	26616
08/Ago/98	08:32:09,701	0,933269757	0,941752202	0,935980124	244	235	232	26638	26543
08/Ago/98	08:32:09,734	0,939217507	0,945366025	0,938314051	243	233	231	26584	26507
08/Ago/98	08:32:09,767	0,937962707	0,946445153	0,939393179	241	232	229	26388	26327
08/Ago/98	08:32:09,801	0,94752428	0,954751926	0,948979848	240	231	228	26573	26470
08/Ago/98	08:32:09,834	0,954576254	0,959469973	0,951338871	239	230	228	26615	26526
08/Ago/98	08:32:09,868	0,952242327	0,963083796	0,953672798	239	228	227	26532	26443
08/Ago/98	08:32:09,901	0,959269205	0,967776746	0,956031822	239	229	226	26639	26574
08/Ago/98	08:32:09,935	0,959269205	0,967776746	0,957110949	237	229	225	26564	26470
08/Ago/98	08:32:09,968	0,961628228	0,966697618	0,960724772	237	227	225	26497	26438
08/Ago/98	08:32:10,002	0,962707356	0,966697618	0,9618039	237	227	225	26515	26458
08/Ago/98	08:32:10,035	0,963987251	0,972645369	0,960724772	236	227	225	26549	26475

P5 Tempo(ms): 770,0000007 Ciclos: 46,66666671 Leituras: 15

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
08/Ago/98	11:34:58,567	0,879062414	0,969031546	0,948979848	215	245	192	23942	24251
08/Ago/98	11:34:58,601	0,853213542	0,951338871	0,935980124	227	255	200	24625	24842

08/Ago/98	11:34:58,634	0,916806786	0,950058976	0,958365749	252	254	235	27742	27795
08/Ago/98	11:34:58,668	0,980425126	0,984390293	0,986573644	257	246	245	29354	29320
08/Ago/98	11:34:58,969	0,961628228	0,945366025	0,855748237	263	185	221	24012	24580
08/Ago/98	11:34:59,002	0,949883304	0,933445429	0,841644289	271	198	224	24798	25133
08/Ago/98	11:34:59,036	0,948628504	0,935779356	0,845258112	277	206	226	25562	25762
08/Ago/98	11:34:59,069	0,940296635	0,938138379	0,84038949	280	213	226	25843	26021
08/Ago/98	11:34:59,103	0,937962707	0,935779356	0,841644289	282	219	227	26186	26317
08/Ago/98	11:34:59,136	0,937962707	0,943007002	0,847617136	285	222	229	26653	26726
08/Ago/98	11:34:59,170	0,945190353	0,952417999	0,858082164	283	227	226	26918	26999
08/Ago/98	11:34:59,203	0,943910457	0,953672798	0,861695987	282	225	226	26831	26915
08/Ago/98	11:34:59,237	0,946269481	0,953672798	0,85936206	283	225	226	26886	26958
08/Ago/98	11:34:59,270	0,952242327	0,963083796	0,870027857	282	225	224	27001	27099
08/Ago/98	11:34:59,304	0,985118077	1,009335709	0,976083519	275	258	254	30935	31049

P6 Tempo(ms): 433,9998869 Ciclos: 26,30302345 Leituras: 13

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
08/Ago/98	11:35:08,540	0,937962707	0,940673075	0,92892815	223	218	212	23329	24352
08/Ago/98	11:35:08,573	0,828468894	0,843451201	0,827565438	230	223	220	21365	22340
08/Ago/98	11:35:08,607	0,809496323	0,818530881	0,807488644	239	231	227	22082	22546
08/Ago/98	11:35:08,640	0,797751399	0,811478907	0,796847943	243	236	231	22543	22689
08/Ago/98	11:35:08,673	0,788340402	0,805506061	0,787436946	248	239	234	22748	22803
08/Ago/98	11:35:08,707	0,77426155	0,791226441	0,775692022	249	240	236	22529	22542
08/Ago/98	11:35:08,740	0,767209577	0,78184054	0,766130449	250	242	236	22411	22385
08/Ago/98	11:35:08,774	0,760157603	0,775867694	0,760333275	251	243	236	22295	22264
08/Ago/98	11:35:08,807	0,75654378	0,768840816	0,754385525	250	242	236	22077	22043
08/Ago/98	11:35:08,841	0,828468894	0,836399227	0,838030467	269	258	263	25930	26260
08/Ago/98	11:35:08,874	0,915551986	0,922779632	0,91590333	272	263	257	28589	28972
08/Ago/98	11:35:08,908	0,943910457	0,951338871	0,943007002	259	249	243	28075	28310
08/Ago/98	11:35:08,941	0,968680202	0,975004392	0,965417723	247	236	232	27531	27625

P7 Tempo(ms): 535,0001438 Ciclos: 32,42425114 Leituras: 16

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
08/Ago/98	11:37:05,195	0,940296635	0,944111225	0,937059252	200	197	199	21524	22334
08/Ago/98	11:37:05,229	0,835495771	0,842196401	0,835696539	209	200	205	19574	20495
08/Ago/98	11:37:05,262	0,814364946	0,822144703	0,812206691	218	209	212	20358	20781
08/Ago/98	11:37:05,296	0,806058173	0,807865084	0,802795694	225	213	216	20826	20991
08/Ago/98	11:37:05,329	0,800085326	0,805506061	0,796847943	229	218	220	21248	21282

08/Ago/98	11:37:05,363	0,794313248	0,799558311	0,787436946	232	222	224	21444	21443
08/Ago/98	11:37:05,396	0,781288428	0,786533491	0,775692022	233	222	226	21248	21195
08/Ago/98	11:37:05,430	0,771902527	0,775867694	0,767385249	236	224	226	21186	21093
08/Ago/98	11:37:05,463	0,768288704	0,772253871	0,762692298	238	227	229	21281	21230
08/Ago/98	11:37:05,497	0,76123673	0,766481793	0,756719452	240	228	229	21208	21147
08/Ago/98	11:37:05,530	0,760157603	0,76412277	0,756719452	241	229	230	21247	21206
08/Ago/98	11:37:05,563	0,836599995	0,854116998	0,855748237	268	259	256	25976	26477
08/Ago/98	11:37:05,597	0,908500013	0,916806786	0,917183226	266	257	251	27663	28190
08/Ago/98	11:37:05,630	0,934524556	0,944111225	0,937059252	252	244	238	27131	27448
08/Ago/98	11:37:05,664	0,953321455	0,963083796	0,957110949	242	232	228	26619	26790
08/Ago/98	11:37:05,697	0,968680202	0,973724496	0,969031546	233	224	220	26077	26178

P8 Tempo(ms): 166,9996001 Ciclos: 10,12118788 Leituras: 5

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
08/Ago/98	11:37:12,457	0,93688358	0,924034432	0,9242352	203	195	194	20651	21901
08/Ago/98	11:37:12,490	0,822496047	0,824478631	0,814540618	207	200	204	18882	19975
08/Ago/98	11:37:12,524	0,817803097	0,841117274	0,839310362	217	217	217	21233	21600
08/Ago/98	11:37:12,557	0,950962431	0,961979572	0,960724772	243	234	229	26895	26942
08/Ago/98	11:37:12,591	0,981679926	0,990363139	0,984214621	234	225	221	26728	26699

