

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**GERÊNCIA E CONTROLE PROBABILÍSTICO DE
ESTOQUES DE EQUIPAMENTOS**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

PAULO HENRIQUE MENDES DA SILVA

Florianópolis, Março de 2004.

GERÊNCIA E CONTROLE PROBABILÍSTICO DE ESTOQUES DE EQUIPAMENTOS

Paulo Henrique Mendes da Silva

“Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina”.

Prof. Jorge Coelho, D.Sc.
Orientador

Prof. Jefferson L. Brum Marques, Ph.D.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Jorge Coelho, D.Sc.
Presidente

Prof. C. Celso Brasil Camargo, D.Eng.

Prof. Hans Helmut Zürn, Ph.D.

Prof. Raimundo C. G. Teive, Dr.

Aos meus pais, Vilmar e Miryam.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Jorge Coelho, orientador, guia e amigo para todas as horas, e sua esposa Márcia, que foram uma segunda família para mim, por sua dedicação e paciência.

Aos Professores Celso, Hans e Raimundo, pela participação na banca examinadora, e pelas demais contribuições acadêmicas.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, em especial aos Professores do LabPlan, Ildemar C. Decker, Edson Luiz da Silva, C. Celso Brasil Camargo, Geraldo Kindermann, e aos Professores do Labspot, pela transmissão de conhecimentos.

Aos Funcionários do Departamento de PGEEL, Wilson e Marcos, pelo apoio.

À CELESC, na pessoa de Benoni Prudêncio da Silva, pelo fornecimento dos dados, pois sem eles, este trabalho tornar-se-ia irrealizável.

À CAPES e ao LabPlan, pela estrutura fornecida, viabilizando a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, pelo apoio e pelas horas de entretenimento, em especial os que ajudaram a concretizar este trabalho de alguma forma, Marcelo L. L. dos Santos, Mauricio Sperandio, Gustavo B. Arfux, André Nogueira, Juliana E., José L. Tapias N., Rody A. Zelaya Z., Ana Bárbara, Erlon C. Finardi, Alexandre N. Zucarato, Rafael R., Everton T. Sica, Francisco F., Daniel Dota, Adriano S., Fabiano A, Fabíola dos Anjos e demais amigos não mencionados.

Aos meus irmãos, Marcos André e Víctor Daniel, pelo apoio nas horas mais difíceis desta jornada, não me deixando perder o rumo, sempre me incentivando.

À Lorena A. Claramunt, minha noiva, por todo o seu amor e paciência.

A Deus, pela graça de me permitir realizar com êxito este trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

GERÊNCIA E CONTROLE PROBABILÍSTICO DE ESTOQUES DE EQUIPAMENTOS

Paulo Henrique Mendes da Silva

Março/2004

Orientador: Jorge Coelho, D.Sc.

Área de Concentração: Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica.

Palavras-chave: Controle de Estoques, Confiabilidade Operativa, Gestão de Sobressalentes, Gerência do Almoxarifado.

Número de Páginas: 97 (noventa e sete páginas).

O foco principal deste trabalho é a determinação de uma previsão de consumo para transformadores de distribuição, avaliando o quão econômico possa ser esta análise para o almoxarifado de empresas do setor elétrico. O número de peças sobressalentes ou de reserva, para uma empresa, representa um capital que, na medida do possível, deve ser otimizado, de forma a reduzir ou ampliar o número destes itens em estoque. O excesso de material de reserva no almoxarifado pode representar gastos desnecessários para a empresa, assim como a falta destes itens de reserva poderá comprometer a confiabilidade operativa do sistema. Para tal, são estudados métodos probabilísticos de tratamento de dados, como Processo de Poisson Não-Homogêneo. As curvas de Distribuição Binomial e Normal são igualmente analisadas. Os dados utilizados na realização das análises foram fornecidos sob forma de índices de avarias de transformadores de distribuição, e posteriormente foram convertidos em número de transformadores avariados para uma melhor obtenção de resultados. De posse destes resultados, compara-se o número de transformadores realmente avariados, com o previsto, atestando a confiabilidade do método proposto. Por fim um teste de aderência é realizado, comprovando a eficácia do método proposto.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

MANAGEMENT AND PROBABILISTIC CONTROL OF DEVICES STOCKS

Paulo Henrique Mendes da Silva

March/2004

Advisor: Jorge Coelho, D.Sc.

Area of Concentration: Electrical Energy Systems Planning.

Keywords: Stocks Management, Operative Reliability, Management of Backup Devices, Depot's Management.

Number of Pages: 97 (ninety seven pages).

This work is focused on determining the forecast deployment of distribution transformers, evaluating the savings this analysis brings to the warehouse of electric companies. The number of spare or reserve items for a company, represents a investment that must be optimized, to reduce or to extend the number of these itens in supply. The excess of reserve material in the warehouse can represent unnecessary expenses for the company, as well as the lack of these itens can reduce the operative reliability of the system. Thus, probabilistic methods of data handling are studied, as Non-Homogeneous Poisson Process. The Binomial and Normal distribution curves are equally analyzed. The data used were supplied by means of damage indices of distribution transformers, and later they were converted into the number of damaged distribution transformers for a better attainment of results. Then, the number of transformers actually damaged, are compared with the forecast ones, certifying the reliability of the considered method. Finally, a confidence test proves the effectiveness of the considered method.

SUMÁRIO

Resumo	v
Abstract	vi
Sumário	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Figuras	xii
Lista de Abreviaturas	xiii
1 – Introdução	1
1.1 – Objetivos deste Trabalho	2
1.2 – Estrutura da Dissertação	3
2 – Revisão Bibliográfica	5
2.1 – Introdução	5
2.2 – Definições	5
2.2.1 – Conceitos Utilizados na Demanda Regular	7
2.2.2 – Conceitos Utilizados na Demanda Irregular	9
2.3 – Controle de Estoques	11
2.3.1 – Conceito	12
2.3.2 – Classificação da Demanda	12
2.3.3 – Demanda Regular	13
2.3.3.1 – A Curva ABC	14
2.3.3.2 – O Gráfico Dente de Serra	15
2.3.4 – Demanda Irregular	19
2.4 – Processo de Poisson Não-Homogêneo (NHPP).	21
2.4.1 – Conceito	22
2.4.2 – Definições	23
2.4.3 – O Processo de Poisson Homogêneo x NHPP	24
2.4.4 – Tratamento do NHPP	25
2.4.5 – Aplicações do NHPP	26
2.5 – Conclusões	29

3 – O Modelo de Previsão de Consumo _____	31
3.1 – Introdução _____	31
3.2 – CEST – Potencialidades do Programa Computacional _____	31
3.2.1 – Executando o Controle de Estoques _____	34
3.2.2 – Previsão de Demanda _____	36
3.2.3 – Simulador de Estoques _____	38
3.3 – A Metodologia para a Previsão de Demanda de Transformadores de Distribuição ____	40
3.3.1 – Considerações Aplicadas ao Método _____	46
3.3.2 – Teste de Aderência Utilizando a Norma Euclidiana _____	49
3.4 – Conclusões _____	51
4 – Estudo de Caso: O Modelo Aplicado _____	52
4.1 – Introdução _____	52
4.2 – Dados e Sistema Teste _____	52
4.3 – Aplicação a Transformadores de Distribuição _____	54
4.4 – Análise Quantitativa e Qualitativa dos Resultados _____	61
4.4.1 – Metodologia de Previsão Baseada no NHPP com Base de Conhecimento Triannual _	61
4.4.2 – Metodologia de Previsão Baseada no NHPP com Base de Conhecimento Bianual ____	66
4.4.3 – Metodologia de Previsão Baseada na Média Aritmética dos Índices de Avarias Mensais _____	70
4.5 – O Teste de Aderência _____	75
4.6 – Conclusões _____	81
5 – Conclusões e Sugestões _____	83
5.1 – Contribuição deste Trabalho _____	84
5.2 – Sugestões para Continuidade _____	85
Anexo _____	87
Referências Bibliográficas _____	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela de Criticidade Para Itens Com Demanda Irregular	20
Tabela 3.1 – Parte do BD da Empresa Tractebel Energia SA	39
Tabela 3.2 – Tabela de Índice de Avarias Mensal (IA%) dos TD's em 1999	42
Tabela 3.3 – IA% de TD's da Regional de Florianópolis em 1999	43
Tabela 3.4 – IA%Ac da Regional de Florianópolis em 1999	44
Tabela 3.5 – Logaritmo Natural de IA%Ac da Regional de Florianópolis em 1999	44
Tabela 3.6 – Logaritmo Natural de [t] da Regional de Florianópolis em 1999	44
Tabela 3.7 – β e L da Regional de Florianópolis	45
Tabela 4.1 – β e L: Base Três Anos (1999 - 2001)	56
Tabela 4.2 – Índices de Avarias Previstos Para o Ano de 2002	57
Tabela 4.3 – Índices Acumulados de Avarias Previstos Para o Ano de 2002	58
Tabela 4.4 – Número Acumulado de TD's Avariados Durante o Ano de 1999	59
Tabela 4.5 – Número Acumulado de TD's Avariados Durante o Ano de 2000	59
Tabela 4.6 – Número Acumulado de TD's Avariados Durante o Ano de 2001	59
Tabela 4.7 – Número Acumulado de TD's Avariados Durante o Ano de 2002	60
Tabela 4.8 – Número Acumulado de TD's Avariados Previstos Para o Ano de 2002	60
Tabela 4.9 – Tabela Δ Real - Número Mensal de TD's Realmente Avariados	63
Tabela 4.10 – Tabela Δ Previsto - Número Mensal de TD's Avariados Previstos	63
Tabela 4.11 – Tabela Δ Real Acumulada – No. Acumulado de TD's Realmente Avariados	64
Tabela 4.12 – Tabela Δ Previsto Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto	64
Tabela 4.13 – Erros de Previsão por Regional – (Tabela Δ Real Acum.– Tabela Δ Previsto Acum.)	65
Tabela 4.14 – Tabela de Erros Mensal Individual	65
Tabela 4.15 – Erros das Médias Mensais	66
Tabela 4.16 – Tabela Δ Real Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto Com Base Bianual (2001)	67

Tabela 4.17 – Tabela Δ Prevista Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto Com Base Bianual (2001)	67
Tabela 4.18 – Análise dos Erros Mensais Prevendo o Ano de 2001 Com Base Bianual de Dados	68
Tabela 4.19 – Tabela Δ Real Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto Com Base Bianual (2002)	68
Tabela 4.20 – Tabela Δ Prevista Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto Com Base Bianual (2002)	69
Tabela 4.21 – Análise dos Erros Mensais Prevendo o Ano de 2002 Com Base Bianual de Dados	69
Tabela 4.22 – IA%'s Médios Ocorridos – Base Triannual	71
Tabela 4.23 – Tabela de Transformadores de Distribuição Avariados em 2002 Obtidos Pelos IA%'s Médios – Base Triannual	71
Tabela 4.24 – Tabela Δ Acumulada Prevista Pela Média - Base Triannual	72
Tabela 4.25 – Erro Obtido Pela Média Triannual (Previsão Para 2002)	72
Tabela 4.26 – Erro Obtido Pela Média Bianual (Previsão Para 2002)	73
Tabela 4.27 – Erro Obtido Pela Média Bianual (Previsão Para 2001)	73
Tabela 4.28 – Tabela de Comparação dos Erros	74
Tabela 4.29 – Tabela de Vetores Normalizados – TD's Realmente Avariados Acumulado	76
Tabela 4.30 – Tabela de Vetores Normalizados – TD's Avariados Previstos Acumulado	77
Tabela 4.31 – Tabela de Vetores Diferença	77
Tabela 4.32 – Tabela de Desvios Padrão de Similaridade	78
Tabela A.1 – TD's em Operação no Início do Primeiro Mês de 1999	88
Tabela A.2 – TD's em Operação no Final de Cada Mês de 1999	88
Tabela A.3 – TD's em Operação no Final de Cada Mês de 2000	88
Tabela A.4 – TD's em Operação no Final de Cada Mês de 2001	89
Tabela A.5 – TD's em Operação no Final de Cada Mês de 2002	89
Tabela A.6 – Índices de Avarias Mensais Durante o Ano de 1999	89
Tabela A.7 – Índices de Avarias Mensais Durante o Ano de 2000	90

Tabela A.8 – Índices de Avarias Mensais Durante o Ano de 2001	90
Tabela A.9 – Índices de Avarias Mensais Durante o Ano de 2002	90
Tabela A.10 – Índices Acumulados de Avarias Real Durante o Ano de 1999	91
Tabela A.11 – Índices Acumulados de Avarias Real Durante o Ano de 2000	91
Tabela A.12 – Índices Acumulados de Avarias Real Durante o Ano de 2001	91
Tabela A.13 – Índices Acumulados de Avarias Real Durante o Ano de 2002	92
Tabela A.14 – Logaritmo Natural dos Índices de Avarias Acumulados Durante o Ano de 1999	92
Tabela A.15 – Logaritmo Natural dos Índices de Avarias Acumulados Durante o Ano de 2000	92
Tabela A.16 – Logaritmo Natural dos Índices de Avarias Acumulados Durante o Ano de 2001	93
Tabela A.17 – Logaritmo Natural dos Índices de Avarias Acumulados Durante o Ano de 2002	93
Tabela A.18 – Logaritmo Natural do Tempo Durante o Período de Análise	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Comportamento de um Item com Consumo Regular	14
Figura 2.2 – Comportamento Típico de uma Curva ABC	15
Figura 2.3 – Gráfico Dente de Serra	16
Figura 2.4 – Fluxograma de Obtenção dos Lotes	17
Figura 2.5 – Tabela de Níveis Para Demanda Regular	18
Figura 2.6 – Comportamento de um Item com Consumo Irregular	19
Figura 2.7 – Desvios Padrão	21
Figura 2.8 – Curva da Banheira	22
Figura 3.1 – Fluxograma de Execução do CEST	33
Figura 3.2 – Janela Principal do Software CEST	34
Figura 3.3 – Previsão de Demanda Para o Ano de 2002 Com Base Nos Três Anos Anteriores	37
Figura 3.4 – Curva de Consumo para a Regional de Criciúma	37
Figura 3.5 – Ambiente do Simulador de Estoques	38
Figura 3.6 – O “Vazio” Entre as Somas	43
Figura 3.7 – Gráfico Linearizado da Regional de Florianópolis	45
Figura 4.1 – As Dezesesseis Regionais Analisadas	53
Figura 4.2 – Linearização Para Obtenção de β e L (Regional de Florianópolis)	55
Figura 4.3 – Influência do Valor de β na Regional de Videira (1999 – 2002)	61
Figura 4.4 – Influência do Valor de β na Regional de Criciúma (1999 – 2002)	62
Figura 4.5 – Evolução dos Erros Mensais (Ano de 2002)	75
Figura 4.6 – Aderência Para a Regional de Florianópolis	79
Figura 4.7 – Aderência Para a Regional de Joaçaba	79
Figura 4.8 – Aderência Para a Regional de São Miguel d’Oeste	80
Figura 4.9 – Aderência Para a Regional de Tubarão	81

LISTA DE ABREVIATURAS

CELESC	- Centrais Elétricas de Santa Catarina SA.
IA's	- Índice de Avarias.
IA%	- Índice de Avarias Mensal.
IA%Ac	- Índice de Avarias Acumulado.
IA%Acr	- Índice de Avarias Acumulado Real.
IA%Acp	- Índice de Avarias Acumulado Previsto.
TD's	- Transformadores de Distribuição.
NTDAv	- Número de Transformadores de Distribuição Avariados.
HPP	- Processo de Poisson Homogêneo.
NHPP	- Processo de Poisson Não-Homogêneo.
CEST	- Controle de Estoques (software).
EB	- Estoque Base.
LS	- Limite de Segurança.
LR	- Limite de Ressuprimento.
IR	- Intervalo de Ressuprimento.
FR	- Frequência de Reposição.
LC	- Lote de Compra.
Emáx	- Estoque Máximo.
EM	- Estoque Médio.
TR	- Tempo de Reposição.
NPI	- Número de Peças Instaladas.
TMV	- Tempo Médio de Vida.
GI	- Grau de Importância.
NR	- Nível de Ressuprimento.
WPP	- Processo de Poisson Weibull.
ABRAMAN	- Associação Brasileira de Manutenção.

As Regionais:

FLO	- Florianópolis.
BLU	- Blumenau.
JOI	- Joinvile.
LAG	- Lages.
VID	- Videira.
CON	- Concórdia.
JSL	- Jaraguá do Sul.
JOA	- Joaçaba.
CRI	- Criciúma.
SMO	- São Miguel d'Oeste.
TUB	- Tubarão.
RSU	- Rio do Sul.
MAF	- Mafra.
SBS	- São Bento do Sul.
ITA	- Itá.
CHA	- Chapecó.

1 – INTRODUÇÃO

Toda empresa, seja do setor elétrico ou não, precisa possuir sua receita atualizada em dia e bem gerenciada. Esta gerência passa pelo controle de qualquer item o que possa representar lucro ou prejuízo.

Dentre o que se deve ter controle em uma empresa, destaca-se a importância do almoxarifado. No almoxarifado se encontram os itens de reposição da empresa, que são utilizados em caso de falha em sua rede, sendo imediatamente colocados em operação.

A quantidade de peças que devem ser mantidas em estoque, normalmente representa um capital imobilizado que deverá ser controlado, e se possível, otimizado, pois o excesso destes itens no almoxarifado poderá ocasionar altos custos para a empresa, assim como a falta de itens de reposição neste estoque poderá comprometer a confiabilidade operacional do sistema.

Baseado no exposto acima é que se deve ter em mente, quais pontos irão interferir direta e indiretamente na determinação de um estoque de itens de reserva. Dos pontos a serem analisados, algumas informações vitais para as análises vão além do histórico de consumo dos itens, bem como do tempo de sua reposição, como é observado no controle de estoque convencional, relativo ao consumo de material de demanda permanente.

As informações de caráter técnico que são igualmente importantes para a realização destas análises, geraram a necessidade de se desenvolver novas técnicas de gerenciamento e controle. Para estas novas técnicas, foram necessárias novas variáveis, e para estas variáveis, foram necessários novos tratamentos estatísticos para se levar em conta os aspectos probabilísticos presentes em ambientes de incerteza.

Os itens de reserva foram classificados em dois tipos de demanda neste trabalho: os itens que possuem Demanda Regular (com variação determinística) e os itens que possuem Demanda Irregular (com variação probabilística). Para cada grupo foi desenvolvida uma metodologia para a determinação do estoque. Para os itens que possuem Demanda Regular, o estoque é determinado através da metodologia de Controle de Estoques por Níveis; por outro lado, para os itens que possuem Demanda

Irregular, o estoque probabilístico é determinado através de uma metodologia estocástica de Controle do Estoque Base.

Para cada metodologia, existe um conjunto específico de variáveis. Porém, no que diz respeito a itens com demanda irregular (Estoque Base), se pode efetuar um estudo muito interessante sobre previsão destes itens de reserva, na ocorrência de falhas, gerando necessidade de reposição. Tal previsão de demanda é o foco principal do tema deste trabalho de dissertação.

Utilizando-se ferramentas de cunho probabilístico (estocástico e determinístico), é possível realizar, com uma certa margem de erro, uma previsão de falhas dos itens em operação, para um melhor gerenciamento daqueles itens que permanecem em estoque.

Esta previsão fornecerá ao gestor de estoques informações de caráter decisivo com as quais ele poderá atuar, assumindo um grau de risco no momento da compra de novos itens de reserva.

Por exemplo, baseado no número de transformadores de distribuição (TD's) avariados durante um período, realizam-se cálculos de modo a se fazer uma previsão da necessidade futura de novas compras. Esta previsão é então analisada e com a aprovação do gestor é realizada a compra dos itens de reposição.

1.1 – Objetivos deste Trabalho

O principal objetivo deste trabalho de dissertação é determinar de uma maneira objetiva, uma previsão de demanda de unidades sobressalentes (itens de reserva), que saem do almoxarifado em caso de falha de itens que estão operando de forma normal no sistema.

Os principais focos a serem abordados ao longo deste trabalho de dissertação são os seguintes:

- Levantamento dos Índices de Avarias (IA's) de Transformadores de Distribuição de uma Concessionária de energia elétrica, no período de 1999 a 2002, para serem realizados os estudos, inclusive determinando outras grandezas utilizadas no processo de previsão de consumo.
- A determinação de Índice de Avarias futuras, obtidos através de curvas que determinarão os parâmetros de desempenho do almoxarifado de cada

regional analisada. Estes índices futuros obtidos fazem referência ao ano de 2002.

- A conversão destes Índices de Avarias (percentuais) em números de TD's avariados. A análise dos números de TD's avariados é mais significativa que a análise estatística realizada para os IA's, pois estes últimos são muito pequenos.
- Por fim é realizado um teste de aderência para comprovar a eficiência do método, demonstrando o quão próximo os valores previstos estão dos valores reais. A aderência mostrará também o erro apresentado pela previsão, e que deverá ser levado em consideração no ato da tomada da decisão.

1.2 - Estrutura da Dissertação

O presente trabalho de dissertação está organizado em cinco capítulos.

No Capítulo 1, são apresentadas a introdução e a estrutura da dissertação, explicitando as etapas de elaboração deste trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica, que detalha conceitos, definições sobre termos utilizados e suas aplicações. Algumas ferramentas utilizadas no processo são expostas neste capítulo, tais como classificação de demanda e Processo de Poisson Não-Homogêneo (NHPP). Uma parte deste capítulo será destinada às aplicações do NHPP, mais precisamente nas aplicações mais atuais desta ferramenta estatística.

O Capítulo 3 objetiva detalhar o modelo proposto. Neste capítulo se faz necessário um breve comentário sobre o pacote computacional CEST – Controle de Estoques (CEST, 2002) desenvolvido em paralelo com este trabalho. As funções básicas deste pacote computacional são expostas rapidamente, de modo a torná-las conhecidas e familiarizadas. O teste de demanda é comentado e a metodologia de previsão de demanda é explicitada, adicionada de comentários referentes à previsão desta demanda, culminando com o teste de aderência que é devidamente detalhado.

O Capítulo 4 destina-se à aplicação do modelo proposto, por vias de um estudo de caso realizado junto à empresa CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina SA, que forneceu os dados para a realização do presente estudo. Os dados e o sistema teste são apresentados neste capítulo e aplicados a transformadores de distribuição, seguido

de uma análise qualitativa e quantitativa dos resultados. Após as análises, um teste de aderência é aplicado e comentado, fazendo menção à legitimidade destes resultados.

No Capítulo 5, o último desta dissertação, são apresentadas as conclusões gerais dos estudos realizados com as contribuições deste trabalho, bem como são feitas sugestões para uma possível continuidade no tema desenvolvido.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Introdução

O presente trabalho de pesquisa objetiva desenvolver uma metodologia de previsão de demanda de itens de reposição, baseada em modelos probabilísticos.

Para uma melhor compreensão do que se está realizando atualmente no dia-a-dia das empresas, bem como obter conhecimento do se utilizou em pesquisas passadas, foi realizado um estudo prévio focando os fundamentos teóricos e práticos utilizados em trabalhos de pesquisa e outros tipos de referências bibliográficas relacionadas a este tema.

Conceitos relativos a controle de estoques serão apresentados para um melhor entendimento, até mesmo dos termos técnicos utilizados neste trabalho de pesquisa. É desenvolvida uma abordagem simples do controle de estoques para itens de reposição. Os tipos de demanda destes itens também são descritos. Separados os tipos de demanda, a metodologia aplicada ao controle de estoques para cada tipo de demanda foi apresentada. A aplicação do Processo de Poisson Não-Homogêneo – NHPP, bem como seu conceito, são apresentados de forma a tornar mais familiar esta metodologia probabilística, utilizada como ferramenta base para o desenvolvimento da análise feita para a previsão de demanda em transformadores de distribuição.

2.2 – Definições

Algumas definições se fazem necessárias para uma melhor compreensão do tema *Gerência e Manutenção de Estoques*. Deste modo, são apresentados os principais conceitos relativos a:

Estoque:

Qualquer quantidade de bens físicos que sejam conservados por algum tempo de forma improdutiva, pode ser considerada um estoque (MOREIRA, 1996), seja este bem físico a matéria-prima ou o produto (item) que aguarda venda ou despacho.

Demanda:

Especificamente neste trabalho de dissertação, a demanda a que o texto fará referência estará sempre relacionada à quantidade de material (peças ou itens) consumido, (diferentemente do conceito usual de demanda elétrica, por exemplo). Logo, demanda de um certo item será o mesmo que afirmar consumo do mesmo, ou simplesmente “quantidade requerida de um item para atendimento a uma necessidade” (MACHADO, 1994).

Demanda Regular:

Também conhecido como *Consumo Constante*, tem esta denominação devido ao fato do fluxo de item (consumo), não possuir grandes flutuações, ou seja, o estoque de itens com este tipo de demanda terá um comportamento determinístico do ponto de vista matemático (MACHADO, 1994; MACHADO et. al., 1994; TOMAZ et. al., 2003).

Demanda Irregular:

O item possui demanda dita irregular quando esta não ocorre por necessidade contínua ou programada (MACHADO, 1994; MACHADO et. al., 1994; SILVA et. al., 2003). Fatores de ordem estocástica influenciam diretamente no cálculo do estoque de itens com este tipo de consumo, do ponto de vista matemático.

Controle de Estoques por Níveis:

Também conhecido como *Dente de Serra* ou *Por Ponto de Pedido* (MACHADO, 1994), este tipo de controle de estoque prevê a quantidade de determinado item que se deve possuir em estoque quando este for de demanda regular (VIEIRA, 1999). Os índices utilizados para a obtenção deste estoque serão analisados mais adiante.

Controle de Estoque Base:

O *Modelo Dinâmico para Determinação do Estoque* de itens que possuem consumo irregular é o que representa o Estoque Base (MACHADO, 1994). A maior parte dos índices, mostrados mais adiante, que serão utilizados para a determinação deste tipo de estoque, é de natureza estocástica (MACHADO et. al., 1994).

2.2.1 – Conceitos Utilizados na Demanda Regular:

1. Classificação ABC:

Esta classificação é representada por uma curva em formato exponencial (FIGURA 2.2), cujo eixo das abscissas corresponde aos itens (e estes são ordenados da esquerda para a direita, da maior para a menor porcentagem de investimento) e o eixo das ordenadas corresponde à porcentagem acumulada dos investimentos destes itens (MOREIRA, 1996). A curva representa a importância que cada item possui no estoque, cujos itens possuem demanda regular.

Ao estudar a distribuição de renda de uma população do sistema econômico onde vivia, Vilfredo Pareto (1848-1923), que era economista, sociólogo e engenheiro italiano, descobriu que havia uma certa regularidade na distribuição da renda nos países capitalistas e nos países onde imperavam relações feudais ou de capitalismo nascente. Assim, para ele, o maior segmento da renda nacional concentrava-se em uma pequena parte da mesma renda.

Pareto passou a anotar uma série de dados a respeito do número de pessoas relacionadas à faixa de renda recebida. Com estes dados, ele traçou vários gráficos com várias faixas de renda. Estes gráficos eram compostos por diferentes faixas de renda no eixo das abscissas e o número de pessoas que recebiam rendas iguais ou superiores às de cada faixa no eixo das ordenadas e notou que de 80 a 90% da população pertenciam a pelo menos duas classes inferiores. Nascia assim o *Diagrama de Pareto*.

Desta forma, este famoso gráfico de Pareto foi sendo adaptado, ano após ano, com a finalidade de se obter uma aplicabilidade mais abrangente. Então, nos últimos 30 anos, o princípio de Pareto foi sendo adaptado e aplicado a materiais de reposição ou simplesmente a gerenciamento de estoques. O gráfico de Pareto passou a se chamar Classificação, ou Curva ABC, devido às regiões de abrangência do gráfico. Com a classificação ABC, fica mais fácil a análise e a divisão dos grupos de itens, dando o devido tratamento aos itens de maior importância para o estoque da empresa.

2. Gráfico Dente de Serra:

Este gráfico apresenta o comportamento, ou a evolução, da quantidade em estoque de um determinado item, ao longo do tempo (MOREIRA, 1996; O'CONNOR,

1991; SPIEGEL, 1978). Através deste gráfico determina-se o ponto de pedido dos itens que possuem demanda regular (vide FIGURA 2.3).

3. Limite de Segurança (LS):

Também conhecido como Limite Máximo. O Limite de Segurança é a quantidade destinada ao atendimento da demanda quando esta ocorrer em quantidade acima do normal ou quando o ressuprimento ocorrer em tempo superior ao previsto (MACHADO, 1994).

4. Limite de Ressuprimento (LR):

Também conhecido como Limite Mínimo. O Limite de Ressuprimento é o nível de estoque que indica a necessidade de ressuprimento de um item de material.

5. Intervalo de Ressuprimento (IR):

O Intervalo de Ressuprimento é o intervalo de tempo entre duas datas consecutivas para ressuprimento (substituição) do item.

6. Freqüência de Reposição (FR):

A Freqüência de Reposição é o número de vezes que um item de material será repostado em um período considerado de tempo.

7. Lote de Compra (LC):

O Lote de Compra é a quantidade de material (peças ou itens de reserva) adquirida em cada processo de ressuprimento, e que será mantida em estoque.

8. Estoque Máximo (EM_{áx}):

O Estoque Máximo é a quantidade máxima esperada em estoque para um determinado item de material adquirido nos Lotes de Compra.

9. Estoque Médio (EM):

O estoque Médio é a quantidade média de material (peças ou itens de reserva) em estoque em um determinado período de tempo.

10. Tempo de Reposição (TR):

Também válido para itens de consumo irregular. É o tempo decorrido entre a data na qual a necessidade de suprimento é formalizada e aquela em que o material é efetivamente recebido e considerado em condições de utilização (VIANA, 2000).

2.2.2 – Conceitos Utilizados na Demanda Irregular:

As variáveis utilizadas para a obtenção de Estoque Base são as seguintes:

11. Número de Peças Instaladas (NPI):

Quantidade total de peças em operação em cada universo considerado, independente do tipo ou quantidade dos equipamentos onde estão instalados e sua utilização (MACHADO et. al., 1994; VIANA, 2000).

12. Tempo de Reposição (TR):

Também válido para itens que possuem demanda regular. Possui o mesmo conceito acima exposto (Índices Utilizados na Demanda Regular – item 10).

13. Tempo Médio de Vida (TMV):

Tempo médio durante o qual uma peça ou componente permanece em operação sem qualquer defeito. Em geral, essa informação é fornecida inicialmente pelos fabricantes e posteriormente confirmada ou atualizada em função dos registros gerados na Empresa. Esta variável determina a taxa de falha da peça (MACHADO et. al., 1994; VIEIRA, 1999).

14. Grau de Importância (GI):

O Grau de Importância é o critério de classificação que visa considerar a importância do item quanto ao seu impacto global para o processo e/ou para a empresa, fundamental em manutenção, por exemplo (MACHADO et. al., 1994; VIEIRA, 1999).

Taxa de Falhas:

Também conhecida, em alguns casos, como *Taxa de Transição*. É a razão entre o número de falhas de um determinado item por unidade de tempo, e o número de componentes expostos à falha (ANDERS, 1990; COELHO, 2002).

$$\lambda(t) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de falhas por unidade de tempo}}{\text{N}^\circ \text{ de componentes expostos à falha}} \quad (2.1)$$

Ou ainda, se a taxa de falha estiver relacionada a um único componente:

$$\lambda(t) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de falhas da unidade}}{\text{Tempo em que a unidade está em operação}} \quad (2.2)$$

Para a devida caracterização destas variáveis, utilizam-se as seguintes distinções estatísticas:

Distribuição Normal:

Em se tratando de distribuição de probabilidade contínua, pode-se encontrar a Distribuição Normal. Dada uma variável aleatória qualquer X , esta variável aleatória terá uma função densidade de probabilidade associada. Esta função é composta basicamente de dois parâmetros: μ e σ , onde μ representa a média e σ representa o desvio padrão, ambos relativos à variável aleatória X . Uma notação utilizada para representar tal distribuição é $N(\mu, \sigma)$. Esta distribuição é dita normal quando a média (μ) possui valor nulo ($\mu = \text{zero}$) e o desvio padrão (σ) da mesma variável aleatória possui valor igual a um ($\sigma = \text{unitário}$), características estas que levam a sua aplicação em controle de estoques, pois esta distribuição é considerada “bem comportada” (ANDERS, 1990; PAPOULIS, 1986).

Distribuição Binomial:

Em se tratando de distribuição de probabilidade discreta, pode-se encontrar a Distribuição Binomial. Esta distribuição trabalha com a média (μ) e desvio padrão (σ), porém estes parâmetros dependem da probabilidade de ocorrência ou não de determinado evento. Atribui-se então (p) para a probabilidade de ocorrência de um evento em cada tentativa, e (q) para a probabilidade de não ocorrência, onde ($q = 1 - p$). Esta distribuição tem como média $\mu = np$ e desvio padrão como sendo $\sigma = \sqrt{npq}$. A aplicação desta Distribuição em controle de estoques (np elevado) é devida à possibilidade de aproximação da Distribuição Normal, fato que é explicado no Capítulo 3.

Processo de Poisson Não-Homogêneo (NHPP):

Em inglês, o Processo de Poisson Não-Homogêneo é denominado Non-Homogeneous Poisson Process (NHPP). Dada uma variável aleatória X , e um valor esperado do número de eventos (λX), então, um Processo de Poisson Não-Homogêneo é caracterizado por ser um processo não estacionário (O'CONNOR, 1991; CROW, 1990; CROW 1993). Logo, a distribuição do número de eventos em um intervalo muda com o acréscimo de X . NHPP descreve uma seqüência de variáveis aleatórias nas quais não são nem independentemente nem identicamente distribuídas. Também pode ser caracterizado por possuir a chamada *Taxa de Avarias Variante no Tempo*. Esta é a razão pela qual se aplica o NHPP em controle de estoques, ou seja, se aplica NHPP devido às variáveis de campo serem não-homogêneas. As aplicações desta função serão efetuadas no Capítulo 3. De (O'CONNOR, 1991; SPIEGEL 1978), tem-se:

$$f(X) = \frac{(\lambda X)^n}{n!} \exp(-\lambda X), \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

2.3 – Controle de Estoques

Deve-se ter um total controle dos itens de reserva que se encontram em estoque na empresa, de modo a otimizar o volume destes itens no almoxarifado.

