

**Dissertação**

**Eng<sup>o</sup> Julio César de Almeida**

**1999**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**UMA METODOLOGIA DE PROJETO BASEADA NA CONFIABILIDADE – APLICAÇÃO  
À REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS CANALIZADO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**JULIO CÉZAR DE ALMEIDA**


**Florianópolis, 1999 , 29/4/99**

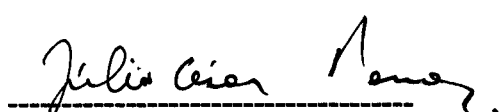
**UMA METODOLOGIA DE PROJETO BASEADA NA CONFIABILIDADE – APLICAÇÃO  
À REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS CANALIZADO**

**JULIO CÉZAR DE ALMEIDA**


**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
MESTRE EM ENGENHARIA**

**ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA FINAL  
PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

  
-----  
**Prof. Acires Dias, Dr.Eng. – Orientador**

  
-----  
**Prof. Júlio César Passos, Dr.Eng. – Coordenador do Curso**

**BANCA EXAMINADORA**

  
-----  
**Prof. Nelson Back, Ph.D. – Presidente**

  
-----  
**Prof. Edison da Rosa, Dr.Eng.**

  
-----  
**Prof. Egon Antonio Torres Berg, Dr.Eng.**

  
-----  
**Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.Eng.**

# **Agradecimentos**

Ao prof. Dr. Acires Dias, pela orientação, amizade e compreensão durante a execução do trabalho.

Aos professores Nelson Back e Fernando Forcellini pela amizade, incentivo e ensinamentos ao longo do curso.

Aos amigos Paupitz, Castaldo, Pizzato, Marcos Luciano e Juscelino pelo exemplo de amizade e companheirismo.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR, pela possibilidade em se concluir os créditos do curso.

À Companhia Paranaense de Gás – COMPAGÁS, pelo crédito e investimento no profissional.

Aos amigos, colegas e parentes que de alguma forma contribuíram para a conclusão do trabalho.

E principalmente à Deus, por nos dar força e saúde para que possamos crescer em nossas vidas.

# Sumário

<b>Lista de figuras</b>	iv
<b>Lista de tabelas</b>	vi
<b>Nomenclatura</b>	vii
<b>Resumo</b>	x
<b>Abstract</b>	xi
<b>1. Introdução</b>	1
1.1 Aspectos gerais	1
1.2 A disponibilidade de um produto	4
1.3 Objetivos do trabalho	6
1.4 Conteúdo dos capítulos	8
<b>2. Confiabilidade – Aspectos Gerais</b>	10
2.1 Introdução	10
2.2 Evolução histórica da confiabilidade	11
2.3 Definição de confiabilidade	12
2.4 Nocões básicas da estatística e da teoria da probabilidade	17
2.5 Distribuições de probabilidade	20
2.6 Confiabilidade	25
2.7 Confiabilidade de sistemas	27

<b>3. Sistemática de Projeto de Pahl&amp;Beitz –</b>	<b>34</b>
<b>Características Principais</b>	
3.1 Introdução	34
3.2 Definição da tarefa	37
3.3 O Projeto Conceitual	39
3.4 O Projeto Preliminar	41
3.5 O Projeto Detalhado	43
3.6 Comentários finais	44
<b>4. Redes de Distribuição de Gás</b>	<b>46</b>
4.1 Histórico do gás no Brasil	46
4.2 Gás natural – Características, obtenção e transporte	48
4.3 Gás natural – Distribuição, mercado e vantagens	50
4.4 Redes de distribuição – Componentes principais	52
4.5 Principais parâmetros envolvidos no projeto de uma rede de distribuição de gás	56
<b>5. Projeto de Redes de Distribuição de Gás</b>	<b>60</b>
5.1 Introdução	60
5.2 Definição da tarefa	60
5.3 Projeto Conceitual	67
5.4 Projeto Preliminar	75
5.5 Projeto Detalhado	83
5.6 Conclusões	89
<b>6. Estudo de Caso</b>	<b>90</b>
6.1 Domínio do estudo	90
6.2 A rede de distribuição de gás da COMPAGÁS	91

6.3	Definição da tarefa	92
6.4	Projeto Conceitual	107
6.5	Confiabilidade da rede de distribuição	135
6.6	Comentários finais	139
<b>7. Resultados e Conclusões</b>		<b>141</b>
7.1	Análise dos resultados	141
7.2	Conclusões	141
<b>8. Sugestões para próximos trabalhos</b>		<b>143</b>
<b>9. Referências bibliográficas</b>		<b>144</b>
<b>Apêndices</b>		<b>147</b>
<b>A1. Distribuições de variáveis aleatórias contínuas</b>		<b>147</b>
<b>A2. Ficha de pesquisa – COMPAGÁS</b>		<b>153</b>

## Lista de figuras

Figura 1.1	Influências externas e internas sobre o projetista.	2
Figura 1.2	Correlação entre Confiabilidade (C), Manutenibilidade (M) e Disponibilidade (D).	5
Figura 2.1	Idéias básicas associadas à confiabilidade.	10
Figura 2.2	Diagrama esquemático ilustrativo das transições de falha e de reparo (itens reparáveis).	15
Figura 2.3	Curva da taxa de falhas (“curva da banheira”).	16
Figura 2.4	Curva genérica da confiabilidade para alguns valores típicos da taxa de falhas.	16
Figura 2.5	Histogramas de frequência.	20
Figura 2.6	Função densidade de probabilidade.	20
Figura 2.7	Função de probabilidade acumulada de falha.	22
Figura 2.8	Diagrama de blocos para um sistema em série com dois componentes.	28
Figura 2.9	Diagrama de blocos para um sistema em paralelo com dois componentes.	29
Figura 2.10	Sistema com 2 (duas) válvulas colocadas fisicamente em série.	30
Figura 2.11	Sistema em série-paralelo com suas reduções seqüenciais.	31
Figura 2.12	Diagrama de blocos para um sistema em paralelo com redundância passiva.	32
Figura 2.13	Diagrama de blocos para um sistema “complexo”.	33
Figura 3.1	Etapas do processo de projeto segundo Pahl&Beitz.	36
Figura 3.2	Definição da tarefa segundo Pahl&Beitz.	37
Figura 3.3	Projeto Conceitual segundo Pahl&Beitz.	39
Figura 3.4	Projeto Preliminar segundo Pahl&Beitz.	42
Figura 3.5	Projeto Detalhado segundo Pahl&Beitz.	43
Figura 4.1	Demanda brasileira de energia por fonte primária.	47
Figura 4.2	Rota esquemática do Gasoduto Brasil-Bolívia.	48



Figura 4.3	Esquema simplificado de uma Unidade de Processamento de Gás Natural – UPGN.	49
Figura 4.4	Utilização do gás natural no Brasil por setores.	51
Figura 4.5	Diagrama ilustrativo de um sistema de transporte e distribuição de gás canalizado.	52
Figura 4.6	Fluxograma típico de uma Estação de Medição e Regulagem de Pressão – EMRP.	55
Figura 6.1	Curitiba e sua Região Metropolitana.	93
Figura 6.2	Fluxograma para análise de mercado.	96
Figura 6.3	Traçado da 1ª etapa da rede de distribuição COMPAGÁS.	101
Figura 6.4	Casa da Qualidade – Projeto de uma rede de distribuição de gás.	104
Figura 6.5	Fluxograma para definição do máximo volume de gás a ser disponibilizado para uma dada região.	108
Figura 6.6	Detalhe da tubulação dentro da vala (classes 3 e 4).	111
Figura 6.7	EMRP Tipo A – Padrão COMPAGÁS.	116
Figura 6.8	Lançador de “pig” – Padrão COMPAGÁS.	117
Figura 6.9	Vaso recebedor de “pig” – Padrão COMPAGÁS.	118
Figura 6.10	Estação de redução de pressão – Padrão COMPAGÁS.	119
Figura 6.11	Válvula de bloqueio intermediária.	120
Figura 6.12	Identificação dos componentes da EMRP considerados para o diagrama de blocos.	128
Figura 6.13	Diagrama de blocos para uma EMRP simples – Padrão COMPAGÁS.	128
Figura 6.14	Diagrama de blocos para uma EMRP dupla – Padrão COMPAGÁS.	129
Figura 6.15	Identificação dos componentes da ERP considerados para o diagrama de blocos.	130
Figura 6.16	Diagrama de blocos para uma ERP – Padrão COMPAGÁS.	131
Figura 6.17	Rede de distribuição de gás de refinaria – COMPAGÁS.	136
Figura A1.1	Distribuição normal ( $\mu = 40$ e $\sigma = 10$ ).	147
Figura A1.2	Distribuição exponencial com $\lambda = 0,5$ .	149
Figura A1.3	Distribuição de Weibull.	151