P9 Tempo(ms): 635,00023 Ciclos: 38,48486242 Leituras: 19

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
09/Ago/98	06:01:25,262	0,985118077	0,991442267	0,946620825	228	195	197	24024	24082
09/Ago/98	06:01:25,295	0,9874771	0,991442267	0,946620825	230	198	200	24439	24416
09/Ago/98	06:01:25,329	0,985118077	0,990363139	0,947725048	232	200	201	24574	24588
09/Ago/98	06:01:25,362	0,989811027	0,992697066	0,948979848	233	200	202	24724	24738
09/Ago/98	06:01:25,396	0,985118077	0,992697066	0,947725048	233	201	202	24753	24724
09/Ago/98	06:01:25,429	0,9874771	0,990363139	0,946620825	234	201	202	24789	24758
09/Ago/98	06:01:25,463	0,99217005	0,989083243	0,947725048	233	201	202	24801	24760
09/Ago/98	06:01:25,496	0,99217005	0,996310889	0,953672798	233	201	202	24902	24866
09/Ago/98	06:01:25,529	0,99342485	0,997415113	0,951338871	233	201	201	24855	24830
09/Ago/98	06:01:25,563	0,994503978	0,99505609	0,952417999	232	200	201	24796	24751
09/Ago/98	06:01:25,596	0,99342485	0,993976962	0,958365749	230	198	201	24623	24621
09/Ago/98	06:01:25,630	0,967400306	0,960724772	0,954751926	214	199	203	23559	23589
09/Ago/98	06:01:25,663	0,963987251	0,958365749	0,951338871	217	202	207	23916	23894
09/Ago/98	06:01:25,697	0,962707356	0,956031822	0,948979848	219	204	209	24107	24075
09/Ago/98	06:01:25,730	0,972294025	0,964338595	0,963083796	221	205	210	24547	24497

09/Ago/98	06:01:25,764	0,972294025	0,966697618	0,960724772	221	206	210	24596	24536
09/Ago/98	06:01:25,797	0,971014129	0,965417723	0,960724772	221	206	211	24631	24551
09/Ago/98	06:01:25,831	0,975732176	0,966697618	0,960724772	222	206	211	24709	24643
09/Ago/98	06:01:25,864	0,9887319	0,985670188	0,973724496	228	213	213	25662	25611

P10 Tempo(ms): 100,0001144 Ciclos: 6,060612991 Leituras: 3

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
09/Ago/98	07:40:19,422	0,981679926	0,991442267	0,943007002	219	188	189	23045	23094
09/Ago/98	07:40:19,455	0,984038949	0,989083243	0,945366025	222	192	192	23493	23503
09/Ago/98	07:40:19,489	0,9887319	0,997415113	0,97482872	221	203	203	24718	24659

P11 Tempo(ms): 100,0001144 Ciclos: 6,060612991 Leituras: 3

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
10/Ago/98	02:13:00,804	0,991090923	0,986749316	0,948979848	235	197	205	24712	24776
10/Ago/98	02:13:00,838	0,989811027	0,993976962	0,969031546	232	211	214	25809	25770
10/Ago/98	02:13:00,871	1,001731623	0,998669912	1,004266319	227	219	218	26578	26497

P12 Tempo(ms): 133,0000862 Ciclos: 8,060611287 Leituras: 4

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
10/Ago/98	11:01:41,286	0,93688358	0,99974904	0,98077647	235	264	212	27454	27574
10/Ago/98	11:01:41,319	0,87795819	0,971390569	0,958365749	235	276	207	26684	26808
10/Ago/98	11:01:41,353	0,942655658	0,977338319	0,977162647	265	271	249	30036	30201
10/Ago/98	11:01:41,386	0,989811027	1,001028936	0,99380129	275	267	260	31563	31792

P13 Tempo(ms): 65,99997188 Ciclos: 3,999998296 Leituras: 2

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
10/Ago/98	20:16:59,802	0,933269757	1,002108063	0,990187467	300	323	273	34696	34824
10/Ago/98	20:16:59,835	1,002835847	1,010414837	1,008959269	320	309	301	36957	37328

P14 Tempo(ms): 100,0001144 Ciclos: 6,060612991 Leituras: 3

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
13/Ago/98	17:27:26,666	0,899114111	1,008055813	0,951338871	282	317	227	31238	31441
13/Ago/98	17:27:26,700	0,894421161	0,988004116	0,953672798	290	308	252	31804	32036
13/Ago/98	17:27:26,733	0,994503978	1,004642759	0,996135217	305	294	288	35062	35286

P15 Tempo(ms): 266,9996863 Ciclos: 16,18179917 Leituras: 8

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
13/Ago/98	17:27:35,735	0,885010164	1,028308279	0,960724772	286	327	211	31245	31560
13/Ago/98	17:27:35,768	0,847240696	1,003362863	0,940673075	284	327	214	30434	30681
13/Ago/98	17:27:35,802	0,839109594	0,996310889	0,92892815	286	332	220	30690	30885
13/Ago/98	17:27:35,835	0,834240972	0,992697066	0,926569127	288	336	226	30987	31207
13/Ago/98	17:27:35,869	0,833161844	0,991442267	0,92892815	292	341	230	31419	31678
13/Ago/98	17:27:35,902	0,835495771	0,989083243	0,931262077	293	343	235	31740	31992
13/Ago/98	17:27:35,936	0,899114111	0,957110949	0,918262354	313	301	270	32037	32571
13/Ago/98	17:27:35,969	1,005169774	1,009335709	0,99849424	322	308	299	36577	37180

P16 Tempo(ms): 100,0001144 Ciclos: 6,060612991 Leituras: 3

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
14/Ago/98	02:54:46,245	0,971014129	0,900368911	0,97952167	221	216	265	26382	26642
14/Ago/98	02:54:46,279	0,962707356	0,852862198	0,963083796	219	238	287	27341	27502
14/Ago/98	02:54:46,312	0,998117801	0,985670188	0,989083243	270	257	259	30933	31038

P17 Tempo(ms): 300,9998288 Ciclos: 18,24241387 Leituras: 9

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
14/Ago/98	02:54:47,617	0,984038949	0,965417723	0,884106708	280	205	221	26275	26650
14/Ago/98	02:54:47,651	0,969935001	0,966697618	0,851055286	295	208	227	26852	27111
14/Ago/98	02:54:47,684	0,963987251	0,961979572	0,847617136	301	216	228	27281	27541
14/Ago/98	02:54:47,718	0,967400306	0,953672798	0,838030467	312	217	240	28015	28286
14/Ago/98	02:54:47,751	0,975732176	0,954751926	0,841644289	313	218	239	28188	28477
14/Ago/98	02:54:47,785	0,969935001	0,957110949	0,84038949	313	219	238	28127	28418
14/Ago/98	02:54:47,818	0,971014129	0,959469973	0,844003313	310	222	234	28084	28350
14/Ago/98	02:54:47,852	0,976986975	0,988004116	0,899465455	303	246	249	29994	30403
14/Ago/98	02:54:47,885	1,012221748	1,021080633	1,004266319	283	268	260	32283	32722

P18 Tempo(ms): 266,9996863 Ciclos: 16,18179917 Leituras: 8

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
14/Ago/98	02:54:54,210	0,9887319	0,961979572	0,932366301	276	218	244	28007	28294
14/Ago/98	02:54:54,243	0,971014129	0,930007278	0,828644565	302	194	244	26567	26929
14/Ago/98	02:54:54,277	0,967400306	0,928752478	0,822847391	305	200	242	26808	27092