O excesso ou falta desses itens poderá então, resultar em custos de manutenção e comprometer a confiabilidade operacional do sistema. Entretanto, a gestão deste material sobressalente para equipamentos em operação precisa de informações que vão além do histórico de consumo bem como do tempo de reposição, que normalmente é empregado no controle convencional (material de demanda permanente).

Uma das alternativas é quantificar adequadamente o estoque de materiais de reserva. Uma vez estando adequadamente quantificado o estoque, os resultados obtidos possibilitarão uma melhoria na confiabilidade operacional do sistema elétrico em questão, além de um aumento da capacidade de análise de risco do setor de materiais da empresa. Ainda existe o benefício (ganho) obtido em função das variações dos custos unitários (significativo em economias inflacionárias).

Através do Controle de Estoques são analisados índices como o Número de Peças Instaladas no Campo, o Tempo de Reposição (*Lead Time*) e o Tempo Médio de

Vida, Graus de Importância e Risco de Falta ou Falha (criticidade relativa a seu impacto global para o processo).

Utilizando-se ferramentas de natureza probabilística como NHPP, pode-se identificar itens de consumo irregular (reserva de operação), tendo estes itens um tratamento diferenciado dos demais itens de consumo regular (cujo modelo é o já conhecido e utilizado *Controle de Estoques por Níveis*), bem como obter pontos atípicos que se situam fora da curva de consumo usual (CEST, 2002).

2.3.1 – Conceito

O Controle de Estoques é o resultado da obtenção da quantidade de material de item de reserva necessário à empresa, obtido de maneira ótima, a fim de tornar esta quantidade ideal para o suprimento (reposição), e ideal para as despesas da empresa, uma vez que esta deixará de comprar itens de reserva para seu almoxarifado desnecessariamente (MOREIRA, 1996; VIANA, 2000).

2.3.2 – Classificação da Demanda

Como já foi mencionado nesta dissertação, a *Demanda* na qual este trabalho fará referência, representa o consumo mensal de material.

A classificação da demanda é feita com a finalidade de se separar em dois grandes grupos, de acordo com o fluxo de saída de cada almoxarifado: os itens com demanda regular e os itens com demanda irregular.

Esta classificação da demanda permitirá a organização de forma prática os itens de reserva (reserva de operação), separando-os entre aqueles que possuem seu consumo (conjunto operação/falha) bem regular, ou seja, uma demanda mais constante, daqueles que possuem seu consumo irregular, ora quebrando muitas peças, ora não quebrando nenhuma.

Ainda pode-se afirmar que a quantidade de material requerido para o atendimento das necessidades da empresa, estará relacionada diretamente com a utilização deste material ao longo do tempo. Portanto, este é mais um motivo para o qual se classifica a demanda (VIANA, 2000).

Ao se realizar a divisão do desvio padrão do consumo anual do item pela média do consumo anual deste mesmo item, obtém-se o que se costuma chamar de *Coefficiente*

de Variação (SILVA, 2003) anual do item. Baseado neste coeficiente é que foi criada uma metodologia de separação dos dois grandes grupos de consumo acima citados (VIANA, 2000).

Quando este valor é igual ou inferior a 20%, determina-se que o consumo será considerado regular. Em caso contrário, ou seja, quando o *Coefficiente de Variação* anual do item for superior a 20%, determina-se que o consumo será considerado como irregular. A esta separação dá-se o nome de *Teste de Demanda*. Este valor de 20% é determinado, normalmente, através da experiência do gestor de estoques que controla a entrada e a saída dos itens de reserva do almoxarifado da empresa.

Logo após a separação em dois grupos de demanda, efetua-se o controle de estoques mais apropriado. No primeiro caso, aplicado a itens que possuem demanda regular, executa-se o chamado *Controle de Estoques por Níveis*. No segundo caso, aplicado a itens que possuem demanda irregular, executa-se o controle de estoques conhecido por *Estoque Base*. Ambas as metodologias serão apresentadas a seguir.

2.3.3 – Demanda Regular

Como é bem retratado em (VIANA, 2000), o Consumo ou a Demanda Regular “caracteriza-se por materiais utilizados significativamente, em quantidades de pequena variação entre sucessivos intervalos constantes de tempo”.

Assim, pode-se definir claramente este tipo de consumo de material. A forma conhecida mais simples de controle de estoques por níveis é chamada de Sistema de Duas Gavetas (MACHADO, 1994) por ter origem em controle de pequenos itens que eram guardados em duas gavetas, no qual a retirada de itens destas gavetas implicaria em reposição do conteúdo consumido.

Também há o método denominado Sistemas de Máximos e Mínimos, onde limites máximos e mínimos de estoque são pré-definidos, para se estabelecer o ponto de ressuprimento. Ambos os métodos tratam a demanda como sendo de consumo praticamente constante no tempo (MACHADO, 1994).

Este último método baseado em limites mínimos e máximos de peças que devem estar estocadas estabelece como resultado final o *Lote de Compras*. O gráfico assemelha-se a uma função dente de serra (por esta razão, atribuiu-se o nome ao gráfico). À medida que o tempo de consumo vai evoluindo, o estoque atinge um valor

limite de segurança, o qual serve de alerta para se efetuar a compra de novos itens para o estoque. Logo abaixo se pode observar o comportamento de um item que possui *Demanda Regular* (FIGURA 2.1).

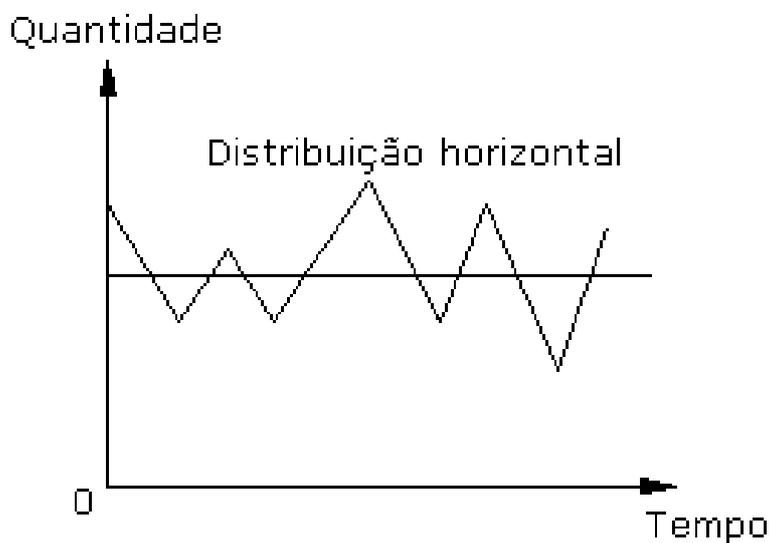


FIGURA 2.1 - Comportamento de um Item com Consumo Regular

Este método de obtenção de estoque, conhecido como Estoque por Níveis, utiliza dois conceitos importantes para a sua compreensão bem como sua obtenção. São eles: A *Curva ABC*, e o *Gráfico Dente de Serra*.

2.3.3.1 – A Curva ABC

Com a finalidade de se gerenciar estoques de itens que possuem demanda regular, faz-se uso da classificação ABC, atribuindo mais importância a certos itens e menos a outros, baseado no comprometimento da confiabilidade operativa do processo produtivo das empresas. Este tipo de classificação é aplicável a qualquer situação em que seja possível estabelecer prioridades ou importâncias (VIANA, 2000).

A classificação fornecerá três patamares (MOREIRA, 1996; VIANA, 2000):

Classe A: Itens (ou grupos de itens) que devem receber atenção especial, sendo muito importantes. Estes itens representam para a empresa a maior porcentagem acumulada dos investimentos.

Classe B: Itens (ou grupos de itens) que representam uma porcentagem intermediária dos mesmos, bem como uma porcentagem acumulada intermediária dos investimentos. Devem receber um pouco menos de atenção que os itens da Classe A.

Classe C: Itens (ou grupos de itens) que representam grande parte (ou a maior parte) dos itens de menor importância para a empresa, ou seja, representam uma porcentagem pequena dos investimentos da empresa. Os itens com esta classificação possuem menor importância para a empresa, porém não são desprezíveis.

Pode-se perceber o comportamento típico de uma Curva ABC na FIGURA 2.2, e saber um pouco mais da história desta metodologia no APÊNDICE A.

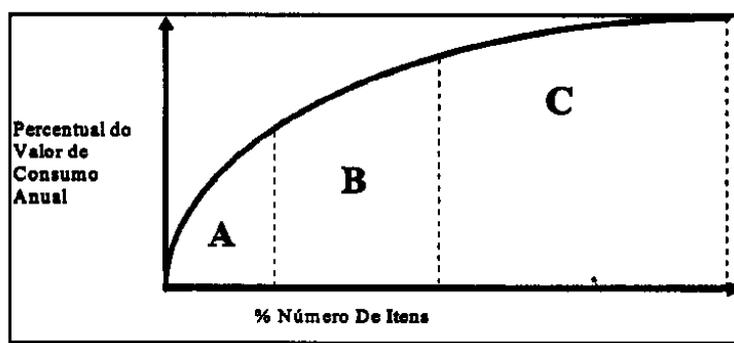


FIGURA 2.2 - Comportamento Típico de uma Curva ABC

Com as explicações acima e com a ilustração da FIGURA 2.2, consegue-se uma visualização gráfica de como são classificados os itens que possuem demanda regular. Normalmente itens mais caros e mais usuais receberão classificação A, pois além de sua importância para a empresa, há uma necessidade de estoque para estes itens. Assim, um acompanhamento do consumo deve ser feito, pois, por vezes, itens muito importantes são caros, sendo que a Classificação ABC auxilia o gestor de estoques neste aspecto.

2.3.3.2 – O Gráfico Dente de Serra

O gráfico abaixo, extraído de (MACHADO, 1994) é conhecido como *Gráfico Dente de Serra* ou por *Gráfico por Ponto de Pedido*, e representa o comportamento do consumo de um item que possui demanda regular. Este método possui intervalos de tempo bem definidos para a reposição de peças (itens).

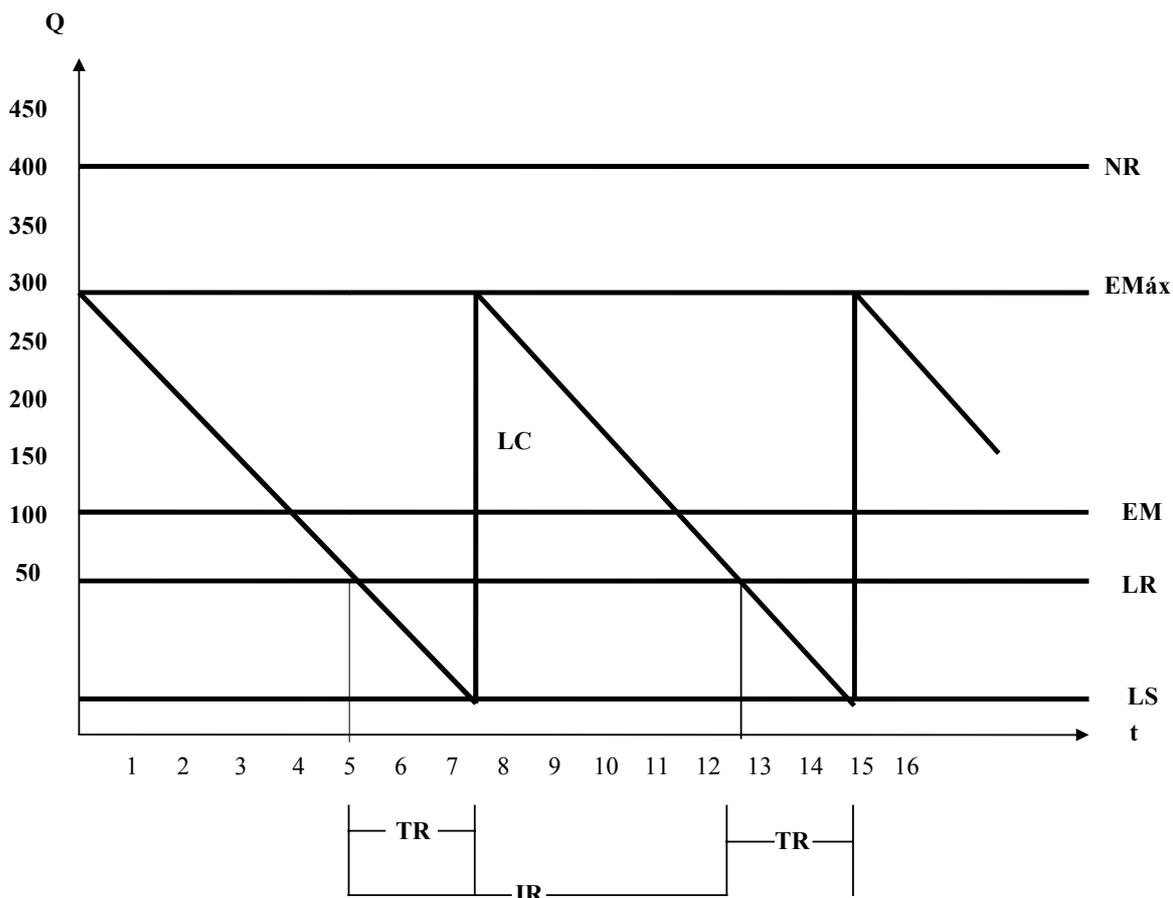


FIGURA 2.3 - Gráfico Dente de Serra

Onde (t) representa o período em meses, e (Q) a quantidade de material em unidades.

Acompanhando a linha com o formato da função dente-de-serra, pode-se perceber que ao longo do tempo, o consumo do item possui característica decrescente, até o momento em que ele atinge o chamado Limite de Ressuprimento (LR), que indica o momento em que se deve repor determinado item de consumo. Neste momento, o departamento responsável é acionado pelo almoxarifado da empresa, promovendo a compra de mais itens de reposição para o estoque. Esta compra é realizada em lotes, e estes são chamados de Lotes de Compra (LC), o qual será efetivamente realizado após o tempo corrido igual ao Tempo de Ressuprimento (TR), supondo TR constante.

Todo item de reposição possui uma quantidade máxima que é esperada pela empresa (lotes), que o almoxarifado está programado para receber, chamada de Estoque Máximo (EMáx), que não pode ser confundido com o Nível de Ressuprimento ou

Reposição (NR), que representa a quantidade máxima de material admissível pela empresa em estoque e em ressurgimento.

Na FIGURA 2.3 ainda aparecem os conhecidos Estoque Médio (EM), representando a quantidade média de material de reposição que há em estoque em certo período, e o Limite de Segurança (LS), que é o patamar mínimo aceitável destinado ao atendimento da demanda, quando esta ocorrer em quantia acima do normal ou ainda quando o ressurgimento ocorrer em tempo superior ao previsto.

Convém lembrar que este método utiliza intervalos igualmente espaçados de tempo, tornando o método cíclico e aplicável a itens que possuem demanda regular.

Assim, o Controle de Estoques por Níveis segue o seguinte procedimento: primeiramente efetua-se a classificação ABC de cada item em questão, para atribuir prioridades no momento de sua reposição. Após esta classificação, obtém-se os Lotes (Mínimo, Máximo e de Compra) a partir do Tempo de Reposição (TR) de cada item. A equação (2.4) traduz como seriam obtidos os Lotes.

$$Lote = \overline{Consumo} \times f(TR; Classe) \quad (2.4)$$

Onde: $\overline{Consumo}$ representa o Consumo Médio do item no período estudado e $f(TR; Classe)$ representa a função correspondente ao Tempo de Reposição do item associado à Classe (A, B ou C) deste item. Logo a seguir é apresentado um fluxograma, o qual é representado pela FIGURA 2.4.

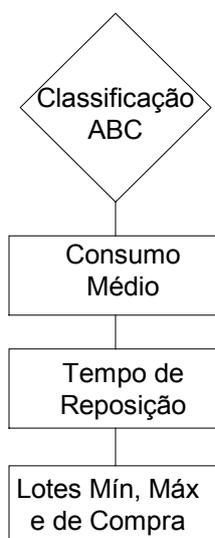


FIGURA 2.4 – Fluxograma de Obtenção dos Lotes

Dependendo do Tempo de Reposição de cada item estudado (15, 30, 45, 60, 90 ou 120 dias), utiliza-se o valor do peso correspondente do item atribuído a cada classe (A, B ou C) encontrado na chamada Tabela de Níveis. Este valor é multiplicado então pelo Consumo Médio do item no período em estudo, fornecendo o lote que se deseja encontrar, como se observa na equação (2.4). Para cada Lote (Mínimo, Máximo ou de Compra) existe uma Tabela de Níveis associada. Esta tabela foi extraída de (MACHADO, 1994), e é apresentada a seguir na FIGURA 2.5.

De acordo com a metodologia, os valores que constam na Tabela de Níveis são multiplicados pelo consumo mensal do item no período de análise, fornecendo o Controle de Estoque por Níveis. Os valores desta tabela são atribuídos de forma que melhor for conveniente ao gestor de estoques da empresa.

Com relação à importância dos itens no processo de aquisição para recompor o almoxarifado da empresa, atribuindo-se maior ou menor importância aos itens que possuem demanda irregular, utiliza-se uma classificação chamada de Criticidade. Esta classificação é apresentada na tabela 2.1. Juntamente com a Criticidade, a tabela apresenta os valores da variável k associados. Valor este que será igualmente utilizado na equação do *Estoque Base*.

Fator F Combinado, Lote de Reposicao e Lote de Compra									
	Classe A			Classe B			Classe C		
	L. Mín.	L. Máx.	LC	L. Mín.	L. Máx.	LC	L. Mín.	L. Máx.	LC
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1	1	1	1	3	2	1	7	6
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	1	2	1	2	5	3	2	8	6
90	2	3	1	3	6	3	3	9	6
120	0	0	0	0	0	0	4	12	8

FIGURA 2.5 – Tabela de Níveis Para Demanda Regular

2.3.4 – Demanda Irregular

Os itens de consumo que possuem utilização em quantidades aleatórias, sendo estas quantidades muito variáveis e em sucessivos intervalos de tempo, são denominados de Itens de Consumo Irregular (VIANA, 2000). Ver FIGURA 2.6.

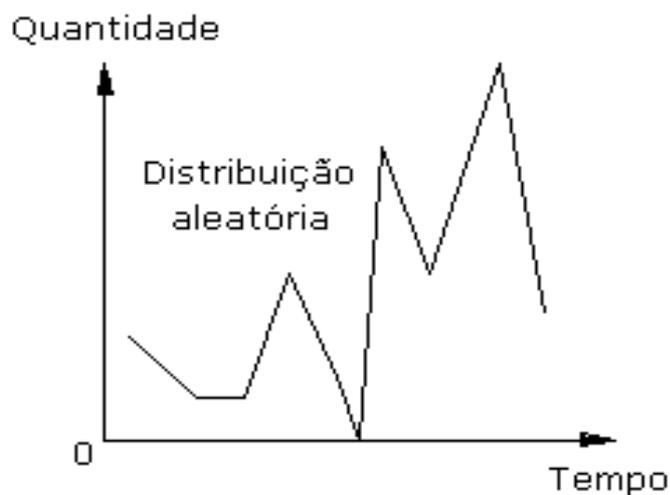


FIGURA 2.6 - Comportamento de um Item com Consumo Irregular

Devido à não uniformidade do consumo dos itens com esta classificação de demanda, a determinação do Estoque Base é de natureza probabilística.

As variáveis utilizadas para a obtenção do Estoque Base são: o Número de Peças Instaladas (NPI) ou que estão em operação, o Tempo de Reposição (TR) desta peça quando ocorrer quebra, o Tempo de Vida Médio (TVM) ou TMV – Tempo Médio de Vida de duração da peça e o Grau de Importância (GI) ou Criticidade que uma peça possui perante o processo. Esta tabela foi extraída de (SILVA, 2003).

<i>A falta do componente no estoque...</i>	<i>Grau de Importância GI</i>
	<i>Valores de k Associados</i>
...ocasiona algum tipo de ônus adicional. Importância VITAL, com nível de serviço maior que 99%.	GI = 1
	k > 2,33
...ocasiona paralisação de atividade secundária e/ou irrelevante. Tem importância média, com nível de serviço entre 95 e 99%.	GI = 2
	1,65 < k < 2,33
...não ocasiona parada nem ônus, por ser plenamente substituído, ou com rápida e fácil reposição, com nível de serviço entre 90 e 95%.	GI = 3
	1,28 < k < 1,65

TABELA 2.1 – Criticidade Para Itens Com Demanda Irregular

Com o auxílio de uma curva de Distribuição Normal de Probabilidades, pode-se obter a probabilidade de quebra (q) do item. A obtenção desta probabilidade de quebra do item se dá da seguinte forma: de posse do TMV do item, divide-se este valor por quatro (realiza-se este procedimento pois é recomendado +/- dois desvios padrão (figura 2.7) para a esquerda e para a direita em uma Curva de Distribuição Normal), obtendo uma variável auxiliar γ (MACHADO, 1994). Logo após aplica-se a equação (2.5).

$$z = \frac{TR}{2 \cdot \gamma} \quad (2.5)$$

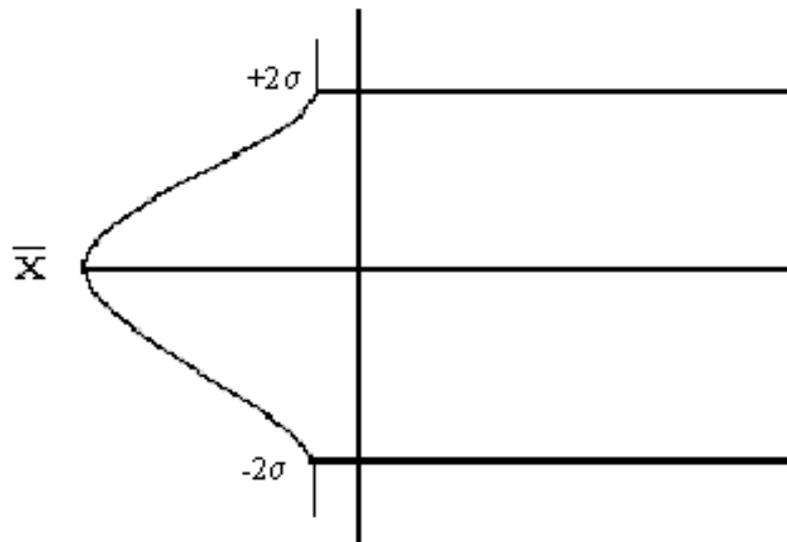


FIGURA 2.7 – Desvios Padrão

A área sob a Curva de Distribuição Normal correspondente ao valor de “z”, multiplicada por dois, corresponde à probabilidade de quebra da peça (p).

Com esta probabilidade obtém-se o Estoque Base através da equação (2.6).

$$EB = k \cdot \sqrt{NPI \cdot p \cdot (1 - p)} + NPI \cdot p \quad (2.6)$$

Baseando-se em itens de Demanda Irregular, realizou-se este trabalho de dissertação, de modo a compreender melhor o comportamento destes itens, na tentativa de poder prever, para pelo menos em curto prazo, uma quantidade em estoque necessária e suficiente que facilite a gerência da empresa, reduzindo gastos desnecessários com excesso de itens no almoxarifado.

2.4 – Processo de Poisson Não-Homogêneo (NHPP).

Pode-se relacionar o fluxo de consumo irregular apresentado, com o Processo de Poisson Homogêneo, que é equivalente a amplamente utilizada Distribuição de Poisson. Uma das diferenças mais marcantes entre o Processo de Poisson Homogêneo e o Não-Homogêneo está na intensidade de falha (ou de consumo) do sistema. O Processo de Poisson Não-Homogêneo (NHPP – Non-Homogeneous Poisson Process) permite modelar sistemas em que a intensidade de falha (ou taxa da falhas) é variável com a idade, fato que não ocorre com o Processo de Poisson Homogêneo (PAPOULIS, 1986; CROW, 1990). Alguns fatores e situações que ocorrem em operação real de

sistemas, como queimas de equipamentos, tempo de vida das peças, políticas de manutenção, garantias, confiabilidade operacional do sistema e das peças e outros, são os motivos que fazem reconhecer que a intensidade de falha do sistema não pode ser considerada constante ao longo do tempo de operação do sistema, variando com a idade do mesmo.

É comum a verificação dos períodos de quebras, mais precisamente os maiores e menores índices de ocorrências através da conhecida curva da banheira apresentada na FIGURA 2.8 (CAMARGO, 1981; DHILLON, 1983; BILLINTON et. al., 1983). Esta curva representa a variação da taxa de falhas ao longo do tempo.

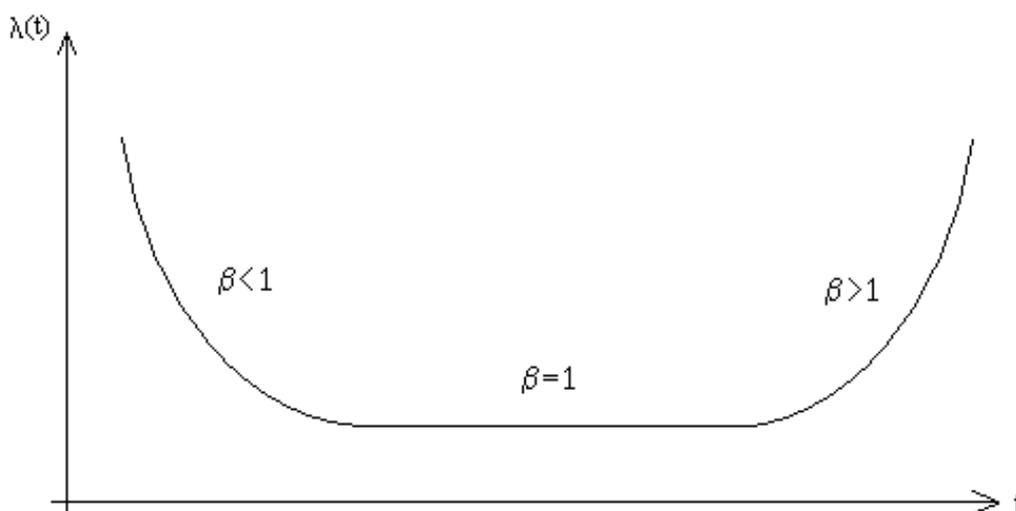


FIGURA 2.8 – Curva da Banheira

Todas as afirmações acima são válidas levando-se em consideração um sistema reparável.

2.4.1 – Conceito

Um Processo de Poisson Não-Homogêneo é caracterizado por ser um processo não estacionário (O'CONNOR, 1991), ou seja, possui taxa de falha variável no tempo, logo a intensidade desta falha não pode ser constante ao longo deste tempo (CROW, 1990).

2.4.2 – Definições

Para uma melhor compreensão dos termos e variáveis utilizados neste trabalho de dissertação, são descritas abaixo algumas considerações.

Como o que já foi previamente apresentado nos primeiros capítulos, são utilizadas variáveis λ ou ainda $\lambda(t)$ ao longo do desenvolvimento do tema. Quando se está tratando de um problema fundamentado em definições estatísticas, e quando estas definições estão relacionadas a distribuições binomiais, é comum encontrarmos a definição de sucesso e falha.

A primeira variável, conhecida como probabilidade de sucesso, é representada comumente pela letra (p), significando a chance de um determinado evento ocorrer em uma determinada situação. O complemento desta chance, ou seja, a probabilidade deste mesmo evento não ocorrer na mesma situação, é representado pela letra (q).

Assim, é sabido que em um universo de probabilidades, a chance de um determinado evento ocorrer em uma determinada situação somada à chance deste mesmo evento não ocorrer totalizam o valor unitário (1,00). Logo $p = 1 - q$ e vice-versa.

Em vários momentos deste trabalho de dissertação, utilizar-se-á o termo *Taxa de Falhas* (λ), que não corresponde à probabilidade de falha (q) de um sistema, pois a relação entre (q) e (λ) é fornecida por (BILLINTON, 1983; CAMARGO, 1981).

$$q = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2.7)$$

A taxa de falhas na qual se faz menção acima, provém do Processo de Poisson (homogêneo ou não). Esta taxa traduz o índice de avarias periódico de determinado item de consumo, frente ao montante total deste mesmo item quando em operação.

Durante este trabalho de pesquisa, esta taxa foi utilizada referindo-se a *Transformadores de Distribuição*, mais precisamente ao *Índice de Avarias Mensal* destes equipamentos, que será melhor apresentado no próximo capítulo.

2.4.3 – O Processo de Poisson Homogêneo x NHPP

Seja um sistema posto em operação, com idade sendo assumida com o valor zero, sendo operado por um período de tempo (T). O número aleatório de falhas que ocorrem neste período é $N(T)$, e o número de vezes destas falhas também é aleatório. Se durante a operação deste sistema, os tempos entre as falhas forem independentes, mas com as variáveis aleatórias identicamente distribuídas exponencialmente com uma taxa de falha constante λ , então $[N(t), t > 0]$ é considerado um Processo de Poisson Homogêneo (HPP) com intensidade λ (CROW, 1990).

O Processo de Poisson é um processo de “contagem” que origina-se de muito problemas de aplicação prática tais como emissão de partículas de material radioativo carregadas, tempos de falhas de componentes de sistemas e tempo de demanda de serviços (SHANMUGAN e BREIPOHL, 1988).

Dentre as muitas aplicações, o Processo de Poisson Homogêneo é utilizado na resolução das chamadas análises de espera. Como exemplo; as pessoas gastam muito tempo esperando por serviços de “*checkout*” em determinados locais como aeroportos, e a chegada destas pessoas aos locais onde este *checkout* ocorre é um fenômeno randômico que pode ser modelado por HPP. O tempo que é levado para o atendimento destes clientes também pode ser tratado como uma variável randômica, e por conseqüência, pode igualmente ser modelado por um HPP.

Analogamente, há a conhecida equação da Confiabilidade de Sistemas definida por:

$$\lambda(t) = \frac{\text{número de falhas por unidade de tempo}}{\text{número de componentes expostos à falha}} \quad (2.8)$$

A probabilidade de ocorrência de falha de um evento em um intervalo de tempo Δt é $\lambda \Delta t$. Isto implica, em um sistema reparável, que ao invés da substituição dos equipamentos ou peças falhadas, haverá uma manutenção destas peças, retornando-as para a condição operativa.

Por outro lado, há uma generalização do HPP, considerando agora a intensidade de falha do sistema como sendo $u(t)$ ou $\lambda(t)$ ao invés de λ , conhecida como *Non-Homogeneous Poisson Process* – NHPP. O NHPP possui a probabilidade de ocorrência de falha como sendo $u(t)\Delta t$ ou $\lambda(t)\Delta t$, e ocorre em um intervalo de tempo $(t, t+\Delta t)$. Ou seja,

a taxa de falha para o Processo de Poisson Não-Homogêneo é variável no tempo de maneira igualmente não homogênea, podendo ser caracterizada como uma variável aleatória. Assim também $N(t)$ é uma variável aleatória que representa o número de falhas ocorridos no tempo t .

2.4.4 – Tratamento do NHPP

Diferentemente do Processo de Poisson Homogêneo, o NHPP pode depender da idade (t) do sistema (COELHO, 1995). Uma das maneiras de se tratar a função intensidade em um NHPP, é determinando-se a função intensidade $u(t)$ ou $\lambda(t)$ como sendo (CROW, 1990; CROW, 1993):

$$\lambda(t) = \lambda\beta t^{\beta-1}, \quad t > 0 \quad (2.9)$$

Onde t é a idade do sistema, e λ e $\beta > 0$, são parâmetros obtidos da equação da reta linearizada dos consumos mensais dos equipamentos.

Convém reparar que a equação para a função intensidade acima descrita é a taxa de falha para uma *Distribuição Weibull*. Entretanto, esta equação matemática não pode ser tratada como sendo a Distribuição Weibull propriamente dita, ou seja, sua interpretação e estimação, bem como outras características particulares não podem ser levadas em consideração devido ao comportamento da média e do desvio padrão das variáveis em análise (CROW, 1990; WANG, 1991).

Deste modo, pode-se então definir a *Função Valor Médio* (PAPOULIS, 1986) como sendo:

$$E[N(t)] = \lambda t^\beta, \quad t > 0 \quad (2.10)$$

O qual representa o *Valor Esperado* da variável aleatória número de falhas do sistema durante o período $(0, t)$. Convém também ressaltar que esta função (Valor Esperado) equivale à função intensidade do NHPP (equação 2.8) integrada no tempo. Em função da analogia já realizada neste trabalho de dissertação, este processo (NHPP) pode também ser conhecido como Processo de Poisson Weibull (WPP).

Algumas conclusões podem ser feitas com relação à equação (2.9) (vide FIGURA 2.8).

1. Se o valor de β é unitário ($\beta = 1$), tem-se que o Valor Esperado do número de falhas do sistema é exatamente igual à intensidade de falha (ou taxas de falhas) de um sistema em um Processo de Poisson Homogêneo.
2. Para valores de $\beta > 1$, tem-se um intervalo entre falhas decrescente, obtendo-se uma função intensidade de falha crescente.
3. Assim como para valores de $\beta < 1$, tem-se a situação inversa, ou seja, obtém-se uma função intensidade de falha decrescente e intervalos entre falhas crescente.

2.4.5 – Aplicações do NHPP

Usualmente, o NHPP tem sido amplamente utilizado em questões que envolvem confiabilidade operativa de sistemas elétricos, seja este sistema de geração, transmissão ou distribuição.

As taxas (como a taxa de falha, por exemplo) que são utilizadas no NHPP, possuem composições diversas. A seguir, serão apresentadas várias aplicações do NHPP, principalmente enfatizando as aplicações que vêm sendo realizadas mais recentemente.

Quando se pretende obter uma análise de sensibilidade de medidas de desempenho de um sistema, utiliza-se normalmente uma função conhecida por “rate function” representada por $\lambda(t)$, que integrada ao longo do tempo (quando $t \geq 0$), fornece a conhecida *Função Valor Médio*, conforme descrita anteriormente. Em algumas situações, esta função é conhecida por taxa de falhas, como no caso da presente pesquisa.