## Lista de tabelas

Tabela 2.1	Sumário da função confiabilidade e parâmetros.	24
Tabela 5.1	Definição da tarefa para uma rede de distribuição de gás.	61
Tabela 5.2	Projeto Conceitual de uma rede de distribuição de gás.	67
Tabela 5.3	Projeto Preliminar de uma rede de distribuição de gás.	75
Tabela 5.4	Projeto Detalhado de uma rede de distribuição de gás.	84
Tabela 6.1	Cientes de uma rede de distribuição de gás.	98
Tabela 6.2	Levantamento da “criticalidade” dos consumidores de gás canalizado, na fase de gás de refinaria (GR).	99
Tabela 6.3	Especificações de projeto para as principais necessidades dos clientes.	106
Tabela 6.4	Taxas de falhas dos principais componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás canalizado, considerando-se gás de refinaria (GR).	115
Tabela 6.5	Tipos de falhas dos principais componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás canalizado.	122
Tabela 6.6	Cálculo do grau de criticalidade de cada falha para o sistema.	126
Tabela 6.7	Confiabilidade $R(x)$ da 1ª etapa da rede de distribuição de gás – COMPAGÁS, sob o ponto de vista da “falta” de gás.	136
Tabela 6.8	Confiabilidade $R(x)$ da 1ª etapa da rede de distribuição de gás – COMPAGÁS, para 12 e 18 meses de funcionamento contínuo, considerando-se a manutenção preditiva de alguns componentes.	138
Tabela 6.9	Confiabilidade $R(x)$ da 1ª etapa da rede de distribuição de gás – COMPAGÁS, sob o ponto de vista da “falta” de gás, considerando-se o uso de EMRPs duplas.	139

## Nomenclatura

## Letras Gregas

- $\beta$  - parâmetro de forma
- $\phi$  - distribuição normal padronizada
- $\Gamma$  - função gama
- $\gamma$  - tempo livre de falha ou vida inicial
- $\eta$  - parâmetro de escala ou vida característica
- $\lambda$  - taxa de falhas
- $\mu$  - média de uma distribuição
- $\sigma$  - desvio padrão de uma população

## Letras Latinas

- a - número de falhas parciais por falha completa
- C - confiabilidade
- C<sub>1</sub> - metano
- C<sub>2</sub> - etano
- C<sub>3</sub> - propano
- C<sub>4</sub> - butano
- C<sub>5,6,..</sub> - hidrocarbonetos de maior peso molecular
- d - diâmetro da tubulação
- D - disponibilidade
- e - base dos logaritmos neperianos
- E - valor esperado
- f - número total de insucessos ou falhas
- F - filtro
- F<sub>x</sub> - função de probabilidade acumulada de falha
- F<sub>1</sub> - grandeza da influência provocada pela falha
- F<sub>2</sub> - abrangência da influência exercida sobre o sistema
- F<sub>3</sub> - frequência de ocorrência da falha
- F<sub>4</sub> - dificuldade de prevenção da falha
- G - densidade relativa ao ar
- L - comprimento da tubulação
- ln - logaritmo neperiano
- M - manutenibilidade
- n - número total de itens da amostra
- N - número de itens de uma população
- p - probabilidade de selecionar um item bom ou obter sucesso

P - probabilidade  
 $P_1$  – pressão de saída  
 $P_2$  – pressão de chegada  
 q - probabilidade de selecionar um item ruim ou obter insucesso  
 Q – vazão de projeto  
 r – número de resultados dos “n” possíveis  
 R – função confiabilidade  
 $R_{C1}$  – confiabilidade do componente equivalente “1”  
 $R_{C2}$  – confiabilidade do componente equivalente “2”  
 $R_{C3,4,\dots}$  – confiabilidade do componente equivalente “3”, “4”, .....  
 $R_{EMRPD}$  – confiabilidade da estação de medição e redução de pressão dupla  
 $R_{EMRPD^*}$  – confiabilidade da estação de medição e redução de pressão dupla simplificada  
 $R_{EMRPS}$  – confiabilidade da estação de medição e redução de pressão simples  
 $R_{ERP}$  – confiabilidade da estação de redução de pressão  
 $R_{SS}$  – confiabilidade do sistema em série  
 $R_{SP}$  – confiabilidade do sistema em paralelo  
 $R_1$  – confiabilidade do componente “1”  
 $R_2$  – confiabilidade do componente “2”  
 $R_{3,4,\dots}$  – confiabilidade do componente “3”, “4”, .....  
 S – espaço amostral  
 t – tempo  
 T – temperatura  
 $t_t$  – tempo de duração de cada teste  
 $T_t$  – tempo entre testes  
 x – número total de itens bons ou sucessos  
 $X(s)$  – variável aleatória  
 z – número de deslocamentos de desvios padrões em relação a média  
 Z – fator de compressibilidade do gás

## Abreviaturas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
 BEN – Balanço Energético Nacional  
 Ce - grau de criticalidade  
 CE – engenharia concorrente  
 CEG – Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro  
 CIC – Cidade Industrial de Curitiba  
 COMGÁS – Companhia de Gás de São Paulo  
 COMPAGÁS – Companhia Paranaense de Gás  
 CONPET – Conselho Nacional do Petróleo  
 CP – estação de compressão  
 DFA – projeto para montagem  
 DFC – projeto para custo  
 DFE – projeto para meio-ambiente  
 DFLC – projeto para o ciclo de vida do produto  
 DFM – projeto para manufatura

DFQ – projeto para qualidade  
EIA/RIMA – estudo de impacto ambiental  
EMED – estação de medição  
EMRP – estação de medição e regulação de pressão  
ERP – estação de redução de pressão  
fdp – função densidade de probabilidade  
FMEA – análise dos modos de pane e seus efeitos  
FQIT – totalizador, indicador e transmissor de vazão  
FV – válvula limitadora de vazão  
GASMIG – Companhia de Gás de Minas Gerais  
GLP – gás liqüefeito de petróleo  
GN – gás natural  
GNC – gás natural comprimido  
GNL – gás natural liqüefeito  
gr – grau de relacionamento  
GR – gás de refinaria  
IAP – Instituto Ambiental do Paraná  
IBP – Instituto Brasileiro do Petróleo  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial  
LG – visor de nível  
LGN – líquido de gás natural  
MTBF – tempo médio entre falhas  
MTTF – tempo médio até falha  
MTTR – tempo de restabelecimento médio  
PEAD – polietileno de alta densidade  
PCI – poder calorífico inferior  
PCS – poder calorífico superior  
PCV – válvula reguladora de pressão  
PI - manômetro  
PSV – válvula de alívio de pressão  
PT – transmissor de pressão  
QFD – Quality Function Development  
RCM – Manutenção Centrada na Confiabilidade  
REDUC – Refinaria Duque de Caxias  
REPAR – Refinaria Presidente Getúlio Vargas  
SE – engenharia simultânea  
SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná  
SWS – Stoner Workstation Service  
TT – transmissor de temperatura  
UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural  
vc – valor do consumidor  
XV – válvula de bloqueio automático  
# - libras por polegada ao quadrado

## Resumo

ALMEIDA, J.C., *Uma metodologia de projeto baseada na confiabilidade – Aplicação à Redes de distribuição de gás canalizado*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 155p. Dissertação.

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia de projeto baseada na confiabilidade, com o objetivo de fornecer subsídios aos projetistas que, em utilizando uma das sistemáticas tradicionais de projeto, possam agregar às tomadas de decisão, as variáveis confiabilísticas pertinentes a cada uma das etapas correspondentes ao processo de projeto. Como referência, utilizou-se a metodologia de Pahl&Beitz (1988), enfocando pontos correspondentes à confiabilidade e que devem ser inseridos dentro de cada uma das suas respectivas fases ou etapas. O projeto de redes de distribuição de gás canalizado foi tomado como referência para aplicação e desenvolvimento da referida metodologia e um correspondente “estudo de caso” foi seqüencialmente desenvolvido. Para tal, trabalhou-se com o projeto de uma rede de distribuição de gás canalizado preliminar, implantada na Cidade de Curitiba e Região Metropolitana. Por fim, fez-se uma aplicação da metodologia de análise sobre os principais componentes que afetam, direta ou indiretamente, a confiabilidade de uma rede de distribuição de gás, indicando as soluções encontradas e sugestões de trabalhos que ainda deverão ser desenvolvidos.