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
UNIFEI
Biblioteca
MAUA
BIM

14/Ago/98	02:54:54,310	0,961628228	0,924034432	0,822847391	306	202	240	26772	27031
14/Ago/98	02:54:54,344	0,961628228	0,919165809	0,821592592	310	204	245	27084	27369
14/Ago/98	02:54:54,377	0,961628228	0,925138655	0,816899641	311	208	243	27220	27492
14/Ago/98	02:54:54,410	0,973373152	0,958365749	0,894772505	297	237	250	29055	29482
14/Ago/98	02:54:54,444	0,997038673	1,004642759	1,000828168	275	262	257	31284	31662

P19 Tempo(ms): 366,9997726 Ciclos: 22,24241046 Leituras: 11

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
14/Ago/98	05:30:16,676	0,94752428	0,996310889	0,950058976	255	244	211	27306	27300
14/Ago/98	05:30:16,709	0,94157653	0,992697066	0,944286897	260	249	216	27725	27730
14/Ago/98	05:30:16,743	0,943910457	0,996310889	0,945366025	263	253	220	28215	28222
14/Ago/98	05:30:16,776	0,948628504	0,997415113	0,947725048	265	256	221	28536	28536
14/Ago/98	05:30:16,810	0,948628504	0,997415113	0,947725048	266	257	221	28637	28613
14/Ago/98	05:30:16,843	0,949883304	0,996310889	0,950058976	266	257	222	28684	28674
14/Ago/98	05:30:16,876	0,954576254	1,008055813	0,954751926	267	258	223	28937	29001
14/Ago/98	05:30:16,910	0,959269205	1,009335709	0,958365749	266	258	221	28977	28982
14/Ago/98	05:30:16,943	0,959269205	1,008055813	0,960724772	266	257	220	28880	28912
14/Ago/98	05:30:16,977	0,961628228	1,009335709	0,960724772	264	256	220	28787	28833
14/Ago/98	05:30:17,010	0,968680202	1,015283459	0,970110673	265	257	219	29023	29090

P20 Tempo(ms): 2039,999776 Ciclos: 123,63635 Leituras: 61

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
14/Ago/98	07:18:02,366	0,942655658	0,937059252	0,951338871	238	236	242	27010	26924
14/Ago/98	07:18:02,399	0,913192963	0,918086682	0,912289507	247	239	237	26431	26345
14/Ago/98	07:18:02,433	0,905061862	0,909779908	0,899465455	253	244	241	26679	26606
14/Ago/98	07:18:02,466	0,896755088	0,905061862	0,900544583	257	248	246	27051	26953
14/Ago/98	07:18:02,499	0,893316937	0,902727934	0,895851632	259	250	247	27117	27028
14/Ago/98	07:18:02,533	0,889703114	0,899114111	0,893517705	261	252	249	27200	27145
14/Ago/98	07:18:02,566	0,894421161	0,905061862	0,898210656	262	254	251	27529	27480
14/Ago/98	07:18:02,600	0,892062138	0,899114111	0,898210656	272	263	260	28335	28395
14/Ago/98	07:18:02,633	0,889703114	0,896755088	0,89223781	271	263	260	28200	28247
14/Ago/98	07:18:02,667	0,893316937	0,900368911	0,895851632	272	264	258	28283	28362
14/Ago/98	07:18:02,700	0,902727934	0,908500013	0,904158406	271	264	259	28525	28636
14/Ago/98	07:18:02,734	0,901448039	0,909779908	0,90526263	270	262	257	28332	28466
14/Ago/98	07:18:02,767	0,903807062	0,908500013	0,90526263	268	261	256	28263	28333
14/Ago/98	07:18:02,801	0,906166085	0,912113835	0,907596557	267	259	255	28191	28275
14/Ago/98	07:18:02,834	0,912113835	0,919165809	0,914648531	265	258	253	28228	28300

14/Ago/98	07:18:02,868	0,920420609	0,926393455	0,919517153	262	255	250	28116	28182
14/Ago/98	07:18:02,901	0,919165809	0,926393455	0,920621377	261	254	248	27972	28032
14/Ago/98	07:18:02,935	0,920420609	0,932366301	0,917183226	260	253	248	27970	27997
14/Ago/98	07:18:02,968	0,922779632	0,928752478	0,922955304	259	252	247	27891	27932
14/Ago/98	07:18:03,002	0,925138655	0,933445429	0,9242352	259	252	246	27937	27979
14/Ago/98	07:18:03,035	0,926217783	0,928752478	0,922955304	259	251	246	27860	27894
14/Ago/98	07:18:03,068	0,927472583	0,931086406	0,9242352	259	251	245	27886	27905
14/Ago/98	07:18:03,102	0,927472583	0,933445429	0,9242352	259	251	246	27929	27965
14/Ago/98	07:18:03,135	0,926217783	0,933445429	0,925314327	259	250	245	27912	27889
14/Ago/98	07:18:03,169	0,92855171	0,932366301	0,9242352	258	250	245	27879	27856
14/Ago/98	07:18:03,202	0,92855171	0,932366301	0,925314327	258	250	244	27799	27830
14/Ago/98	07:18:03,236	0,92855171	0,933445429	0,926569127	258	250	244	27836	27852
14/Ago/98	07:18:03,269	0,927472583	0,934700228	0,925314327	258	249	245	27857	27841
14/Ago/98	07:18:03,303	0,930910734	0,932366301	0,926569127	258	249	245	27895	27865
14/Ago/98	07:18:03,336	0,92855171	0,932366301	0,92892815	259	250	245	27915	27939
14/Ago/98	07:18:03,370	0,929831606	0,932366301	0,9242352	258	249	245	27855	27831
14/Ago/98	07:18:03,403	0,929831606	0,933445429	0,92892815	258	250	245	27909	27925
14/Ago/98	07:18:03,436	0,933269757	0,932366301	0,926569127	258	250	245	27911	27927
14/Ago/98	07:18:03,470	0,929831606	0,932366301	0,927648255	259	250	245	27923	27940
14/Ago/98	07:18:03,504	0,932165533	0,932366301	0,927648255	259	249	245	27915	27926
14/Ago/98	07:18:03,537	0,92855171	0,932366301	0,92892815	258	249	245	27865	27864
14/Ago/98	07:18:03,570	0,927472583	0,931086406	0,92892815	258	249	245	27834	27840
14/Ago/98	07:18:03,604	0,930910734	0,932366301	0,92892815	258	249	245	27874	27888
14/Ago/98	07:18:03,637	0,932165533	0,931086406	0,92892815	258	249	245	27909	27889
14/Ago/98	07:18:03,671	0,930910734	0,932366301	0,930007278	258	249	245	27898	27899
14/Ago/98	07:18:03,704	0,933269757	0,931086406	0,92892815	258	248	245	27876	27863
14/Ago/98	07:18:03,738	0,929831606	0,930007278	0,930007278	258	249	245	27848	27865
14/Ago/98	07:18:03,771	0,930910734	0,934700228	0,931262077	258	248	245	27906	27897
14/Ago/98	07:18:03,805	0,932165533	0,932366301	0,933621101	258	248	244	27888	27873
14/Ago/98	07:18:03,838	0,92855171	0,934700228	0,933621101	258	248	245	27914	27896
14/Ago/98	07:18:03,872	0,92855171	0,932366301	0,932366301	257	248	245	27856	27824
14/Ago/98	07:18:03,905	0,930910734	0,934700228	0,932366301	258	249	245	27947	27946
14/Ago/98	07:18:03,938	0,929831606	0,935779356	0,932366301	257	248	245	27860	27871
14/Ago/98	07:18:03,972	0,929831606	0,932366301	0,933621101	257	248	245	27874	27849
14/Ago/98	07:18:04,005	0,930910734	0,933445429	0,932366301	258	248	245	27888	27896
14/Ago/98	07:18:04,039	0,932165533	0,935779356	0,934700228	257	248	245	27929	27918
14/Ago/98	07:18:04,072	0,929831606	0,934700228	0,933621101	257	248	245	27898	27872
14/Ago/98	07:18:04,106	0,932165533	0,930007278	0,934700228	258	248	245	27918	27898
14/Ago/98	07:18:04,139	0,92855171	0,933445429	0,932366301	257	249	245	27891	27872