O NHPP utiliza esta função ($\lambda(t)$) para obter a medida de desempenho de saída de um sistema em estudo. Porém, nem sempre estas medidas de desempenho retratam fielmente o sistema real, sendo necessário que se faça um tratamento matemático específico para $\lambda(t)$ (KUHL e WILSON, 1995) para que tal aproximação seja válida (KUHL e LIM, 1999).

No pacote computacional de modelos de crescimento de confiabilidade utilizados em análises de qualidade, por exemplo, são utilizados também modelos baseados em NHPP. Estes modelos requerem estimação de pontos, que normalmente são

computacionalmente lentos (“pesados”) para serem amplamente simulados. Algumas metodologias de manipulação do NHPP são então utilizadas na tentativa de minimizar, ou pelo menos reduzir, este amplo esforço computacional (HOSSAIN, 1993; YIN, 1999).

Um dos diversos métodos de manipulação do NHPP seria a maneira como este processo de estimação e simulação é realizado. Ao se utilizar uma “função taxa” (*rate function*) tradicional, utiliza-se então uma função “taxa exponencial”, onde o expoente deverá incluir um componente polinomial ou alguns componentes trigonométricos ou ambos. Obtém-se numericamente a estimação da máxima probabilidade de parâmetros contínuos desconhecidos da “função taxa”, e o grau da componente “taxa polinomial” é determinado por um teste de razão de probabilidade. As taxas e as funções valores médios são obtidas e utilizadas como sempre, o que difere nesta situação é a maneira como esta taxa é obtida (KUHL e WILSON, 1995). Outras variações ainda são realizadas utilizando a função taxa exponencial, como por exemplo, o “método dos mínimos quadrados” aplicados a funções paramétricas (KUHL, WILSON e DAMERDJI 1998). Um método específico para funções não-paramétricas também é apresentado em (KUHL, 2000), como a estimação não-paramétrica utilizando “*wavelets*”.

Ainda no campo das manipulações matemáticas do NHPP, também são desenvolvidos métodos heurísticos, mas com o mesmo embasamento teórico. Um deles trata da estimação não-paramétrica da função valor médio (equação 2.9), possuindo efeito (s) cíclico (s), podendo não ter simetria sinusoidal sobre este (s) ciclo (s) (KUHL e DAMERDJI, 1997).

É sempre conveniente lembrar que sob todos os formatos de manipulação matemática para o tratamento do NHPP, a forma padrão do Processo de Poisson Não Homogêneo é mantida, utilizando sempre taxa de falhas ($\lambda(t)$ – *rate function*) e valor médio.

Todos estes sistemas os quais são e serão tratados neste trabalho de dissertação, são classificados como: reparáveis e não-reparáveis. Esta sub-divisão se faz necessária, pois uma outra aplicação do NHPP é justamente a sistemas reparáveis. Sistema reparável é aquele no qual, se um item que o compõe está falhado, seu reparo é possível de ser realizado e, quando realizado, o sistema continua em operação; enquanto um sistema não-reparável não continuará em operação em caso de falha (quebra) de uma peça, pois esta peça não pode ser restaurada, tendo que ser substituída interrompendo a continuidade do sistema.

Como será apresentado no capítulo seguinte deste estudo, para sistemas reparáveis, o NHPP é utilizado para determinar o índice de avarias de determinados itens de consumo, fazendo com que este índice seja variável no tempo permitindo-se efetuar a previsão destes valores a curto prazo (COELHO e GUTIERREZ, 1994). Utilizando-se de parâmetros auxiliares como ajuste de curvas de taxas de falhas e coeficiente angular e linear destas curvas, determinam-se algumas funções tais como a função intensidade e a função de reparos médios acumulados (CROW, 1990; CROW, 1993). Convém frisar que o fato de as taxas variarem ao longo do tempo de maneira não homogênea é o que caracteriza o Processo de Poisson como sendo Não Homogêneo.

Quando se utiliza NHPP para determinar a taxa de falhas de um sistema, normalmente está-se tratando da confiabilidade do mesmo. Confiabilidade esta que é composta de variáveis bem conhecidas como as taxas de reparo e falha. Das configurações de sistema proposta por Markov (ANDERS, 1990; COELHO, 2002), identificam-se os chamados modos de falha do sistema. Estes modos de falha são expressos por equações que traduzem o comportamento do sistema baseados em taxas de falha (e/ou taxas de reparo). Alguns modelos de desempenho da análise da confiabilidade de sistemas reparáveis ou não-reparáveis são propostos manipulando as equações provenientes da composição de taxas de falha para a obtenção de índices tais como MTBF (*Mean Time Between Failure*), para melhorias no desempenho do sistema ou até mesmo para identificar possíveis causas de perda de confiabilidade deste (DHILLON e RAYAPATI, 1988).

Estes estudos sobre confiabilidade de sistemas são realizados por várias razões, dependendo da política estratégica de cada empresa. Porém, a principal razão da grande maioria destas empresas que realizam pesquisas com relação à confiabilidade é a minimização dos custos em manutenção. E é baseando-se nesta idéia principal que estudos recentes estão sendo desenvolvidos, tomando como guia os fundamentos do Processo de Poisson Não-Homogêneo (equações 2.8 e 2.9) (CROW, 2003).

Algumas aplicações mais recentes indicam que a confiabilidade do sistema tem hoje grande prioridade dentre as pesquisas realizadas com NHPP. Um dos modelos propostos para estimar a confiabilidade de um sistema utiliza médias ponderadas, com variações em médias harmônicas ponderadas, sendo que destas médias, outras podem ser derivadas (HUANG e KUO, 2003).

Uma nova versão de software de crescimento de confiabilidade é apresentada em (PHAM, 2002). A detecção da falta em um software desta natureza não implica apenas em encontrar a falha, mas também em reparar esta falha. Uma metodologia já conhecida, porém modificada, chamada de Programação Versão-N é capaz de realizar um esforço extra para identificar e reparar esta falha. Ainda com relação à redução de esforço computacional, são utilizadas metodologias que realizam testes de esforço em softwares de modelos de confiabilidade (HUANG, et. al., 2002).

A variação de parâmetros de estimação aplicada a estes softwares de crescimento de Confiabilidade, também conhecidos por SRGM – *Software Reliability Growth Model* – é bastante comum em desenvolvimento de novos modelos, principalmente os mais recentes. Uma variação interessante de parâmetros é realizada baseada em uma metodologia que utiliza o princípio EM – Expectation-Maximization – que se traduz em um algoritmo de estimação de máxima probabilidade (OKAMURA, WATANABI e DOHI, 2002).

O monitoramento da confiabilidade de transformadores de potência, verificando o sistema de óleo destes transformadores, também pode ser efetuado através de modelos baseados em NHPP (DENGHUA et. al., 2002).

Portanto, a redução de custos de investimentos, tanto para a simples melhoria do desempenho de sistema, como para modelar falhas e reparos, está ganhando a atenção das grandes empresas do setor elétrico, principalmente após alguns estudos e constatações da enorme quantia de dinheiro investida muitas vezes desnecessariamente. A gestão de estoques, realizada com base em um ferramental matemático de cunho estatístico, está cada vez mais merecendo atenção por parte destas grandes empresas, e esta é uma das principais motivações da elaboração deste trabalho de pesquisa.

2.5 – Conclusões

Com os conceitos previamente definidos, e a metodologia bem delineada, pretende-se fundamentar a linha desta pesquisa.

Os tipos de demanda, a metodologia aplicada a estes itens de reposição e a utilização do Processo de Poisson Não-Homogêneo, compõem o modelo de previsão de consumo, o qual será visto no próximo capítulo, que visa facilitar a gerência de itens de reserva de empresas.

A aplicação do Processo de Poisson Não-Homogêneo, utilizada nesta pesquisa abrange grande parte dos conceitos da metodologia apresentada neste capítulo.

Os capítulos que seguem, apresentarão toda a metodologia a ser utilizada e sua aplicação, mostrados em um estudo de caso que demonstra a importância desta pesquisa e os seus resultados.

3 – O MODELO DE PREVISÃO DE CONSUMO

3.1 – Introdução

A maneira com que se pretende controlar o consumo de material em uma empresa de forma a reduzir os gastos, se traduz em um programa (ou uma gestão) de controle de estoques.

O objetivo geral deste *Controle de Estoques* é avaliar as características de cada item de material, pertencente ao banco de dados de gestão de estoques de uma empresa do setor elétrico brasileiro, recomendando, através de critérios determinísticos e estocásticos, quantidades a serem mantidas no almoxarifado destas empresas, através do pacote computacional *Controle de Estoque – CEST*, desenvolvido durante o período desta dissertação, em projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) do laboratório LabPlan/UFSC com a Tractebel Energia SA.

Aliada ao controle do estoque da empresa é desenvolvida uma ferramenta de auxílio à decisão (de previsão de demanda), que permite ao gestor de estoques avaliar o fluxo da demanda de itens de reserva. Esta ferramenta computacional fornece uma previsão de consumo do item em estudo, permitindo uma melhor análise do risco de se diminuir (ou aumentar) a sua quantidade em estoque.

A metodologia de previsão de consumo de itens em estoque é apresentada neste capítulo, sendo a previsão de avarias de transformadores de distribuição o foco principal de estudo deste trabalho de pesquisa.

3.2 – CEST – Potencialidades do Programa Computacional

Um software para controlar e avaliar a demanda de itens de reposição em empresas (principalmente as do setor elétrico) com a finalidade de se otimizar o estoque de itens de reserva, foi desenvolvido e está atualmente em operação em uma empresa do setor elétrico (CEST, 2002).

O CEST (Controle de Estoques) não é apenas um software de controle de estoques regularmente encontrado no mercado. Ele possui características específicas, que o torna diferenciado como, por exemplo, possuir um simulador de consumo que

avalia o risco operacional de se ter ou não determinada quantidade de equipamento em estoque.

Sua principal finalidade é, após realizar um teste de demanda (conforme apresentado no capítulo anterior), utilizar o tratamento estatístico necessário adequado aos itens com demanda regular e irregular.

As funções do software serão apresentadas mais adiante, resumidas em dez passos, como demonstra o fluxograma da FIGURA 3.1.

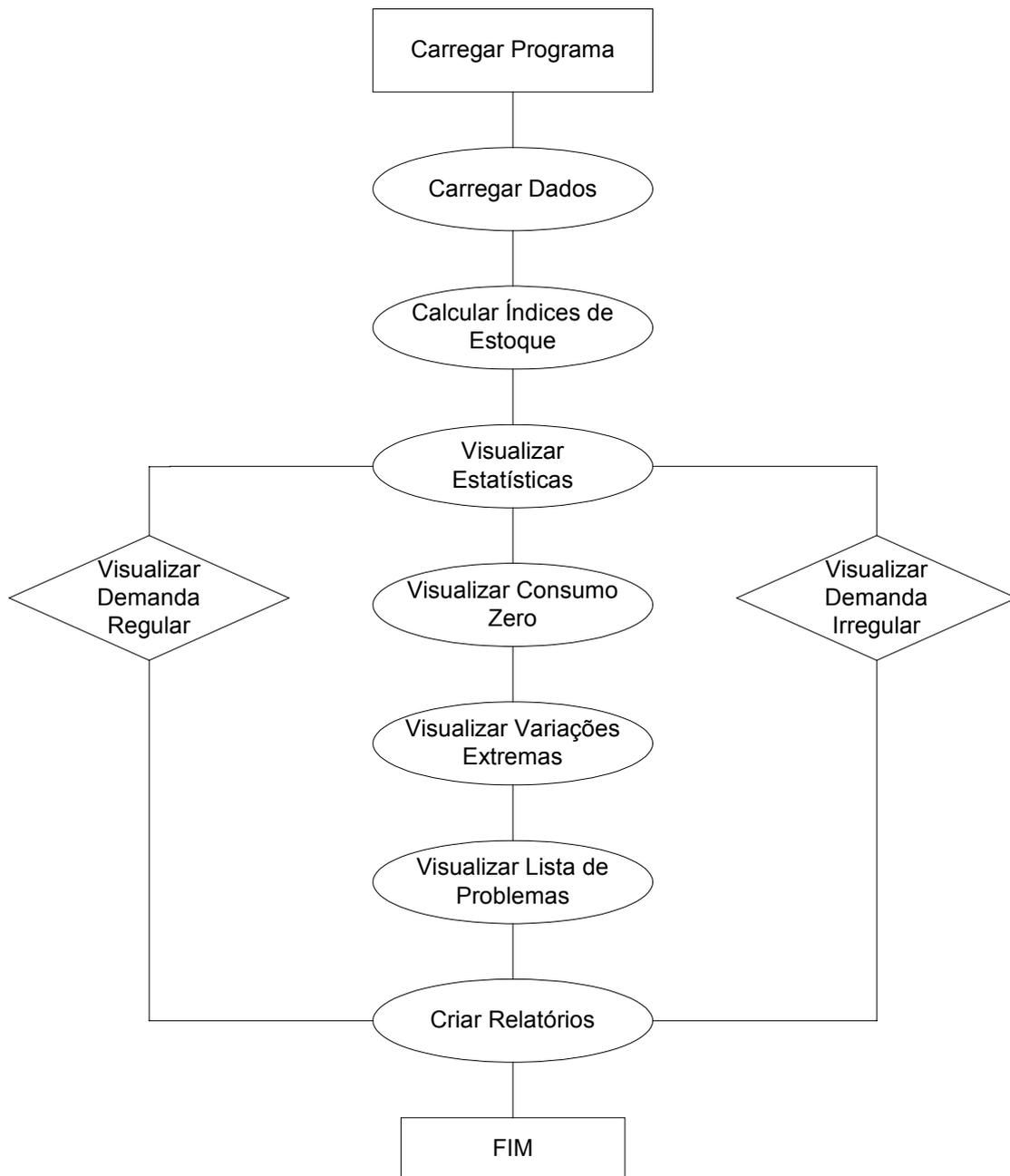


FIGURA 3.1 - Fluxograma de Execução do CEST

As funções do CEST são em sua maioria acionadas por botões que se encontram na janela principal do programa (FIGURA 3.2).

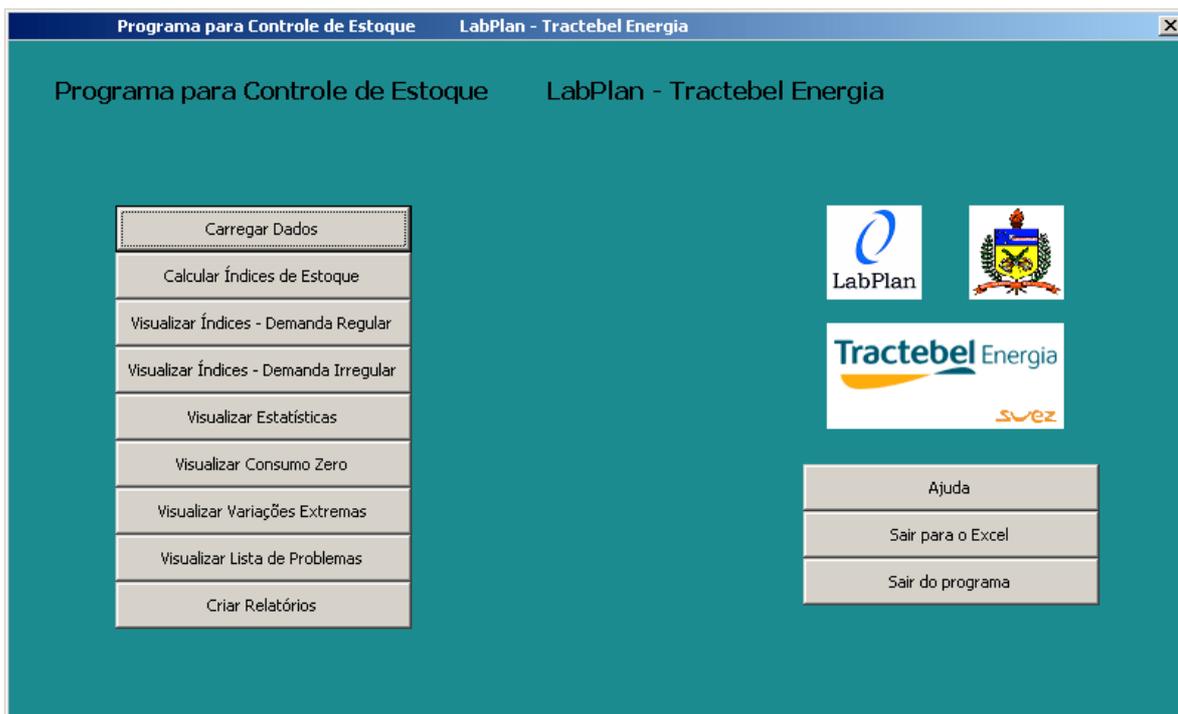


FIGURA 3.2 - Janela Principal do Software CEST

3.2.1 – Executando o Controle de Estoques

Seguindo-se a ordem apresentada no fluxograma da FIGURA 3.1, tanto pelo ramo da esquerda quanto pelo ramo da direita, o usuário poderá obter rapidamente o *Controle de Estoques* desejado para uma determinada massa de dados, que compõe o Banco de Dados (BD) da empresa. Este BD é composto de índices utilizados no processo de determinação do controle de estoques. Estes índices foram apresentados no Capítulo 2. Abaixo é apresentado o procedimento passo a passo para uma rápida simulação.

Carregar o Programa – Deve-se carregar o programa (em planilha Excel) devidamente, criando uma pasta com nome apropriado, e copiando o CEST e a massa de dados contendo os itens a serem analisados para dentro desta pasta.

Carregar Dados – Deve-se selecionar os dados dando cliques na seqüência em *Carregar Dados*, e dentro desta opção, carregar os arquivos desejados pelo usuário.

Calcular Índices de Estoque – Após carregarem-se os dados, pode-se clicar no botão *Calcular Índices de Estoque*. Todas as opções padrão de cálculo do CEST são mantidas, tais como: índices, tabela de níveis (de risco e de consumo) e outros.

Visualizar Estatísticas – Quando os cálculos já estiverem sido realizados, esta opção servirá como orientação em meio às informações calculadas pelo CEST, seja a demanda de consumo Regular ou Irregular. Poderá se observar quando faltam dados tais como Tempo Médio de Vida, Tempo de Reposição, Grau de Importância, e outros.

Visualizar Índices – Demanda Regular – As seguintes informações fornecidas sobre Demanda Regular são apresentadas: Limites Máximo e Mínimo, Lote de Compra. Logo após, pode-se ir para o item *Criar Relatórios*.

Visualizar Índices – Demanda Irregular – Mostrará todos os índices necessários para uma análise detalhada dos itens que possuem Demanda Irregular. Ainda nesta janela, existe um botão de funções avançadas chamado *Simular* (função que contém dentre outras, a previsão do consumo e a tendência de consumo), que levará o usuário ao simulador de estoques que o *software* CEST possui para criar outras situações de consumo de material diferentes do Banco de Dados dos meses do histórico. Logo após, pode-se ir para a elaboração de relatórios ao se clicar *Criar Relatórios*.

Análises Rápidas:

Algumas análises muito importantes são possíveis no pacote computacional CEST. Estas funções visam a detecção rápida de possíveis problemas no estoque, bem como possíveis problemas nos índices que foram utilizados para a determinação deste estoque. São elas:

Visualizar Consumo Zero – Todos os itens que possuem consumo zero, ou seja, que não foram consumidos durante o período em análise, são apresentados nesta janela. Há também um botão de impressão deste relatório a disposição, chamado *Relatório*. Com o auxílio desta função, fica perceptível ao gestor de estoques quais são os itens que deverão ser reavaliados em caso de uma reformulação ou otimização do estoque de itens de reserva.

Visualizar Variações Extremas – Assim como o caso anterior (Consumo Zero), esta janela apresenta os itens que possuem um ou outro consumo muito fora de seu *Consumo Médio*. Este consumo atípico é apresentado sob forma de gráfico e sob forma de relatório. Ambas as funções possuem botões específicos para sua execução nesta

janela, chamados respectivamente de *Gráfico* e *Relatório*, sendo este último uma opção de imprimir os itens de *Varição Extrema*. A importância desta função é igualmente comparada com a importância da função anterior, ou seja, esta função indica ao gestor de estoques a fonte de possíveis problemas no almoxarifado da empresa.

Visualizar Lista de Problemas – Possibilita verificar os dados com problemas na massa de dados analisada. Alguns campos quando são preenchidos indevidamente, ou não são preenchidos, são detectados pelo CEST e apresentados neste ambiente. Complementa a análise da falta de dados iniciada na função *Visualizar Estatísticas*.

Criar Relatórios – Alguns relatórios de saída podem ser criados e salvos de modo a serem futuramente utilizados pelo gestor de estoques da empresa.

3.2.2 – Previsão de Demanda

Seria muito positivo para a empresa saber ou, pelo menos, ter uma noção do comportamento da demanda dos itens de consumo, para poder compor seu estoque de itens de reserva. Estando de posse desta informação, a empresa economizaria dinheiro devido à redução nos investimentos em reposição neste setor, podendo investir em outros setores.

Esta previsão de demanda é então uma ferramenta que traz grande benefício econômico e estratégico. Sua implementação provém de conhecimentos e aplicações de técnicas estatísticas (determinísticas e estocásticas). E foi baseado nestes conhecimentos que se desenvolveu o presente conjunto de procedimentos de análise.

A idéia principal é determinar um possível perfil de consumo dos itens em meses futuros, para então, baseado nesta previsão, se efetuarem as compras devidas, ou seja, determinar as quantidades de itens em reposição.

O método utiliza o histórico de consumo real referente aos meses anteriores para “simular” ou prever um consumo em um período mais adiante (na FIGURA 3.3 pode-se verificar um exemplo realizado para a cidade de Criciúma referente a Transformadores de Distribuição). Esta figura representa o índice de avarias acumulado para uma das regionais analisadas. Também é discutido neste capítulo o comportamento das curvas de consumo (FIGURA 3.4) e o quão válidas elas são para se realizar a previsão. Esta figura representa o índice de avarias mensal (portanto não acumulado) para uma das regionais

analisadas. O período de tempo para o qual a previsão será válida também é variável, e a razão para esta variação é igualmente discutida neste capítulo.

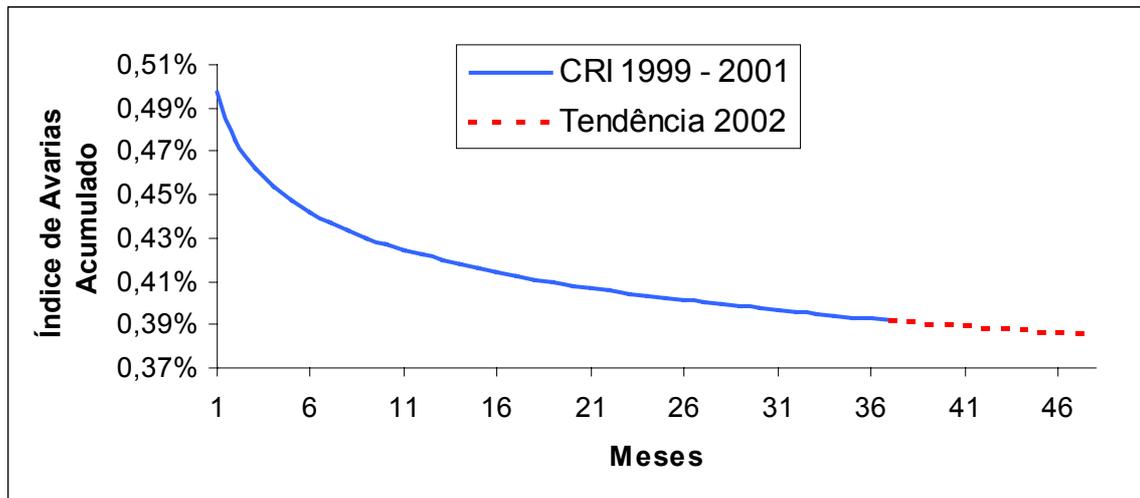


FIGURA 3.3 – Previsão de Demanda para o Ano de 2002 com Base nos Três Anos Anteriores

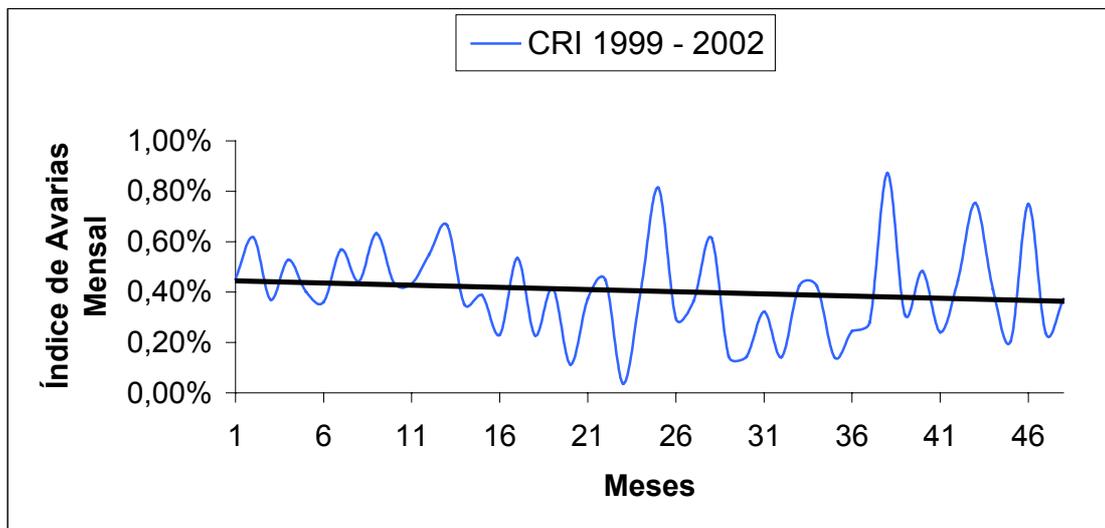


FIGURA 3.4 – Curva de Consumo para a Regional de Criciúma

Todos os casos estudados para a realização deste trabalho de pesquisa são apresentados no próximo capítulo, onde é realizado um estudo de caso com análises em regionais de uma concessionária de distribuição de energia elétrica do estado de Santa Catarina.

3.2.3 – Simulador de Estoques

Esta metodologia desenvolvida possibilita avaliar várias situações de risco obtidas a partir da alteração dos cenários. Por exemplo, adotar um estoque menor que o Estoque Base fornecido pelo pacote computacional CEST, prevendo que as condições climáticas serão favoráveis este ano, e que as peças quebrarão menos que o normal.

Através da variação (simulação) do risco, pode-se computar a variação refletida na obtenção do estoque, mostrando-se assim uma ferramenta eficaz na tomada de decisões no tocante à gestão de estoques de itens de reserva.

O Simulador de Estoques visa fornecer ao gestor de estoques a oportunidade de quantificar o risco de manter um número maior ou menor de itens em estoque, avaliar o desempenho dos equipamentos, alterar contratos e prazos de fornecimento, assim como fazer licitações de compra de material de melhor qualidade exigindo, por exemplo, Tempo Médio de Vida maiores. A figura abaixo apresenta uma imagem deste simulador de estoques.

Ítems em simulação:	Valores Simulados:	Valores Originais:	Resultados:
Número de peças instaladas - NPI	8	0	Risco de quebra de uma peça: 0,72%
Tempo de reposição (dias) - TR	60	60	Risco do GI: 0,99%
Tempo médio de vida (anos) - TMV	3	3	Risco simulado: 14,99%
Grau de importância - GI	GI - 01	GI - 01	Estoque Base simulado: 3
Saldo	1	3	Custo Unitário do Item: 183
Estoque Base para valores originais		3	Custo do Estoque Base Simulado: 549
Lote mínimo de aplicação - LMA:		-	

FIGURA 3.5 – Ambiente do Simulador de Estoques

Baseado no ambiente de simulação apresentado na FIGURA 3.5 pode-se realizar todas as análises necessárias a uma simulação de estoque de itens que possuem demanda irregular. Para uma melhor compreensão, realizaram-se algumas

simulações de estoques baseadas em um BD de uma empresa do setor elétrico, a Tractebel Energia SA. Parte deste BD utilizado é apresentado na TABELA 3.1.

COD ITEM	DESCRIÇÃO ITEM	UNIDADE MEDIDA	GI	PRECO-UNITARIO	NPI	TVM	TR
1540	ANEL LUBRIFICACAO DGT-C-0739	UNIDADE	1	308	4	6	90
1568	BLOCO CONTATO, 660VCA, 10A, 1NA+1NF, TE	UNIDADE	3	94,9	3	5	60
2750	TELHA DGT-A-0966 ITEM 01	UNIDADE	1	37,5	184	1	90
2783	CORRENTE ARRASTE DGT-A-0969 ITENS	METRO	1	298,92	240	2	90
2879	MOLA PRATO ACO CARBONO. 111,5MM DIANTEIRO	UNIDADE	3	0,63	320	10	90
2883	CUNHA AJUDTE DGT-A-0723 ITEM 02	UNIDADE	1	183	8	3	60
2888	ANEL-DGT-B-1156.SUPERIOR	UNIDADE	1	21773,68	8	1	90
2889	ANEL DGT-B-1155.INFERIOR	UNIDADE	1	21396,86	8	1	90

TABELA 3.1 – Parte do BD da Empresa Tractebel Energia SA

Para as simulações, foram consideradas algumas alterações em índices, como: saldo em estoque, tempo de reposição, tempo médio de vida e grau de importância. Os resultados obtidos desta simulação foram (SILVA et. al., 2003):

1. Variação do Saldo em Estoque: alterou-se o *Saldo* atual de um dos itens (que era de 03 peças em estoque), para 02 peças em estoque. O *Risco Simulado* do estoque em questão sobe consideravelmente de 0,3% para 2,66%. Logo, percebe-se a importância que a falta de um item deste tipo reflete no estoque da empresa. Se o saldo deste item em estoque ainda fosse alterado para 1 peça, o *Risco Simulado* aumentaria ainda mais, representando 14,99% de risco para a empresa.
2. Variação do Tempo de Reposição (TR): Retomando-se o *Saldo* original de 03 peças em estoque para aquele item, alterou-se o *Tempo de Reposição* (TR) do item em questão (que era de 60 dias – FIGURA 3.5) para 90 dias. Os reflexos desta mudança aparecerão não somente no *Risco Simulado*, mas também no *Estoque Base* deste item. Trinta dias a mais no *Tempo de Reposição* deste item, representará um acréscimo de uma peça no Estoque Base, sinalizando uma necessidade de 4 peças em estoque (ao invés de 3 peças). E por fim, o *Risco Simulado* que o tomador da decisão assumirá será de 1,31%, representando um aumento de 1,01 pontos percentuais com relação ao apresentado quando o TR era de 60 dias. Vale frisar que a situação inversa também ocorre, ou seja, se o TR fosse reduzido para 30 dias, os valores acima seriam respectivamente: Estoque Base: 2 peças e Risco Simulado: 0,02%, confirmando uma drástica redução em todos os índices.
3. Variação do Tempo Médio de Vida (TMV): Reduzindo-se o TMV deste item para 2 anos, os valores apresentados para os índices (*Estoque Base e Risco*) seriam praticamente os mesmos do caso acima (para um TR de 90 dias). Por outro lado, se o

TMV fosse reduzido para 1 ano, os valores aumentariam consideravelmente. O *Estoque Base* deveria ser de 5 peças e o *Risco Simulado* representaria 12,47%. A situação inversa também se verifica neste caso.

4. Variação do Grau de Importância (GI): O Grau de Importância do item tem influência direta, na determinação do *Estoque Base* e também, no *Risco Referente ao Grau de Importância*. Caso o item em análise fosse classificado como sendo de importância GI – 02 ao invés de GI – 01, percebe-se que o *Estoque Base* passa a valer apenas 2 peças ao invés de 3 peças. O *Risco Referente ao Grau de Importância* também sofrerá alteração, tendo um acréscimo de 3,95 pontos percentuais em relação ao caso base (inicial – GI - 01), passando a valer 4,94%. Assim, a classificação do Grau de Importância pela empresa determinará uma maior ou menor quantidade de itens armazenados.

3.3 – A Metodologia para a Previsão de Demanda de Transformadores de Distribuição

Toda metodologia tem a sua compreensão facilitada quando apresentada com exemplos ilustrando os passos, ou seja, a seqüência de procedimentos. Deste modo é conveniente ilustrar a metodologia de Previsão de Demanda, tomando como exemplo uma regional qualquer da concessionária do Estado de Santa Catarina, durante o seu primeiro mês de análise (1999) sempre lembrando que as análises completas serão apresentadas no Capítulo 4, onde se realiza um estudo de caso para transformadores de distribuição (TD's).

A utilização dos três primeiros anos de análises como base de dados para prever o quarto ano (2002), se deu devido ao fato de não se possuir os dados de 2003 fornecidos pela empresa de distribuição de energia elétrica CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina SA), em tempo hábil para a realização das análises. Desta forma, tendo em mãos os dados de consumo (taxa de falhas de TD's) do ano de 2002, e realizando-se a previsão para este mesmo ano, pôde-se realizar a comparação e eficácia do método, comparando os resultados previstos com os resultados reais.