**Palavras chaves:** confiabilidade, gás natural, metodologia de projeto, redes de distribuição de gás.

## **Abstract**

ALMEIDA, J.C., *A design methodology based on reliability – Application to natural gas pipelines*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 155p. Dissertação.

A design methodology based on reliability was developed in this work with a view to providing and adding information to designers - using one of the traditional design methodologies - in the decision making phase on pertaining reliability variables to each corresponding step in the design process. As a reference, Pahl&Beitz (1988) methodology was used and reliability related points were emphasised, as they should be considered in each corresponding step in the reliability process. With a view to carrying out and developing this methodology the new project on the gas pipeline to be set-up in Curitiba and on its outskirts was used as a reference, a study case being then developed. An application of the methodology which analyses the main components which affect directly or indirectly the reliability of a gas pipeline was carried out, pointing out the solutions found and suggestions of future work to be developed about it.

**Key words:** reliability, natural gas, design methodology, gas pipelines.

# Capítulo 1

# Introdução

## 1.1 - Aspectos gerais

Um projeto de engenharia não corresponde somente a um estilo, um desenho ou um trabalho artístico, mas sim, compreende um conjunto de requisitos de projeto visando sintetizar possíveis soluções, avaliando essas soluções e selecionando a melhor alternativa. Trata-se, na verdade, de um processo de consolidação que agrega recursos e informações para um produto que venha a satisfazer as necessidades dos clientes.

Dessa forma, parece evidente que o profissional envolvido com o processo de projeto não pode ter uma visão restrita ao contexto de sua atividade, mas sim demonstrar um conhecimento mínimo dos diversos outros aspectos envolvidos nesse processo, uma elevada abstração, um conhecimento das técnicas e recursos disponíveis e, principalmente, se colocar sempre na posição de um cliente potencial.

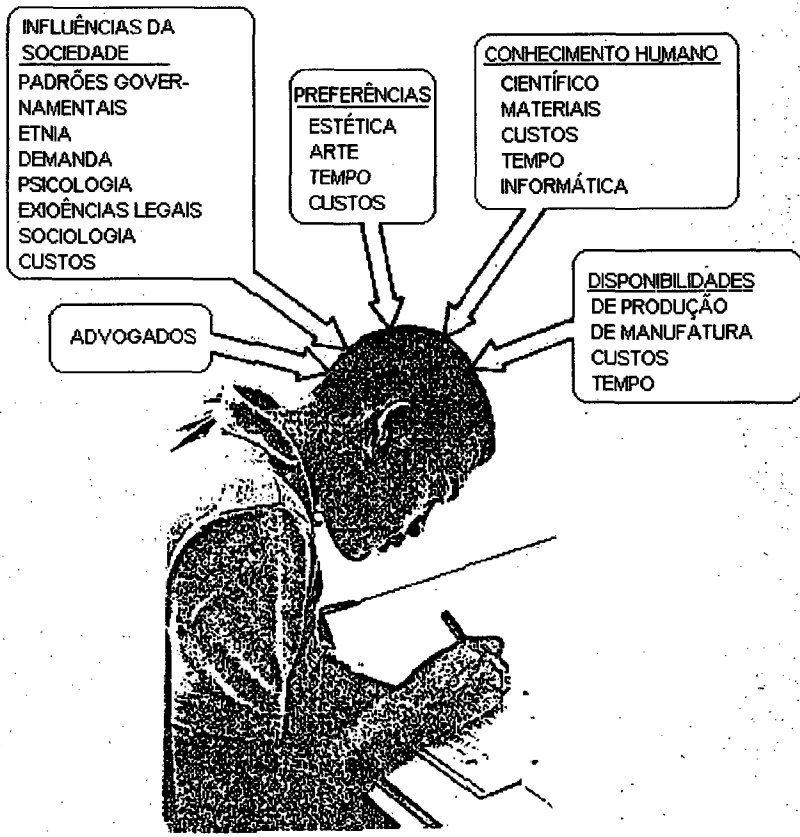
Além dessas características, o projetista deve também ser bastante habilidoso para identificar o verdadeiro domínio do problema, pois, caso contrário, encontrará muitas dificuldades no momento de traduzir as necessidades dos clientes, nos chamados requisitos de projeto.

As chamadas influências internas e externas sobre o projetista, ilustradas na figura 1.1 (Shigley, 1996), também podem afetar profundamente o resultado dessa atividade, pois cabe ao projetista nesse contexto, adaptar-se, entre outros, à sociedade, às leis, aos recursos e ao tempo disponível (influências externas) durante o desenvolvimento de sua tarefa. Aspectos de educação, personalidade, paciência e criatividade (influências internas), por exemplo, também afetam o resultado final, pois as infinitas combinações dessas características acabam definindo o perfil do próprio projetista.

Evidentemente, o uso de técnicas e metodologias correlacionadas com a atividade do projeto, permitem ao projetista organizar a sua tarefa, bem como obter um produto com baixo custo, eficiência e competitividade. Segundo Back (1996), já a partir dos meados da década de 80, diversos novos termos e técnicas foram sendo gradativamente inseridas no contexto do projeto de um produto. Siglas como DFCL (projeto para o ciclo de vida do produto), DFC (projeto para custo), CE (engenharia concorrente), SE (engenharia simultânea), DFQ (projeto



para a qualidade), DFC (projeto para competitividade), DFM (projeto para manufatura), DFA (projeto para montagem) e DFE (projeto para o meio ambiente) entre outras tantas, foram surgindo e, aos poucos, sendo difundidas por muitos autores e especialistas.



a) influenciências externas



b) influenciências internas

**FIGURA 1.1 - Influências externas e internas sobre o projetista (Shigley, 1996)**

Além dessas técnicas de projeto, atualmente bastante difundidas, existem as chamadas “metodologias de projeto”, que são, na verdade, procedimentos sistemáticos capazes de integrar e otimizar os diferentes aspectos envolvidos no projeto, adequando-os a várias tecnologias e possibilitando uma maior interação entre o pessoal envolvido, visando assim um processo lógico e compreensível. Entre tais metodologias de projeto, também atualmente consagradas, pode-se citar: Asimov (1968), Coryell (1967), VDI 2221 (Fiod, 1993), Blanchard&Fabricky (1990) e Pahl&Beitz (1988), cujas principais etapas serão apresentadas no capítulo 3.

Uma análise mais detalhada dessas principais “metodologias de projeto”, demonstrou que, na prática, ainda são poucas as indústrias/empresas que efetivamente adotam tais ferramentas. Na referência Brasil (1998), por exemplo, encontram-se dados pertinentes ao percentual de empresas dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que adotam tais ferramentas no desenvolvimento de novos produtos. Associado a esse fato, um interesse inicial pela área de projetos mecânicos direcionou um estudo preliminar voltado para a aplicação de uma dessas dadas metodologias num caso real.

Posteriormente, esse interesse inicial tomou forma através do professor Acires Dias, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, que apresentou uma proposta de pesquisa voltada para a aplicação da confiabilidade e/ou manutenibilidade na área em questão.

Entretanto, as primeiras pesquisas indicaram que a confiabilidade, apesar de bastante difundida em algumas áreas específicas, como a aeronáutica, a nuclear e a eletrônica, é ainda pouco utilizada na área mecânica. Na área eletrônica, por exemplo, que é caracterizada pela grande maioria de itens não reparáveis, dados confiabilísticos já são normalmente agregados aos seus respectivos projetos. Segundo Murphy&Stephenson (1996), na indústria de circuitos integrados, os padrões estão mudando rapidamente e os requisitos de confiabilidade tornando-se cada vez mais exigentes. Estudos mostram que a taxa de falhas atual desses circuitos é de  $10^{-9}$  falhas/h de operação e estima-se que para o ano 2000 esse valor atinja  $10^{-10}$  falhas/h de operação.