14/Ago/98	07:18:04,173	0,92855171	0,931086406	0,931262077	257	248	246	27865	27838
14/Ago/98	07:18:04,206	0,929831606	0,935779356	0,932366301	258	248	246	27952	27945
14/Ago/98	07:18:04,240	0,930910734	0,934700228	0,933621101	257	248	245	27934	27883
14/Ago/98	07:18:04,273	0,929831606	0,935779356	0,933621101	257	248	245	27917	27883
14/Ago/98	07:18:04,307	0,92855171	0,935779356	0,933621101	257	249	245	27930	27907
14/Ago/98	07:18:04,340	0,930910734	0,934700228	0,937059252	256	248	244	27886	27842
14/Ago/98	07:18:04,373	0,984038949	0,989083243	0,989083243	274	263	255	30723	31158

P21 Tempo(ms): 65,99997188 Ciclos: 3,999998296 Leituras: 2

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
15/Ago/98	10:36:17,212	0,942655658	0,984390293	0,97952167	231	250	218	27036	26990
15/Ago/98	10:36:17,245	0,984038949	0,991442267	0,987828444	253	246	241	29136	29124

P22 Tempo(ms): 100,0001144 Ciclos: 6,060612991 Leituras: 3

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
15/Ago/98	16:09:18,514	0,935603684	0,988004116	0,967776746	383	200	356	30069	35879
15/Ago/98	16:09:18,548	0,910859036	0,976083519	0,954751926	400	214	370	30679	36917
15/Ago/98	16:09:18,581	0,986372876	0,992697066	0,986573644	247	233	233	27907	28083

P23 Tempo(ms): 100,0001144 Ciclos: 6,060612991 Leituras: 3

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
16/Ago/98	07:22:03,155	0,906166085	0,971390569	0,965417723	211	237	191	24029	24138
16/Ago/98	07:22:03,189	0,901448039	0,966697618	0,963083796	216	242	197	24565	24639
16/Ago/98	07:22:03,222	0,984038949	0,985670188	0,987828444	235	228	225	27056	27024

P24 Tempo(ms): 299,9996582 Ciclos: 18,18179747 Leituras: 9

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
16/Ago/98	10:58:20,384	0,960373428	0,948804176	0,972469697	220	221	229	25702	25646
16/Ago/98	10:58:20,417	0,959269205	0,948804176	0,97482872	222	220	227	25682	25619
16/Ago/98	10:58:20,451	0,963987251	0,951338871	0,973724496	224	222	227	25907	25826
16/Ago/98	10:58:20,484	0,968680202	0,958365749	0,978442543	226	223	229	26261	26166
16/Ago/98	10:58:20,517	0,969935001	0,957110949	0,973724496	227	224	229	26302	26200
16/Ago/98	10:58:20,551	0,968680202	0,960724772	0,978442543	228	225	229	26443	26341
16/Ago/98	10:58:20,584	0,974627952	0,961979572	0,976083519	229	224	230	26506	26424
16/Ago/98	10:58:20,618	0,978066103	0,969031546	0,986573644	230	226	231	26823	26770

16/Ago/98	10:58:20,651	0,981679926	0,972645369	0,989083243	231	226	230	26932	26859

P25 Tempo(ms): 468,0000294 Ciclos: 28,36363815 Leituras: 14

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
16/Ago/98	11:19:24,036	0,933269757	0,946445153	0,937059252	212	212	205	23324	23532
16/Ago/98	11:19:24,070	0,879062414	0,884834492	0,875799935	216	208	208	21836	22157
16/Ago/98	11:19:24,103	0,862599443	0,871834768	0,865134138	229	217	217	22731	22889
16/Ago/98	11:19:24,137	0,906166085	0,912113835	0,90526263	244	237	233	25932	25827
16/Ago/98	11:19:24,170	0,914472859	0,921700504	0,914648531	249	243	237	26710	26634
16/Ago/98	11:19:24,204	0,918086682	0,926393455	0,921876176	250	241	237	26854	26746
16/Ago/98	11:19:24,237	0,926217783	0,938138379	0,925314327	249	240	236	26893	26861
16/Ago/98	11:19:24,271	0,939217507	0,950058976	0,940673075	248	241	233	27165	27137
16/Ago/98	11:19:24,304	0,943910457	0,952417999	0,943007002	247	237	231	26984	26964
16/Ago/98	11:19:24,337	0,945190353	0,956031822	0,941927874	244	234	229	26722	26698
16/Ago/98	11:19:24,371	0,950962431	0,960724772	0,944286897	241	232	226	26580	26516
16/Ago/98	11:19:24,404	0,954576254	0,957110949	0,951338871	239	229	225	26433	26352
16/Ago/98	11:19:24,438	0,953321455	0,960724772	0,957110949	237	230	225	26414	26387
16/Ago/98	11:19:24,471	0,985118077	0,988004116	0,978442543	247	236	233	28027	28070

P26 Tempo(ms): 333,9998007 Ciclos: 20,24241216 Leituras: 10

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
16/Ago/98	16:49:42,519	0,94752428	0,956031822	0,940673075	219	210	203	23845	23876
16/Ago/98	16:49:42,552	0,927472583	0,927472583	0,919517153	218	211	209	23494	23510
16/Ago/98	16:49:42,586	0,913192963	0,914472859	0,912289507	227	219	217	24061	24128
16/Ago/98	16:49:42,619	0,914472859	0,916806786	0,91121038	235	225	224	24959	24915
16/Ago/98	16:49:42,653	0,909779908	0,912113835	0,908876452	238	230	228	25302	25243
16/Ago/98	16:49:42,686	0,912113835	0,914472859	0,907596557	241	233	230	25677	25566
16/Ago/98	16:49:42,720	0,909779908	0,909779908	0,902903606	243	234	232	25731	25637
16/Ago/98	16:49:42,753	0,916806786	0,919165809	0,913569403	246	235	233	26140	26074
16/Ago/98	16:49:42,787	0,949883304	0,963083796	0,952417999	258	251	244	28571	28657
16/Ago/98	16:49:42,820	0,9874771	0,986749316	0,97952167	261	251	247	29610	29778

P27 Tempo(ms): 300,9998288 Ciclos: 18,24241387 Leituras: 9

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
16/Ago/98	16:57:10,268	0,929831606	0,931086406	0,931262077	220	212	211	23837	23845
16/Ago/98	16:57:10,301	0,918086682	0,919165809	0,91590333	228	221	218	24403	24390

16/Ago/98	16:57:10,335	0,914472859	0,916806786	0,91121038	236	227	226	25144	25096
16/Ago/98	16:57:10,368	0,915551986	0,915727658	0,90995558	241	232	230	25688	25596
16/Ago/98	16:57:10,402	0,913192963	0,913393731	0,90995558	244	236	233	26016	25915
16/Ago/98	16:57:10,435	0,916806786	0,916806786	0,908876452	247	238	235	26310	26227
16/Ago/98	16:57:10,469	0,920420609	0,920420609	0,91590333	249	239	236	26596	26510
16/Ago/98	16:57:10,502	0,949883304	0,953672798	0,946620825	259	250	248	28594	28657
16/Ago/98	16:57:10,536	0,9887319	0,991442267	0,983135493	265	256	250	30196	30346