A previsão de demanda será denominada neste trabalho de pesquisa, por $\lambda(t)$, com (t) variável, caracterizando como um (NHPP), e também chamada de taxa de avarias

acumulada $\frac{d(IA(t))}{dt}$, e definida pelos coeficientes linear (λ) e angular (β) da reta

linearizada dos Índices de Avarias (IA%) dos TD's que ocorreram no período de 1999 a 2001. A equação que traduz o comportamento tanto da previsão quanto da taxa de falhas que realmente ocorreu é apresentada na equação (3.1). Convém aqui lembrar que este (λ) que representa o coeficiente linear da reta não deve ser confundido com a taxa de falhas propriamente dita. Assim, por conveniência, o coeficiente linear da reta (λ) será chamado pela letra (L). A metodologia de previsão utiliza estes coeficientes para realizar a tendência de consumo dos itens em questão. Assim:

$$\frac{d(IA\%Ac(t))}{dt} = \lambda(t) = L \cdot \beta \cdot t^{(\beta-1)} \quad (3.1)$$

Onde: $IA\%Ac(t)$ representa o Índice de Avarias acumulado no tempo, representado pela equação (3.2). Esta previsão acumulada se faz necessária para a obtenção da confiabilidade (ou acerto) do método proposto, e é apresentada mais adiante.

$$IA\%Ac(t) = L \cdot t^\beta \quad (3.2)$$

A utilização de índices facilita a determinação de um estoque, bem como para a obtenção da previsão deste estoque. Como exemplo, toma-se a ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) que utiliza atualmente um índice (MTMS – Movimentação de Estoques Mensais), para controlar o período em que os itens de reposição têm permanecido em estoque (ADAMATTI e LOURENÇO, 2003). Com este índice, a entrada e saída de materiais no estoque ficam controladas.

Por outro lado, neste trabalho, o procedimento para a previsão de demanda e obtenção de um estoque ideal, consiste na análise de resultados obtidos por meio de variáveis empregadas na implementação da metodologia. Uma grandeza importante para a realização das análises é o *Índice de Avarias Mensal* (IA%) dos transformadores em estudo (TABELA 3.1), o qual representa uma taxa de queimas/avarias de transformadores no tempo. Este índice é obtido levando-se em consideração o número de transformadores postos em operação no início do mês e no final do mesmo mês, e o número total de transformadores avariados neste período.

REGIONAL	ANO - 1999 (%)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FLO	0,4401%	0,3458%	0,4061%	0,4346%	0,4335%	0,4180%	0,2911%	0,2881%	0,3382%	0,3611%	0,2470%	0,2448%
BLU	0,7362%	0,8474%	0,4721%	0,5447%	0,3989%	0,2901%	0,4672%	0,4387%	0,5336%	0,3297%	0,4085%	0,3255%
JOI	0,4595%	0,4804%	0,5057%	0,4551%	0,3540%	0,4298%	0,5478%	0,4906%	0,3679%	0,3892%	0,6499%	0,5237%
LAG	0,3427%	0,3323%	0,2492%	0,4026%	0,2155%	0,1847%	0,3789%	0,3321%	0,4810%	0,4108%	0,3631%	0,3729%
VID	0,1996%	0,0998%	0,1397%	0,2594%	0,0997%	0,1596%	0,0822%	0,1485%	0,4456%	0,4008%	0,1046%	0,0829%
CON	0,5025%	0,3183%	0,2848%	0,4586%	0,1923%	0,2564%	0,5930%	0,2719%	0,7342%	0,4303%	0,1750%	0,4137%
JSL	0,4915%	0,5461%	0,4950%	0,3804%	0,2663%	0,3728%	0,2032%	0,1940%	0,3395%	0,7276%	0,3390%	0,1422%
JOA	0,2997%	0,1771%	0,1498%	0,3133%	0,1771%	0,2452%	0,1635%	0,4087%	0,4087%	0,4495%	0,1088%	0,3701%
CRI	0,4525%	0,6170%	0,3696%	0,5283%	0,4015%	0,3614%	0,5676%	0,4418%	0,6319%	0,4342%	0,4336%	0,5498%
SMO	0,3401%	0,3693%	0,2624%	0,4077%	0,3781%	0,3490%	0,4073%	0,2408%	0,5278%	0,4793%	0,4733%	0,2264%
TUB	0,4571%	0,4923%	0,4219%	0,3516%	0,2461%	0,3516%	0,2775%	0,1704%	0,2713%	0,1355%	0,2747%	0,4005%
RSU	0,6045%	0,3977%	0,4279%	0,2998%	0,3311%	0,2523%	0,3482%	0,2224%	0,4277%	0,3305%	0,2660%	0,4841%
MAF	0,3134%	0,1967%	0,1625%	0,2399%	0,1111%	0,1429%	0,2697%	0,0948%	0,2515%	0,0784%	0,1094%	0,1526%
SBS	0,5404%	0,1610%	0,1067%	0,0529%	0,1055%	0,2111%	0,2632%	0,1047%	0,3122%	0,3123%	0,0000%	0,3541%
ITA	0,9005%	0,5077%	0,3311%	0,2880%	0,2861%	0,3081%	0,1963%	0,1926%	0,2783%	0,2345%	0,2331%	0,3727%
CHA	0,3080%	0,0829%	0,2251%	0,4495%	0,2244%	0,1535%	0,3654%	0,4000%	0,2117%	0,3397%	0,2095%	0,2547%

TABELA 3.2 – Tabela de Índice de Avarias Mensal (IA%) dos TD's em 1999

A metodologia procede da seguinte forma:

1. Com o número de transformadores colocados em operação no início e no final de cada mês, e com o número de trafos avariados neste mesmo período, torna-se possível determinar o Índice de Avarias Mensal (IA%) por regional, através da equação 3.3.

$$IA(\%) = \frac{N_A}{\left(\frac{N_{IN} + N_{FIM}}{2} \right)} \quad (3.3)$$

Onde: IA(%) – Índice de Avarias; N_A – Número de Trafos Avariados no mês; N_{IN} e N_{FIM} – são o número de transformadores de distribuição colocados em operação no início e no final do mês, respectivamente.

2. Uma vez obtidos os Índices de Avarias Mensais de cada regional ao longo do período de estudos (desde o ano de 1999 até o ano de 2002), realiza-se um agrupamento destes índices em uma tabela, aqui chamada de *Tabela de Índice de Avarias Mensal* (a TABELA 3.2 apresenta os índices de avarias mensais para o ano de 1999).

Deste ponto em diante, adotar-se-á a regional referente à regional de Florianópolis como exemplo de análise, como se pode perceber na primeira linha da TABELA 3.3.

REGIONAL	ANO - 1999 (%)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FLO	0,4401%	0,3458%	0,4061%	0,4346%	0,4335%	0,4180%	0,2911%	0,2881%	0,3382%	0,3611%	0,2470%	0,2448%

TABELA 3.3 – IA% de TD's da Regional de Florianópolis em 1999

3. O passo seguinte é obter o Índice de Avarias Acumulado ($IA\%Ac$). Esta função possui, dentre outras finalidades, a de tornar mais representativo os dados que compõem a Tabela de Índice de Avarias Mensal, para facilitar a visualização do seu comportamento no tempo.

Exemplificando o que foi apresentado, pode-se demonstrar da seguinte forma a razão deste acúmulo: somando-se, em ordem, os números 3-6-9, obtém-se o total de 18. O mesmo valor acumulado pode também ser obtido através da soma de 3-12-3. Porém a diferença está no desvio padrão dos números. O “vazio” que aparece dentre os números da segunda seqüência é bem superior ao “vazio” que aparece dentre os números da primeira seqüência. Como se pode perceber através da FIGURA 3.6, este “vazio” não afeta no resultado da soma, mas pode afetar significativamente o cálculo de outros índices ou outros valores, como por exemplo, a previsão mensal de consumo de itens de reserva, aplicando-se o método proposto.

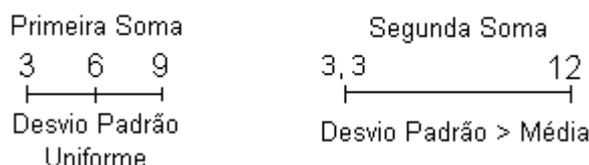


FIGURA 3.6 – O “Vazio” Entre as Somas

Para não ocorrer problemas com os dados, ou melhor, com os desvios padrão dos dados, estes dados são acumulados de forma a torná-los mais próximos. Assim, o processo de acúmulo dos valores ocorre mantendo o primeiro valor da seqüência de valores a serem analisados e, a partir do segundo valor acumula-se com o anterior, seguindo sucessivamente até o último valor da seqüência.

No exemplo acima a seqüência acumulada ficaria disposta da seguinte forma: a primeira seria 3-9-18, e a segunda seria 3-15-18. Nota-se que a seqüência torna-se crescente, e o “espaço” entre os números tende a diminuir, ou seja, quanto maior a seqüência, menor será este espaço.

Retornando agora ao caso dos transformadores de distribuição, caso em estudo, existe uma seqüência bem maior que apenas três números. Quando se acumulam estes números, obtém-se um gráfico semelhante a uma “rampa”, e esta é uma outra característica que torna a metodologia mais atrativa, pois trabalhar com valores acumulados significa trabalhar com desvios padrão mais homogêneos. Foi o que ocorreu com a análise realizada neste trabalho, utilizou-se um BD de três anos (36 meses) para se prever o quarto ano.

Então, logo após obterem-se os valores acumulados dos IA's, adota-se a mesma metodologia de organização, ou seja, colocam-se os valores em uma tabela, aqui chamada de *Tabela de IA%Ac*, representada na TABELA 3.4 apenas pela regional de Florianópolis.

REGIONAL	1999%											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FLO	0,4401%	0,7859%	1,1920%	1,6266%	2,0601%	2,4781%	2,7693%	3,0574%	3,3956%	3,7567%	4,0037%	4,2485%

TABELA 3.4 – Valores Acumulados (IA%Ac) da Regional de Florianópolis em 1999

4. Linearização dos índices: para dar início à próxima etapa, linearização dos índices, se faz necessária a extração do logaritmo natural dos valores da Tabela de IA%Ac. Assim, obtém-se uma nova tabela, agora constando o logaritmo natural dos IA%Ac, como é apresentada sob forma parcial na TABELA 3.5. O processo de linearização serve para se determinarem os valores dos coeficientes linear e angular (respectivamente λ e β) da reta que se forma a partir dos dados ($\ln [IA\%Ac]$ x $\ln [t]$).

REGIONAL	ANO - 1999											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	-5,4259	-4,8461	-4,4295	-4,1187	-3,8824	-3,6977	-3,5866	-3,4876	-3,3827	-3,2816	-3,2180	-3,1586

TABELA 3.5 – Logaritmo Natural de IA%Ac da Regional de Florianópolis em 1999

Também se faz necessário para a linearização, se obter o logaritmo natural do tempo de análise, que neste caso é mensal, ou seja, extrair o logaritmo natural do tempo, mês a mês desde o primeiro mês de análises até o último, incluindo todos os anos (TABELA 3.6).

MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\ln [t]$	0,000	0,693	1,099	1,386	1,609	1,792	1,946	2,079	2,197	2,303	2,398	2,485

TABELA 3.6 – Logaritmo Natural de [t] da Regional de Florianópolis em 1999

O procedimento de extração das variáveis lambda (λ), ou neste trabalho conhecida por (L) e beta (β) é simples. Utilizando um histórico de três anos, por exemplo, (de 1999 à 2001), traça-se o gráfico $\ln [IA\%Ac]$ x $\ln [t]$, e deste gráfico elabora a expressão (equação) da reta, que possui o seguinte formato apresentado abaixo.

$$\ln [IA\%Ac] = \beta \ln [t] + A \tag{3.4}$$

Onde: $\lambda = L = \text{EXP} (A)$.

Estes valores (extraídos da FIGURA 3.7) são obtidos para todas as regionais, e dispostos sob forma de uma tabela, parcialmente apresentada abaixo. Convém notar que o valor de β para a regional de Florianópolis é menor do que a unidade ($\beta = 0,9196$), representando uma tendência de redução das taxas de avarias para os anos seguintes.

REGIONAL	β	L
FLO	0,9196	0,0044

TABELA 3.7 – β e L da Regional de Florianópolis

A previsão de demanda para os itens em operação se traduz em uma curva de tendência fornecida pela variável β , conforme apresentada na FIGURA 3.7.

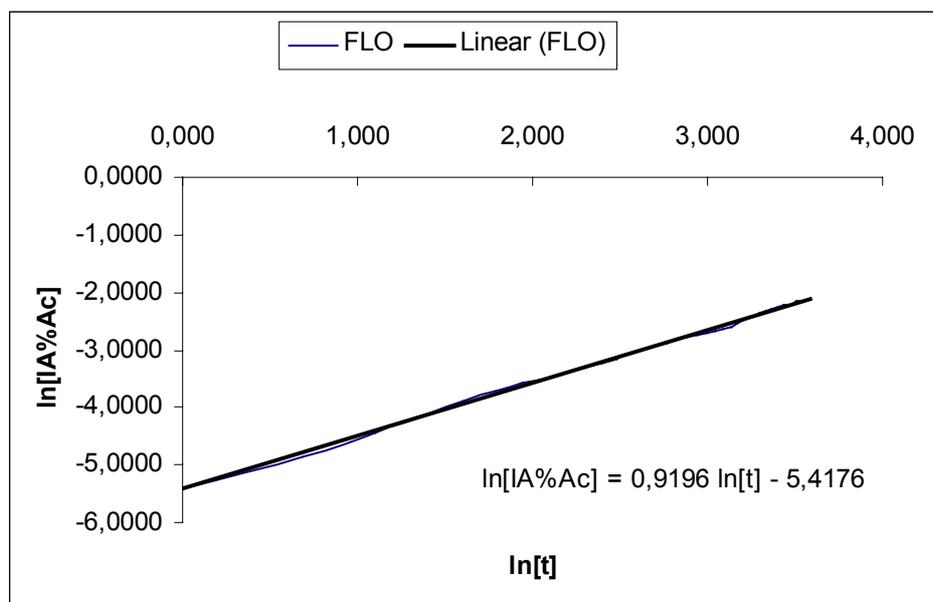


FIGURA 3.7 – Gráfico Linearizado da Regional de Florianópolis

O comportamento da curva de previsão de demanda é traduzido pelos valores de β . Dependendo de seu valor haverá um reflexo na atitude que se deverá tomar com relação à gerência do estoque (almoxarifado) da empresa.

Assim, para os devidos valores de β se tem:

$\beta > 1$: indica que existe uma tendência de crescimento nas taxas de falhas dos itens, ou seja, deve-se reforçar o estoque destes itens no almoxarifado;

$\beta = 1$: indica que a taxa de falhas dos itens em questão está constante, logo se deve apenas acompanhar a entrada e saída de itens de reserva no almoxarifado sem aumentá-lo ou reduzi-lo;

$\beta < 1$: indica que existe uma tendência de decrescimento nas taxas de falha dos itens analisados, indicando que a confiabilidade operativa destes itens tende a aumentar, podendo-se reduzir o estoque destes itens no almoxarifado.

Assim, de posse dos valores dos futuros Índices de Avarias (previstos), é possível (e necessário) a obtenção destes valores traduzidos em número de transformadores de distribuição. Esta conversão demonstra a quantidade esperada de transformadores que deverá ser comprada pela empresa, apresentando ao gestor de estoques desta empresa um valor de compra mínimo que deverá ser efetuado.

3.3.1 – Considerações Aplicadas ao Método

Nesta altura serão realizadas considerações aplicadas ao tamanho da amostra, bem como será comentada a aplicação da distribuição binomial e o estoque base.

Suponha-se um experimento tal como a jogada de uma moeda, ou a escolha de repetidas fichas de uma urna. Cada jogada ou extração é chamada uma *prova* e em cada prova em particular há uma probabilidade associada a um determinado evento, tal como o aparecimento de “cara” na moeda ou a escolha de uma ficha vermelha na urna. Em determinados experimentos, a probabilidade não varia de prova para prova, atribuindo-se a estas provas o rótulo de *amostras independentes* e costumam designar-se como *provas de Bernoulli*, em honra a Jacob Bernoulli, quem primeiro as estudou no fim do século XVII (SPIEGEL, 1978).

Seja (p) a probabilidade de ocorrência de um evento (também conhecida por probabilidade de *sucesso*) em uma prova de Bernoulli. Então ($q = 1 - p$) é a probabilidade

de não ocorrência do evento (chamada de probabilidade de falha). A probabilidade de o evento ocorrer exatamente x vezes em n provas é dada pela função de probabilidade:

$$f(x) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} \quad (3.5)$$

Onde a variável aleatória X denota o número de sucessos em n provas, e $x = 0, 1, \dots, n$ (SPIEGEL, 1978).

Como foi apresentado no capítulo anterior, após realizar-se o teste de demanda (Classificação de Demanda), separam-se os itens que possuem demanda irregular (itens tratados pelo controle de estoque – *Estoque Base* – CEST).

É conveniente se observar a equação de determinação do estoque base (EB).

$$EB = k \cdot \sqrt{NPI \cdot p \cdot (1 - p)} + NPI \cdot p \quad (3.6)$$

Onde: k - constante estabelecida em função do risco de falha (vide TABELA 2.1);

NPI - número de peças instaladas;

p – na equação do estoque base, representa a probabilidade de quebra (falha), diferentemente da convencional, onde (p) equivaleria à probabilidade de sucesso.

Esta equação de estoque base possui características de uma equação de Bernoulli, ou como é comumente conhecida, *Equação Binomial*, que representa a probabilidade de que ($X = k\sigma$) itens estejam quebrados ao mesmo tempo.

Para tal análise, comparam-se os parâmetros das duas equações:

Em uma equação binomial tem-se:

$$\text{Desvio Padrão } (\sigma): \sqrt{n \cdot p \cdot q} \quad (3.7)$$

$$\text{Média } (\mu) = n \cdot p \quad (3.8)$$

Sendo: n = número de amostras (ou NPI), de acordo com a equação 3.6;

p = probabilidade de quebra (ou em outros casos de sucesso);

$q = (1 - p)$ = probabilidade de sucesso (ou em outros casos de quebra).

Aplicando-se as equações 3.7 e 3.8 na formulação apresentada em 3.6, se obtém a Equação Binomial Clássica:

$$EB = k \cdot \sigma + \mu \quad (3.9)$$

Conclui-se então que o Estoque Base provém de um cálculo da média acrescido do desvio padrão, multiplicado por uma constante estabelecida em função do risco de falha de cada item, ou de todos os itens do sistema. Observa-se que o problema está justamente no cálculo do risco de falha do sistema. Faz-se necessário então se apresentar a relação existente entre a *Distribuição Normal* e a *Distribuição Binomial*.

De acordo com SPIEGEL, PAPOULIS e outros autores, “Se (n) é grande e nem (p) nem (q) são demasiadamente próximos de zero, a Distribuição Binomial pode ser satisfatoriamente aproximada por uma Distribuição Normal com *Variável Aleatória Padronizada*, dada por:

$$Z = \frac{X - n \cdot p}{\sqrt{n \cdot p \cdot q}} \quad (3.10)$$

Neste caso, X é a Variável Aleatória que fornece o número de sucessos em (n) provas de Bernoulli e (p) é a probabilidade de sucesso (ou no caso específico de Estoque Base, **probabilidade de falha**). A aproximação melhora com o crescer de (n). Na prática, a aproximação é muito boa se (np) e (nq) são maiores que cinco”.

Utiliza-se a equação (3.10), que é equivalente a $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$, supondo X_1 e X_2 , por exemplo, como sendo variáveis aleatórias padronizadas.

Tomando este exemplo de duas variáveis aleatórias padronizadas pode-se entender como o tamanho de ($n.p$) influencia diretamente na aproximação de uma Distribuição Binomial por uma Distribuição Normal, tornando os cálculos mais práticos e rápidos, pois valores altos de distribuição Binomial não são facilmente encontrados na bibliografia.

Caso (n) não seja grande o suficiente, Z_1 e Z_2 ficam consideravelmente diferentes, ou seja, se for traçada a curva Gaussiana de Distribuição da Probabilidade, onde sua simetria é perfeita (O’CONNOR, 1991), os dois lados desta curva ficarão

assimétricos, perdendo o sentido da aproximação da Distribuição Binomial por uma Distribuição Normal.

Porém, com (n) grande o suficiente ($n \gg 5$), valores como a média e desvio padrão crescem, minimizando a diferença entre os lados da curva Gaussiana, pois neste caso ($Z_1 \approx Z_2$), dando características mais homogêneas a esta curva, tornando-a mais simétrica, fazendo valer a aproximação de uma Distribuição Binomial por uma Distribuição Normal (PAPOULIS, 1986).

Observe-se na FIGURA 2.7, que a área calculada pelos valores destes Z 's, é a probabilidade procurada (p).

Com relação ao valor de $(n.p)$ mínimo ser cinco, é um valor obtido experimentalmente, sempre se calculando a probabilidade (p) com a Distribuição Binomial e com a Distribuição Normal, e comparando os resultados. Quando (n) está próximo do valor cinco, as duas distribuições resultam valores significativamente diferentes entre si, a ponto de fazer com que a Distribuição Binomial não possa ser aproximada pela Distribuição Normal sem que se perda exatidão no resultado de (p).

3.3.2 – Teste de Aderência Utilizando a Norma Euclidiana

Ao se realizar uma análise qualquer, ou, ao se desenvolver uma metodologia de análises, seja esta metodologia para se obter tendência de resultados futuros ou não, mas que envolva um embasamento estatístico, se faz necessária uma análise que comprove a potencialidade deste método. Esta análise comprobatória pode ser, dentre outros métodos, um teste de aderência entre os valores obtidos (previstos) com os valores realmente ocorridos no campo. Estes testes são chamados de *Testes de Hipóteses (Significância)* (ANDRADE, 2003). Admitindo-se verdadeira uma hipótese e obtendo-se resultados que são substancialmente diferentes dos resultados esperados sob a hipótese formulada, utilizando a teoria da amostragem, diz-se que as diferenças observadas são *significativas*, levando a uma rejeição ou pelo menos não aceitação de tal hipótese.

Para o presente estudo, optou-se pela realização do teste de aderência utilizando a *Norma Euclidiana* dos valores reais com a *Norma Euclidiana* dos valores obtidos, devido aos ótimos resultados obtidos em (ANDRADE, 2003). Este método demonstra o quão próximo dos valores reais os valores esperados obtidos estão.

Uma metodologia que provém dos conceitos básicos de álgebra linear, é a normalização de vetores. Esta técnica de tratamento dos dados transforma uma seqüência de valores aleatórios em uma seqüência de valores de mesma base.

Sabe-se que existem vários tipos de Norma para vetores. Dentre as existentes, as mais conhecidas são: a *Norma do Somatório* - $\|x\|_1 = \sum_{i=1}^p |x_i|$; a *Norma do Valor Máximo* - $\|x\|_\infty = \max_{i=1 \rightarrow p} \{|x_i|\}$ e a *Norma Euclidiana*, utilizada neste trabalho e apresentada logo abaixo, na equação (3.11).

Na presente dissertação, a metodologia de aplicação da Norma Euclidiana foi utilizada nos valores de consumo do ano previsto, ou seja, nos valores mensais de consumo do ano de 2002, devido à renovação dos TD's causada pelas quebras.

O procedimento adotado foi o seguinte: inicialmente tomaram-se os valores mensais de transformadores de distribuição realmente avariados ao longo do ano de 2002. Aplicou-se a equação (3.11), obtendo-se assim um valor base que deverá ser o divisor comum destes mesmos valores.

$$\|x\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^p |x_i|^2} \quad (3.11)$$

Obtendo-se a Norma Euclidiana para valores reais de consumo do ano previsto, dividiu-se cada valor (mês a mês) por esta Norma, obtendo um vetor de valores normalizados. Realizou-se o mesmo procedimento para os valores previstos de consumo, para este mesmo ano.

Seguindo a metodologia para a realização do teste de aderência, subtraiu-se cada valor normalizado real do valor normalizado previsto (mês a mês), obtendo um vetor diferença para cada regional analisada. Este vetor diferença terá seu desvio padrão analisado.

O desvio padrão deste vetor diferença é composto por valores que representam lugares geométricos. Quanto menor for este desvio padrão, melhor distribuídos no espaço estão estes lugares geométricos, refletindo em uma boa aderência entre os valores reais e os valores previstos de consumo.

O desvio padrão em análise é chamado de *Desvio Padrão de Similaridade* (s) (ANDRADE, 2003), e é apresentado na equação (3.12).

$$s_{1,2} = \sigma(tdn_{1,i} - tdn_{2,i}) \quad (3.12)$$

Onde: $s_{1,2}$ – desvio padrão de similaridade entre 1 e 2;

$tdn_{1,i}$ e $tdn_{2,i}$ – número de transformadores de distribuição normalizados.

A comprovação do estudo da aderência entre os valores reais e previstos é apresentada no próximo capítulo deste trabalho.

3.4 – Conclusões

Em conjunto com o programa computacional de controle de estoque de itens de reposição de um almoxarifado de uma empresa, foi apresentada também uma ferramenta estatística de previsão de demanda que será aplicada em transformadores de distribuição. A principal finalidade desta ferramenta é facilitar o gestor de estoques, ou pelo menos, fornecer a este gestor várias opções de manejo de lotes de compra, de acordo com sua aversão ou não ao risco.

A previsão de demanda trará à presente data, um possível comportamento do consumo dos itens em operação que ainda não ocorreu, antevendo o que poderá acontecer com o almoxarifado da empresa, ou seja, se esta empresa deve ampliá-lo ou reduzi-lo.

Similar a esta idéia, o Simulador de Estoques apresentado no programa computacional CEST oferece ao gestor de estoques a possibilidade de simular riscos de se possuir ou não determinada quantia de material em estoque, alterando-se índices como Tempo de Médio de Vida, Grau de Importância, Tempo de Reposição dos itens, dentre outras variáveis, observando o reflexo destas alterações no fluxo financeiro da empresa, atribuindo todos estes riscos ao gestor de estoques.

Portanto, serão apresentados no capítulo seguinte, alguns resultados da utilização desta ferramenta quando aplicada em uma empresa. Estes resultados são provenientes de um estudo de caso realizado com transformadores de distribuição pertencentes a uma concessionária de distribuição de energia elétrica do setor elétrico brasileiro.

4 – ESTUDO DE CASO: O MODELO APLICADO

4.1 – Introdução

A teoria é sempre uma boa forma de se chegar nos resultados de uma pesquisa de forma científica, quando tem seus resultados apresentados e comprovados na prática, devido ao fato de se poder traduzir estes resultados em análises qualitativas e/ou quantitativas.

A presente pesquisa apresenta os resultados e análises, realizando um estudo de caso sobre *Transformadores de Distribuição* (TD's) e suas respectivas taxas de falha ao longo das principais regionais de uma concessionária do estado de Santa Catarina.

Um estudo sobre o comportamento do consumo (demanda) destes TD's foi previamente obtido junto à empresa de distribuição de energia elétrica CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina SA).

Os dados obtidos e o modelo computacional receberam o devido tratamento estatístico e em seguida aplicou-se a metodologia proposta neste trabalho de dissertação, com a finalidade de se prever o comportamento futuro da demanda. Os itens de consumo irregular são mais bem observados, e o almoxarifado da empresa é reavaliado de forma a reduzi-lo ou ampliá-lo, dependendo da situação específica de cada regional.

Por fim, realizou-se um teste de aderência, chamado *Teste da Norma Euclidiana*, comentado no capítulo anterior deste trabalho, que demonstra a potencialidade do método proposto, apresentando os casos onde esta potencialidade é maior ou menor, dependendo da situação, e as razões pelas quais isto ocorre.

4.2 – Dados e Sistema Teste

Levando-se em consideração o Estado de Santa Catarina, área de abrangência da empresa distribuidora de energia elétrica CELESC, foram destacadas as regionais das cidades com maior importância dentre as regiões do estado, e obtiveram-se os dados referentes à necessidade de reposição de TD's nestas cidades.

A FIGURA 4.1 mostra as regionais (cidades) de onde foram retirados os dados para a presente pesquisa.

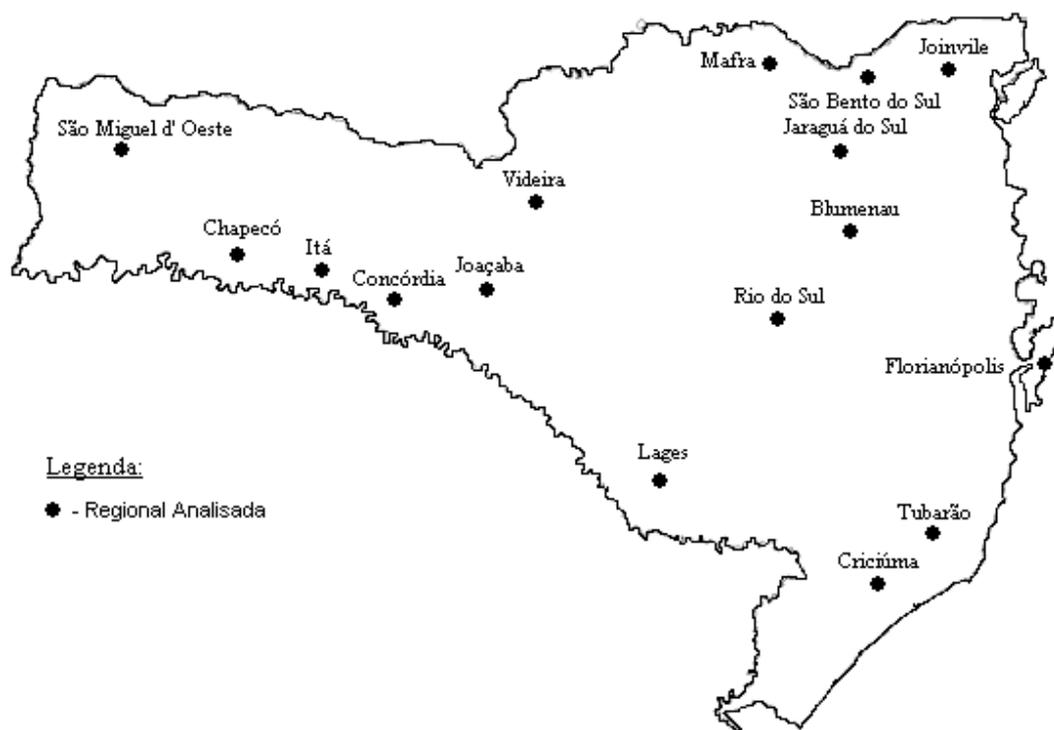


FIGURA 4.1 – As Dezesesseis Regionais Analisadas

Os dados em questão são utilizados com a finalidade de se obter as taxas de queima de transformadores de distribuição (TD's) nestas regionais, bem como se realizar uma análise da gestão do almoxarifado da empresa de distribuição de energia para um melhor gerenciamento por parte da empresa.

Da planilha dos dados cedida pela CELESC (fornecida em formato Microsoft Excel), elaboraram-se outras planilhas semelhantes, tais como planilha de índices de avarias e planilha de índice de avarias acumulado, possibilitando o cálculo das estatísticas necessárias para a determinação do estoque.

Baseado no número de TD's colocados em operação no início e no final de cada mês, durante o período de análise (desde o ano de 1999 até o ano de 2002), assim como no número de TD's avariados mensalmente (como foi apresentado com detalhes no capítulo anterior), foram definidos os índices de avarias (IA%) e montada uma tabela. As TABELAS A.1, A.2, A.3, A.4 e A.5 apresentam, respectivamente, a tabela do número de

TD's em operação no início do primeiro mês de análise (TABELA A.1) e a tabela montada com os números de TD's em operação ao final de cada período (TABELAS A.2 a A.5).

4.3 – Aplicação a Transformadores de Distribuição

Como já mencionado neste trabalho, é mais conveniente se utilizar Número de Transformadores de Distribuição avariados ao invés de Índices de Avarias (IA%) destes transformadores. Deste modo é necessária a conversão dos Índices de Avarias obtidos da previsão de demanda em número de TD's avariados.

Assim como foi explicitado na metodologia no capítulo anterior, foi utilizado o número de TD's colocados em operação ao final de cada mês para se construir as tabelas de Índices de Avarias (IA%).

As tabelas mostradas em anexo apresentarão os valores dos IA's obtidos mês a mês no período de estudos.

Seguindo o procedimento de análise, os valores das tabelas acima foram utilizados para a construção das tabelas de Índices de Avarias Acumulados (IA%Ac), cujos valores mensais são apresentadas a seguir.

Este acúmulo se dá devido ao fato de que a previsão de demanda requer um histórico de consumo para ser determinada. Este histórico é então acumulado objetivando a obtenção da função que determinará o comportamento de consumo de reserva necessário para substituir os transformadores avariados em campo (vide tabelas A.10 a A.13 em anexo).

Prosseguindo com o processo, extraiu-se o logaritmo natural dos valores das tabelas de índices acumulados de avarias real durante o ano de 2002. Este procedimento se faz necessário para uma linearização da curva de Índice de Avarias Acumulado versus tempo, tornando possível a obtenção das equações de reta destes gráficos, em vez de se modelar através de equações de maior grau. Os valores são apresentados no anexo, nas tabelas A.14 a A.17.

Da mesma forma é extraído o logaritmo natural do tempo de análise, formando assim os dois eixos da curva linearizada, possibilitando a obtenção das equações de reta das regionais em questão.

De posse dos logaritmos naturais dos dados dos dois eixos, realizaram-se as análises a seguir apresentadas. Traçou-se o gráfico para cada regional individualmente, no período de 1999 a 2001, ou seja, tomaram-se três anos como base de conhecimento para se prever o quarto ano (o ano de 2002).

Destes três anos de análises, pode-se determinar parâmetros de grande importância para os estudos de previsão, que são os coeficientes conhecidos por β e L , extraídos das retas do gráfico linearizado. β é o coeficiente angular (inclinação) da reta formada, e L é o valor proveniente da transformação $L = (e)^a$, (com a – coeficiente linear da reta formada), ou seja, $\ln(L)$ é a interseção da reta de regressão com o eixo das ordenadas. Como exemplo, é apresentado na figura 4.2 a linearização dos dados da regional de Florianópolis. Os valores da equação 4.1 são apresentados na TABELA 4.1.