Outros estudos complementares, ainda, sobre as metodologias de projeto, mostraram também que o aspecto da confiabilidade não é focado de maneira explícita, nas respectivas fases que compõem tais metodologias (Almeida, 1997).

Assim, surgiu, finalmente, a necessidade de se encontrar um “estudo de caso” que viesse a possibilitar a aplicação de uma dada metodologia de projeto, enfocando também, o

aspecto da confiabilidade nas suas diversas fases ou etapas. Para tal, resolveu-se trabalhar com o projeto de redes de distribuição de gás canalizado, que com certeza, além de ser, ainda, uma área pouco conhecida em nosso país, apresenta extrema importância quanto à sua confiabilidade.

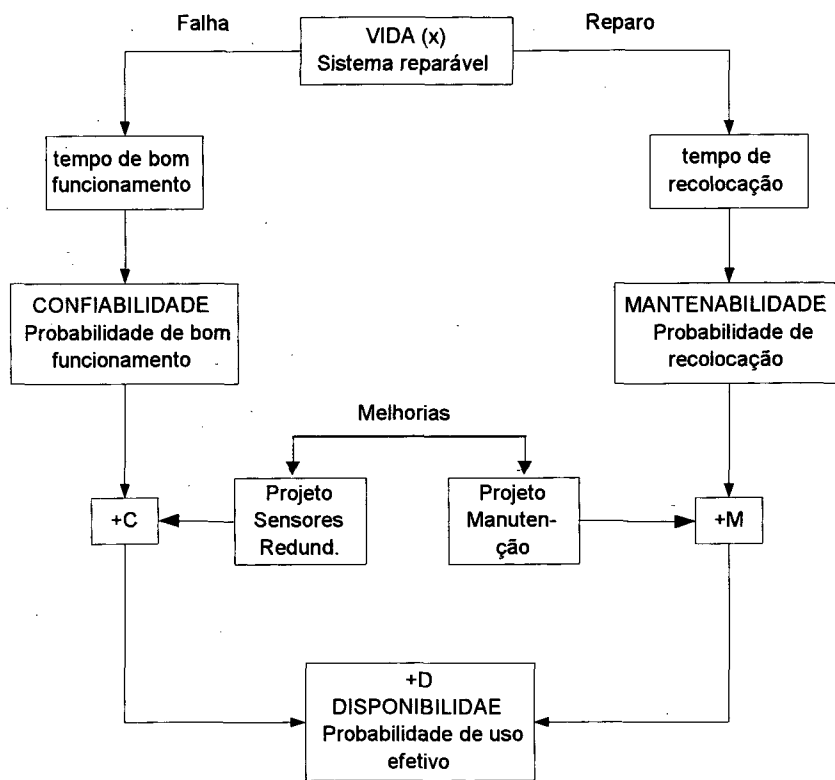
Dessa forma, optou-se em desenvolver um estudo considerando a confiabilidade em projetos mecânicos através de uma sistematização de procedimentos, e ainda, aplicado ao projeto de redes de distribuição de gás canalizado. Tem-se, assim, a perspectiva de contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia de projeto que sirva de referência para projetistas que, em utilizando uma das sistemáticas tradicionais de projeto, possam agregar às tomadas de decisão, as variáveis confiabilísticas pertinentes a cada uma das fases do projeto.

## **1.2 - A disponibilidade de um produto**

O termo disponibilidade de um dado produto ou sistema, está, na verdade, diretamente associado com a “qualidade temporal” ou vida desse sistema, se considerado reparável, segundo Pallerosi, citado por Dias (1996). A figura 1.2 ilustra uma sistemática de melhoria da qualidade temporal de itens reparáveis, cuja atuação na fase de projeto leva à melhoria da confiabilidade (+C) e da manutenibilidade (+M), a qual, por sua vez, resulta no aumento da disponibilidade (+D), que corresponde a expectativa maior do consumidor dentro desse contexto. Considera-se como *item* qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional ou equipamento que possa ser considerado individualmente.

Segundo a NBR-5462 (Confiabilidade ..., 1994), disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

A falta dessa “qualidade temporal”, tem como consequência imediata a perda de tempo com a parada dos itens, o aumento dos custos de manutenção, a degradação de outros itens vizinhos devido a operação deficiente e até, o comprometimento da segurança em decorrência de falhas prematuras.



**FIGURA 1.2 - Correlação entre Confiabilidade (C), Manutenibilidade (M) e Disponibilidade (D)**  
(Dias, 1996)

Embora a disponibilidade seja o objetivo final do investimento de qualquer sistema, nesse trabalho será dada prioridade ao estudo da confiabilidade no processo de projeto, ficando os aspectos da manutenibilidade e da disponibilidade colocados como um estudo complementar.

Segundo ainda a mesma norma NBR-5462 (Confiabilidade...,1994), confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo, enquanto que a manutenibilidade é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas, e mediante procedimentos e meios prescritos.

## 1.3 - Objetivos do trabalho

A presente dissertação tem como objetivo, desenvolver uma metodologia de projeto com um enfoque direcionado para os aspectos da confiabilidade nas principais etapas que compõem esse processo, bem como, uma análise posterior voltada para o projeto de redes de distribuição de gás canalizado.

Para se alcançar os objetivos propostos, optou-se em estudar, primeiramente, os seguintes tópicos:

- confiabilidade
- metodologias de projeto
- redes de distribuição de gás

os quais serão discutidos nos capítulos 2, 3 e 4 e, posteriormente, de maneira integrada nos capítulos 5 e 6, visando contemplar o objetivo global do presente trabalho.

Para tanto, através das primeiras pesquisas, quando do levantamento do “estado da arte” sobre o tema proposto, constatou-se e conclui-se que:

- os projetistas mecânicos em geral, normalmente, não dispõem de informações sobre os conceitos básicos de confiabilidade, além de apresentarem um desconhecimento das funções probabilísticas que poderiam vir a ser utilizadas, bem como dos possíveis ensaios a serem executados;
- a alta competitividade do mercado exige que produtos sejam desenvolvidos com uma otimização de fatores como tempo para desenvolvimento do produto, custo e qualidade. Por outro lado, o fator qualidade não é quantificável, a não ser após longo tempo ou, ainda, por comparação, e tão somente, do ponto de vista qualitativo. A disponibilidade, porém, pode ser quantitativamente especificada a cada instante, desde que se tenha informações que permitam calcular a confiabilidade e a manutenibilidade do sistema (Dias, 1996);
- faltam informações mais detalhadas sobre as taxas de falha, os tempos médios até falhas (MTTF), os tempos médios entre falhas (MTBF) e as funções densidade de probabilidade de falhas, considerando-se mais especificamente a área mecânica;
- as variáveis relativas à confiabilidade e segurança farão parte dos principais requisitos na avaliação de produtos e serviços, para a sociedade do século XXI (Dias, 1996);

- não está disponível nas metodologias de projeto tradicionais uma definição clara e objetiva de como agregar os conceitos de confiabilidade ao produto final (Almeida, 1997);
- todo o enfoque de desenvolvimento de sistemas e produtos, está sendo dado com a finalidade de se garantir o desempenho da função especificada e desejada, independentemente da sua disponibilidade;
- na fase de testes e avaliações não existe uma sistematização para trabalhar as falhas que possam vir a ocorrer, nas diferentes fases de vida do produto;
- não se dispõe na literatura de qualquer informação ou detalhe com respeito à *confiabilidade* de redes de distribuição de gás;
- atualmente, no Brasil, pequeno é o número de profissionais envolvidos diretamente com o projeto de redes de distribuição de gás canalizado;
- o gás natural deverá ser considerado um dos combustíveis do futuro, dadas as suas reservas e as suas características particulares em relação aos seus principais concorrentes;
- a política do Governo Federal é de que o gás natural venha a ocupar até o ano 2010, aproximadamente, 12% da matriz energética nacional, contra os atuais 2% (CONPET, 1996);
- atualmente no Brasil, ainda são poucos os Estados que apresentam redes de distribuição de gás canalizado.

A partir dessas constatações sistematizou-se o trabalho para atingir as seguintes proposições:

- formular proposições que permitam incluir a variável confiabilidade, bem como, a variável manutenibilidade, nas diferentes fases da metodologia de projeto adotada como referência;
- definir a confiabilidade de uma rede de gás canalizado implantada, preliminarmente, na cidade de Curitiba e sua Região Metropolitana, sob o ponto de vista da “falta” de gás para o consumidor final;

- aplicar a metodologia apresentada ao projeto da referida rede de distribuição de gás canalizado, objetivando demonstrar a importância da utilização dos diversos aspectos a serem considerados em cada um das etapas do processo de projeto;
- fornecer subsídios iniciais para que futuros “bancos de dados” referentes aos dispositivos utilizados no projeto de uma rede de distribuição de gás possam ser analisados.