P28 Tempo(ms): 2609,999576 Ciclos: 158,1817925 Leituras: 78

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
17/Ago/98	10:10:40,481	0,814364946	0,842196401	0,844003313	261	250	235	23787	24761
17/Ago/98	10:10:40,515	0,778954501	0,779481517	0,781489196	260	254	252	23349	23806
17/Ago/98	10:10:40,548	0,752929957	0,755815996	0,752026501	265	257	252	23068	23241
17/Ago/98	10:10:40,582	0,729440108	0,730895676	0,727281853	272	260	256	22884	22895
17/Ago/98	10:10:40,615	0,711722338	0,711923106	0,711923106	275	263	260	22698	22634
17/Ago/98	10:10:40,648	0,694029663	0,696564359	0,698898286	273	265	260	22175	22144
17/Ago/98	10:10:40,682	0,684618666	0,68697769	0,684819434	272	265	260	21794	21768
17/Ago/98	10:10:40,715	0,675232765	0,676311893	0,67307451	272	261	258	21253	21270
17/Ago/98	10:10:40,749	0,666925992	0,66800512	0,670715487	266	258	256	20699	20776
17/Ago/98	10:10:40,782	0,664566969	0,660953146	0,661329586	266	256	251	20256	20399
17/Ago/98	10:10:40,816	0,661128818	0,657339323	0,66004969	262	253	249	19867	20076
17/Ago/98	10:10:40,849	0,650488117	0,653901172	0,656611539	257	250	246	19364	19611
17/Ago/98	10:10:40,883	0,648129094	0,651567245	0,650663789	253	246	241	18894	19167
17/Ago/98	10:10:40,916	0,646874294	0,647953422	0,645970838	253	243	239	18670	18946
17/Ago/98	10:10:40,950	0,642156248	0,645594399	0,642357016	252	242	238	18451	18764
17/Ago/98	10:10:40,983	0,63982232	0,643260471	0,643611815	249	240	238	18220	18602
17/Ago/98	10:10:41,016	0,643436143	0,644339599	0,638918865	249	239	236	18099	18528
17/Ago/98	10:10:41,050	0,643436143	0,644339599	0,642357016	249	240	236	18111	18586
17/Ago/98	10:10:41,083	0,638743193	0,638542425	0,634225914	248	239	235	17846	18331
17/Ago/98	10:10:41,117	0,634025146	0,634928602	0,637638969	248	239	236	17766	18307
17/Ago/98	10:10:41,150	0,636384169	0,636032826	0,636559841	248	240	237	17780	18381
17/Ago/98	10:10:41,184	0,630411323	0,636032826	0,635305042	246	237	237	17598	18184
17/Ago/98	10:10:41,217	0,630411323	0,632594675	0,635305042	244	236	233	17388	17975
17/Ago/98	10:10:41,251	0,631691219	0,633673802	0,629507868	245	234	231	17276	17868
17/Ago/98	10:10:41,284	0,643436143	0,646673526	0,650663789	256	247	239	18301	19123
17/Ago/98	10:10:41,318	0,769543504	0,765226993	0,766130449	295	283	278	24211	26160
17/Ago/98	10:10:41,351	0,786006475	0,787813386	0,781489196	292	281	275	24876	26529
17/Ago/98	10:10:41,385	0,796647175	0,794840264	0,790875097	293	281	276	25331	26896

17/Ago/98	10:10:41,418	0,800085326	0,801892238	0,798102743	293	282	277	25712	27160
17/Ago/98	10:10:41,452	0,804778277	0,805506061	0,801540894	295	284	280	26218	27517
17/Ago/98	10:10:41,485	0,811830251	0,810199011	0,807488644	298	287	281	26687	27946
17/Ago/98	10:10:41,518	0,814364946	0,81509273	0,807488644	297	285	280	26731	27902
17/Ago/98	10:10:41,552	0,823750847	0,828092454	0,819233568	292	281	276	26832	27865
17/Ago/98	10:10:41,585	0,829548021	0,832785404	0,826285542	288	277	271	26812	27632
17/Ago/98	10:10:41,619	0,836599995	0,842196401	0,835696539	289	276	272	27166	27953
17/Ago/98	10:10:41,652	0,844906768	0,848144151	0,839310362	287	276	271	27361	28052
17/Ago/98	10:10:41,686	0,846161568	0,851757974	0,842723417	286	274	269	27428	27975
17/Ago/98	10:10:41,719	0,853213542	0,858809948	0,849951063	287	274	269	27712	28243
17/Ago/98	10:10:41,753	0,85898562	0,865861922	0,855748237	286	274	269	27943	28414
17/Ago/98	10:10:41,786	0,863703667	0,869475745	0,858082164	286	273	268	28026	28463
17/Ago/98	10:10:41,820	0,867317489	0,874168695	0,86405501	285	272	267	28107	28515
17/Ago/98	10:10:41,853	0,875624263	0,882475469	0,874720807	286	273	268	28511	28918
17/Ago/98	10:10:41,887	0,881396341	0,888448315	0,880492885	285	272	267	28695	29005
17/Ago/98	10:10:41,920	0,887369187	0,890807338	0,881772781	284	271	266	28703	29006
17/Ago/98	10:10:41,953	0,889703114	0,892062138	0,882851909	283	270	265	28706	28951
17/Ago/98	10:10:41,987	0,893316937	0,901448039	0,889903882	283	268	264	28842	29060
17/Ago/98	10:10:42,020	0,898034984	0,902727934	0,893517705	282	267	263	28896	29058
17/Ago/98	10:10:42,054	0,902727934	0,908500013	0,894772505	276	262	259	28519	28645
17/Ago/98	10:10:42,087	0,906166085	0,907420885	0,899465455	274	260	256	28300	28469
17/Ago/98	10:10:42,121	0,909779908	0,914472859	0,900544583	272	258	254	28304	28375
17/Ago/98	10:10:42,154	0,913192963	0,915727658	0,90995558	271	256	253	28312	28375
17/Ago/98	10:10:42,188	0,915551986	0,918086682	0,90995558	270	255	252	28249	28315
17/Ago/98	10:10:42,221	0,916806786	0,919165809	0,91121038	269	254	251	28185	28243
17/Ago/98	10:10:42,255	0,919165809	0,924034432	0,918262354	268	253	250	28251	28277
17/Ago/98	10:10:42,288	0,92385876	0,926393455	0,918262354	268	252	250	28272	28314
17/Ago/98	10:10:42,322	0,92855171	0,927472583	0,921876176	267	252	250	28321	28375
17/Ago/98	10:10:42,355	0,929831606	0,930007278	0,9242352	267	251	249	28341	28363
17/Ago/98	10:10:42,389	0,933269757	0,933445429	0,930007278	266	251	249	28445	28454
17/Ago/98	10:10:42,422	0,935603684	0,937059252	0,931262077	265	250	248	28421	28415
17/Ago/98	10:10:42,455	0,93688358	0,939393179	0,933621101	265	249	247	28448	28400
17/Ago/98	10:10:42,489	0,940296635	0,939393179	0,938314051	264	248	247	28453	28409
17/Ago/98	10:10:42,522	0,942655658	0,940673075	0,939393179	263	248	246	28427	28381
17/Ago/98	10:10:42,556	0,942655658	0,944111225	0,941927874	263	247	246	28482	28403
17/Ago/98	10:10:42,589	0,943910457	0,945366025	0,943007002	263	247	246	28459	28438
17/Ago/98	10:10:42,623	0,943910457	0,947725048	0,944286897	262	246	245	28435	28361
17/Ago/98	10:10:42,656	0,946269481	0,946445153	0,947725048	262	246	245	28436	28407
17/Ago/98	10:10:42,690	0,948628504	0,948804176	0,950058976	262	245	245	28514	28439