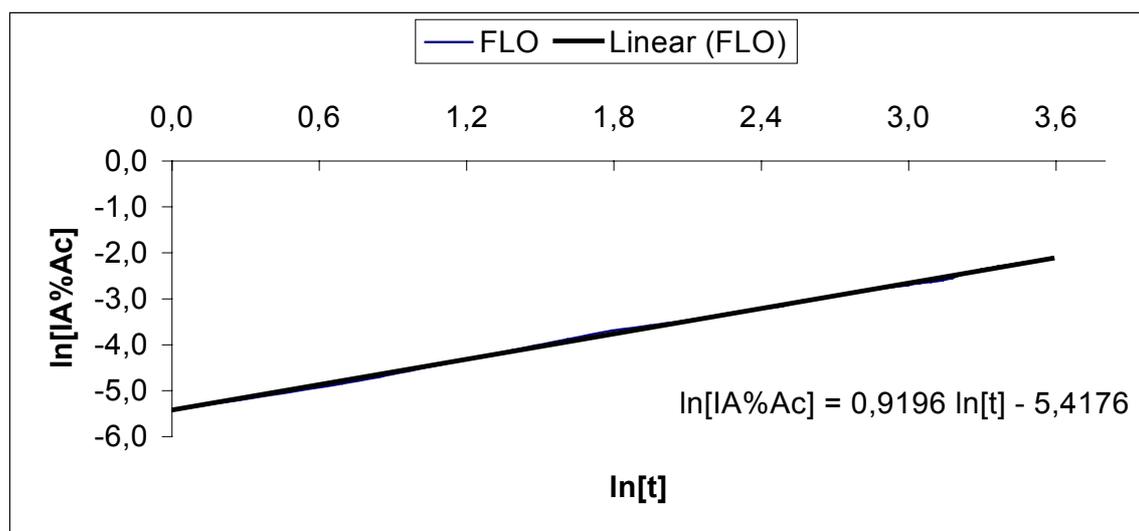


FIGURA 4.2 – Linearização Para Obtenção de β e L (Regional de Florianópolis)

$$\ln(IA\%Acum.) = \ln(L) + \beta \cdot \ln(t) \quad (4.1)$$

Assim, para a regional de Florianópolis a equação fica: $(-5,4176 + 0,9196 \cdot \ln(t))$, pois $L = \exp(-5,4176) = 0,0044$

REGIONAL	β	L
FLO	0,9196	0,0044
BLU	0,8996	0,0070
JOI	0,9631	0,0049
LAG	1,0394	0,0030
VID	1,0767	0,0015
CON	0,8947	0,0046
JSL	0,8419	0,0055
JOA	1,0514	0,0023
CRI	0,9340	0,0053
SMO	0,9764	0,0036
TUB	0,8637	0,0048
RSU	0,9178	0,0049
MAF	0,8818	0,0026
SBS	0,9073	0,0030
ITA	0,7398	0,0073
CHA	1,0576	0,0023

TABELA 4.1 – β e L: Base Três Anos (1999 - 2001)

A previsão da demanda do ano subsequente é realizada a partir dos dados da tabela acima, observando-se que valores de $\beta > 1$ significam que os índices de avarias estão crescendo mensalmente e vice-versa. Assim, dentre as 16 regionais analisadas, prevê-se que 12 estão com índices decrescendo no tempo. A equação 4.2 apresenta como estes dados são aplicados.

$$\lambda(t) = L\beta \cdot t^{\beta-1} \quad (4.2)$$

Sendo (t) o mês futuro em que se queira realizar a previsão de demanda, obtém-se $\lambda(t)$, representando a previsão de demanda propriamente dita a qual é uma NHPP com λ variável. Esta previsão é apresentada sob forma de tabela (TABELA 4.2), com os valores dos índices de avarias mensais previstos para o ano de 2002.

Após a obtenção destes índices, é conveniente acumulá-los de forma a se obterem índices de avarias acumulados para só então converter estes índices (acumulados) em número de transformadores de distribuição, eliminando assim pequenos erros, pois individualmente, o número de TD's avariados mensalmente pode variar bastante, e quando este número de TD's é acumulado, a tendência é que o montante final (de TD's realmente avariados e de TD's avariados previstos) se aproximem.

REGIONAL	ANO - 2002 (%)											
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
In [t]	3,611	3,638	3,664	3,689	3,714	3,738	3,761	3,784	3,807	3,829	3,850	3,871
FLO	0,3053%	0,3046%	0,3040%	0,3034%	0,3028%	0,3022%	0,3016%	0,3010%	0,3005%	0,3000%	0,2995%	0,2989%
BLU	0,4396%	0,4384%	0,4373%	0,4362%	0,4351%	0,4340%	0,4330%	0,4320%	0,4311%	0,4301%	0,4292%	0,4283%
JOI	0,4126%	0,4122%	0,4118%	0,4114%	0,4110%	0,4106%	0,4103%	0,4099%	0,4096%	0,4093%	0,4089%	0,4086%
LAG	0,3648%	0,3652%	0,3656%	0,3660%	0,3663%	0,3667%	0,3670%	0,3673%	0,3677%	0,3680%	0,3683%	0,3686%
VID	0,2138%	0,2142%	0,2147%	0,2151%	0,2155%	0,2159%	0,2163%	0,2166%	0,2170%	0,2174%	0,2177%	0,2181%
CON	0,2817%	0,2809%	0,2802%	0,2794%	0,2787%	0,2780%	0,2773%	0,2766%	0,2760%	0,2753%	0,2747%	0,2741%
JSL	0,2639%	0,2628%	0,2617%	0,2607%	0,2597%	0,2587%	0,2577%	0,2568%	0,2559%	0,2550%	0,2541%	0,2533%
JOA	0,2908%	0,2912%	0,2916%	0,2919%	0,2923%	0,2927%	0,2930%	0,2934%	0,2937%	0,2940%	0,2944%	0,2947%
CRI	0,3919%	0,3912%	0,3905%	0,3899%	0,3892%	0,3886%	0,3880%	0,3874%	0,3868%	0,3863%	0,3857%	0,3852%
SMO	0,3250%	0,3248%	0,3246%	0,3244%	0,3242%	0,3240%	0,3238%	0,3237%	0,3235%	0,3233%	0,3232%	0,3230%
TUB	0,2528%	0,2519%	0,2510%	0,2501%	0,2493%	0,2485%	0,2477%	0,2469%	0,2461%	0,2454%	0,2447%	0,2440%
RSU	0,3324%	0,3317%	0,3310%	0,3303%	0,3296%	0,3290%	0,3283%	0,3277%	0,3271%	0,3265%	0,3259%	0,3254%
MAF	0,1496%	0,1491%	0,1487%	0,1482%	0,1478%	0,1474%	0,1470%	0,1466%	0,1462%	0,1458%	0,1454%	0,1451%
SBS	0,1933%	0,1929%	0,1924%	0,1919%	0,1915%	0,1911%	0,1907%	0,1903%	0,1899%	0,1895%	0,1891%	0,1887%
ITA	0,2119%	0,2104%	0,2090%	0,2076%	0,2063%	0,2050%	0,2038%	0,2026%	0,2014%	0,2002%	0,1991%	0,1980%
CHA	0,3028%	0,3032%	0,3037%	0,3041%	0,3045%	0,3050%	0,3054%	0,3058%	0,3062%	0,3066%	0,3070%	0,3073%

TABELA 4.2 – Índices de Avarias Previstos Para o Ano de 2002

O ano escolhido para se realizar a previsão de demanda foi o ano de 2002, isto é, parte do BD de consumo foi utilizado como teste para se efetuar a previsão. Assim, realizou-se a previsão e compararam-se os resultados previstos com o resultados realmente ocorridos para a devida verificação da eficácia da metodologia.

A partir dos Índices de Avarias reais e agora também dos Índices de Avarias previstos, primeiramente acumulam-se estes índices obtendo: o Índice de Avarias Acumulado Real ($IA\%Acr$) e o Índice de Avarias Acumulado Previsto ($IA\%Acp$).

A metodologia de acúmulo dos $IA's\%$ previstos é um pouco diferente. Como a previsão (equação 4.2) é proveniente de uma equação diferencial no tempo (vide equação 3.1), para acumulá-la basta integrá-la ao longo do tempo (t) de análise. Portanto, os valores mensais dos Índices de Avarias Acumulados Previstos ($IA\%Acp$) são obtidos da equação 4.3. Como resultado, obtém-se a tabela de índice de avarias acumulada prevista, TABELA 4.3. Esta tabela é obtida somente para os meses do ano de previsão, para uma efetiva comparação com os valores ocorridos na TABELA A.13 (encontrada em anexo).

$$IA\%Acp = L \cdot t^\beta \quad (4.3)$$

É conveniente notar que como a base de dados é de três anos, o primeiro mês a ser previsto será o mês de janeiro de 2002, logo, para aplicação na equação 4.3, se em janeiro de 1999 (t = 1), então em janeiro de 2002, t será igual a 37.

REGIONAL	ANO - 2002 (%)											
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	3,6109	3,6376	3,6636	3,6889	3,7136	3,7377	3,7612	3,7842	3,8067	3,8286	3,8501	3,8712
FLO	12,28%	12,59%	12,89%	13,20%	13,50%	13,80%	14,10%	14,40%	14,70%	15,01%	15,30%	15,60%
BLU	18,08%	18,52%	18,96%	19,39%	19,83%	20,26%	20,70%	21,13%	21,56%	21,99%	22,42%	22,85%
JOI	15,85%	16,26%	16,67%	17,09%	17,50%	17,91%	18,32%	18,73%	19,14%	19,55%	19,96%	20,37%
LAG	12,99%	13,35%	13,72%	14,08%	14,45%	14,82%	15,18%	15,55%	15,92%	16,29%	16,65%	17,02%
VID	7,35%	7,56%	7,78%	7,99%	8,21%	8,42%	8,64%	8,85%	9,07%	9,29%	9,51%	9,72%
CON	11,65%	11,93%	12,21%	12,49%	12,77%	13,05%	13,33%	13,60%	13,88%	14,16%	14,43%	14,71%
JSL	11,60%	11,86%	12,12%	12,39%	12,65%	12,90%	13,16%	13,42%	13,68%	13,93%	14,19%	14,44%
JOA	10,23%	10,52%	10,82%	11,11%	11,40%	11,69%	11,98%	12,28%	12,57%	12,86%	13,16%	13,45%
CRI	15,52%	15,92%	16,31%	16,70%	17,09%	17,47%	17,86%	18,25%	18,64%	19,02%	19,41%	19,80%
SMO	12,32%	12,64%	12,97%	13,29%	13,61%	13,94%	14,26%	14,59%	14,91%	15,23%	15,56%	15,88%
TUB	10,83%	11,08%	11,33%	11,58%	11,83%	12,08%	12,33%	12,58%	12,82%	13,07%	13,31%	13,56%
RSU	13,40%	13,73%	14,06%	14,39%	14,72%	15,05%	15,38%	15,71%	16,04%	16,36%	16,69%	17,02%
MAF	6,28%	6,43%	6,58%	6,72%	6,87%	7,02%	7,17%	7,31%	7,46%	7,61%	7,75%	7,90%
SBS	7,88%	8,08%	8,27%	8,46%	8,65%	8,85%	9,04%	9,23%	9,42%	9,61%	9,80%	9,98%
ITA	10,60%	10,81%	11,02%	11,23%	11,43%	11,64%	11,84%	12,05%	12,25%	12,45%	12,65%	12,85%
CHA	10,59%	10,89%	11,20%	11,50%	11,81%	12,11%	12,42%	12,72%	13,03%	13,33%	13,64%	13,95%

TABELA 4.3 – Índices Acumulados de Avarias Previstos Para o Ano de 2002

Das tabelas apresentadas em anexo (TABELAS A.1 a A.5), é obtido o Número de Transformadores de Distribuição Avariados ($NTDA_v$) em todo o período, utilizando-se a equação 4.4.

$$NTDA_v = IA\%Ac \cdot \left(\frac{(N_{in} + N_{fim})}{2} \right) \quad (4.4)$$

Onde: $NTDA_v$: número de TD's avariados;

$IA\%Ac$: índice de avarias acumulado (real ou previsto, dependendo da análise);

N_{in} : número de TD's colocados em operação no início do mês;

N_{fim} : número de TD's colocados em operação no final do mês.

Da mesma maneira em que foram obtidos os índices de avarias mensais para TD's que realmente foram avariados e para os TD's previstos, se faz a conversão destes índices para número de transformadores avariados, também para os dois casos.

Trabalhar com número de transformadores avariados representa o mesmo que trabalhar com valores mais significativos. Os índices de avarias percentuais colocados são valores muito pequenos, assim, a metodologia de previsão tornava-se inválida como foi apresentado em capítulos anteriores, onde foram realizadas considerações sobre o produto (np), ou seja, somente para valores deste produto maiores que cinco, as equações de previsão são válidas.

REGIONAL	1999											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	28	50	76	105	133	160	200	244	271	302	324	347
BLU	60	131	170	215	248	273	314	354	399	430	468	498
JOI	18	37	57	75	89	106	130	152	167	184	213	238
LAG	33	65	89	129	150	168	195	213	255	292	325	360
VID	10	15	22	35	40	48	51	56	77	96	102	107
CON	30	49	66	95	110	126	163	180	226	254	265	291
JSL	9	19	28	35	41	48	54	61	68	83	90	95
JOA	22	35	46	69	82	100	112	142	172	205	213	230
CRI	11	26	35	48	59	68	82	93	111	122	133	147
SMO	35	73	100	142	181	217	265	297	354	408	294	315
TUB	13	27	39	49	56	66	75	81	90	94	240	269
RSU	38	63	90	110	131	147	168	182	209	231	250	281
MAF	19	31	41	57	64	73	91	97	113	119	126	139
SBS	10	13	15	16	18	22	27	30	36	42	42	50
ITA	40	64	79	92	105	120	130	141	154	165	177	199
CHA	26	33	52	90	109	122	153	188	206	236	255	279

TABELA 4.4 – Número Acumulado de TD's Avariados Durante o Ano de 1999

2000												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
394	418	447	473	499	528	552	576	605	626	653	691	
585	633	673	704	751	795	843	884	936	977	1016	1076	
260	275	292	307	325	346	369	386	410	426	440	466	
394	433	487	529	547	568	600	624	668	731	762	813	
114	120	132	150	162	170	186	204	230	248	262	280	
305	324	345	352	367	384	400	425	462	488	507	526	
113	110	116	127	133	137	145	150	158	164	167	177	
236	256	278	292	311	330	355	374	411	449	465	476	
165	174	186	193	208	216	228	232	243	256	257	269	
529	560	579	594	624	652	705	739	804	855	881	919	
130	137	150	163	167	175	184	192	199	206	215	231	
336	367	387	400	419	437	469	492	511	553	581	615	
162	169	187	194	203	215	228	240	255	271	285	302	
58	62	68	75	81	86	88	92	99	105	114	122	
236	251	272	281	295	316	332	345	356	373	388	406	
296	316	343	366	394	426	457	488	525	564	587	610	

TABELA 4.5 – Número Acumulado de TD's Avariados Durante o Ano de 2000

2001												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
748	785	843	879	923	950	978	1002	1024	1060	1099	1139	
1190	1263	1345	1389	1430	1483	1521	1573	1634	1690	1750	1808	
495	516	549	575	595	612	639	653	672	686	707	724	
902	939	982	1033	1062	1095	1133	1172	1230	1310	1357	1421	
297	314	322	329	340	348	360	373	387	402	416	432	
537	548	570	596	616	636	657	662	684	698	710	729	
191	200	214	220	232	240	243	249	257	266	275	285	
512	529	554	587	602	616	644	662	694	727	742	768	
292	301	314	334	339	344	355	360	374	388	394	402	
953	999	1032	1067	1116	1152	1191	1228	1265	1328	1384	1419	
251	260	274	292	304	312	319	330	336	353	379	389	
662	702	759	798	838	872	895	908	947	994	1039	1063	
341	356	371	383	396	402	423	437	447	463	484	498	
135	142	151	156	160	165	168	174	177	179	186	190	
439	459	480	501	519	541	555	571	586	612	625	638	
644	666	684	701	723	757	780	801	827	852	886	902	

TABELA 4.6 – Número Acumulado de TD's Avariados Durante o Ano de 2001

2002											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1190	1231	1268	1307	1334	1367	1430	1470	1499	1532	1564	1604
1882	1939	2014	2061	2102	2143	2238	2288	2349	2402	2471	2545
750	765	800	831	853	865	891	904	932	947	959	976
1477	1515	1552	1595	1629	1652	1714	1811	1864	1948	1999	2035
454	473	484	494	510	518	557	575	595	611	626	641
741	764	779	791	808	819	843	865	894	929	954	976
299	312	324	326	330	337	358	364	370	381	390	401
800	822	843	862	883	892	927	964	993	1027	1055	1081
410	436	447	464	472	486	509	522	529	553	562	574
1468	1503	1550	1583	1631	1663	1745	1805	1857	1964	2018	2058
405	419	437	442	446	459	476	481	488	509	521	536
1109	1146	1192	1229	1247	1271	1318	1355	1378	1439	1495	1537
517	530	544	561	577	588	610	623	634	676	686	704
196	201	208	214	217	223	227	232	234	240	245	251
657	678	696	713	725	743	764	778	794	805	827	852
923	953	976	997	1029	1056	1111	1142	1184	1241	1274	1299

TABELA 4.7 – Número Acumulado de TD's Avariados Durante o Ano de 2002

Como se pôde notar da equação 4.4, o índice de avarias utilizado no processo de conversão para TD's avariados foi o índice acumulado. Deste modo, utilizando mais uma vez a equação 4.4, determina-se o número de TD's avariados acumulado previsto para o ano de 2002. Para tal determinação, o índice de avarias que se empregará na equação será o índice acumulado (TABELA 4.3). O número de TD's avariados acumulado, previsto para o ano de 2002 é apresentado na tabela 4.8.

REGIONAL	2002											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	1150	1185	1219	1250	1283	1318	1351	1382	1415	1448	1480	1514
BLU	1728	1773	1819	1866	1912	1957	2002	2048	2095	2141	2186	2232
JOI	769	790	813	837	860	883	905	928	951	974	996	1020
LAG	1408	1453	1495	1545	1600	1647	1697	1751	1804	1854	1904	1951
VID	446	460	474	490	505	519	534	549	564	580	595	609
CON	791	814	834	855	875	894	914	935	956	977	996	1016
JSL	293	300	307	311	318	330	337	345	353	361	368	376
JOA	795	819	845	870	895	920	944	969	994	1018	1043	1069
CRI	444	456	470	484	497	509	521	534	546	559	573	585
SMO	1473	1515	1559	1601	1638	1671	1710	1752	1790	1832	1876	1918
TUB	367	376	385	394	403	413	422	432	441	450	459	469
RSU	1016	1046	1079	1110	1141	1168	1196	1226	1255	1283	1313	1343
MAF	484	497	509	523	540	556	568	581	593	606	619	633
SBS	187	192	197	203	208	213	218	223	228	233	238	244
ITA	609	622	635	649	663	676	688	701	714	726	738	751
CHA	941	972	1003	1031	1060	1090	1118	1148	1176	1204	1234	1266

TABELA 4.8 – Número Acumulado de TD's Avariados Previstos Para o Ano de 2002

4.4 – Análise Quantitativa e Qualitativa dos Resultados

4.4.1 – Metodologia de Previsão Baseada no NHPP com Base de Conhecimento Triannual

Inicialmente serão efetuadas análises sobre a influência do parâmetro β , que indica o crescimento ou não da tendência de consumo.

A variação de β que representa o comportamento crescente ou decrescente do consumo do item em determinado período foi apresentada em capítulos anteriores. Logo, nas figuras seguintes, é possível se visualizar este comportamento.

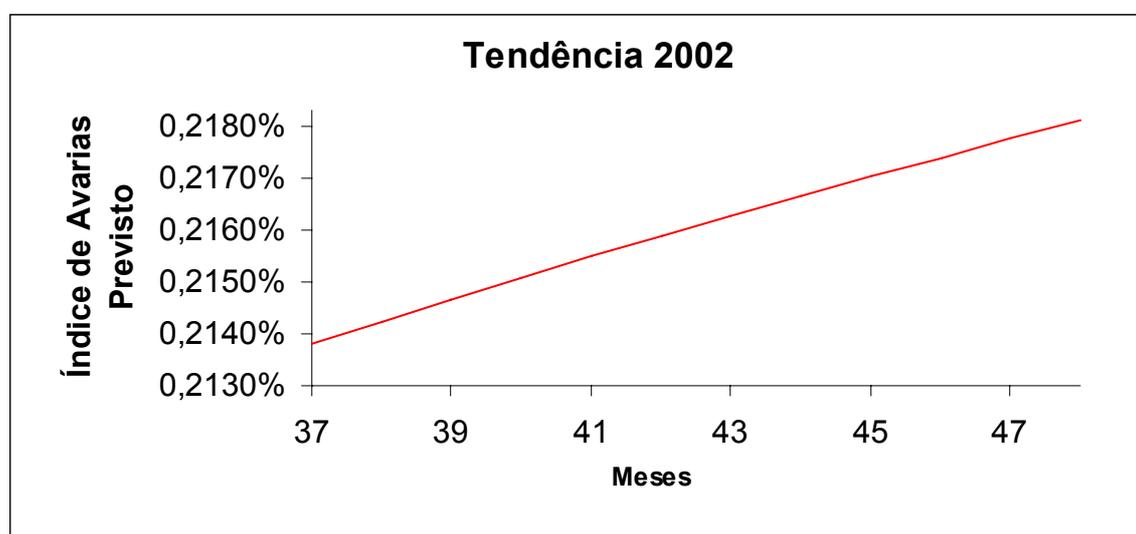


FIGURA 4.3 – Índice de Avarias Previsto para a Regional de Videira em 2002

Na figura 4.3, o valor de β para a cidade de Videira é maior do que 1,0000 ($\beta = 1,0767$). Este comportamento reflete uma tendência de crescimento na taxa de falhas (avarias) para os TD's da regional de Videira ao longo do ano de 2002. Como o próprio nome sugere, há uma "tendência" de crescimento das taxas de falha, ou seja, a uma taxa de falha crescente fará com que o número de TD's avariados aumente para os anos seguintes caso nenhuma providência seja tomada, como manutenção preditiva, troca de óleo isolante e/ou verificação das instalações, por exemplo.

O mesmo estudo de comportamento é apresentado para uma outra cidade, agora com β menor do que 1,0000, como na regional de Criciúma ($\beta = 0,9340$).

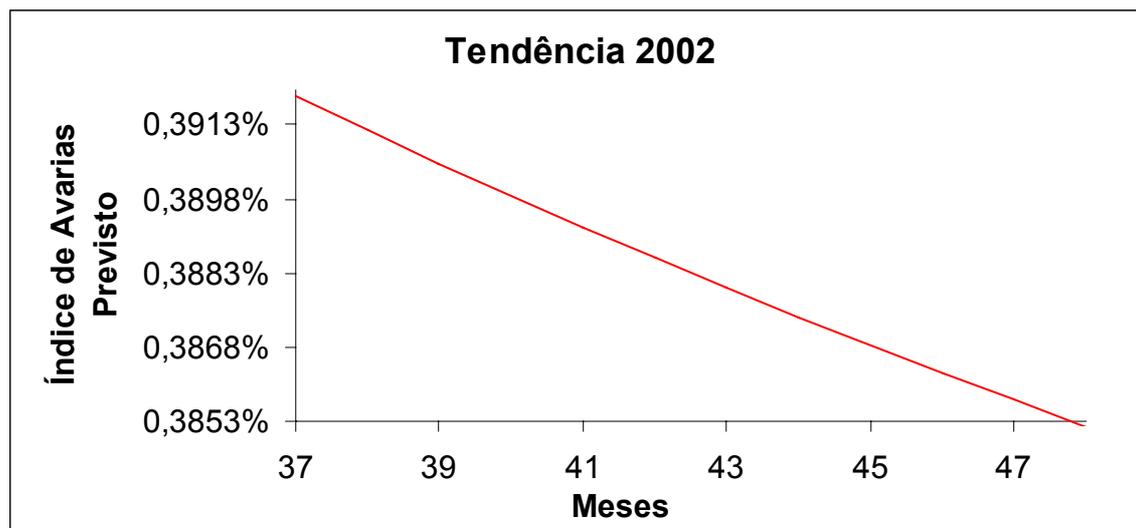


FIGURA 4.4 – Índice de Avarias Previsto para a Regional de Criciúma em 2002

Utilizando a mesma linha de raciocínio, a regional de Criciúma possui uma tendência decrescente nas taxas de falha de seus TD's para o ano de 2002, mas isto não necessariamente implicará, de imediato, em números de TD's avariados decrescentes, ou seja, eventualmente a suavização da curva de tendência (β próximo de um) pode fazer com que o número de TD's avariados decresça mais lentamente com relação aos anos seguintes, caso nenhuma providência tenha sido tomada.

Sobre os resultados, é interessante reparar nas tabelas 4.7 e 4.8, que contêm o número acumulado de TD's avariados ao longo do ano de 2002 (valores reais e previstos respectivamente).

Pode-se perceber comparando as tabelas 4.7 e 4.8 que a diferença do número de TD's avariados previsto para o número de TD's avariados realmente é bastante pequena, apresentando um erro aceitável.

Com a finalidade de se calcular a significância dos valores destes erros, foi criado um procedimento de detecção, utilizando as diferenças dos valores dos TD's avariados mensalmente, durante o ano de 2002.

Primeiramente elaboraram-se duas tabelas de diferenças, chamadas neste trabalho de Tabelas Delta (Δ). Estas tabelas são apresentadas abaixo, as quais representam os valores de transformadores avariados.

REGIONAL	2002											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	51	41	37	39	27	33	64	40	30	33	31	40
BLU	73	58	74	47	41	41	94	51	61	53	69	74
JOI	27	15	35	31	21	13	25	14	28	14	13	16
LAG	57	38	37	43	33	23	62	97	53	84	50	36
VID	22	19	11	10	16	8	39	18	20	16	15	15
CON	12	23	16	12	18	10	24	22	28	35	25	22
JSL	14	12	13	1	5	7	21	6	6	11	10	11
JOA	32	22	21	19	20	10	35	37	29	34	28	26
CRI	8	26	11	16	8	13	23	13	7	24	9	12
SMO	49	35	47	33	48	32	83	60	51	107	55	40
TUB	16	14	18	5	4	13	17	5	7	22	12	15
RSU	46	37	46	37	18	24	47	37	23	61	56	43
MAF	19	13	14	17	16	11	23	13	11	41	11	18
SBS	6	5	7	6	3	6	4	4	2	7	5	6
ITA	19	21	18	16	13	18	20	14	16	11	22	25
CHA	21	29	24	21	32	27	55	31	41	58	33	25

TABELA 4.9 – Tabela Δ Real - Número Mensal de TD's Realmente Avariados

REGIONAL	2002											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	33	35	35	31	33	36	32	31	33	33	32	33
BLU	46	46	46	47	46	45	44	46	47	46	45	45
JOI	22	21	23	24	23	23	22	23	23	23	22	24
LAG	50	44	43	50	54	48	49	54	53	51	50	47
VID	16	14	14	15	15	14	15	15	15	16	15	15
CON	24	22	21	21	20	19	19	21	21	21	19	20
JSL	8	7	7	4	7	11	8	8	8	7	7	8
JOA	24	24	26	25	25	25	24	25	25	24	25	27
CRI	12	12	14	14	13	12	12	13	12	13	13	12
SMO	44	42	44	42	37	32	40	42	38	42	43	42
TUB	10	9	9	9	9	10	10	9	9	9	9	10
RSU	27	30	33	32	30	27	28	30	28	28	30	31
MAF	15	13	13	13	17	16	12	13	13	13	13	14
SBS	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6
ITA	11	14	13	14	14	13	12	13	13	12	13	13
CHA	28	31	31	28	29	29	29	30	28	28	29	32

TABELA 4.10 – Tabela Δ Previsto - Número Mensal de TD's Avariados Previstos

O procedimento para a obtenção das tabelas acima é o seguinte: subtraindo-se o número total (acumulado) de TD's avariados realmente de janeiro de 2002 do número total (acumulado) de TD's avariados realmente de dezembro de 2001, se obtém o valor diferença correspondente ao mês de janeiro da Tabela Δ Real. O mesmo se aplica para a determinação dos meses subseqüentes, ou seja, para se determinar o valor diferença correspondente ao mês de fevereiro de 2002 da Tabela Δ Real, se subtrai o valor do número de TD's avariados realmente (acumulado) de fevereiro de 2002 do valor do número de TD's avariados realmente (acumulado) do mês de janeiro de 2002, e assim sucessivamente.

Com relação à Tabela Δ Previsto, referente aos valores diferença do número de TD's avariados previstos, o procedimento é o mesmo, porém adotando-se os valores acumulados de TD's avariados previstos.

Da mesma forma em que se realizou o acúmulo dos valores das tabelas de Índice de Avarias e de Número de TD's Avariados, e pelas mesmas razões, também se realizou o acúmulo dos valores das Tabelas Δ (Real e Previsto). Os valores são apresentados nas tabelas 4.11 e 4.12.

REGIONAL	2002											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	51	91	128	167	194	227	291	330	360	393	424	465
BLU	73	131	205	252	293	335	429	480	541	594	662	736
JOI	27	42	76	108	129	142	167	181	209	223	236	252
LAG	57	95	131	175	208	231	293	390	443	528	578	614
VID	22	41	52	62	78	86	125	143	163	179	194	209
CON	12	35	51	62	80	90	114	137	165	200	225	247
JSL	14	26	39	40	45	52	73	79	85	96	105	116
JOA	32	53	75	94	114	124	159	195	225	259	286	313
CRI	8	34	46	62	70	84	107	120	127	151	160	172
SMO	49	84	131	164	212	244	327	386	438	545	600	639
TUB	16	30	48	53	56	70	87	92	98	120	132	147
RSU	46	83	129	166	184	208	255	291	314	375	431	474
MAF	19	32	46	63	79	89	112	125	136	177	188	206
SBS	6	11	18	24	26	33	37	41	44	50	55	61
ITA	19	40	59	75	87	105	126	140	156	167	189	215
CHA	21	50	74	95	127	153	209	240	281	339	372	397

TABELA 4.11 – Tabela Δ Real Acumulada – No. Acumulado de TD's Realmente Avariados

REGIONAL	2002											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	33	68	103	134	166	202	234	265	299	332	364	397
BLU	46	92	138	184	231	276	320	366	413	459	505	550
JOI	22	43	66	89	113	136	157	180	204	227	249	273
LAG	50	94	137	187	241	289	338	392	445	495	545	592
VID	16	30	44	59	75	89	103	119	134	149	164	179
CON	24	46	67	88	107	127	146	167	188	209	228	248
JSL	8	16	23	27	34	45	53	61	69	76	84	92
JOA	24	49	75	100	125	150	174	198	223	247	272	299
CRI	12	24	38	51	64	76	88	101	113	127	140	152
SMO	44	86	130	172	209	242	281	323	361	403	447	489
TUB	10	20	28	37	47	56	66	75	84	93	103	112
RSU	27	57	89	121	152	179	207	237	265	294	324	354
MAF	15	28	40	54	71	87	99	112	124	137	150	164
SBS	6	11	16	22	27	32	37	42	47	52	57	63
ITA	11	25	38	52	65	78	90	103	116	128	141	153
CHA	28	59	90	119	148	177	206	236	264	292	321	353

TABELA 4.12 – Tabela Δ Previsto Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto

Os valores correspondentes ao último mês de 2002 (dezembro), nas duas tabelas, são os valores que serão comparados entre si, de modo a se analisar a diferença entre os valores reais e previstos. A análise das diferenças é apresentada na TABELA 4.13, onde estão representados os erros de previsão, em número de transformadores e em valores percentuais.

Convém ressaltar que sempre que se realiza uma previsão de número de TD's avariados maior do que realmente ocorre, ou seja, sempre que falham menos TD's que o previsto para falhar, o valor constará na Tabela Comparativa precedido de um sinal negativo. Como exemplo temos a cidade de Joinville que teve ao longo do ano de 2002,

252 TD's avariados, ao passo que foram previstas 273 avarias ao longo do mesmo ano (valores acumulados). Logo, o valor que consta na tabela comparativa é de (-21) TD's.

REGIONAL	No. de trafos: (Real - Previsto)	Erro Percentual
FLO	68	14,60%
BLU	186	25,31%
JOI	-21	8,23%
LAG	21	3,48%
VID	31	14,58%
CON	-1	0,48%
JSL	24	20,77%
JOA	14	4,39%
CRI	20	11,37%
SMO	150	23,48%
TUB	35	23,81%
RSU	120	25,24%
MAF	42	20,62%
SBS	-2	3,04%
ITA	61	28,53%
CHA	44	11,02%
Erro Total CELESC		15,98%

TABELA 4.13 – Erros de Previsão por Regional – (Tabela Δ Real Acum.– Tabela Δ Previsto Acum.)

Uma outra comparação pode ser realizada utilizando as TABELAS 4.9 e 4.10. Com estas tabelas pode-se criar uma terceira tabela (TABELA 4.14), onde os valores que a compõe são os valores dos erros mensais individuais.

REGIONAL	Tabela de erros mensal											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	34,48%	13,60%	6,59%	21,26%	20,85%	8,01%	49,06%	20,75%	12,47%	0,77%	2,60%	17,86%
BLU	37,17%	21,23%	38,13%	1,00%	13,55%	8,87%	53,15%	9,03%	22,48%	12,51%	34,13%	38,76%
JOI	18,44%	40,61%	33,92%	24,83%	10,61%	80,52%	14,48%	69,19%	16,26%	58,90%	73,50%	46,75%
LAG	12,22%	17,12%	15,48%	15,67%	63,29%	107,13%	20,69%	44,13%	1,38%	39,76%	0,61%	30,65%
VID	27,86%	25,74%	28,31%	50,15%	4,79%	79,89%	62,41%	14,82%	23,22%	3,39%	2,96%	2,62%
CON	93,34%	2,72%	33,97%	79,60%	12,33%	89,83%	20,12%	8,22%	24,01%	39,68%	23,90%	9,17%
JSL	38,57%	43,11%	42,06%	196,44%	55,10%	66,87%	64,07%	24,25%	42,64%	31,73%	25,52%	23,11%
JOA	23,48%	12,10%	22,48%	30,37%	24,66%	156,23%	31,12%	32,39%	16,26%	28,73%	9,68%	1,44%
CRI	38,90%	52,64%	21,05%	15,55%	52,89%	12,29%	46,33%	4,66%	76,81%	44,63%	49,12%	3,40%
SMO	10,46%	19,67%	6,14%	27,80%	22,76%	2,62%	52,00%	30,39%	25,50%	60,93%	20,70%	7,00%
TUB	35,05%	32,48%	51,95%	98,89%	141,06%	27,45%	44,37%	88,11%	34,98%	58,38%	22,22%	37,44%
RSU	41,06%	19,39%	28,94%	13,95%	65,38%	14,43%	39,48%	18,58%	23,35%	53,46%	46,36%	28,14%
MAF	24,20%	3,48%	10,82%	21,24%	7,86%	49,50%	45,57%	3,19%	14,38%	68,81%	23,35%	25,24%
SBS	7,71%	11,32%	21,19%	7,55%	91,58%	21,71%	13,71%	14,31%	106,15%	21,67%	12,51%	7,00%
ITA	40,95%	37,02%	27,47%	13,23%	6,67%	28,81%	40,05%	9,16%	20,59%	6,28%	42,78%	49,81%
CHA	32,65%	7,21%	30,58%	34,84%	8,27%	9,23%	47,71%	4,51%	32,32%	50,99%	10,08%	26,96%

TABELA 4.14 – Tabela de Erros Mensal Individual

Estes erros mensais individuais não acumulados demonstram o quanto varia mensalmente a previsão final. Assim, obteve-se um erro total para o final do ano de previsão, igual ao apresentado na TABELA 4.15. O Erro Médio obtido desta análise

provém da média aritmética dos erros mensais individuais, que constam na TABELA 4.14, e é muito grande para ser considerado como aceitável. Comparando-se este erro com o erro obtido da análise anterior (erro total de 15,98%), pode-se afirmar que individualmente, a previsão torna-se muito instável de um mês para o outro. Este fato sugere que as previsões e respectivas compras para recompor estoques sejam efetuadas em base anual.