Para atingir esses objetivos, decidiu-se:

- trabalhar com a metodologia de Pahl&Beitz (1988) como referência principal, dado sua generalidade, bem como, a sua maior divulgação em trabalhos envolvendo a aplicação de metodologias de projeto;
- qualificar as falhas dos principais componentes e dispositivos de uma rede de distribuição de gás, visando identificar a criticalidade de cada falha para o sistema como um todo;
- trabalhar a confiabilidade sobre o enfoque das taxas de falhas desses principais componentes e dispositivos, obtendo informações paralelamente aos próprios fabricantes e/ou fornecedores;
- desconsiderar a probabilidade de acidentes externos à rede de distribuição;
- desconsiderar as possíveis falhas associadas às tubulações propriamente ditas;
- considerar, para fins de análise, o funcionamento contínuo (24h/dia) dos primeiros consumidores interligados à rede de distribuição;
- discutir separadamente as principais fases que compõem o projeto de uma rede de distribuição de gás, enfocando pontos correlacionados com a sua confiabilidade.

## **1.4 - Conteúdo dos capítulos**

Com exceção do presente capítulo, a seguir faz-se uma indicação resumida do que compõem cada capítulo da presente dissertação. Procurou-se sempre organizar os conteúdos dos capítulos de maneira a facilitar a compreensão por parte do leitor.

No capítulo 2, faz-se a revisão bibliográfica dos principais aspectos correlacionados com a confiabilidade. Apresenta-se uma síntese histórica da confiabilidade, sua evolução, definições, aspectos estatísticos e os principais parâmetros associados a esse conceito.

Discute-se também a avaliação da confiabilidade de sistemas, introduzindo-se de maneira sucinta, características específicas das principais distribuições estatísticas que podem ser utilizadas.

No capítulo 3, faz-se a sugestão de como inserir os aspectos de confiabilidade e manutenibilidade, em cada uma das fases ou etapas da metodologia de Pahl&Beitz (1988), visando orientar o trabalho do projetista para o desenvolvimento de produtos não somente sob o ponto de vista funcional, mas também sob o ponto de vista de sua “disponibilidade”.

No capítulo 4, faz-se a revisão bibliográfica sobre redes de distribuição de gás canalizado, objetivando dar ao leitor um panorama geral sobre o assunto em questão. Aspectos correlacionados com o histórico do gás no Brasil, principais características do gás natural, principais componentes de uma rede de distribuição, operação do sistema e características gerais sobre o projeto de redes são descritos, garantindo-se que o capítulo seguinte seja encarado com maior naturalidade.

No capítulo 5, discute-se o tema central do trabalho, ou, mais precisamente, faz-se a descrição de todas as fases ou etapas de um projeto de rede de distribuição de gás, procurando sempre introduzir aspectos da confiabilidade nas respectivas fases. A metodologia de Pahl&Beitz (1988), adotada como referência, é paralelamente aplicada e o resultado final corresponde à sistematização do projeto de uma rede de distribuição de gás canalizado.

Evidentemente, diversas técnicas e ferramentas de projeto já consagradas são utilizadas, bem como todas as principais normas relacionadas ao assunto são consideradas e respeitadas.

No capítulo 6, faz-se a aplicação da sistemática então desenvolvida num estudo de caso, ou mais precisamente, numa rede de distribuição de gás preliminar a ser implantada na cidade de Curitiba e Região Metropolitana.

Nos capítulos 7 e 8, faz-se a análise dos resultados, explicitam-se as conclusões e apresentam-se as sugestões para próximos trabalhos, respectivamente.

Finalmente, têm-se as referências bibliográficas.



# Capítulo 2 Confiabilidade - Aspectos Gerais

## 2.1 - Introdução

Certamente que o desejo de se ter produtos que não falham com freqüência e que possam ser reparados rapidamente, em caso de falha, não é uma característica exclusiva da sociedade moderna. Um lutador medieval, por exemplo, intrinsecamente já apresentava uma preocupação com a confiabilidade de seus equipamentos de guerra, visto que dependendo do tipo e do momento da falha, a sua própria sobrevivência estaria comprometida.

Da mesma forma, o consumidor moderno ao comprar um microcomputador, ou qualquer outro produto eletrônico, espera que este funcione adequadamente por um bom período de tempo sem sofrer qualquer tipo de falha. Caso essa expectativa não se verifique na prática, o consumidor sentir-se-á frustrado com o produto e procurará um produto alternativo, e com certeza, um outro fabricante na sua próxima aquisição.

Logo, a noção de confiabilidade de um produto, associada à ausência de falhas durante a sua utilização, está presente na relação produtor-consumidor desde tempos muito remotos, embora as primeiras aplicações industriais desse conceito somente apareceram no início da segunda metade do século XX. Deve-se ressaltar também que, em muitos casos, o conceito de confiabilidade é confundido com outras idéias básicas associadas à própria confiabilidade. A figura 2.1 ilustra algumas dessas idéias, as quais, em geral, não consideram o fator “tempo” para sua respectiva análise.

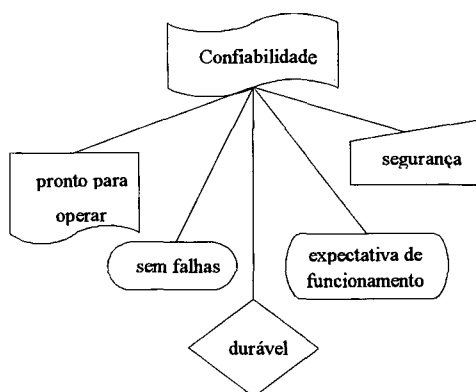


FIGURA 2.1 - Idéias básicas associadas à confiabilidade

## 2.2 - Evolução histórica da confiabilidade

No início do século XX, os problemas de confiabilidade dos equipamentos eram resolvidos através do uso de fatores de segurança excessivamente altos e, essencialmente, pela adoção de uma filosofia do tipo “projetar-testar-reprojetar”, usada pela indústria aeronáutica, onde surgiram as primeiras idéias de confiabilidade. No entanto, a partir da década de 30, esse enfoque foi se tornando gradativamente impraticável, devido particularmente a dois fatores: o grande aumento na velocidade de desenvolvimento de novos projetos e o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais complexos e caros (Oliveira, 1995).

Assim, o enfoque intuitivo foi cedendo lugar a um novo enfoque, pelo qual a confiabilidade do equipamento passou a ser estatisticamente definida e calculada, tornando-se parte fundamental do projeto desse equipamento desde a sua concepção inicial.

Ainda na indústria aeronáutica, na década de 40, alguns níveis de segurança exigidos passaram a ser expressos em termos de taxa de falhas máximas permissíveis (*Pugslei* em 1942, sugeriu que a taxa de acidentes não poderia ultrapassar  $10^5$  horas de voo). Durante a 2ª Guerra Mundial, o trabalho de desenvolvimento dos mísseis alemães de *Von Braum* ( $V_1$  e  $V_2$ ) apresentava um enfoque de que “um sistema é tão forte quanto o seu elo mais fraco”. Tal enfoque, sem sucesso, concentrou a atenção dos responsáveis apenas sobre um pequeno grupo de componentes que apresentavam as maiores taxas de falhas. Um matemático da equipe, *Pieruschka*, indicou então, que a confiabilidade de um sistema em série é o produto das confiabilidades individuais de cada componente. Isso chamou a atenção de todos para a necessidade de se melhorar a confiabilidade de muitos componentes de confiabilidade intermediária, proporcionando, assim, um aumento significativo na confiabilidade daqueles mísseis (Bazovsky, 1987).

Durante a década de 50, a confiabilidade foi amplamente adotada pelo setor militar norte-americano (Kececioglu, 1992). Estudos do Pentágono, durante a Guerra da Coreia, mostraram que as taxas de falhas dos equipamentos da época eram tão altas, que cerca de 2 (dois) dólares eram gastos anualmente para manter operacional cada dólar de equipamento. Outro estudo revelou que a disponibilidade dos equipamentos militares da época era de apenas 30%. Esses resultados evidenciaram a importância da confiabilidade e vários comitês de estudo foram formados a partir de então.