17/Ago/98	10:10:42,723	0,94752428	0,954751926	0,950058976	261	245	244	28496	28411
17/Ago/98	10:10:42,757	0,952242327	0,954751926	0,952417999	261	246	244	28577	28521
17/Ago/98	10:10:42,790	0,950962431	0,954751926	0,954751926	260	245	244	28502	28454
17/Ago/98	10:10:42,824	0,954576254	0,957110949	0,956031822	260	245	244	28573	28527
17/Ago/98	10:10:42,857	0,958014405	0,959469973	0,957110949	259	244	243	28585	28482
17/Ago/98	10:10:42,891	0,959269205	0,961979572	0,959469973	259	244	243	28617	28543
17/Ago/98	10:10:42,924	0,960373428	0,963083796	0,960724772	259	244	242	28602	28538
17/Ago/98	10:10:42,957	0,963987251	0,963083796	0,963083796	259	244	243	28709	28636
17/Ago/98	10:10:42,991	0,965066379	0,967776746	0,967776746	259	244	243	28789	28738
17/Ago/98	10:10:43,024	0,965066379	0,969031546	0,966697618	258	244	242	28717	28663
17/Ago/98	10:10:43,058	0,963987251	0,971390569	0,971390569	258	243	242	28732	28682

P29 Tempo(ms): 167,0002287 Ciclos: 10,12122598 Leituras: 5

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
17/Ago/98	14:23:25,221	0,921524832	0,894421161	0,985469421	191	228	245	24426	24758
17/Ago/98	14:23:25,255	0,933269757	0,905061862	0,957110949	214	238	241	25644	25732
17/Ago/98	14:23:25,288	0,948628504	0,948804176	0,945366025	270	262	256	29833	29754
17/Ago/98	14:23:25,322	0,958014405	0,958365749	0,953672798	284	274	268	31567	31488
17/Ago/98	14:23:25,355	0,969935001	0,970110673	0,966697618	289	277	272	32316	32353

P30 Tempo(ms): 133,9996282 Ciclos: 8,121189587 Leituras: 4

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
20/Ago/98	14:55:59,722	0,894421161	0,998669912	0,9618039	255	292	213	28568	28870
20/Ago/98	14:55:59,756	0,841468617	0,975004392	0,941927874	252	303	206	27719	27951
20/Ago/98	14:55:59,789	0,913192963	0,970110673	0,964162923	278	293	250	30710	31045
20/Ago/98	14:55:59,823	0,9874771	0,991442267	0,996135217	293	284	277	33242	33741

P31 Tempo(ms): 133,0000862 Ciclos: 8,060611287 Leituras: 4

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
22/Ago/98	20:00:59,087	0,972294025	0,964338595	0,948979848	314	286	287	34072	34006
22/Ago/98	20:00:59,120	0,961628228	0,954751926	0,937059252	321	293	294	34476	34423
22/Ago/98	20:00:59,154	0,955655382	0,945366025	0,926569127	327	298	300	34838	34753
22/Ago/98	20:00:59,187	0,982759053	0,988004116	0,97482872	343	328	324	38677	38929

P32 Tempo(ms): 199,999572 Ciclos: 12,12118618 Leituras: 6

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
23/Ago/98	17:16:03,869	0,978066103	0,921700504	0,893517705	258	188	233	25187	25254
23/Ago/98	17:16:03,903	0,960373428	0,902727934	0,871106984	264	194	238	25276	25341
23/Ago/98	17:16:03,936	0,946269481	0,890807338	0,84633724	277	204	246	25956	25981
23/Ago/98	17:16:03,970	0,935603684	0,911034708	0,866414034	287	239	257	28185	28247
23/Ago/98	17:16:04,003	0,950962431	0,950058976	0,938314051	292	278	273	31638	31795
23/Ago/98	17:16:04,036	0,972294025	0,973724496	0,963083796	290	278	272	32166	32459

P33 Tempo(ms): 200,0002006 Ciclos: 12,12122428 Leituras: 6

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
25/Ago/98	11:02:27,129	0,945190353	0,926393455	0,956031822	234	236	242	26812	26742
25/Ago/98	11:02:27,162	0,92385876	0,914472859	0,941927874	240	244	249	27171	27071
25/Ago/98	11:02:27,196	0,912113835	0,900368911	0,921876176	249	252	256	27578	27493
25/Ago/98	11:02:27,229	0,916806786	0,911034708	0,922955304	264	264	265	28980	28972
25/Ago/98	11:02:27,263	0,959269205	0,961979572	0,951338871	290	280	275	32053	32240
25/Ago/98	11:02:27,296	0,978066103	0,973724496	0,970110673	290	280	274	32407	32757

P34 Tempo(ms): 100,0001144 Ciclos: 6,060612991 Leituras: 3

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
26/Ago/98	03:29:45,571	0,968680202	0,98077647	0,919517153	267	225	223	27266	27268
26/Ago/98	03:29:45,605	0,969935001	0,984390293	0,954751926	269	244	241	29115	29134
26/Ago/98	03:29:45,638	0,9874771	0,992697066	0,992521394	265	255	254	30558	30558

P35 Tempo(ms): 1170,000346 Ciclos: 70,90911186 Leituras: 35

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
30/Ago/98	11:47:38,429	0,972294025	0,964338595	0,944286897	241	216	225	26160	26103
30/Ago/98	11:47:38,462	0,969935001	0,960724772	0,944286897	242	217	225	26140	26126
30/Ago/98	11:47:38,496	0,967400306	0,959469973	0,941927874	242	219	226	26213	26182
30/Ago/98	11:47:38,529	0,968680202	0,958365749	0,939393179	242	221	227	26340	26276
30/Ago/98	11:47:38,563	0,967400306	0,959469973	0,940673075	243	222	227	26443	26362
30/Ago/98	11:47:38,596	0,969935001	0,957110949	0,939393179	244	223	227	26457	26431
30/Ago/98	11:47:38,630	0,967400306	0,958365749	0,943007002	244	223	228	26566	26487
30/Ago/98	11:47:38,663	0,965066379	0,959469973	0,943007002	244	225	228	26616	26552
30/Ago/98	11:47:38,696	0,966321179	0,959469973	0,944286897	244	225	228	26647	26575
30/Ago/98	11:47:38,730	0,969935001	0,961979572	0,946620825	245	225	229	26743	26730
30/Ago/98	11:47:38,763	0,971014129	0,960724772	0,945366025	245	225	228	26693	26680