REGIONAL	Erro Médio
FLO	17,36%
BLU	24,17%
JOI	40,67%
LAG	30,68%
VID	27,18%
CON	36,41%
JSL	54,45%
JOA	32,41%
CRI	34,85%
SMO	23,83%
TUB	56,03%
RSU	32,71%
MAF	24,80%
SBS	28,04%
ITA	26,90%
CHA	24,61%
Erro Total CELESC	32,19%

TABELA 4.15 – Erros das Médias Mensais

4.4.2 – Metodologia de Previsão Baseada no NHPP com Base de Conhecimento Bianual

Analisando-se o erro de previsão obtido com a metodologia, a partir de uma base de dados de três anos e realizando uma previsão para o quarto ano, observou-se o erro de 15,98% poderia ser reduzido. Aplicou-se a metodologia de previsão outras duas vezes, porém agora utilizando-se uma base de conhecimento de dois anos para se prever o terceiro ano. Primeiramente utilizaram-se os anos de 1999 e 2000 como base de dados para se prever o ano de 2001. Assim, duas novas Tabelas Δ Acumuladas Real e Prevista foram montadas com esta base bianual.

REGIONAL	2001											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	57	95	152	189	232	259	287	311	334	369	408	449
BLU	114	187	269	314	354	407	445	498	558	614	674	733
JOI	30	50	83	109	129	146	173	188	206	220	241	258
LAG	89	126	168	220	248	281	319	359	416	497	544	608
VID	17	34	42	49	61	68	81	93	107	122	136	152
CON	11	22	44	71	90	110	132	136	158	173	184	203
JSL	14	23	36	43	55	63	66	72	80	89	98	108
JOA	36	53	77	110	126	140	168	185	217	250	266	292
CRI	23	32	45	65	70	75	86	91	105	119	125	133
SMO	34	80	113	148	197	233	272	309	346	409	465	500
TUB	20	29	42	61	73	81	88	99	105	122	147	158
RSU	47	87	144	182	222	256	279	292	331	378	424	448
MAF	39	54	69	81	94	100	121	135	145	161	182	196
SBS	13	20	28	34	38	42	46	52	55	57	64	68
ITA	33	54	74	96	113	135	149	165	181	207	219	232
CHA	34	56	74	92	113	148	170	192	218	242	277	293

TABELA 4.16 – Tabela Δ Real Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto Com Base Bianual (2001)

REGIONAL	2001											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	27	57	92	127	161	191	219	250	281	312	344	376
BLU	38	84	132	172	211	250	290	330	372	414	458	500
JOI	21	44	70	93	117	138	161	186	210	232	254	276
LAG	37	74	113	154	196	239	275	316	369	417	457	503
VID	15	27	40	52	64	77	90	103	118	132	146	160
CON	15	36	64	87	108	134	158	178	201	224	245	267
JSL	7	14	21	29	36	44	49	53	61	72	83	93
JOA	23	44	67	90	114	138	162	188	215	240	265	290
CRI	13	25	40	56	69	82	95	110	124	138	152	165
SMO	42	86	128	169	211	253	298	342	386	431	474	520
TUB	10	18	27	36	44	53	62	71	79	88	97	106
RSU	24	47	74	101	126	153	181	196	222	261	289	313
MAF	12	25	36	47	57	69	81	93	105	117	130	142
SBS	5	10	15	19	23	26	31	35	40	45	49	53
ITA	13	24	37	50	62	74	87	103	117	129	145	158
CHA	28	55	82	92	104	133	160	188	218	249	277	305

TABELA 4.17 – Tabela Δ Prevista Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto Com Base Bianual (2001)

Com as TABELAS 4.16 e 4.17, pode-se realizar uma comparação entre previsões com várias bases de conhecimento, obtendo-se o erro de previsão do método proposto para uma base bi-anual de dados. Estes erros são apresentados na TABELA 4.18.

REGIONAL	Erro Absoluto
FLO	16,26%
BLU	31,79%
JOI	6,98%
LAG	17,27%
VID	5,26%
CON	31,53%
JSL	13,89%
JOA	0,68%
CRI	24,06%
SMO	4,00%
TUB	32,91%
RSU	30,13%
MAF	27,55%
SBS	22,06%
ITA	31,90%
CHA	4,10%
Erro Total CELESC	18,88%

TABELA 4.18 – Análise dos Erros Mensais Prevendo o Ano de 2001 Com Base Bianual de Dados

O erro de 18,88% apresentado apresenta um acréscimo em relação ao erro para a base trianual de dados anterior. Este valor maior pode ser devido a alguma variação particular ao longo de algum dos anos 1999, 2000 ou 2001, no que diz respeito a transformadores avariados (chuvas em demasia por exemplo).

Motivado pela análise anterior, realizou-se o mesmo procedimento, porém agora tomando uma base bianual levando-se em consideração os anos de 2000 e 2001, para se prever o ano seguinte. As TABELAS 4.19 e 4.20 apresentam os valores reais ocorridos no campo e os previstos das Tabelas Δ Acumuladas, referentes a base de conhecimento destes anos (2000 e 2001).

REGIONAL	2002											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	51	91	128	167	194	227	291	330	360	393	424	465
BLU	73	131	205	252	293	335	429	480	541	594	662	736
JOI	27	42	76	108	129	142	167	181	209	223	236	252
LAG	57	95	131	175	208	231	293	390	443	528	578	614
VID	22	41	52	62	78	86	125	143	163	179	194	209
CON	12	35	51	62	80	90	114	137	165	200	225	247
JSL	14	26	39	40	45	52	73	79	85	96	105	116
JOA	32	53	75	94	114	124	159	195	225	259	286	313
CRI	8	34	46	62	70	84	107	120	127	151	160	172
SMO	49	84	131	164	212	244	327	386	438	545	600	639
TUB	16	30	48	53	56	70	87	92	98	120	132	147
RSU	46	83	129	166	184	208	255	291	314	375	431	474
MAF	19	32	46	63	79	89	112	125	136	177	188	206
SBS	6	11	18	24	26	33	37	41	44	50	55	61
ITA	19	40	59	75	87	105	126	140	156	167	189	215
CHA	21	50	74	95	127	153	209	240	281	339	372	397

TABELA 4.19 – Tabela Δ Real Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto Com Base Bianual (2002)

REGIONAL	2002											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	35	71	107	139	173	210	244	277	312	346	380	415
BLU	57	114	172	230	289	346	403	462	522	581	639	698
JOI	20	40	61	83	105	127	147	168	190	211	232	254
LAG	53	100	145	198	256	307	360	417	474	528	581	632
VID	17	34	49	67	84	100	117	134	151	169	186	203
CON	21	41	60	78	96	113	130	148	167	186	203	220
JSL	8	15	22	26	33	44	51	58	67	74	81	89
JOA	25	49	76	101	126	151	176	201	226	250	276	303
CRI	9	19	30	41	51	61	70	80	90	100	111	120
SMO	41	81	123	162	197	227	264	303	339	378	419	459
TUB	12	23	33	44	55	66	77	88	99	110	121	133
RSU	33	68	107	146	183	216	251	288	323	358	395	433
MAF	18	34	50	66	87	107	122	138	154	171	187	204
SBS	7	14	21	28	36	42	49	55	62	69	76	84
ITA	14	32	48	66	83	100	116	132	149	164	181	197
CHA	30	63	96	127	158	189	220	252	282	313	345	379

TABELA 4.20 – Tabela Δ Prevista Acumulada – No. Acumulado de TD's Avariados Previsto Com Base Bianual (2002)

Das tabelas acima, realiza-se a elaboração da tabela de erros referente a esta análise igualmente bianual, comparando-as. Os resultados são apresentados na TABELA 4.21.

REGIONAL	Erro Absoluto
FLO	10,75%
BLU	5,16%
JOI	0,79%
LAG	2,93%
VID	2,87%
CON	10,93%
JSL	23,28%
JOA	3,19%
CRI	30,23%
SMO	28,17%
TUB	9,52%
RSU	8,65%
MAF	0,97%
SBS	37,70%
ITA	8,37%
CHA	4,53%
Erro Total CELESC	9,99%

TABELA 4.21 – Análise dos Erros Mensais Prevendo o Ano de 2002 Com Base Bianual de Dados

O erro apresentado nesta análise (tabela acima), com valor de 9,99%, torna possível a afirmação feita na análise anterior, referente aos anos atípicos e referente à eficácia do método de previsão proposto. O erro apresenta um valor aproximadamente 100% menor em relação à mesma análise bianual realizada para se prever o ano 2001, onde o erro foi de 18,88%.

4.4.3 – Metodologia de Previsão Baseada na Média Aritmética dos Índices de Avarias Mensais

Realizaram-se também três análises baseadas em um Índice de Avarias Médio Mensal, cujo valor poderia ser utilizado para se estimar lotes de compras anuais de transformadores de distribuição, ao invés dos Índices de Avarias Acumulados propostos. Esta é uma prática usual de previsão nas concessionárias.

Estes IA%'s Médios serão convertidos em Número de Transformadores de Distribuição Avariados, igualmente como é realizado na metodologia de previsão onde se utilizam valores estimados de IA%, e então serão comparados com o número real de transformadores avariados, apresentando por fim, um erro de previsão (estimação), porém agora baseado no IA% Médio.

Foram realizadas três análises: uma com base de dados triannual, utilizando dados de 1999, 2000 e 2001 para se estimar o ano de 2002; outra análises bianual utilizando-se os dados referentes aos dados dos anos de 2000 e 2001 para se estimar o ano de 2002; e por fim, uma análise bianual utilizando os dados dos anos de 1999 e 2000 para se estimar o ano de 2001. A finalidade destas análises resume-se em dois pontos: apresentar a eficácia do método comparando os erros obtidos destas análises com os erros de previsão mostrados nas análises anteriores, e comprovar qual o ano (1999 ou 2000 ou 2001) foi atípico em termos de transformadores de distribuição avariados.

Assim, para a primeira análise com IA%'s Médios, utilizaram-se os Índices de Avarias Mensais (não acumulados) dos anos de 1999, 2000 e 2001 para se estimar o ano de 2002. Extraiu-se a média aritmética dos IA%'s ocorridos dos anos de 1999, 2000 e 2001, obtendo-se a TABELA 4.22.

REGIONAL	IA% Médio
FLO	0,3394%
BLU	0,5269%
JOI	0,4151%
LAG	0,3667%
VID	0,1988%
CON	0,2996%
JSL	0,3160%
JOA	0,2754%
CRI	0,3904%
SMO	0,3307%
TUB	0,3205%
RSU	0,3902%
MAF	0,1808%
SBS	0,2246%
ITA	0,3080%
CHA	0,2825%

TABELA 4.22 – IA%'s Médios Ocorridos – Base Trianual

Com os valores apresentados na TABELA 4.22, e com os valores de transformadores de distribuição colocados em operação no início e no final de cada mês de 2002, pôde-se estimar quantos transformadores deveriam ser comprados utilizando esta metodologia.

REGIONAL	Trafos avariados em 2002 - baseado na Média dos IA%'s											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	32	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33
BLU	50	50	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
JOI	20	20	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21
LAG	40	40	40	40	41	41	41	41	42	42	42	42
VID	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CON	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
JSL	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
JOA	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
CRI	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12
SMO	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
TUB	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
RSU	30	30	30	30	30	30	30	30	31	31	31	31
MAF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
SBS	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ITA	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
CHA	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26

TABELA 4.23 – Tabela de Transformadores de Distribuição Avariados em 2002 Obtidos Pelos IA%'s Médios – Base Trianual

Assim como o apresentado pela metodologia, realiza-se o acúmulo da tabela acima para se poder comparar com a Tabela Δ Real (TABELA 4.11). A Tabela Δ Acumulada Prevista Pela Média é apresentada a seguir.

REGIONAL	DELTA ACUMULADO - Trafos avariados em 2002 - baseado na Média dos IA%'s											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	32	64	96	128	160	193	225	258	290	323	356	389
BLU	50	101	151	202	253	304	355	406	457	508	560	611
JOI	20	40	61	81	101	122	142	163	183	204	225	246
LAG	40	80	120	160	200	241	282	323	365	407	449	491
VID	12	24	36	49	61	73	85	98	110	122	135	147
CON	20	41	61	82	102	123	143	164	185	205	226	247
JSL	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	89	97
JOA	21	43	64	86	108	129	151	173	194	216	238	260
CRI	11	22	34	45	56	68	79	90	102	113	125	136
SMO	40	79	119	159	199	238	278	318	357	397	437	477
TUB	11	22	33	44	54	65	76	87	98	109	121	132
RSU	30	59	89	119	150	180	210	241	271	302	332	363
MAF	14	28	42	56	70	84	99	113	128	142	156	171
SBS	5	11	16	21	27	32	38	43	48	54	59	65
ITA	18	35	53	71	89	107	125	143	160	178	196	214
CHA	25	50	76	101	126	152	177	203	228	254	279	305

TABELA 4.24 – Tabela Δ Acumulada Prevista Pela Média - Base Triannual

REGIONAL	Erro Absoluto
FLO	16,34%
BLU	16,98%
JOI	2,38%
LAG	20,03%
VID	29,67%
CON	0,00%
JSL	16,38%
JOA	16,93%
CRI	20,93%
SMO	25,35%
TUB	10,20%
RSU	23,42%
MAF	16,99%
SBS	6,56%
ITA	0,47%
CHA	23,17%
Erro Total CELESC	17,48%

TABELA 4.25 – Erro Obtido Pela Média Triannual (Previsão Para 2002)

O erro apresentado pela análise acima é de 17,48%, não confirmando, ainda, as afirmações sobre algum ano problemático, bem como atribuindo eficácia ao método proposto, e sendo pouco superior ao erro apresentado pela previsão de demanda proposta neste trabalho, que foi de 15,98%.

Nova análise foi então realizada, agora com base bianual, levando-se em consideração os anos de 2000 e 2001 para se estimar o ano de 2002, utilizando-se o IA% Médio e, para finalizar, realizou-se a análise bianual utilizando-se dados dos anos de 1999 e 2000 para se estimar o ano de 2001.

REGIONAL	Erro Absoluto
FLO	18,06%
BLU	13,45%
JOI	9,13%
LAG	17,10%
VID	27,27%
CON	14,57%
JSL	24,14%
JOA	16,61%
CRI	30,23%
SMO	30,05%
TUB	10,20%
RSU	21,10%
MAF	16,02%
SBS	9,84%
ITA	6,05%
CHA	21,41%
Erro Total CELESC	18,62%

TABELA 4.26 – Erro Obtido Pela Média Bianual (Previsão Para 2002)

Observando-se o erro total apresentado na TABELA 4.26, nota-se que este vale 18,62%, ou seja, aproximadamente 100% maior que o valor obtido pela metodologia de previsão proposta (9,99%), tomando como base os mesmos valores bianuais de Índice de Avarias, referentes aos anos de 2000 e 2001, para se realizar a previsão para o ano de 2002.

REGIONAL	Erro Absoluto
FLO	20,71%
BLU	24,28%
JOI	6,20%
LAG	30,43%
VID	4,61%
CON	32,02%
JSL	15,74%
JOA	15,75%
CRI	4,51%
SMO	6,20%
TUB	24,68%
RSU	28,35%
MAF	19,90%
SBS	5,88%
ITA	9,91%
CHA	2,39%
Erro Total CELESC	18,28%

TABELA 4.27 – Erro Obtido Pela Média Bianual (Previsão Para 2001)

Com o erro total obtido, e apresentado na TABELA 4.27 (erro de 18,28%), fica demonstrada a eficácia do método de previsão baseado no NHPP, bem como a suspeita de possíveis problemas com relação a transformadores de distribuição ao longo do ano

de 1999, responsáveis pelos valores altos de erros de previsão decorrentes da metodologia proposta para análise trianual.

Em resumo, comparam-se a seguir os erros obtidos em todas as previsões efetuadas, TABELA 4.28. Nesta tabela, pode-se visualizar todos os erros de previsão/estimação das análises realizadas neste trabalho, comprovando as afirmações anteriores. Nota-se que utilizando-se dados de anos identificados como sem problemas (2000 e 2001) para se realizar a previsão para o terceiro ano (2002) através da metodologia proposta neste trabalho, o erro de previsão é aproximadamente 100% menor do que o erro obtido da estimação de um lote de compra através de valores de IA%'s Médios, assumindo que este último igualmente utiliza também dados de anos típicos (2000 e 2001) para realizar a estimação para o terceiro ano (2002). Em todas as análises, o método de previsão baseado no NHPP obteve melhor desempenho.

Tipo de Análise	Base de Dados	Ano de Previsão	Erro Total Obtido
Metodologia de Previsão Proposta	Triannual (1999, 2000, 2001)	2002	15,98%
	Bianual (1999, 2000)	2001	18,88%
	Bianual (2000, 2001)	2002	9,99%
Estimação do Lote de Compra Pelo IA% Médio	Triannual (1999, 2000, 2001)	2002	17,48%
	Bianual (1999, 2000)	2001	18,28%
	Bianual (2000, 2001)	2002	18,62%

TABELA 4.28 – Tabela de Comparação dos Erros

Também é igualmente interessante plotar alguns dos erros individuais, por regional, para uma melhor visualização. As regionais escolhidas foram: Blumenau, Tubarão, Rio do Sul, Mafra e Itá, devido ao comportamento típico dos erros obtidos nestas regionais.

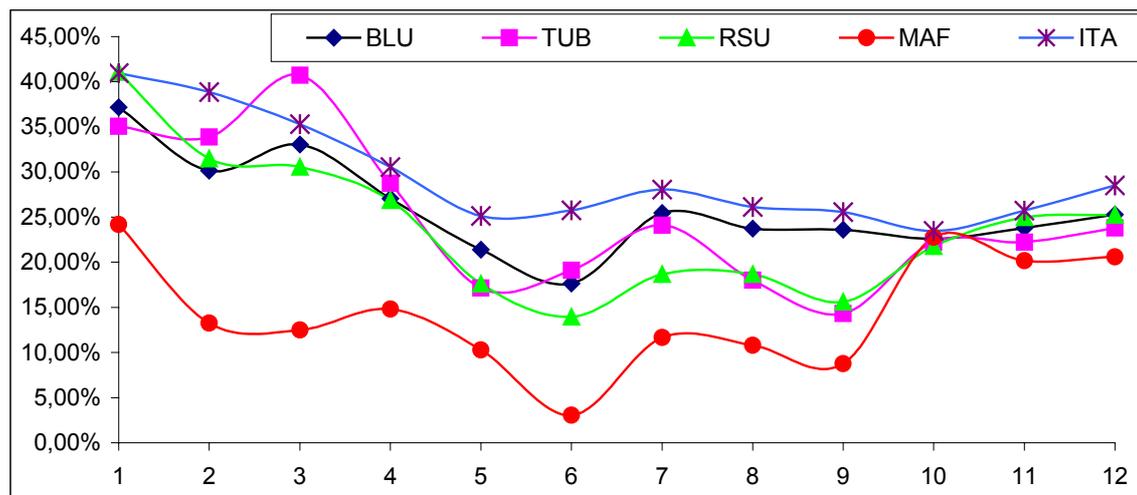


FIGURA 4.5 – Evolução dos Erros Mensais (Ano de 2002)

Do gráfico da FIGURA 4.5 é possível notar que a partir do mês de abril (mês 4), há uma tendência de convergência dos erros mensais acumulados. Há uma leve tendência de decrescimento destes erros mensais acumulados, levando a um afunilamento nas proximidades do mês de outubro e novembro de 2002.

4.5 – O Teste de Aderência

Testar e comprovar a eficácia da metodologia implementada é uma necessidade. Vários métodos para se efetuar tal comprovação existem na vasta bibliografia matemática e estatística, porém o método adotado para este trabalho de dissertação foi o *Teste de Aderência da Norma Euclidiana*. Este teste de aderência foi escolhido dentre alguns outros igualmente eficazes, pelo fato de ser um teste com um alto grau de precisão e de prático manuseio (SPIEGEL, 1978).

Dos livros de estatística, bem como de outras fontes (ANDRADE, 2003), retiraram-se algumas possíveis equações de normas, tais como a *Norma do Somatório*, *Norma do Valor Máximo* e a utilizada neste trabalho, a *Norma Euclidiana*, cujas respectivas equações são re-apresentadas abaixo.

$$\text{Norma do Somatório: } \|x\|_1 = \sum_{i=1}^p |x_i| \tag{4.5}$$

$$\text{Norma do Valor Máximo: } \|x\|_\infty = \max_{i=1 \rightarrow p} \{|x_i|\} \tag{4.6}$$

$$\text{Norma Euclidiana: } \|x\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^p |x_i|^2} \quad (4.7)$$

Percebe-se, analisando as equações acima, que existem muitas formas de se normalizar um vetor de dados. Por opção matemática, e pelos resultados obtidos em (ANDRADE, 2003), adotou-se a Norma Euclidiana.

Com base na teoria apresentada do Capítulo 3, a metodologia que se segue toma como base de dados o número de TD's avariados (acumulado), no ano de previsão, neste caso o ano de 2002.

As tabelas com os valores acumulados de TD's avariados que serão levadas em consideração são as tabelas 4.7 e 4.8. A normalização, vetor a vetor, ou seja, de regional em regional, é realizada nestas duas tabelas, uma de cada vez, aplicando-se a equação 4.7. Desta maneira, é possível se determinar as tabelas de valores normalizados acumulada, (tabelas 4.29 e 4.30).

REGIONAL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	0,2444	0,2527	0,2603	0,2683	0,2739	0,2806	0,2937	0,3018	0,3079	0,3147	0,3211	0,3294
BLU	0,2455	0,2531	0,2628	0,2689	0,2743	0,2797	0,2920	0,2986	0,3066	0,3134	0,3224	0,3320
JOI	0,2473	0,2522	0,2637	0,2741	0,2810	0,2852	0,2936	0,2980	0,3073	0,3120	0,3163	0,3216
LAG	0,2448	0,2510	0,2572	0,2643	0,2698	0,2736	0,2839	0,3000	0,3088	0,3228	0,3311	0,3370
VID	0,2388	0,2490	0,2547	0,2601	0,2685	0,2727	0,2934	0,3028	0,3132	0,3217	0,3297	0,3376
CON	0,2516	0,2593	0,2646	0,2686	0,2746	0,2780	0,2863	0,2939	0,3035	0,3154	0,3239	0,3313
JSL	0,2462	0,2564	0,2669	0,2680	0,2718	0,2773	0,2945	0,2997	0,3046	0,3135	0,3213	0,3302
JOA	0,2474	0,2542	0,2607	0,2667	0,2729	0,2759	0,2867	0,2980	0,3071	0,3176	0,3262	0,3343
CRI	0,2370	0,2521	0,2586	0,2681	0,2729	0,2807	0,2939	0,3017	0,3057	0,3195	0,3246	0,3315
SMO	0,2424	0,2482	0,2560	0,2614	0,2694	0,2746	0,2882	0,2981	0,3066	0,3243	0,3333	0,3399
TUB	0,2489	0,2574	0,2686	0,2714	0,2738	0,2818	0,2924	0,2954	0,2996	0,3129	0,3202	0,3296
RSU	0,2434	0,2514	0,2614	0,2696	0,2736	0,2788	0,2891	0,2972	0,3022	0,3156	0,3278	0,3372
MAF	0,2460	0,2519	0,2588	0,2668	0,2742	0,2794	0,2902	0,2963	0,3015	0,3212	0,3262	0,3348
SBS	0,2523	0,2585	0,2672	0,2747	0,2783	0,2866	0,2922	0,2975	0,3006	0,3090	0,3150	0,3227
ITA	0,2511	0,2593	0,2663	0,2725	0,2773	0,2841	0,2919	0,2974	0,3036	0,3079	0,3163	0,3259
CHA	0,2411	0,2487	0,2549	0,2604	0,2686	0,2756	0,2901	0,2982	0,3090	0,3240	0,3326	0,3391

TABELA 4.29 – Tabela de Vetores Normalizados – TD's Realmente Avariados Acumulado

REGIONAL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	0,2481	0,2557	0,2631	0,2698	0,2768	0,2845	0,2915	0,2982	0,3054	0,3125	0,3194	0,3266
BLU	0,2511	0,2577	0,2644	0,2712	0,2779	0,2845	0,2909	0,2976	0,3045	0,3112	0,3178	0,3243
JOI	0,2474	0,2542	0,2616	0,2692	0,2767	0,2841	0,2911	0,2984	0,3060	0,3133	0,3205	0,3282
LAG	0,2413	0,2489	0,2562	0,2648	0,2741	0,2823	0,2907	0,3000	0,3090	0,3177	0,3263	0,3343
VID	0,2431	0,2510	0,2585	0,2669	0,2752	0,2829	0,2910	0,2993	0,3076	0,3160	0,3241	0,3320
CON	0,2517	0,2588	0,2654	0,2721	0,2784	0,2845	0,2907	0,2973	0,3041	0,3108	0,3169	0,3232
JSL	0,2528	0,2589	0,2653	0,2688	0,2750	0,2846	0,2910	0,2978	0,3051	0,3115	0,3176	0,3248
JOA	0,2452	0,2527	0,2607	0,2685	0,2762	0,2839	0,2913	0,2989	0,3065	0,3140	0,3217	0,3299
CRI	0,2482	0,2551	0,2627	0,2705	0,2775	0,2841	0,2910	0,2982	0,3051	0,3124	0,3199	0,3268
SMO	0,2500	0,2572	0,2647	0,2719	0,2782	0,2837	0,2904	0,2975	0,3040	0,3111	0,3185	0,3257
TUB	0,2529	0,2594	0,2654	0,2716	0,2780	0,2845	0,2911	0,2975	0,3039	0,3101	0,3165	0,3231
RSU	0,2474	0,2546	0,2626	0,2703	0,2777	0,2843	0,2913	0,2986	0,3054	0,3123	0,3196	0,3271
MAF	0,2489	0,2556	0,2621	0,2690	0,2777	0,2860	0,2924	0,2988	0,3053	0,3119	0,3186	0,3256
SBS	0,2493	0,2565	0,2637	0,2709	0,2781	0,2849	0,2914	0,2978	0,3045	0,3113	0,3183	0,3257
ITA	0,2575	0,2632	0,2688	0,2747	0,2805	0,2858	0,2910	0,2965	0,3020	0,3069	0,3123	0,3176
CHA	0,2450	0,2532	0,2613	0,2686	0,2762	0,2838	0,2913	0,2991	0,3064	0,3137	0,3214	0,3297

TABELA 4.30 – Tabela de Vetores Normalizados – TD's Avariados Previstos Acumulado

Com a normalização realizada, fica possível a obtenção da tabela de vetores diferença. Esta tabela é obtida da subtração (valor a valor) da tabela 4.29 da tabela 4.30, portanto, subtraindo-se os valores normalizados dos TD's realmente avariados dos valores normalizados dos TD's avariados previstos. Estes valores são apresentados na TABELA 4.31.

REGIONAL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	0,3719%	0,2951%	0,2810%	0,1424%	0,2920%	0,3830%	0,2235%	0,3599%	0,2498%	0,2207%	0,1707%	0,2843%
BLU	0,5565%	0,4639%	0,1622%	0,2252%	0,3666%	0,4813%	0,1082%	0,0995%	0,2081%	0,2257%	0,4653%	0,7710%
JOI	0,0118%	0,1949%	0,2128%	0,4882%	0,4331%	0,1124%	0,2508%	0,0395%	0,1293%	0,1311%	0,4258%	0,6575%
LAG	0,3430%	0,2103%	0,0914%	0,0491%	0,4294%	0,8644%	0,6794%	0,0014%	0,0192%	0,5056%	0,4823%	0,2734%
VID	0,4317%	0,1958%	0,3828%	0,6811%	0,6690%	1,0263%	0,2387%	0,3500%	0,5634%	0,5632%	0,5595%	0,5531%
CON	0,0155%	0,0535%	0,0806%	0,3505%	0,3817%	0,6489%	0,4401%	0,3328%	0,0560%	0,4595%	0,7047%	0,8155%
JSL	0,6639%	0,2520%	0,1611%	0,0779%	0,3146%	0,7259%	0,3463%	0,1881%	0,0535%	0,1983%	0,3694%	0,5413%
JOA	0,2255%	0,1457%	0,0005%	0,1791%	0,3308%	0,7942%	0,4561%	0,0883%	0,0618%	0,3651%	0,4505%	0,4408%
CRI	1,1137%	0,2989%	0,4099%	0,2351%	0,4639%	0,3454%	0,2910%	0,3520%	0,0657%	0,7027%	0,4736%	0,4738%
SMO	0,7655%	0,8999%	0,8725%	1,0424%	0,8782%	0,9069%	0,2165%	0,0642%	0,2632%	1,3206%	1,4878%	1,4224%
TUB	0,4006%	0,1934%	0,3236%	0,0177%	0,4200%	0,2698%	0,1259%	0,2131%	0,4290%	0,2777%	0,3716%	0,6505%
RSU	0,4099%	0,3254%	0,1126%	0,0761%	0,4137%	0,5536%	0,2145%	0,1367%	0,3217%	0,3260%	0,8211%	1,0098%
MAF	0,2895%	0,3614%	0,3379%	0,2197%	0,3446%	0,6636%	0,2199%	0,2494%	0,3733%	0,9288%	0,7603%	0,9244%
SBS	0,2908%	0,1928%	0,3504%	0,3791%	0,0215%	0,1765%	0,0749%	0,0257%	0,3833%	0,2278%	0,3294%	0,3044%
ITA	0,6367%	0,3877%	0,2500%	0,2253%	0,3130%	0,1684%	0,0940%	0,0912%	0,1670%	0,0925%	0,4026%	0,8298%
CHA	0,3964%	0,4498%	0,6374%	0,8255%	0,7555%	0,8183%	0,1270%	0,0885%	0,2623%	1,0297%	1,1178%	0,9436%

TABELA 4.31 – Tabela de Vetores Diferença

A tabela acima é composta dos vetores diferença de todas as regionais nas quais foram efetuados os estudos. Cada regional deverá então ter seu vetor diferença individualmente analisado, de modo a se obterem conclusões.

Esta análise individual, parte do estudo dos *Desvios Padrão de Similaridade* (equação 4.8), que representam o lugar geométrico (no espaço) onde se encontrarão os pontos estudados, que neste caso são os TD's avariados, acumulados e normalizados, mensalmente, regional em regional.

$$s_{1,2} = \sigma(tdn_{1,i} - tdn_{2,i}) \quad (4.8)$$

Onde: $s_{1,2}$ – desvio padrão de similaridade;

tdn – transformadores de distribuição normalizados.

Os desvios padrão de similaridade obtidos são apresentados na tabela 4.32.

REGIONAL	DESVIO PADRÃO
FLO	0,0761%
BLU	0,2069%
JOI	0,1999%
LAG	0,2746%
VID	0,2237%
CON	0,2715%
JSL	0,2188%
JOA	0,2238%
CRI	0,2641%
SMO	0,4642%
TUB	0,1650%
RSU	0,2830%
MAF	0,2696%
SBS	0,1324%
ITA	0,2305%
CHA	0,3507%

TABELA 4.32 – Tabela de Desvios Padrão de Similaridade

Com a finalidade de se obter uma melhor visualização dos dados analisados, traçaram-se gráficos de algumas aderências de regionais consideradas chave, que traduzem de uma maneira geral o comportamento das aderências de todas as regionais estudadas, conforme analisados a seguir.

Devido às características particulares das aderências, as cidades escolhidas para uma análise gráfica foram: Florianópolis, Joaçaba, São Miguel d'Oeste e Tubarão.