Mais recentemente, nos anos 60, grandes avanços ocorreram no desenvolvimento das técnicas de modelagem: FMEA, árvore de falhas e modelagem Markoviana (Leitch, 1995), além do surgimento de critérios probabilísticos para a análise de falhas. Indústrias de ponta, como a eletrônica e a nuclear, por exemplo, também começaram a adotar a confiabilidade de forma mais rotineira, através do uso de redundâncias em seus projetos. Na indústria eletrônica visou-se um aumento de suas vendas através de produtos mais confiáveis, e na indústria nuclear, minimizar o risco de acidentes em suas instalações.

Na década de 70, as indústrias químicas e petroquímicas também voltaram seus projetos para a confiabilidade, procurando proporcionar uma melhor eficiência das suas plantas, bem como, um aumento de segurança (Oliveira, 1995).

Atualmente, pode-se afirmar que as indústrias aeronáutica, nuclear, eletrônica (e de computadores), petroquímica e de telecomunicações têm, de alguma forma, estruturado seus respectivos sistemas de produção e têm considerado no desenvolvimento de seus produtos as variáveis da confiabilidade.

## **2.3 - Definição de confiabilidade**

Confiabilidade pode ser entendida como a ausência de falhas em um item durante a execução de uma dada função. Pode também ser definida como uma medida da credibilidade ou da confiança que se deposita nesse item quanto a sua capacidade de executar uma dada missão por um certo período de tempo. O atendimento a essa expectativa representa um importante atributo da qualidade desse item, motivo pelo qual algumas literaturas colocam a confiabilidade como uma “projeção da qualidade no tempo”.

Questões relativas à confiabilidade afetam a especificação, a operação, a manutenção e o inventário de peças de reposição de um sistema.

De acordo com a norma NBR-5462 (Confiabilidade..., 1994), confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Entretanto, segundo Blanchard&Fabrycky (1990), a confiabilidade de um sistema ou produto é definida como a probabilidade desse sistema ou produto desempenhar-se de maneira satisfatória, para um dado período de tempo, quando usado sob condições específicas de operação.

As definições colocadas, além de bastante similares, indicam explicitamente 4 aspectos importantes no conceito de confiabilidade:

- 1º) sua natureza probabilística;
- 2º) sua dependência temporal;
- 3º) a necessidade do estabelecimento do que constitui o sucesso da operação do sistema ou equipamento; e
- 4º) a necessidade da especificação das condições de operação do sistema ou equipamento.

Probabilidade - quando existe uma quantidade de itens, supostamente idênticos e operando sob condições similares, pode-se esperar que falhas venham a ocorrer em diferentes momentos de operação; então, falhas são descritas em termos probabilísticos. Esse fato permite dizer que a confiabilidade de um item pode ser expressa quantitativamente, assumindo valores compreendidos no intervalo de 0 (zero) à 1 (um). Além disso, a probabilidade está normalmente associada a variáveis aleatórias como tempo de uso, distância, número de falhas num determinado período, entre outros. A utilização desse conceito probabilístico na prática da confiabilidade implica, também, no reconhecimento explícito, por parte do projetista, de que não é possível projetar um sistema inteiramente à prova de falhas, mas que a sua probabilidade de falha pode ser tornada tão pequena quanto se queira.

Tempo - o conhecimento do parâmetro “tempo” para avaliar a probabilidade de um item completar uma “missão” ou satisfazer uma dada função, como planejado, é fundamental. De particular interesse, é a habilidade para prever a probabilidade desse item desempenhar a sua função, sem falhas, por um designado período de tempo. Nesse contexto, o termo “falha” refere-se a uma saída de qualquer característica do equipamento de seus limites de tolerância especificados ao nível de projeto. Por exemplo, para um dado item de instrumentação, a falha pode ser caracterizada desde uma pequena mudança na precisão da medida até a falha total do equipamento.

Critério de sucesso - uma combinação de fatores quantitativos e qualitativos definindo as funções que o item deva atingir, é de fundamental importância para que o mesmo seja competitivo. Além disso, para se analisar o desempenho desse item, é necessário o uso de um padrão, o qual

apresentará ainda dispersões em relação a um comportamento ideal. Assim, aspectos de dispersão, desvio padrão e análise de correlação também deverão ser conhecidos pelo projetista.

Condições específicas de operação - fatores ambientais, ciclos de temperatura, umidade, vibrações, choques, atmosfera corrosiva, entre outros, podem causar grandes impactos sobre a performance do equipamento, devendo, assim, serem conhecidos e considerados pelo projetista. Tais fatores devem, não apenas prever as condições ideais durante o período em que o item esteja operando, mas, também, durante os períodos em que o mesmo esteja em armazenamento ou sendo transportado de um local para outro. Experiências demonstram que o transporte e o armazenamento, podem, em algumas circunstâncias, serem mais críticos para a confiabilidade do que as próprias condições reais de operação e uso.

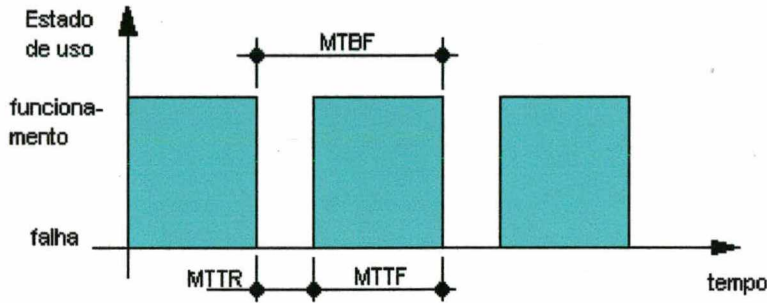
### **2.3.1 - Outros atributos de confiabilidade**

Além da definição de confiabilidade apresentada, existem outras formas de se expressar quantitativamente a noção de confiabilidade de um item, as quais dependem dos objetivos de análise que estiverem sendo realizados. Uma dessas formas é o conceito de disponibilidade, já apresentado no capítulo 1, e que depende não somente da análise da confiabilidade como também da manutenibilidade do sistema. O tempo médio até falhas e o tempo médio entre falhas, mais conhecidos pelas siglas MTTF e MTBF (“Mean Time to Failure” e “Mean Time Between Failures”), respectivamente, são medidas utilizadas para itens não reparáveis e para itens reparáveis no estudo da confiabilidade.

O parâmetro MTTF depende unicamente dos mecanismos e processos de falha do item definido no projeto, enquanto o atributo MTBF depende também das características de manutenibilidade do mesmo. Segundo a norma NBR-5462 (Confiabilidade..., 1994), manutenibilidade é definida como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas, e mediante procedimentos e meios prescritos.

O parâmetro mais fundamental (e, certamente, o mais adotado) para a expressão quantitativa da manutenibilidade de um equipamento é o seu tempo de restabelecimento médio, comumente representado pela sigla MTTR (“Mean Time to Repair”).

A figura 2.2 ilustra esquematicamente a relação entre os atributos MTTF, MTTR e MTBF, considerando duas condições extremas: o item em funcionamento normal ou em falha (itens reparáveis).



**FIGURA 2.2** - Diagrama esquemático ilustrativo das transições de falha e de reparo (itens reparáveis)

Pode-se observar ainda que, para essa situação:

$$MTBF = MTTF + MTTR \tag{2.1}$$

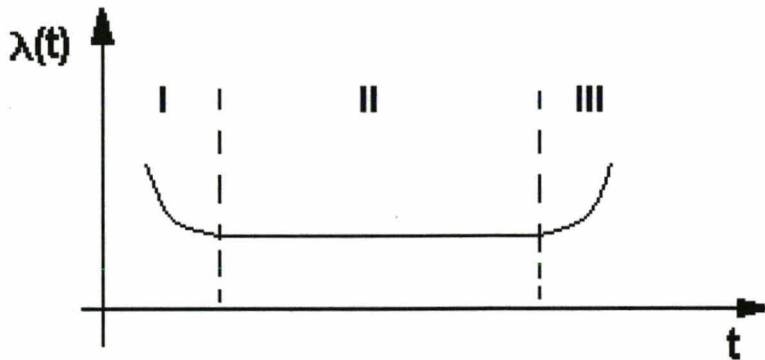
### **2.3.2 - Taxa de falhas de componentes**

A taxa de falhas ( $\lambda$ ), como o próprio nome sugere, indica a quantidade média de falhas de um componente em relação a unidade de uso (Dias, 1996). Pode-se dizer também, que a taxa de falhas representa o número estatisticamente esperado de falhas do componente por unidade de tempo.