30/Ago/98	11:47:38,797	0,971014129	0,961979572	0,947725048	244	225	228	26751	26674
30/Ago/98	11:47:38,830	0,969935001	0,961979572	0,951338871	243	225	228	26743	26658
30/Ago/98	11:47:38,864	0,972294025	0,961979572	0,950058976	244	225	229	26754	26746
30/Ago/98	11:47:38,897	0,968680202	0,960724772	0,951338871	244	225	229	26742	26711
30/Ago/98	11:47:38,931	0,973373152	0,963083796	0,953672798	244	226	229	26849	26837
30/Ago/98	11:47:38,964	0,976986975	0,961979572	0,952417999	244	226	228	26863	26813
30/Ago/98	11:47:38,998	0,976986975	0,965417723	0,954751926	244	226	228	26915	26865
30/Ago/98	11:47:39,031	0,974627952	0,966697618	0,957110949	243	226	228	26892	26837
30/Ago/98	11:47:39,065	0,973373152	0,967776746	0,957110949	243	225	228	26880	26795
30/Ago/98	11:47:39,098	0,974627952	0,964338595	0,958365749	243	226	228	26866	26827
30/Ago/98	11:47:39,131	0,976986975	0,966697618	0,958365749	243	226	228	26883	26870
30/Ago/98	11:47:39,165	0,975732176	0,971390569	0,959469973	243	225	228	26921	26872
30/Ago/98	11:47:39,198	0,976986975	0,970110673	0,960724772	242	225	227	26893	26808
30/Ago/98	11:47:39,232	0,978066103	0,969031546	0,959469973	242	225	227	26883	26796
30/Ago/98	11:47:39,265	0,978066103	0,967776746	0,964162923	242	226	227	26926	26867
30/Ago/98	11:47:39,299	0,978066103	0,967776746	0,967776746	243	225	228	26964	26938
30/Ago/98	11:47:39,332	0,979345998	0,971390569	0,966697618	242	225	228	26982	26934
30/Ago/98	11:47:39,366	0,979345998	0,973724496	0,967776746	242	225	227	26970	26926
30/Ago/98	11:47:39,399	0,981679926	0,971390569	0,966697618	241	226	227	26970	26918
30/Ago/98	11:47:39,433	0,980425126	0,973724496	0,966697618	242	226	228	27007	27004
30/Ago/98	11:47:39,466	0,980425126	0,973724496	0,969031546	241	225	227	26946	26910
30/Ago/98	11:47:39,500	0,978066103	0,972645369	0,966697618	240	225	227	26857	26817
30/Ago/98	11:47:39,533	0,979345998	0,973724496	0,969031546	241	225	227	26939	26899
30/Ago/98	11:47:39,566	0,979345998	0,973724496	0,971390569	241	225	227	26952	26920

P36 Tempo(ms): 267,000315 Ciclos: 16,18183727 Leituras: 8

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
30/Ago/98	12:19:17,117	0,956935277	0,99974904	0,940673075	238	225	188	24948	25084
30/Ago/98	12:19:17,150	0,903807062	0,991442267	0,901824479	247	229	175	24001	24229
30/Ago/98	12:19:17,184	0,893316937	0,975004392	0,889903882	251	234	180	24266	24407
30/Ago/98	12:19:17,217	0,887369187	0,972645369	0,882851909	256	241	186	24815	24934
30/Ago/98	12:19:17,251	0,883755364	0,976083519	0,885185836	260	249	190	25455	25540
30/Ago/98	12:19:17,284	0,933269757	0,975004392	0,941927874	260	251	232	28082	28126
30/Ago/98	12:19:17,317	0,955655382	0,978442543	0,956031822	258	248	232	28335	28331
30/Ago/98	12:19:17,351	0,976986975	0,998669912	0,973724496	254	246	229	28490	28562

P37 Tempo(ms): 200,9997426 Ciclos: 12,18180258 Leituras: 6

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
30/Ago/98	12:22:34,186	0,907420885	0,99505609	0,906517429	246	230	177	24214	24406
30/Ago/98	12:22:34,220	0,894421161	0,982056366	0,897131528	252	235	181	24493	24647
30/Ago/98	12:22:34,253	0,888448315	0,978442543	0,888799659	257	241	186	24974	25081
30/Ago/98	12:22:34,287	0,886089292	0,977338319	0,89223781	261	246	191	25486	25585
30/Ago/98	12:22:34,320	0,919165809	0,971390569	0,932366301	260	249	221	27260	27370
30/Ago/98	12:22:34,354	0,974627952	0,977338319	0,98077647	259	249	246	29279	29368

P38 Tempo(ms): 200,0002006 Ciclos: 12,12122428 Leituras: 6

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
30/Ago/98	12:22:42,352	0,930910734	1,002108063	0,9242352	237	224	175	24012	24179
30/Ago/98	12:22:42,385	0,907420885	0,993976962	0,90526263	246	228	175	24046	24236
30/Ago/98	12:22:42,419	0,892062138	0,978442543	0,893517705	251	234	181	24332	24489
30/Ago/98	12:22:42,452	0,893316937	0,984390293	0,898210656	255	241	185	25060	25150
30/Ago/98	12:22:42,486	0,895675961	0,977338319	0,906517429	261	245	197	25852	25972
30/Ago/98	12:22:42,519	0,963987251	0,979697342	0,977162647	255	245	242	28738	28781

P39 Tempo(ms): 200,9997426 Ciclos: 12,18180258 Leituras: 6

Data	Hora	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	kW	kVA
30/Ago/98	12:36:12,215	0,910859036	0,99505609	0,906517429	247	229	174	24127	24328
30/Ago/98	12:36:12,249	0,898034984	0,984390293	0,898210656	252	235	180	24527	24676
30/Ago/98	12:36:12,282	0,893316937	0,978442543	0,895851632	257	242	185	25069	25186
30/Ago/98	12:36:12,316	0,890807338	0,978442543	0,89223781	261	245	189	25458	25535
30/Ago/98	12:36:12,349	0,939217507	0,973724496	0,948979848	258	248	231	27909	28012
30/Ago/98	12:36:12,383	0,986372876	0,988004116	0,987828444	258	247	245	29375	29507

APÊNDICE C – Dados Tratados para Identificação dos Afundamentos Momentâneos de Tensão

Saída do programa de tratamento dos dados apresentados no Apêndice B

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
P	Data	T	T1	T2	PuMín	PuMáx	DMín	DMáx		Data	Nº Pert.	Mín	Máx
1	04/ago/98	0,067	0	0	0,945	1				01/ago/98	0		
2	05/ago/98	0,168	0	0	0,949	1,009				02/ago/98	0		
3	06/ago/98	0,1	0,034	0	0,889	1,015	0,889			03/ago/98	0		
4	08/ago/98	0,602	0	0	0,914	0,973				04/ago/98	0	0,945	1
5	08/ago/98	0,436	0,402	0	0,84	1,009	0,84			05/ago/98	0	0,949	1,009
6	08/ago/98	0,401	0,301	0	0,754	0,975	0,754			06/ago/98	1	0,889	1,015
7	08/ago/98	0,502	0,368	0	0,757	0,974	0,757			07/ago/98	0		
8	08/ago/98	0,134	0,067	0	0,815	0,99	0,815			08/ago/98	4	0,754	1,009
9	09/ago/98	0,602	0	0	0,947	0,997				09/ago/98	0	0,943	0,997
10	09/ago/98	0,067	0	0	0,943	0,997				10/ago/98	1	0,878	1,01
11	10/ago/98	0,067	0	0	0,949	1,004				11/ago/98	0		
12	10/ago/98	0,1	0,034	0	0,878	1,001	0,878			12/ago/98	0		
13	10/ago/98	0,033	0	0	0,933	1,01				13/ago/98	2	0,833	1,028
14	13/ago/98	0,067	0,067	0	0,894	1,008	0,894			14/ago/98	4	0,817	1,021
15	13/ago/98	0,234	0,234	0	0,833	1,028	0,833			15/ago/98	0	0,911	0,993
16	14/ago/98	0,067	0,033	0	0,853	0,998	0,853			16/ago/98	1	0,863	0,991
17	14/ago/98	0,268	0,268	0	0,838	1,021	0,838			17/ago/98	2	0,63	0,985
18	14/ago/98	0,234	0,201	0	0,817	1,005	0,817			18/ago/98	0		
19	14/ago/98	0,334	0	0	0,942	1,015				19/ago/98	0		
20	14/ago/98	2,007	0,267	0	0,89	0,989	0,89			20/ago/98	1	0,841	0,999
21	15/ago/98	0,033	0	0	0,943	0,991				21/ago/98	0		
22	15/ago/98	0,067	0	0	0,911	0,993				22/ago/98	0	0,927	0,988
23	16/ago/98	0,067	0	0	0,901	0,988				23/ago/98	1	0,846	0,978
24	16/ago/98	0,267	0	0	0,949	0,989				24/ago/98	0		
25	16/ago/98	0,435	0,067	0	0,863	0,988	0,863			25/ago/98	0	0,9	0,978
26	16/ago/98	0,301	0	0	0,903	0,987				26/ago/98	0	0,92	0,993