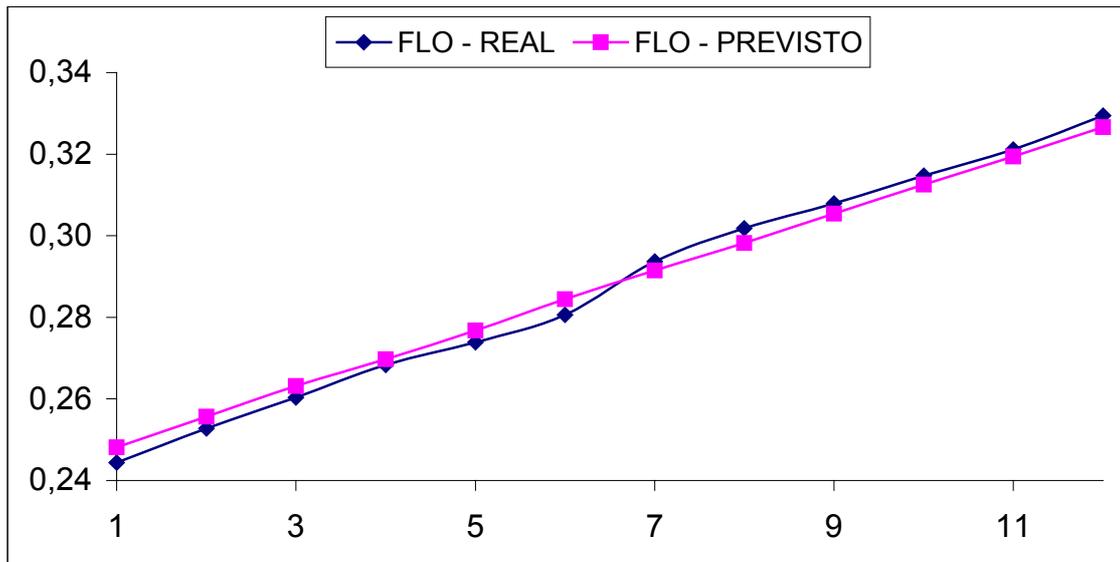


FIGURA 4.6 – Aderência Para a Regional de Florianópolis

A regional de Florianópolis (FIGURA 4.6) foi a regional que possuiu a melhor aderência dentre as cidades estudadas neste trabalho. Como se pode perceber na TABELA 4.32, as taxas previstas para Florianópolis tem um desvio padrão de similaridades bem inferior ao das demais cidades ($s_{1,2} = 0,0761\%$).

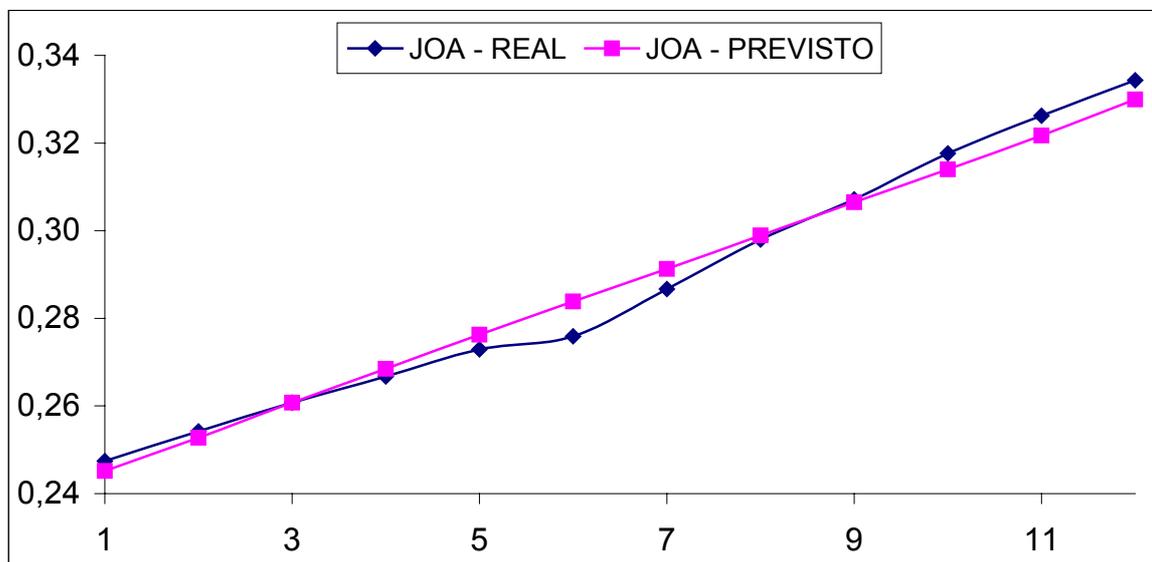


FIGURA 4.7 – Aderência Para a Regional de Joaçaba

O gráfico de desvio padrão de similaridade para a cidade de Joaçaba pode ser considerado um gráfico padrão-típico para a metodologia aplicada (FIGURA 4.7). Dentre as cidades analisadas, o comportamento mais comum dos respectivos gráficos

assemelha-se bastante com o gráfico de Joaçaba. Esta aderência possui um valor bastante representativo.

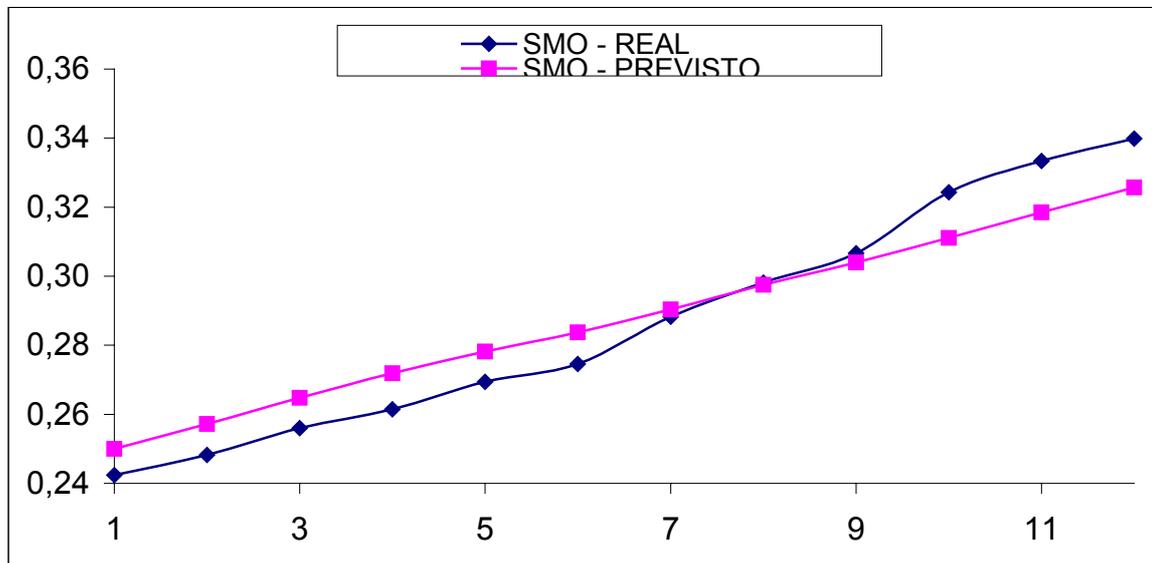


FIGURA 4.8 – Aderência Para a Regional de São Miguel d'Oeste

Em analogia ao gráfico de aderência da cidade de Florianópolis, o gráfico de aderência, bem como o valor na TABELA 4.32, para a cidade de São Miguel d'Oeste (FIGURA 4.8) mostram uma outra realidade, apresentando o pior valor de desvio padrão de similaridade dentre as cidades estudadas ($s_{1,2} = 0,4642\%$). Dentro do histórico de dados proposto neste trabalho, a demanda de TD's avariados para a cidade de São Miguel d'Oeste foi bastante irregular, não obedecendo a um padrão. Por esta razão, o maior erro no Desvio Padrão de Similaridade.

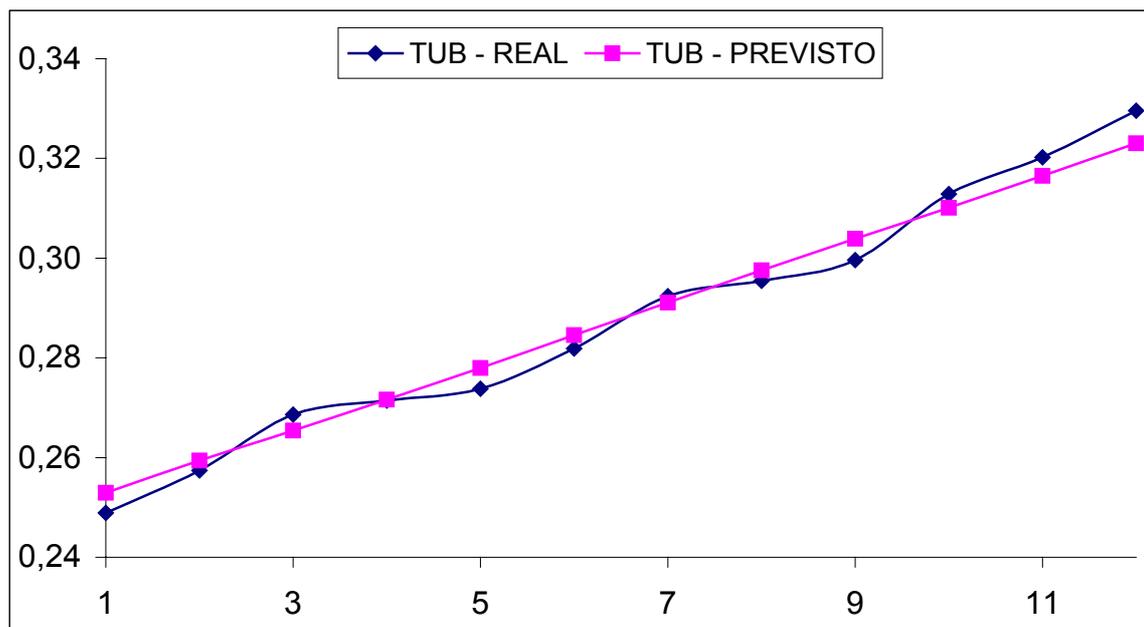


FIGURA 4.9 – Aderência Para a Regional de Tubarão

Para confirmar a proximidade dentre os desvios padrão de similaridade das demais cidades, confirmando as análises realizadas para o gráfico da cidade de Joaçaba, também é apresentado na FIGURA 4.9 o gráfico da cidade de Tubarão.

Percebe-se que há uma semelhança muito grande no comportamento da curva deste gráfico em relação ao gráfico da cidade de Joaçaba, assim como os valores de desvio padrão de similaridade destas cidades apresentados na TABELA 4.32.

4.6 – Conclusões

Os estudos realizados com os dados de falha de transformadores reais apresentam alguns resultados interessantes. Dentre estes resultados, pôde-se perceber, por exemplo, a importância do tamanho da amostra e a qualidade desta amostra.

Adotando-se uma base de conhecimento com dados de três anos, realizou-se uma previsão de demanda por transformadores para o quarto ano. A previsão obtida foi boa em termos de precisão, acusando um erro geral de 15,98%, entre os valores de TD's realmente avariados no campo e os TD's avariados previstos.

Com a finalidade de se verificar a qualidade das amostras, reduziu-se o tempo da base de dados para dois anos, realizando-se uma previsão para o terceiro ano. Dentre as análises bianuais, utilizou-se como base os dados referentes aos anos de 1999 e 2000

(para se prever o ano de 2001), e também se utilizaram os dados de 2000 e 2001 (para se prever o ano de 2002). Quando o valor do erro de previsão foi de 18,88%, e 9,99% respectivamente.

Por outro lado, adotando-se um procedimento usual nas concessionárias, realizaram-se análises de estimação de transformadores avariados utilizando-se apenas valores médios dos Índices de Avarias ao invés de Índice de Avarias Acumulado baseado no NHPP.

A análise utilizando os IA%'s Médios, foi realizada aplicando as mesmas bases amostrais anteriores: uma base trianual e duas bases bianuais. Os erros de previsão apresentados destas análises apontam que, sempre que o ano de 1999 faz parte dos dados, os erros de previsão crescem, mostrando a sensibilidade do método à variações externas (exógenas), o que é esperado em todos os métodos de previsão.

Comparando as análises dos erros de previsão obtidos da aplicação da metodologia e os erros obtidos das análises por IA%'s Médios, nota-se que quando se exclui o ano de 1999 do processo de previsão/estimação, o erro apresentado pela metodologia proposta neste trabalho é aproximadamente 100% menor que o erro apresentado pelas análises utilizando-se o IA% Médio.

Por fim, alguns comentários sobre o teste de aderência para comprovar a eficácia do método. Utilizando-se o teste da Norma Euclidiana, observou-se que existe uma boa aderência entre os valores reais e previstos pelo método empregado. O maior deslocamento dentre as curvas de aderência obtidas, foi de uma regional que possuía uma taxa de avarias muito irregular, que influenciou diretamente no resultado da previsão. Uma margem de folga que poderá ser levada em consideração em caso de compra de equipamento para estoque, será justamente o valor obtido no erro de previsão para esta regional.

5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A principal meta deste trabalho de dissertação era determinar uma previsão de demanda para itens de consumo de empresas do setor elétrico, com um certo grau de confiabilidade. Dentro das análises realizadas ao longo dos estudos, pôde-se perceber muitos pontos que serão expostos a seguir.

Inicialmente, elaborou-se uma ferramenta de apoio à decisão, parte integrante do pacote computacional CEST, que permite uma análise de risco a ser assumido pelo gestor de estoques, onde este gestor poderá realizar simulações alterando índices relacionados às características dos equipamentos, tais como: Grau de Importância, Tempo Médio de Vida, Tempo de Reposição dentre outros, visando otimizar a quantidade de itens de reserva a ser mantida em estoque. Esta ferramenta de simulação permite uma visão de qual o retorno financeiro que a empresa poderá obter aumentando ou reduzindo os índices mencionados anteriormente.

Com o intuito de otimizar a quantidade de itens a ser mantida em estoque no almoxarifado de uma empresa, se desenvolveu uma metodologia de previsão de consumo de itens de reserva. Esta metodologia foi aplicada a transformadores de distribuição e os resultados desta metodologia de previsão são apresentados nesta dissertação. Estes resultados se apresentaram de forma positiva, comprovando a eficácia do método com erros de previsão aceitáveis (de ordem de 10%).

Algumas variáveis foram detalhadas ao longo do processo, e dentre elas chama-se a atenção à variável de tendência β . Esta variável β tem caráter adaptativo, ou seja, ao longo do tempo, à medida que se altera o histórico do BD da empresa, a tendência β acompanhará esta alteração, se traduzindo no coeficiente a ser utilizado na previsão de demandas futuras, fornecendo à previsão um valor maior ou menor de crescimento ou de decréscimo nas avarias.

É igualmente importante frisar o tratamento dos dados, que inicialmente eram sob forma de Índices de Avarias, e foram, ao longo do processo, convertidos em Número de Transformadores de Distribuição Avariados. Esta conversão foi efetuada devido ao valor mais significativo que a previsão fornece quando o produto (np) é maior que cinco, quando aplicado com Número de Transformadores.

Os erros esperados para a previsão de demanda baseada no NHPP ficaram dentro de uma faixa aceitável, traduzindo-se em um erro geral de 15,98% para uma base trianual de dados, e um erro total de 9,99% para uma base bianual de dados, refletindo em uma boa confiabilidade desta metodologia, principalmente após a comprovação de possíveis problemas nos índices de avarias dos transformadores de distribuição apresentados ao longo do ano de 1999 e comprovados com as análises dos erros de previsão apresentados.

Assim, pode-se comprovar que o ano problemático (ou atípico) de 1999 possui Índices de Avarias Mensais que distorcem tanto a previsão realizada pela metodologia proposta quanto à estimação utilizando o Índice de Avarias Médio. Fica também evidenciada a eficácia desta metodologia proposta frente à simples utilização da média dos Índices de Avarias Mensais para se estimar lotes anuais de compra de transformadores de distribuição para os anos futuros.

Realizou-se ainda um comparativo entre o comportamento do consumo real ao longo dos quarenta e oito meses com os erros de previsão. O que se pode perceber foi que nem sempre uma regional (dentre as analisadas), que possui picos em seu consumo (demanda) mensal ao longo destes quarenta e oito meses, terá um erro considerável na previsão. O fato que deverá ser realmente levado em consideração é a homogeneidade deste consumo mensal, ou seja, quanto mais bem distribuído for o consumo, menor será o erro de previsão. Caso o consumo mensal apresente comportamento disforme com alguns picos em alguns meses e nos demais meses apresente uma curva suave de demanda, o erro tenderá a ser grande, até da ordem de 20%.

Por fim, pôde-se considerar atingido o principal objetivo deste trabalho, realizando-se o teste de aderência entre os valores de avarias que realmente ocorreram, com os valores de avarias previstos pela aplicação da metodologia. Os gráficos de aderência apresentados no Capítulo 4 demonstram a quase total aderência entre os valores reais e previstos de demanda. Esta informação será muito útil ao gestor de estoques da empresa, pois a confiabilidade final do método de previsão proposto neste trabalho é de 90,01%, levando-se em conta o erro total de 9,99% para uma base de dados bianual.

5.1 – Contribuição deste Trabalho

As principais contribuições deste trabalho de dissertação foram as seguintes:

- Atribuição de uma nova mentalidade aos gestores de estoque, no sentido de evitar gastos desnecessários à empresa, a partir da análise de risco do estoque de peças sobressalentes.
- Demonstração de uma nova aplicação para o Processo de Poisson Não-Homogêneo, atribuindo maior enfoque à determinação de um estoque probabilístico de itens de reposição.
- Determinação de uma metodologia para análise do comportamento das taxas de falhas de transformadores de distribuição.
- Previsão da demanda (avarias), para transformadores de distribuição, com a finalidade de influenciar diretamente na gestão de estoques das empresas do setor elétrico.
- Construção de um modelo computacional, que trata devidamente os itens de consumo regular e irregular classificando-os, e realiza simulações de possíveis estoques para o almoxarifado da empresa por meio de variações de índices como Tempo de Vida Médio, Tempo de Reposição dentre outros.

5.2 – Sugestões para Continuidade

Ficam como sugestões para trabalhos futuros, algumas variações que podem ser realizadas, com o objetivo de aperfeiçoar os resultados. Dentre as melhorias, sugerem-se:

- A realização de novos estudos, seguindo a mesma metodologia de análise, porém com um horizonte de tempo maior, identificando os períodos atípicos no histórico dos dados, aproximando os resultados previstos dos resultados reais.
- A implementação da previsão, utilizando-se outras ferramentas, como análise auto-regressiva, Redes Neurais (RNA), para a determinação do número de falhas futuras.
- A elaboração de um sistema especialista, que analise a tendência de consumo do item mensalmente, regional a regional, de modo a fornecer a previsão de consumo adequada a cada análise, possibilitando a identificação de anos atípicos.

- A identificação e quantificação das variáveis exógenas e endógenas que influenciam diretamente nas taxas de falhas dos itens de reserva (não somente para transformadores de distribuição), e que possam servir de motivação para mais descobertas, inclusive de outros métodos de previsão.

Anexo

Tabelas utilizadas na dissertação, que apresentam os resultados numéricos das análises realizadas com transformadores de distribuição (TD's).

REGIONAL	Início de jan/99
FLO	6362
BLU	8040
JOI	3880
LAG	9629
VID	5010
CON	5970
JSL	1831
JOA	7341
CRI	2431
SMO	10290
TUB	2844
RSU	6286
MAF	6025
SBS	1838
ITA	4354
CHA	8442

TABELA A.1 - TD's em Operação no Início do Primeiro Mês de 1999

REGIONAL	1999											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	6362	6362	6443	6443	6475	6475	7983	7983	7983	8080	8113	8227
BLU	8261	8261	8261	8261	8286	8286	8434	8434	8434	8550	8585	8621
JOI	3955	3955	3955	3955	3955	3955	4077	4077	4077	4146	4163	4239
LAG	9629	9629	9629	9745	9745	9745	8731	8731	8731	8795	8831	8867
VID	5010	5010	5010	5014	5014	5014	4713	4713	4713	4768	4788	4860
CON	5970	5970	5970	6240	6240	6240	6239	6267	6263	6286	6285	6286
JSL	1831	1831	1805	1875	1880	1880	2062	2062	2062	2061	2069	2151
JOA	7341	7341	7341	7341	7341	7341	7341	7341	7341	7341	7371	6681
CRI	2431	2431	2439	2482	2499	2499	2451	2529	2535	2532	2542	2551
SMO	10290	10290	10290	10315	10315	10315	10799	10799	10799	10900	2984	11139
TUB	2844	2844	2844	2844	2844	2844	2922	2947	2950	2952	10945	3029
RSU	6286	6286	6335	6342	6342	6342	6295	6295	6331	6378	6404	6403
MAF	6100	6100	6209	6298	6298	6298	6309	6353	6370	6384	6410	6693
SBS	1863	1863	1886	1895	1895	1895	1904	1916	1928	1914	1922	2032
ITA	4530	4530	4530	4499	4588	4588	4672	4672	4672	4709	4728	4930
CHA	8442	8442	8442	8467	8467	8467	8501	8501	8501	8575	8610	8667

TABELA A.2 - TD's em Operação no Final de Cada Mês de 1999

2000											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
8309	8320	8352	8370	8433	8488	8567	8626	8676	8734	8784	8869
8643	8687	8728	8758	8809	8837	8902	8910	8918	8989	9014	9045
4269	4290	4312	4318	4352	4374	4458	4456	4492	4517	4547	4583
8903	8802	9652	9662	9658	9691	9730	9774	9807	9849	9905	9954
4882	4887	5406	5420	5447	5475	5507	5532	5544	5547	5627	5756
6313	6329	6337	6344	6376	6390	6390	6429	6447	6461	6480	6499
2161	1872	2188	2208	2214	2227	2252	2276	2292	2302	2343	2366
6860	6894	6916	6950	7061	7076	7116	7139	7196	7246	7272	7331
2557	2570	2593	2602	2628	2643	2654	2674	2679	2681	2694	2696
11138	11166	11175	11200	11222	11270	11300	11352	11385	11428	11472	11506
3041	3063	3070	3076	3094	3104	3128	3147	3157	3173	3211	3244
6632	6647	6673	6691	6705	6710	6717	6746	6746	6861	6983	7010
6693	6747	6750	6795	6851	6890	6977	7002	7016	7050	7140	7164
2047	2051	2063	2070	2078	2087	2105	2126	2129	2153	2156	2199
5031	5034	5099	5102	5192	5200	5226	5248	5259	5302	5346	5414
8684	8729	8758	8758	8774	8789	8791	8816	8870	8902	8941	8989

TABELA A.3 - TD's em Operação no Final de Cada Mês de 2000

2001											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
8789	8928	8984	9085	9133	9147	9150	9208	9228	9269	9308	9340
9055	9207	9244	9268	9278	9317	9335	9381	9410	9462	9522	9544
4581	4646	4677	4709	4728	4736	4762	4804	4815	4826	4834	4851
9993	10021	10118	10178	10279	10335	10313	10456	10639	10671	10699	10830
5775	5799	5816	5830	5844	5861	5882	5931	5969	6002	6015	6054
6364	6522	6560	6576	6592	6700	6664	6691	6726	6739	6737	6772
2366	2366	2376	2400	2400	2421	2374	2380	2394	2471	2494	2522
7337	7355	7401	7438	7470	7507	7544	7635	7658	7702	7735	7766
2711	2713	2762	2774	2779	2792	2800	2823	2831	2843	2858	2859
11551	11602	11623	11638	11660	11702	11747	11785	11828	11869	11878	11957
3258	3271	3277	3288	3296	3312	3323	3338	3342	3353	3363	3383
7046	7074	7161	7202	7253	7317	7375	7215	7458	7542	7556	7585
7265	7277	7310	7335	7348	7410	7425	7512	7524	7584	7619	7688
2227	2237	2265	2287	2257	2277	2290	2309	2323	2338	2340	2362
5412	5421	5470	5473	5506	5519	5568	5630	5659	5673	5774	5733
9003	9015	9015	8595	8671	8688	8710	8735	8819	8831	8873	8868

TABELA A.4 - TD's em Operação no Final de Cada Mês de 2001

2002											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
9385	9443	9476	9474	9534	9572	9584	9608	9643	9662	9684	9716
9567	9583	9610	9631	9656	9662	9679	9703	9729	9741	9761	9770
4856	4863	4892	4904	4928	4936	4944	4964	4977	4989	4997	5023
10860	10902	10902	11045	11099	11140	11211	11309	11353	11419	11450	11475
6090	6091	6111	6147	6162	6168	6196	6210	6234	6253	6261	6271
6815	6824	6842	6853	6854	6855	6861	6879	6897	6908	6899	6920
2526	2529	2539	2488	2548	2559	2562	2578	2589	2589	2596	2613
7768	7801	7828	7844	7867	7873	7884	7899	7908	7914	7937	7962
2863	2873	2893	2905	2909	2911	2920	2928	2931	2947	2952	2957
11957	12011	12042	12054	12016	11959	12027	11997	12020	12036	12079	12079
3396	3398	3400	3406	3413	3423	3430	3437	3442	3445	3455	3461
7585	7648	7690	7738	7758	7758	7797	7815	7830	7850	7882	7908
7717	7735	7756	7788	7913	7920	7933	7944	7957	7978	7994	8027
2370	2382	2389	2401	2407	2412	2414	2415	2423	2426	2436	2445
5753	5759	5774	5795	5802	5808	5808	5827	5828	5828	5844	5844
8894	8952	8964	8968	8993	8999	9017	9034	9023	9042	9049	9099

TABELA A.5 - TD's em Operação no Final de Cada Mês de 2002

REGIONAL	ANO - 1999 (%)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FLO	0,4401%	0,3458%	0,4061%	0,4346%	0,4335%	0,4180%	0,2911%	0,2881%	0,3382%	0,3611%	0,2470%	0,2448%
BLU	0,7362%	0,8474%	0,4721%	0,5447%	0,3989%	0,2901%	0,4672%	0,4387%	0,5336%	0,3297%	0,4085%	0,3255%
JOI	0,4595%	0,4804%	0,5057%	0,4551%	0,3540%	0,4298%	0,5478%	0,4906%	0,3679%	0,3892%	0,6499%	0,5237%
LAG	0,3427%	0,3323%	0,2492%	0,4026%	0,2155%	0,1847%	0,3789%	0,3321%	0,4810%	0,4108%	0,3631%	0,3729%
VID	0,1996%	0,0998%	0,1397%	0,2594%	0,0997%	0,1596%	0,0822%	0,1485%	0,4456%	0,4008%	0,1046%	0,0829%
CON	0,5025%	0,3183%	0,2848%	0,4586%	0,1923%	0,2564%	0,5930%	0,2719%	0,7342%	0,4303%	0,1750%	0,4137%
JSL	0,4915%	0,5461%	0,4950%	0,3804%	0,2663%	0,3728%	0,2032%	0,1940%	0,3395%	0,7276%	0,3390%	0,1422%
JOA	0,2997%	0,1771%	0,1498%	0,3133%	0,1771%	0,2452%	0,1635%	0,4087%	0,4087%	0,4495%	0,1088%	0,3701%
CRI	0,4525%	0,6170%	0,3696%	0,5283%	0,4015%	0,3614%	0,5676%	0,4418%	0,6319%	0,4342%	0,4336%	0,5498%
SMO	0,3401%	0,3693%	0,2624%	0,4077%	0,3781%	0,3490%	0,4073%	0,2408%	0,5278%	0,4793%	0,4733%	0,2264%
TUB	0,4571%	0,4923%	0,4219%	0,3516%	0,2461%	0,3516%	0,2775%	0,1704%	0,2713%	0,1355%	0,2747%	0,4005%
RSU	0,6045%	0,3977%	0,4279%	0,2998%	0,3311%	0,2523%	0,3482%	0,2224%	0,4277%	0,3305%	0,2660%	0,4841%
MAF	0,3134%	0,1967%	0,1625%	0,2399%	0,1111%	0,1429%	0,2697%	0,0948%	0,2515%	0,0784%	0,1094%	0,1526%
SBS	0,5404%	0,1610%	0,1067%	0,0529%	0,1055%	0,2111%	0,2632%	0,1047%	0,3122%	0,3123%	0,0000%	0,3541%
ITA	0,9005%	0,5077%	0,3311%	0,2880%	0,2861%	0,3081%	0,1963%	0,1926%	0,2783%	0,2345%	0,2331%	0,3727%
CHA	0,3080%	0,0829%	0,2251%	0,4495%	0,2244%	0,1535%	0,3654%	0,4000%	0,2117%	0,3397%	0,2095%	0,2547%

TABELA A.6 – Índices de Avarias Mensais Durante o Ano de 1999

ANO - 2000 (%)											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0,5201%	0,2646%	0,3239%	0,2990%	0,2857%	0,2955%	0,2345%	0,2327%	0,2890%	0,1953%	0,2626%	0,3739%
0,9847%	0,5309%	0,4249%	0,3203%	0,5009%	0,4534%	0,4961%	0,4267%	0,5721%	0,4132%	0,3666%	0,6313%
0,4466%	0,3271%	0,3720%	0,3244%	0,3691%	0,4355%	0,4303%	0,2917%	0,5141%	0,2886%	0,2648%	0,4819%
0,3714%	0,4518%	0,3902%	0,1967%	0,1863%	0,2067%	0,3089%	0,2256%	0,4188%	0,6105%	0,2835%	0,4733%
0,1232%	0,1024%	0,1166%	0,2032%	0,2209%	0,1282%	0,2732%	0,3080%	0,4514%	0,3246%	0,2148%	0,2284%
0,2064%	0,2848%	0,3316%	0,0946%	0,2201%	0,2507%	0,2347%	0,3744%	0,5436%	0,3874%	0,2782%	0,2620%
0,7421%	0,1984%	0,2956%	0,0455%	0,2261%	0,1801%	0,2679%	0,1767%	0,3065%	0,2177%	0,0431%	0,3398%
0,2215%	0,2327%	0,3041%	0,1875%	0,2284%	0,2264%	0,3241%	0,2525%	0,4883%	0,4847%	0,1791%	0,1233%
0,6656%	0,3511%	0,3874%	0,2310%	0,5354%	0,2277%	0,4153%	0,1126%	0,3736%	0,4478%	0,0372%	0,4082%
0,2873%	0,2690%	0,1611%	0,1341%	0,2498%	0,2312%	0,4519%	0,2825%	0,5454%	0,4208%	0,2009%	0,3046%
0,4283%	0,1966%	0,4239%	0,3905%	0,1297%	0,2259%	0,2567%	0,2231%	0,1904%	0,1896%	0,2193%	0,4338%
0,7672%	0,3615%	0,2853%	0,1796%	0,2687%	0,2534%	0,4767%	0,3268%	0,2668%	0,5438%	0,2745%	0,4002%
0,2988%	0,0893%	0,2667%	0,0886%	0,1026%	0,1601%	0,1587%	0,1431%	0,2140%	0,2133%	0,1550%	0,2097%
0,3432%	0,1464%	0,2917%	0,3387%	0,2411%	0,2401%	0,0954%	0,1418%	0,2820%	0,2802%	0,3713%	0,3215%
0,6023%	0,2583%	0,3750%	0,1372%	0,2331%	0,3464%	0,2877%	0,2100%	0,1903%	0,3030%	0,2066%	0,2602%
0,1844%	0,2182%	0,2974%	0,2512%	0,3194%	0,3530%	0,3527%	0,3408%	0,3958%	0,4051%	0,2354%	0,2231%

TABELA A.7 – Índices de Avarias Mensais Durante o Ano de 2000

ANO - 2001 (%)											
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0,6456%	0,3951%	0,5471%	0,3210%	0,3952%	0,2626%	0,2951%	0,2288%	0,1953%	0,3460%	0,3768%	0,3861%
1,2376%	0,6790%	0,7479%	0,4322%	0,4098%	0,5270%	0,3646%	0,5022%	0,5747%	0,5193%	0,5268%	0,5350%
0,6111%	0,3673%	0,6007%	0,4688%	0,3603%	0,3170%	0,5264%	0,2091%	0,3119%	0,2489%	0,4141%	0,3098%
0,8523%	0,3398%	0,3674%	0,4336%	0,1955%	0,2426%	0,3487%	0,3178%	0,3698%	0,6382%	0,4024%	0,5016%
0,2255%	0,2765%	0,1205%	0,1030%	0,1885%	0,1196%	0,1873%	0,1693%	0,2017%	0,2005%	0,2164%	0,2320%
0,2488%	0,1537%	0,2140%	0,3654%	0,2734%	0,2107%	0,2694%	0,0749%	0,2832%	0,1782%	0,1633%	0,2517%
0,5495%	0,3804%	0,5483%	0,2094%	0,4583%	0,2904%	0,1668%	0,3366%	0,2933%	0,1644%	0,1611%	0,2791%
0,4636%	0,2178%	0,2982%	0,4043%	0,1744%	0,1469%	0,3322%	0,1581%	0,3531%	0,3906%	0,1555%	0,2968%
0,8138%	0,2950%	0,3653%	0,6142%	0,1441%	0,1436%	0,3219%	0,1423%	0,4245%	0,4230%	0,1403%	0,2449%
0,2689%	0,3628%	0,2583%	0,2837%	0,4035%	0,2825%	0,2985%	0,2805%	0,2795%	0,4895%	0,4464%	0,2517%
0,5537%	0,2451%	0,3971%	0,5484%	0,3341%	0,2119%	0,1809%	0,2702%	0,1497%	0,5078%	0,7147%	0,2668%
0,6261%	0,5241%	0,7165%	0,4456%	0,4843%	0,3706%	0,2178%	0,2605%	0,4634%	0,3467%	0,5166%	0,2774%
0,4990%	0,1788%	0,1920%	0,1366%	0,1635%	0,0542%	0,2562%	0,1473%	0,0931%	0,1853%	0,2368%	0,1437%
0,4971%	0,2688%	0,3110%	0,1757%	0,1761%	0,2206%	0,0876%	0,2174%	0,0864%	0,0429%	0,2565%	0,1276%
0,5727%	0,3691%	0,3305%	0,3473%	0,2915%	0,3628%	0,1984%	0,1786%	0,1949%	0,4236%	0,1048%	0,1738%
0,3557%	0,2331%	0,1997%	0,3748%	0,4054%	0,3572%	0,2414%	0,2178%	0,2393%	0,2266%	0,3615%	0,1578%