Esse parâmetro é característico de cada tipo de componente, sendo obtido de ensaios de vida ou dos registros de falhas ocorridas. Tais informações podem ser obtidas através de consultas aos fabricantes, a banco de dados especializados ou deduzidas a partir da coleta e análise de dados operacionais.

Segundo Freeman (1996), o gráfico da taxa de falhas de um determinado tipo de transformador contra o tempo de uso do mesmo, tem tipicamente a forma de uma “banheira”, conforme indica a figura 2.3.

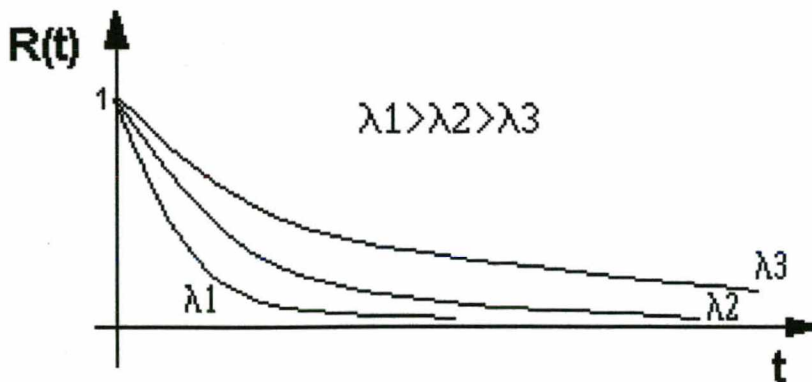
A “curva da banheira” ou curva da taxa de falhas representa, de um modo geral, a variação da taxa de falhas de um componente com o tempo de uso. Freeman (1996) classifica as 3 fases identificadas neste gráfico segundo categorias distintas de falhas:



**FIGURA 2.3 -** Curva da taxa de falhas (“curva da banheira”)

- Fase I - falhas iniciais, caracterizadas por falhas “jovens”, oriundas provavelmente de uma instalação ou montagem incorreta;
- Fase II - falhas randômicas com uma taxa de falhas mais ou menos constante, com ocorrência de falha, praticamente, independente do tempo;
- Fase III – período de desgaste, caracterizado pelo incremento da taxa de falhas, relacionado com a fadiga e a degradação.

Deve-se ressaltar ainda, como era de se esperar, que quanto maior a taxa de falhas, mais rapidamente a confiabilidade tende a zero, conforme ilustra a figura 2.4, onde os eixos horizontal e vertical representam, respectivamente, os valores de tempo ( $t$ ) e da confiabilidade  $R(t)$  (do inglês, “Reliability”),



**FIGURA 2.4 -** Curva genérica da confiabilidade para alguns valores típicos da taxa de falhas

## **2.4 – Noções básicas da estatística e da teoria da probabilidade**

### **2.4.1 – Modelos matemáticos**

É bastante comum o uso da matemática para estudar fenômenos que precisam ser observados. Dentro desse contexto, deve-se destacar, entretanto, que a formulação correta desse modelo matemático é que permitirá atingir os resultados inicialmente esperados.

Tal formulação matemática deve, ainda, ser feita através do modelo mais apropriado para a explicação de cada fenômeno considerado. Os modelos determinísticos são aqueles que estipulando-se as condições sob as quais o experimento será executado, determinam o resultado desse experimento. Na natureza, existem muitos exemplos desse tipo, para os quais os modelos determinísticos são apropriados (Meyer, 1994), como por exemplo: as leis da gravitação, as leis de Kepler, as leis da termodinâmica, entre outras.

Por outro lado, para um grande número de situações, o modelo matemático determinístico não é suficiente, exigindo-se assim, um modelo matemático diferente para a sua investigação. Nesse grupo, encontram-se os modelos probabilísticos (ou estocásticos), onde as condições da experimentação determinam somente o comportamento probabilístico, ou mais provável, do resultado observável. Peças defeituosas numa linha de produção, ocorrência de defeitos no tempo de uso e jogos ditos de “azar” são alguns exemplos não determinísticos.

### **2.4.2 – Espaço amostral e evento**

Para cada experimento considerado, pode-se definir um espaço amostral ( $S$ ) como o conjunto de todos os resultados possíveis de acontecer para esse dado experimento. No lançamento de um certo “dado”, por exemplo, o seu espaço amostral corresponde ao conjunto  $S = \{1, 2, 3, 4, 5 \text{ ou } 6\}$ . Por outro lado, o espaço amostral correspondente ao número de peças defeituosas produzidas num período de 24 horas, numa linha de produção em série, corresponde a:  $S = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ , onde  $N$  é o número máximo de peças que pode ser produzido nessas 24 horas. Deve-se observar, assim, que cada espaço amostral associa-se diretamente a um dado experimento em específico.



Já um evento, relativo a um espaço amostral  $S$ , corresponde simplesmente a um conjunto de resultados possíveis. Na terminologia dos conjuntos, um evento é um subconjunto do espaço amostral  $S$ . Assim, qualquer resultado individual, bem como, o próprio conjunto vazio, pode ser considerado como um evento.

### **2.4.3 – Variáveis aleatórias**

O resultado individual correspondente ao espaço amostral de um dado experimento, não é necessariamente um número. Considere, por exemplo, o resultado de uma peça manufacturada, onde pode-se trabalhar somente com as categorias “defeituosa” ou “não defeituosa”.

Existem, no entanto, muitas situações experimentais, em que tal resultado deve ser expresso em valores numéricos, ou seja, deve-se atribuir um número real  $x$  a todo elemento  $s$  do espaço amostral  $S$ , através de uma função  $X$ , onde:  $x = X(s)$ .

A função  $X$ , que associa a cada elemento  $s \in S$  um número real,  $X(s)$ , é denominada *variável aleatória*. A variável aleatória  $X$ , pode ainda, ser classificada em:

- variável aleatória discreta – quando o número de valores possíveis (contradomínio) para a variável aleatória  $X$  for finito ou infinito numerável;
- variável aleatória contínua – quando o número de valores possíveis (contradomínio) para a variável aleatória  $X$  for formado por um número finito muito grande de valores. Nessa situação deve existir, ainda, uma função  $f$ , denominada função densidade de probabilidade (fdp) de  $X$  que satisfaça às seguintes condições:

$$(1) f_X(x) \geq 0 \text{ para todo } X \text{ e}$$

$$(2) \int_{-\infty}^{\infty} f_X(x) dx = 1 \quad (2.2)$$

### **2.4.4 – Probabilidade**

A probabilidade é representada por um número positivo, que se associa a um evento aleatório, medido através da sua ocorrência numa dada sucessão de eventos. Em outras palavras, considere um espaço amostral  $S$ , onde a cada evento associar-se-á um número real

representado por  $P(A)$ , denominado probabilidade de  $A$ . As seguintes propriedades básicas, devem ser satisfeitas:

- (1)  $0 \leq P(A) \leq 1$
- (2)  $P(S) = 1$
- (3)  $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$  para  $A$  e  $B$  sendo eventos mutuamente excludentes
- (4)  $P(\emptyset) = 0$ , onde  $\emptyset$  representa o conjunto vazio
- (5)  $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$  para  $A$  e  $B$  sendo eventos quaisquer

Assim, para se obter a probabilidade de um dado experimento, torna-se necessário definir um espaço amostral  $S$  que contemple todos os resultados possíveis do experimento. Num espaço amostral finito, por exemplo, a hipótese mais comum é considerar que todos os resultados sejam verossímeis. Dessa forma, para um evento qualquer  $A$ , com ( $r$ ) resultados entre os ( $n$ ) possíveis, tem-se:

$$P(A) = \frac{r}{n} \quad (2.3)$$

Pode-se considerar também, que cada evento tem pelo menos duas saídas possíveis, sendo uma normalmente considerada como favorável ou sucesso e outra desfavorável ou insucesso. Entre esses dois extremos tem-se uma infinidade de resultados possíveis. Assim, se ( $s$ ) é o número de sucessos que pode ocorrer e ( $f$ ) o número de insucessos ou falhas, pode-se também escrever:

$$P(\text{sucesso}) = P(x) = \frac{x}{x + f} \quad (2.4)$$

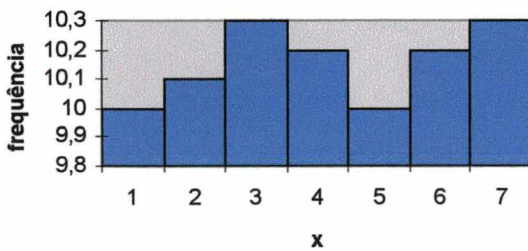
$$P(\text{insucesso}) = P(f) = \frac{f}{x + f} \quad (2.5)$$