27	16/ago/98	0,268	0	0	0,909	0,991		27/ago/98	0	
28	17/ago/98	2,577	1,64	0	0,63	0,971	0,63	28/ago/98	0	
29	17/ago/98	0,134	0,034	0	0,894	0,985	0,894	29/ago/98	0	
30	20/ago/98	0,101	0,067	0	0,841	0,999	0,841	30/ago/98	4	0,883 1,002
31	22/ago/98	0,1	0	0	0,927	0,988		31/ago/98	0	
32	23/ago/98	0,167	0,134	0	0,846	0,978	0,846			
33	25/ago/98	0,167	0	0	0,9	0,978				
34	26/ago/98	0,067	0	0	0,92	0,993				
35	30/ago/98	1,137	0	0	0,939	0,982				
36	30/ago/98	0,234	0,1	0	0,883	1	0,883			
37	30/ago/98	0,168	0,1	0	0,886	0,995	0,886			
38	30/ago/98	0,167	0,1	0	0,892	1,002	0,892			
39	30/ago/98	0,168	0,1	0	0,891	0,995	0,891			

APÊNDICE D – Dados para os Gráficos Tridimensionais

PONTO 1:

	0-100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-600	601-700	701-800	801-900	901-1000	>1000
0,10-0	2	0	0	1	1	0	1	1	1	1	18
0,20-0,101	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0,30-0,201	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
0,40-0,301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0,50-0,401	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	6
0,60-0,501	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	11
0,70-0,601	0	0	1	1	0	2	0	2	0	0	11
0,80-0,701	7	14	16	6	1	0	1	0	0	1	0
0,90-0,801	136	31	41	9	3	2	6	2	2	1	12

PONTO 2:

	0-100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-600	601-700	701-800	801-900	901-1000	>1000
0,10-0	2	4	2	4	0	0	1	0	0	0	2
0,20-0,101	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
0,30-0,201	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	2
0,40-0,301	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	8
0,50-0,401	0	2	2	0	1	1	0	1	2	0	2
0,60-0,501	10	8	3	3	3	2	4	0	0	0	9
0,70-0,601	9	7	0	2	1	1	1	1	1	0	2
0,80-0,701	12	8	4	1	0	1	1	0	0	1	1
0,90-0,801	50	14	8	3	4	3	6	1	3	1	8

PONTO 3:

	0-100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-600	601-700	701-800	801-900	901-1000	>1000
0,10-0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0,20-0,101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0,30-0,201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0,40-0,301	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	1
0,50-0,401	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
0,60-0,501	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
0,70-0,601	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	4
0,80-0,701	6	4	0	2	1	2	1	4	4	0	9
0,90-0,801	26	11	6	2	1	3	0	1	0	2	4

APÊNDICE E – Dados para Testes das Cartas para os Pontos de Controle

Ponto	Item	Amostras																
P1	NM	0,754286	0,827571	0,849714	0,845	0,767143	0,877286	0,712	0,814714									
	DM	2,974	0,071857	0,152714	0,363571	5,749429	0,167429	3,049857	0,143286									
	MP	18	9	2	1	1	5	1	1	5	3	0	3	2	4	0		
P2	NM	0,556286	0,512286	0,705714	0,545													
	DM	2,337857	2,603	0,444286	0,607													
	MP	4	0	1	5	5	1	3	1	4	2	1	3	0				
P3	NM	0,759429	0,804857	0,585714														
	DM	3,418143	0,650571	3,284286														
	MP	0	5	3	0	1	2	0	2	1	3	2	2	2	1	1	1	0

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. R. DUGAN; M. MCGRANAGHAN; W. BEATY, **Electrical Power Systems Quality**. New York: McGraw-Hill, 1996, 266p.
2. IEEE Voltage Sag Analysis Case Studies, **IEEE Transactions on Industry Applications**, VOL 30, No 4, July / August, 1994.
3. H. H. X. M. MENEZES; H. B. MENEZES; H. ARANGO; M. TH. SCHILLING, **Avaliação de Desempenho da Tensão em Pontos de Entrega de Energia**, III Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica, 1999.
4. H. H. X. M. MENEZES; H. B. MENEZES; M. TH. SCHILLING; N. S. NASCIMENTO, **Avaliação Estatística de Indicadores na Operação de Sistemas Elétricos**, XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2001.
5. CIGRÉ WG 38.02, Improvement of Voltage Control, **ELECTRA** n. 135, p. 116-127, 1991.
6. J. M. CARVALHO FILHO, **Análise e Quantificação da Qualidade da Tensão sob o Enfoque do Fenômeno "flicker"**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, EFEI, Itajubá, 1996.
7. H. BRONZEADO, **Principais Aspectos da Qualidade da Energia Elétrica,** apostila do Curso de Extensão Universitária, UFPE, agosto de 1997.
8. CIGRÉ WG 36.05, Report on the Results of the International Questionnaire Concerning Voltage Disturbances, **ELECTRA** Nº. 99, p. 47-56, 1985.
9. ONS, Padrões de Desempenho da Rede Básica, **Procedimentos de Rede,** Módulo 2, Submódulo 2.2, maio de 2002.
10. B. B. NETO; I. S. SCARMINIO; R. E. BRUNS, **Planejamento e Otimização de Experimentos,** São Paulo Editora da Unicamp, 1996.
11. M. S. SPIEGEL, **Probabilidade e Estatística,** McGraw-Hill, São Paulo, 1977.
12. H. B. MENEZES; L. C. BARROS FILHO, **Qualificação em métodos estatísticos aplicados à manutenção. Uma experiência no Setor Elétrico** - VI Congresso Brasileiro de Manutenção, 1990.
13. H. B. MENEZES, **Um Modelo de Predição de Falhas e Garantia de Qualidade com Monitoramento em Tempo Real,** Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UFPE, Recife, 1995.
14. GRANT, E. L. ; LEAVENWORTH, R. S., **Economic Control of Quality of Manufactured Product,** Van Nostrand, 1931.
15. TIPPETT, L. H. C., **Technological Applications of Statistics**, Williams & Norgate Ltd., England, London, 1952.
16. D. C. MONTGOMERY, **Introduction to Statistical Quality Control,** John Wiley & Sons, U.S.A., New York, 1985.
17. R. DUGAN, **Electrical Power System Quality - Reference Book,** McGraw-Hill, New York, 1996.
18. POWER MEASUREMENT LTD., **Power Measurement 3720 ACM Installation & Operation Manual,** Canada, May 13, 1997.
19. CHESF, **Instrução de Operação de Equipamentos,** IOE.01.644, 31 de agosto de 1998.