TABELA A.8 – Índices de Avarias Mensais Durante o Ano de 2001

ANO - 2002 (%)											
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0,4913%	0,3612%	0,3277%	0,3905%	0,2420%	0,2722%	0,6260%	0,3856%	0,2597%	0,3004%	0,2895%	0,3711%
0,7221%	0,5640%	0,7294%	0,4366%	0,3733%	0,3934%	0,9505%	0,4747%	0,5661%	0,4931%	0,6666%	0,7168%
0,5151%	0,2881%	0,6561%	0,5717%	0,3662%	0,2028%	0,4854%	0,2220%	0,5030%	0,2408%	0,2203%	0,2595%
0,4242%	0,3033%	0,3119%	0,3007%	0,1716%	0,1439%	0,4817%	0,7460%	0,3707%	0,6587%	0,3673%	0,2704%
0,3129%	0,2955%	0,1639%	0,1305%	0,2275%	0,1135%	0,6133%	0,2579%	0,2893%	0,2242%	0,2237%	0,2234%
0,1178%	0,2933%	0,2049%	0,1460%	0,2480%	0,1459%	0,3498%	0,3057%	0,3775%	0,4781%	0,3621%	0,3039%
0,4754%	0,4748%	0,4736%	0,1591%	0,1589%	0,0783%	0,7806%	0,1946%	0,1548%	0,3862%	0,3472%	0,3456%
0,3862%	0,2569%	0,2303%	0,2169%	0,2291%	0,1017%	0,4313%	0,4435%	0,3543%	0,4171%	0,3281%	0,2893%
0,2796%	0,8717%	0,3122%	0,4829%	0,2408%	0,4467%	0,7534%	0,4104%	0,2048%	0,7486%	0,2373%	0,3723%
0,3680%	0,2670%	0,3492%	0,2490%	0,4155%	0,3170%	0,6818%	0,4745%	0,4330%	0,8646%	0,4147%	0,2980%
0,4130%	0,3827%	0,5296%	0,1175%	0,0880%	0,3511%	0,4665%	0,1165%	0,1744%	0,6098%	0,3188%	0,4049%
0,5801%	0,4201%	0,4955%	0,3889%	0,1678%	0,2836%	0,5643%	0,4099%	0,2557%	0,7398%	0,6484%	0,4687%
0,2077%	0,1424%	0,1678%	0,1930%	0,1274%	0,0758%	0,2773%	0,1512%	0,1258%	0,5020%	0,1127%	0,1997%
0,2113%	0,1684%	0,2515%	0,2088%	0,0832%	0,2490%	0,1657%	0,1657%	0,0827%	0,2475%	0,1645%	0,2049%
0,3483%	0,3475%	0,2948%	0,2420%	0,1897%	0,2929%	0,3444%	0,2235%	0,2574%	0,1887%	0,3598%	0,4107%
0,2252%	0,2802%	0,2233%	0,2231%	0,3341%	0,2779%	0,5989%	0,3213%	0,4541%	0,6311%	0,3427%	0,2314%

TABELA A.9 – Índices de Avarias Mensais Durante o Ano de 2002

REGIONAL	1999%											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FLO	0,4401%	0,7859%	1,1920%	1,6266%	2,0601%	2,4781%	2,7693%	3,0574%	3,3956%	3,7567%	4,0037%	4,2485%
BLU	0,7362%	1,5835%	2,0556%	2,6003%	2,9992%	3,2893%	3,7565%	4,1952%	4,7287%	5,0585%	5,4670%	5,7925%
JOI	0,4595%	0,9399%	1,4456%	1,9007%	2,2547%	2,6845%	3,2323%	3,7229%	4,0908%	4,4799%	5,1298%	5,6535%
LAG	0,3427%	0,6750%	0,9243%	1,3269%	1,5424%	1,7271%	2,1060%	2,4381%	2,9192%	3,3300%	3,6931%	4,0660%
VID	0,1996%	0,2994%	0,4391%	0,6985%	0,7982%	0,9578%	1,0400%	1,1885%	1,6341%	2,0349%	2,1396%	2,2225%
CON	0,5025%	0,8208%	1,1055%	1,5642%	1,7565%	2,0129%	2,6059%	2,8778%	3,6120%	4,0423%	4,2173%	4,6310%
JSL	0,4915%	1,0377%	1,5327%	1,9132%	2,1795%	2,5523%	2,7555%	2,9495%	3,2890%	4,0166%	4,3556%	4,4978%
JOA	0,2997%	0,4768%	0,6266%	0,9399%	1,1170%	1,3622%	1,5257%	1,9343%	2,3430%	2,7925%	2,9013%	3,2713%
CRI	0,4525%	1,0695%	1,4391%	1,9675%	2,3690%	2,7304%	3,2980%	3,7397%	4,3717%	4,8058%	5,2394%	5,7892%
SMO	0,3401%	0,7094%	0,9718%	1,3795%	1,7576%	2,1066%	2,5139%	2,7547%	3,2825%	3,7618%	4,2351%	4,4615%
TUB	0,4571%	0,9494%	1,3713%	1,7229%	1,9691%	2,3207%	2,5982%	2,7686%	3,0399%	3,1754%	3,4501%	3,8506%
RSU	0,6045%	1,0022%	1,4301%	1,7298%	2,0610%	2,3133%	2,6614%	2,8838%	3,3115%	3,6420%	3,9080%	4,3921%
MAF	0,3134%	0,5101%	0,6726%	0,9125%	1,0236%	1,1665%	1,4362%	1,5310%	1,7825%	1,8609%	1,9703%	2,1230%
SBS	0,5404%	0,7014%	0,8081%	0,8610%	0,9666%	1,1776%	1,4409%	1,5456%	1,8578%	2,1701%	2,1701%	2,5242%
ITA	0,9005%	1,4082%	1,7393%	2,0273%	2,3134%	2,6216%	2,8178%	3,0105%	3,2887%	3,5232%	3,7564%	4,1291%
CHA	0,3080%	0,3909%	0,6160%	1,0654%	1,2898%	1,4434%	1,8088%	2,2087%	2,4205%	2,7601%	2,9696%	3,2243%

TABELA A.10 – Índices Acumulados de Avarias Real Durante o Ano de 1999

2000%											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4,7686%	5,0332%	5,3571%	5,6561%	5,9417%	6,2372%	6,4717%	6,7044%	6,9934%	7,1887%	7,4513%	7,8251%
6,7772%	7,3080%	7,7330%	8,0532%	8,5541%	9,0075%	9,5036%	9,9303%	10,5024%	10,9156%	11,2823%	11,9135%
6,1002%	6,4273%	6,7993%	7,1238%	7,4929%	7,9283%	8,3586%	8,6503%	9,1643%	9,4529%	9,7177%	10,1997%
4,4374%	4,8893%	5,2794%	5,4762%	5,6625%	5,8692%	6,1782%	6,4038%	6,8226%	7,4331%	7,7165%	8,1899%
2,3457%	2,4480%	2,5646%	2,7678%	2,9887%	3,1169%	3,3900%	3,6980%	4,1495%	4,4740%	4,6888%	4,9172%
4,8373%	5,1221%	5,4537%	5,5483%	5,7684%	6,0191%	6,2538%	6,6283%	7,1719%	7,5593%	7,8375%	8,0994%
5,2399%	5,4382%	5,7338%	5,7793%	6,0055%	6,1856%	6,4535%	6,6302%	6,9367%	7,1543%	7,1974%	7,5372%
3,4929%	3,7256%	4,0297%	4,2172%	4,4456%	4,6719%	4,9961%	5,2486%	5,7369%	6,2216%	6,4007%	6,5240%
6,4548%	6,8059%	7,1933%	7,4243%	7,9596%	8,1873%	8,6026%	8,7152%	9,0889%	9,5366%	9,5738%	9,9820%
4,7488%	5,0178%	5,1789%	5,3130%	5,5627%	5,7939%	6,2459%	6,5284%	7,0738%	7,4946%	7,6955%	8,0001%
4,2789%	4,4755%	4,8994%	5,2899%	5,4196%	5,6455%	5,9022%	6,1253%	6,3157%	6,5052%	6,7245%	7,1583%
5,1593%	5,5207%	5,8060%	5,9856%	6,2544%	6,5078%	6,9845%	7,3113%	7,5781%	8,1219%	8,3964%	8,7966%
2,4218%	2,5111%	2,7778%	2,8664%	2,9690%	3,1291%	3,2877%	3,4308%	3,6448%	3,8581%	4,0131%	4,2229%
2,8674%	3,0138%	3,3055%	3,6442%	3,8853%	4,1254%	4,2208%	4,3626%	4,6446%	4,9249%	5,2962%	5,6177%
4,7315%	4,9898%	5,3648%	5,5020%	5,7352%	6,0816%	6,3693%	6,5794%	6,7697%	7,0727%	7,2794%	7,5396%
3,4087%	3,6269%	3,9243%	4,1755%	4,4949%	4,8479%	5,2006%	5,5414%	5,9372%	6,3423%	6,5777%	6,8008%

TABELA A.11 – Índices Acumulados de Avarias Real Durante o Ano de 2000

2001%											
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
8,4707%	8,8658%	9,4130%	9,7339%	10,1292%	10,3917%	10,6869%	10,9157%	11,1109%	11,4569%	11,8337%	12,2198%
13,1511%	13,8301%	14,5780%	15,0102%	15,4200%	15,9470%	16,3116%	16,8138%	17,3885%	17,9078%	18,4346%	18,9696%
10,8107%	11,1780%	11,7787%	12,2475%	12,6078%	12,9248%	13,4512%	13,6603%	13,9721%	14,2211%	14,6352%	14,9449%
9,0421%	9,3819%	9,7493%	10,1829%	10,3785%	10,6210%	10,9697%	11,2875%	11,6572%	12,2954%	12,6979%	13,1995%
5,1427%	5,4192%	5,5397%	5,6428%	5,8312%	5,9508%	6,1382%	6,3075%	6,5092%	6,7097%	6,9260%	7,1580%
8,3482%	8,5019%	8,7160%	9,0814%	9,3548%	9,5654%	9,8348%	9,9097%	10,1929%	10,3711%	10,5344%	10,7861%
8,0866%	8,4670%	9,0153%	9,2247%	9,6830%	9,9734%	10,1403%	10,4768%	10,7701%	10,9345%	11,0956%	11,3747%
6,9876%	7,2054%	7,5036%	7,9079%	8,0823%	8,2292%	8,5614%	8,7195%	9,0726%	9,4632%	9,6187%	9,9155%
10,7958%	11,0907%	11,4560%	12,0702%	12,2143%	12,3579%	12,6798%	12,8220%	13,2465%	13,6695%	13,8098%	14,0547%
8,2690%	8,6318%	8,8901%	9,1739%	9,5773%	9,8599%	10,1584%	10,4388%	10,7183%	11,2079%	11,6542%	11,9060%
7,7120%	7,9570%	8,3541%	8,9025%	9,2366%	9,4485%	9,6293%	9,8996%	10,0493%	10,5571%	11,2718%	11,5386%
9,4227%	9,9468%	10,6633%	11,1089%	11,5932%	11,9638%	12,1816%	12,4421%	12,9055%	13,2522%	13,7688%	14,0462%
4,7219%	4,9007%	5,0926%	5,2292%	5,3926%	5,4468%	5,7030%	5,8503%	5,9434%	6,1287%	6,3655%	6,5092%
6,1147%	6,3836%	6,6945%	6,8703%	7,0463%	7,2669%	7,3545%	7,5719%	7,6583%	7,7012%	7,9577%	8,0853%
8,1123%	8,4813%	8,8119%	9,1591%	9,4506%	9,8134%	10,0119%	10,1905%	10,3853%	10,8089%	10,9137%	11,0876%
7,1565%	7,3896%	7,5893%	7,9640%	8,3695%	8,7266%	8,9680%	9,1859%	9,4251%	9,6517%	10,0132%	10,1711%

TABELA A.12 – Índices Acumulados de Avarias Real Durante o Ano de 2001

2002%											
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
12,7112%	13,0723%	13,4000%	13,7905%	14,0325%	14,3047%	14,9308%	15,3163%	15,5761%	15,8765%	16,1660%	16,5371%
19,6917%	20,2556%	20,9851%	21,4216%	21,7950%	22,1884%	23,1389%	23,6135%	24,1796%	24,6727%	25,3393%	26,0561%
15,4600%	15,7481%	16,4042%	16,9758%	17,3420%	17,5447%	18,0302%	18,2522%	18,7552%	18,9960%	19,2163%	19,4758%
13,6237%	13,9270%	14,2388%	14,5396%	14,7112%	14,8551%	15,3367%	16,0827%	16,4534%	17,1121%	17,4794%	17,7499%
7,4709%	7,7665%	7,9304%	8,0609%	8,2884%	8,4019%	9,0152%	9,2732%	9,5625%	9,7867%	10,0104%	10,2339%
10,9038%	11,1971%	11,4020%	11,5480%	11,7961%	11,9420%	12,2918%	12,5975%	12,9749%	13,4530%	13,8152%	14,1191%
11,8502%	12,3250%	12,7985%	12,9577%	13,1165%	13,1948%	13,9755%	14,1700%	14,3249%	14,7111%	15,0583%	15,4038%
10,3017%	10,5586%	10,7890%	11,0059%	11,2351%	11,3367%	11,7680%	12,2115%	12,5658%	12,9829%	13,3109%	13,6003%
14,3343%	15,2060%	15,5182%	16,0011%	16,2419%	16,6886%	17,4421%	17,8525%	18,0573%	18,8058%	19,0432%	19,4155%
12,2739%	12,5410%	12,8902%	13,1392%	13,5547%	13,8717%	14,5535%	15,0280%	15,4610%	16,3257%	16,7403%	17,0384%
11,9517%	12,3344%	12,8639%	12,9815%	13,0695%	13,4206%	13,8870%	14,0035%	14,1780%	14,7878%	15,1067%	15,5115%
14,6263%	15,0464%	15,5419%	15,9308%	16,0986%	16,3822%	16,9465%	17,3564%	17,6121%	18,3519%	19,0003%	19,4689%
6,7170%	6,8593%	7,0272%	7,2202%	7,3476%	7,4234%	7,7007%	7,8518%	7,9776%	8,4797%	8,5924%	8,7921%
8,2966%	8,4650%	8,7165%	8,9253%	9,0085%	9,2575%	9,4232%	9,5888%	9,6715%	9,9190%	10,0835%	10,2884%
11,4358%	11,7833%	12,0781%	12,3201%	12,5098%	12,8027%	13,1470%	13,3705%	13,6279%	13,8166%	14,1765%	14,5871%
10,3963%	10,6764%	10,8997%	11,1228%	11,4568%	11,7347%	12,3336%	12,6549%	13,1090%	13,7401%	14,0828%	14,3142%

TABELA A.13 – Índices Acumulados de Avarias Real Durante o Ano de 2002

REGIONAL	ANO - 1999											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
FLO	-5,4259	-4,8461	-4,4295	-4,1187	-3,8824	-3,6977	-3,5866	-3,4876	-3,3827	-3,2816	-3,2180	-3,1586
BLU	-4,9115	-4,1455	-3,8846	-3,6495	-3,5068	-3,4145	-3,2817	-3,1712	-3,0515	-2,9841	-2,9064	-2,8486
JOI	-5,3828	-4,6672	-4,2367	-3,9630	-3,7922	-3,6177	-3,4320	-3,2907	-3,1964	-3,1056	-2,9701	-2,8729
LAG	-5,6760	-4,9981	-4,6839	-4,3223	-4,1718	-4,0587	-3,8604	-3,7139	-3,5339	-3,4022	-3,2987	-3,2025
VID	-6,2166	-5,8111	-5,4281	-4,9640	-4,8305	-4,6483	-4,5659	-4,4324	-4,1141	-3,8947	-3,8446	-3,8065
CON	-5,2933	-4,8027	-4,5048	-4,1578	-4,0419	-3,9056	-3,6474	-3,5482	-3,3209	-3,2084	-3,1660	-3,0724
JSL	-5,3154	-4,5682	-4,1781	-3,9564	-3,8261	-3,6682	-3,5916	-3,5235	-3,4146	-3,2147	-3,1337	-3,1016
JOA	-5,8102	-5,3459	-5,0726	-4,6671	-4,4945	-4,2961	-4,1827	-3,9454	-3,7537	-3,5782	-3,5400	-3,4200
CRI	-5,3982	-4,5380	-4,2411	-3,9284	-3,7427	-3,6007	-3,4119	-3,2862	-3,1300	-3,0353	-2,9490	-2,8492
SMO	-5,6836	-4,9485	-4,6338	-4,2835	-4,0412	-3,8601	-3,6833	-3,5919	-3,4166	-3,2803	-3,1618	-3,1097
TUB	-5,3880	-4,6571	-4,2894	-4,0611	-3,9276	-3,7633	-3,6504	-3,5868	-3,4934	-3,4497	-3,3668	-3,2570
RSU	-5,1085	-4,6029	-4,2474	-4,0571	-3,8820	-3,7665	-3,6263	-3,5460	-3,4078	-3,3126	-3,2421	-3,1254
MAF	-5,7654	-5,2783	-5,0018	-4,6968	-4,5818	-4,4511	-4,2432	-4,1793	-4,0272	-3,9841	-3,9270	-3,8524
SBS	-5,2206	-4,9598	-4,8182	-4,7548	-4,6392	-4,4417	-4,2399	-4,1698	-3,9858	-3,8304	-3,8304	-3,6793
ITA	-4,7100	-4,2628	-4,0517	-3,8985	-3,7664	-3,6414	-3,5692	-3,5031	-3,4147	-3,3458	-3,2817	-3,1871
CHA	-5,7829	-5,5445	-5,0897	-4,5418	-4,3507	-4,2382	-4,0125	-3,8128	-3,7212	-3,5899	-3,5167	-3,4345

TABELA A.14 – Logaritmo Natural dos Índices de Avarias Acumulados Durante o Ano de 1999

ANO - 2000											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
-3,0431	-2,9891	-2,9268	-2,8724	-2,8232	-2,7746	-2,7377	-2,7024	-2,6602	-2,6327	-2,5968	-2,5478
-2,6916	-2,6162	-2,5597	-2,5191	-2,4588	-2,4071	-2,3535	-2,3096	-2,2536	-2,2150	-2,1819	-2,1275
-2,7969	-2,7446	-2,6883	-2,6417	-2,5912	-2,5347	-2,4819	-2,4476	-2,3899	-2,3588	-2,3312	-2,2828
-3,1151	-3,0181	-2,9414	-2,9048	-2,8713	-2,8354	-2,7841	-2,7483	-2,6849	-2,5992	-2,5618	-2,5023
-3,7526	-3,7099	-3,6634	-3,5871	-3,5103	-3,4683	-3,3843	-3,2974	-3,1822	-3,1069	-3,0600	-3,0124
-3,0288	-2,9716	-2,9089	-2,8917	-2,8528	-2,8102	-2,7720	-2,7138	-2,6350	-2,5824	-2,5463	-2,5134
-2,9489	-2,9117	-2,8588	-2,8509	-2,8125	-2,7829	-2,7405	-2,7135	-2,6683	-2,6375	-2,6315	-2,5853
-3,3544	-3,2900	-3,2115	-3,1660	-3,1133	-3,0636	-2,9965	-2,9472	-2,8582	-2,7771	-2,7488	-2,7297
-2,7403	-2,6874	-2,6320	-2,6004	-2,5308	-2,5026	-2,4531	-2,4401	-2,3981	-2,3500	-2,3461	-2,3044
-3,0473	-2,9922	-2,9606	-2,9350	-2,8891	-2,8484	-2,7733	-2,7290	-2,6488	-2,5910	-2,5645	-2,5257
-3,1515	-3,1066	-3,0161	-2,9394	-2,9152	-2,8743	-2,8298	-2,7927	-2,7621	-2,7326	-2,6994	-2,6369
-2,9644	-2,8967	-2,8463	-2,8158	-2,7719	-2,7322	-2,6615	-2,6158	-2,5799	-2,5106	-2,4774	-2,4308
-3,7207	-3,6845	-3,5835	-3,5521	-3,5169	-3,4644	-3,4150	-3,3724	-3,3119	-3,2550	-3,2156	-3,1647
-3,5518	-3,5020	-3,4096	-3,3120	-3,2480	-3,1880	-3,1651	-3,1321	-3,0695	-3,0109	-2,9382	-2,8793
-3,0509	-2,9978	-2,9253	-2,9001	-2,8586	-2,7999	-2,7537	-2,7212	-2,6927	-2,6489	-2,6201	-2,5850
-3,3788	-3,3168	-3,2380	-3,1759	-3,1022	-3,0266	-2,9564	-2,8929	-2,8239	-2,7579	-2,7215	-2,6881

TABELA A.15 – Logaritmo Natural dos Índices de Avarias Acumulados Durante o Ano de 2000

ANO - 2001											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
-2,4686	-2,4230	-2,3631	-2,3296	-2,2898	-2,2642	-2,2362	-2,2150	-2,1972	-2,1666	-2,1342	-2,1021
-2,0287	-1,9783	-1,9257	-1,8964	-1,8695	-1,8359	-1,8133	-1,7830	-1,7494	-1,7199	-1,6909	-1,6623
-2,2246	-2,1912	-2,1389	-2,0999	-2,0709	-2,0460	-2,0061	-1,9907	-1,9681	-1,9504	-1,9217	-1,9008
-2,4033	-2,3664	-2,3280	-2,2845	-2,2654	-2,2423	-2,2100	-2,1815	-2,1492	-2,0959	-2,0637	-2,0250
-2,9676	-2,9152	-2,8932	-2,8748	-2,8419	-2,8216	-2,7906	-2,7634	-2,7320	-2,7016	-2,6699	-2,6369
-2,4831	-2,4649	-2,4400	-2,3989	-2,3693	-2,3470	-2,3192	-2,3117	-2,2835	-2,2661	-2,2505	-2,2269
-2,5150	-2,4690	-2,4062	-2,3833	-2,3348	-2,3052	-2,2887	-2,2560	-2,2284	-2,2132	-2,1986	-2,1738
-2,6610	-2,6303	-2,5898	-2,5373	-2,5155	-2,4975	-2,4579	-2,4396	-2,3999	-2,3578	-2,3415	-2,3111
-2,2260	-2,1991	-2,1667	-2,1144	-2,1026	-2,0909	-2,0652	-2,0540	-2,0214	-1,9900	-1,9798	-1,9622
-2,4927	-2,4497	-2,4202	-2,3888	-2,3458	-2,3167	-2,2869	-2,2596	-2,2332	-2,1886	-2,1495	-2,1281
-2,5624	-2,5311	-2,4824	-2,4188	-2,3820	-2,3593	-2,3404	-2,3127	-2,2977	-2,2484	-2,1829	-2,1595
-2,3620	-2,3079	-2,2384	-2,1974	-2,1548	-2,1233	-2,1052	-2,0841	-2,0475	-2,0210	-1,9828	-1,9628
-3,0530	-3,0158	-2,9774	-2,9509	-2,9201	-2,9101	-2,8642	-2,8387	-2,8229	-2,7922	-2,7543	-2,7319
-2,7945	-2,7514	-2,7039	-2,6780	-2,6527	-2,6218	-2,6099	-2,5807	-2,5694	-2,5638	-2,5310	-2,5151
-2,5118	-2,4673	-2,4291	-2,3904	-2,3591	-2,3214	-2,3014	-2,2837	-2,2648	-2,2248	-2,2151	-2,1993
-2,6372	-2,6051	-2,5784	-2,5302	-2,4806	-2,4388	-2,4115	-2,3875	-2,3618	-2,3380	-2,3013	-2,2856

TABELA A.16 – Logaritmo Natural dos Índices de Avarias Acumulados Durante o Ano de 2001

ANO - 2002											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
-2,0627	-2,0347	-2,0099	-1,9812	-1,9638	-1,9446	-1,9017	-1,8763	-1,8594	-1,8403	-1,8223	-1,7996
-1,6250	-1,5967	-1,5614	-1,5408	-1,5235	-1,5056	-1,4637	-1,4433	-1,4197	-1,3995	-1,3728	-1,3449
-1,8669	-1,8485	-1,8076	-1,7734	-1,7520	-1,7404	-1,7131	-1,7009	-1,6737	-1,6609	-1,6494	-1,6360
-1,9934	-1,9713	-1,9492	-1,9283	-1,9166	-1,9068	-1,8749	-1,8274	-1,8046	-1,7654	-1,7441	-1,7288
-2,5942	-2,5554	-2,5345	-2,5181	-2,4903	-2,4767	-2,4063	-2,3780	-2,3473	-2,3241	-2,3015	-2,2795
-2,2161	-2,1895	-2,1714	-2,1587	-2,1374	-2,1251	-2,0962	-2,0717	-2,0422	-2,0060	-1,9794	-1,9576
-2,1328	-2,0935	-2,0558	-2,0435	-2,0313	-2,0253	-1,9679	-1,9540	-1,9432	-1,9166	-1,8932	-1,8706
-2,2729	-2,2482	-2,2266	-2,2067	-2,1861	-2,1771	-2,1398	-2,1028	-2,0742	-2,0415	-2,0166	-1,9951
-1,9425	-1,8835	-1,8632	-1,8325	-1,8176	-1,7904	-1,7463	-1,7230	-1,7116	-1,6710	-1,6585	-1,6391
-2,0977	-2,0762	-2,0487	-2,0296	-1,9984	-1,9753	-1,9273	-1,8953	-1,8668	-1,8124	-1,7873	-1,7697
-2,1243	-2,0928	-2,0507	-2,0416	-2,0349	-2,0084	-1,9742	-1,9659	-1,9535	-1,9114	-1,8900	-1,8636
-1,9224	-1,8940	-1,8616	-1,8369	-1,8264	-1,8090	-1,7751	-1,7512	-1,7366	-1,6954	-1,6607	-1,6364
-2,7005	-2,6796	-2,6554	-2,6283	-2,6108	-2,6005	-2,5639	-2,5444	-2,5285	-2,4675	-2,4543	-2,4313
-2,4893	-2,4692	-2,4400	-2,4163	-2,4070	-2,3797	-2,3620	-2,3446	-2,3360	-2,3107	-2,2943	-2,2742
-2,1684	-2,1385	-2,1138	-2,0939	-2,0787	-2,0555	-2,0290	-2,0121	-1,9931	-1,9793	-1,9536	-1,9250
-2,2637	-2,2371	-2,2164	-2,1962	-2,1666	-2,1426	-2,0928	-2,0671	-2,0319	-1,9849	-1,9602	-1,9439

TABELA A.17 – Logaritmo Natural dos Índices de Avarias Acumulados Durante o Ano de 2002

MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ln [t]	0,000	0,693	1,099	1,386	1,609	1,792	1,946	2,079	2,197	2,303	2,398	2,485
MESES	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ln [t]	2,565	2,639	2,708	2,773	2,833	2,890	2,944	2,996	3,045	3,091	3,135	3,178
MESES	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ln [t]	3,219	3,258	3,296	3,332	3,367	3,401	3,434	3,466	3,497	3,526	3,555	3,584
MESES	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
ln [t]	3,611	3,638	3,664	3,689	3,714	3,738	3,761	3,784	3,807	3,829	3,850	3,871

TABELA A.18 – Logaritmo Natural do Tempo Durante o Período de Análise

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMATTI, G., LOURENÇO, J. T. V.; 2003. *Indicadores de Desempenho na Manutenção*. Treinamento Avançado – Núcleo de Treinamento Tecnológico, Rio de Janeiro – RJ.

ANDERS, G. J.; 1990. *Probability Concepts in Electric Power Systems*. Wiley-Interscience Publication, Toronto ON, Canada.

ANDRADE, F. F.; 2003. *Formação de Agrupamentos de Consumidores de Energia Elétrica com Base nos Perfis de Carga Individuais*. Florianópolis – SC. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação da Engenharia Elétrica – PGEEL, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

BILLINTON, R., ALLAN, R. N.; 1983. *Reliability Evaluation of Engineering Systems*. Plenum Publishing Corporation. New York, NY.

CAMARGO, C. C. B., 1981. *Confiabilidade Aplicada a Sistemas de Potência Elétrica*. LTC Editora. Rio de Janeiro, RJ.

CEST; 2002 – Relatório Interno do Programa CEST – Controle Probabilístico de Estoques – UFSC/Tractebel Energia.

COELHO, J.; 2002. *Fundamentos de Confiabilidade*. Apostila do curso de Confiabilidade – Mestrado Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

COELHO, J., GUTIERREZ, R. S.; 1995. *Controle Probabilístico de Estoques: Uma Abordagem Simples*. Relatório interno LabPlan.

COELHO, J., GUTIERREZ, R. S.; 1994. *Determinação Probabilística do Estoque de Manutenção de Transformadores*. XII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Recife.

COELHO, J., GUTIERREZ, R. S.; 1995. *Predição de Confiabilidade de Transformadores de Distribuição*. Encontro em Tecnologias Elétricas, Eletrônicas y Computacionales – ENTEEC. Universidad Técnica de Oruro e IEEE – Oruro – Bolívia.

COSTA NETO, P. L. O.; 1977. *Estatística*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo.

- CROW, L. H.; 1993. *Confidence Intervals on the Reliability of Repairable Systems*. IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium,.
- CROW, L. H.; 1990. *Evaluating the Reliability of Repairable Systems*. IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium.
- CROW, L. H.; 2003. *Methods for Reducing the Cost to Maintain a Fleet of Repairable Systems*. IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium.
- DENGHUA, M., GUOQI, P., ZHOU, X. ZHENJIAN, Y.; 2002. *A New Technology for Monitoring Electrical Power Transformer on Line*. IEEE Proceedings of 14^o International Conference on Dielectric Liquids, Austria.
- DHILLON, B. S.; 1983. *Reliability Engineering in Systems Design and Operation*. Ed. VNR. Ontario, Canada.
- DHILLON, B. S., RAYAPATI, S. K.; 1988. *Common-Cause Failure in Repairable Systems*. IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium.
- FERREIRA, H. L., SOUZA, A. J., ALMEIDA, A. T.; 2001. *Utilidade Multiatributo Aditiva no Dimensionamento de Sobressalentes do Sistema de Geração da CHESF*. XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. São Paulo.
- FONSECA, J. S., MARTINS, G. A., TOLEDO, G. L.; 1991. *Estatística Aplicada*. Editora Atlas SA. Ed. 2, São Paulo.
- HOSSAIN, S. A., DAHIYA, R. C.; 1993. *Estimating the Parameters of a Non-Homogeneous Poisson Process Model for Software Reliability*. IEEE Transactions on Reliability.
- HUANG, C. Y., KUO, S. Y.; 2002. *Analysis of Incorporating Logistic Testing-Effort Function Into Software Reliability Modeling*. IEEE Transactions on Reliability, vol 51, nº 3.
- HUANG, C. Y., LYU, M. R., KUO, S. Y.; 2003. *A Unified Scheme of Some Nonhomogeneous Poisson Process Models for Software Reliability Estimation*. IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 29, nº 3.
- KUHL, M. E.; 2000. *Nonparametric Estimation of Nonhomogeneous Poisson Processes Using Wavelets*. IEEE Proceedings of the Winter Simulation Conference.

KUHL, M. E., DAMERDJI, H.; 1997. *Estimating and Simulating Poisson Processes with Trends or Asymmetric Cyclis Effects*. . IEEE Proceedings of the Winter Simulation Conference.

KUHL, M. E., DAMERDJI, H., WILSON, J. R.; 1998. *Least Squares Estimation of Nonhomogeneous Poisson Processes*. IEEE Proceedings of the Winter Simulation Conference.

KUHL, M. E., LIM, S. E.; 1999. *Sensitivity Analysis of Simulation Output to Parameters of Nonhomogeneous Poisson Processes*. IEEE Proceedings of the Winter Simulation Conference.

KUHL, M. E., WILSON, J. R.; 1995. *Estimation and Simulation of Nonhomogeneous Poisson Processes Having Multiple Periodicities*. IEEE Proceedings of the Winter Simulation Conference.

MACHADO, J. C. V.; 1994. "Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais". Apostila Didática para o curso de Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais. UNIVALI.

MACHADO, J. C. V., MARTINS V. A., RABELLO, C. A. W.; 1994. *Modelo Dinâmico para Determinação do Estoque Base do Material Reserva que Apresenta Consumo Irregular*. Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. – Primeiro Seminário Interno de Manutenção. Grupo Gestão da Manutenção.

MENDENHALL, W.; 1985. *Probabilidade e Estatística*. Editora Campus. Rio de Janeiro.

MENEZES, H. B., ALMEIDA, A. T., FERNANDES, R. A. C.; 2001. *Estratégias para Dimensionamento e Alocação Espacial de Sobressalentes*. XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. São Paulo.

MOREIRA, D. A.; 1996. *Administração da Produção e Operações*. Ed 2. Pioneira. São Paulo.

O' CONNOR, Patrick D. T.; 1991. *Practical Reliability Engineering*. Ed.3. British Aerospace, England.

OKAMURA, H., WATANABE, Y., DOHI, T.; 2002. *Estimating Mixed Software Reliability Models Based on the EM Algorithm*. IEEE Proceedings of the International Symposium on Empirical Software Engineering.

PAPOULIS, A.; 1986. *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. Ed.2. McGraw-Hill, Inc.

PHAM, H., TENG, X.; 2002. *A Software-Reliability Growth Model for N-Version Programming Systems*. IEEE Transactions on Reliability, vol 51, nº 3.

SHANMUGAN, K. S., BREIPOHL, A. M.; 1998. *Random Signals – Detection, Estimation and Data Analysis*. Wiley, USA.

SILVA, P. H. M., COELHO, J., SANTOS, M. L. L., MACHADO, J. C., TOMAZ, F. C., LAPA, P. C.; 2003. *Gestão De Estoques: Uma Questão De Confiabilidade Operativa*, X ERLAC, Foz do Iguaçu – PR.

SPIEGEL, Murray R.; 1978. *Probabilidade e Estatística*. Coleção Schaum McGraw-Hill do Brasil. São Paulo.

TOMAZ, F. C., LAPA, P. C., COELHO, J., MACHADO, J. C., SILVA, P. H. M., SANTOS, M. L. L.; 2003. *Uma Metodologia Para Gestão De Estoques De Peças Sobressalentes*, XVII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia - MG.

VIANA, J. J.; 2000. *Administração de materiais - um enfoque prático*. Atlas. São Paulo.

VIEIRA, S.; 1999. *Estatística para a Qualidade – Como Avaliar com Precisão a Qualidade em Produtos e Serviços*. Rio de Janeiro: Campus.

WANG, C. J.; 1991. *Graphical Analysis of III-Collected Interval Data for A Repairable System in Vehicles*. IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium.

YIN, L., TRIVEDI, K. S.; 1999. *Confidence Interval Estimation of NHPP-Based Software Reliability Models*. IEEE Proceedings of the 10th International Symposium.