Observar ainda, que, a soma da probabilidade do sucesso com a do insucesso é igual a unidade, ou seja:

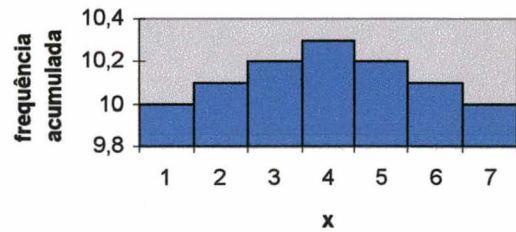
$$P(x) + P(f) = 1 \quad (2.6)$$

## 2.5 – Distribuições de probabilidade

Num processo de controle da qualidade, normalmente se trabalha com a verificação de amostras de peças de um dado lote. Considere, por exemplo, uma amostra de eixos, cujos diâmetros foram medidos e plotados num diagrama em função da sua frequência de ocorrência (histograma), conforme a figura 2.5(a). Caso outras amostras sejam continuamente analisadas, provavelmente, chegar-se-á ao gráfico da figura 2.5(b), o qual considera a respectiva frequência acumulada dessas amostras.



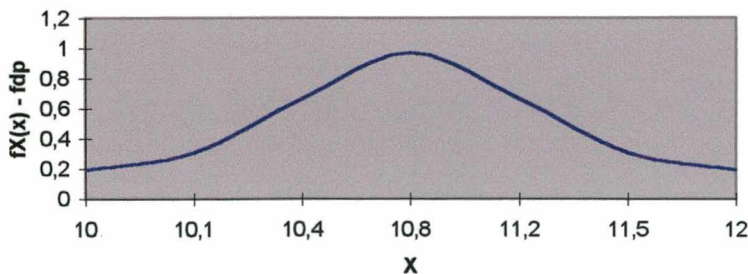
a) uma dada amostra



b) muitas amostras em função da frequência acumulada

**FIGURA 2.5 - Histogramas de frequência**

Aumentando-se razoavelmente o número de itens verificados com uma redução proporcional do intervalo de medição, tal gráfico tenderá para a curva designada “função densidade de probabilidade” (fdp). A figura 2.6 ilustra uma distribuição de probabilidade geral, sendo  $f_X(x)$  a densidade de probabilidade da ocorrência relacionada à variável aleatória “X”.



**FIGURA 2.6 - Função densidade de probabilidade**

Para se determinar a probabilidade da variável aleatória X estar compreendida entre dois valores quaisquer ( $x_1$  e  $x_2$ , por exemplo), faz-se:

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f_X(x) dx \tag{2.7}$$

Para uma descrição mais detalhada da função densidade de probabilidade (fdp), outros aspectos importantes devem ser considerados, como as medidas de tendência central, a dispersão, a assimetria e a curtose, sendo estes dois últimos pouco utilizados. Como medidas de tendência central pode-se considerar a média, a mediana e a moda.

A média de uma distribuição ( $\mu$ ) corresponde a um parâmetro de localização, a mediana a um ponto médio e a moda a um ponto de “pico” da distribuição. Para distribuições simétricas essas grandezas são coincidentes.

A dispersão indica a extensão da variação sobre a tendência central e é medida pela sua variância em termos de amostra. Na prática, entretanto, a variância normalmente é substituída pelo desvio padrão ( $\sigma$ ), quando se trata da população. O desvio padrão para uma variável aleatória contínua é dado por:

$$\sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 \cdot f_X(x) dx} \tag{2.8}$$

e para uma variável aleatória discreta e finita (N) por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \tag{2.9}$$

onde :  $\mu$  = média da distribuição

$x, x_i$  = valor individual

N = número de itens da população

Outra função normalmente utilizada no estudo da probabilidade é a função de probabilidade acumulada de falha, representada por  $F_X(x)$ . A figura 2.7 ilustra a forma típica dessa função, identificando que, quando a variável aleatória “X” tende para o infinito ( $X \rightarrow \infty$ ), a sua função de probabilidade acumulada de falha tende para a unidade ( $F_X(x) \rightarrow 1$ ). Matematicamente, tem-se:

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(x)dx \tag{2.10}$$

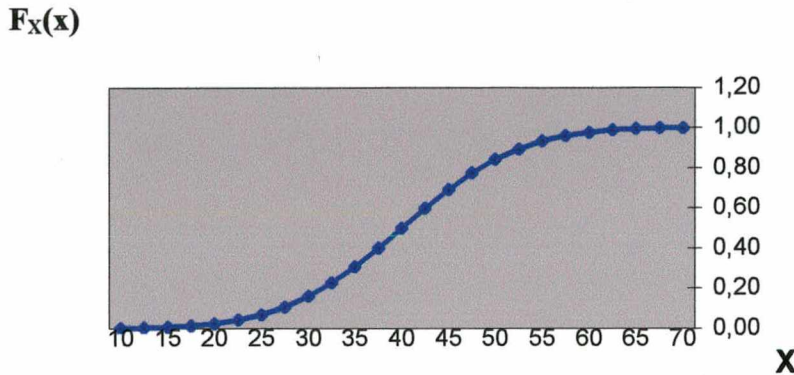


FIGURA 2.7 - Função de probabilidade acumulada de falha

### 2.5.1 - Distribuições discretas

As aplicações mais frequentes das distribuições discretas estão normalmente associadas ao resultado de experimentos ou ensaios, onde pode-se conseguir um número de sucessos ou falhas esperados. As duas distribuições discretas mais utilizadas são: a distribuição binomial e a distribuição de Poisson. Considerando-se a primeira dessas distribuições, pode-se afirmar que as premissas básicas para um experimento binomial são:

- qualquer amostragem de tamanho “n” é realizada sem reposição, sendo as observações estatisticamente independentes;
- cada dado amostrado pode apresentar apenas um dos dois possíveis resultados: sucesso ou falha, ou então aprovado ou reprovado;
- os valores numéricos da variável aleatória “X” fornecem o valor da probabilidade de se obter um determinado número de itens bons em um determinado número de experiências.

A função densidade de probabilidade (fdp) para a distribuição binomial corresponde a:

$$f_X(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} \cdot p^x q^{(n-x)} \tag{2.11}$$

onde :  $p$  = probabilidade de selecionar um item bom ou obter sucesso

$q$  = probabilidade de selecionar um item ruim ou obter insucesso

$n$  = nº total de itens da amostra

$x$  = nº total de itens bons ou sucessos

enquanto que os parâmetros valor esperado ( $E(x)$ ) e variância ( $\sigma^2$ ) dessa distribuição são dados na tabela 2.1, a qual traz também a função confiabilidade ( $R(x)$ ) para todas as distribuições consideradas nesse trabalho.

Já a distribuição de Poisson pode ser considerada como uma extensão da distribuição binomial quando “ $n$ ” é considerado infinito e quando os eventos ocorrem a uma taxa média constante, como por exemplo: o número de defeitos em dado comprimento de arame.

As premissas básicas para essa distribuição são:

- qualquer experiência se refere a contagem do número de vezes por unidade de tempo (ou outra unidade de medida qualquer), em que ocorre um determinado evento;
- a probabilidade de ocorrência do evento em cada unidade de medida é sempre a mesma.

A sua função densidade de probabilidade (fdp) é representada por:

$$f_x(x) = \frac{e^{-n.p} (n.p)^x}{x!} \quad (2.12)$$

## **2.5.2 - Distribuições contínuas**

As distribuições contínuas descrevem, na íntegra, a série de eventos contínuos de um dado processo. Nesses processos não é possível especificar probabilidades para pontos individuais, mas, unicamente, para intervalos que podem ser representados graficamente por um histograma (figura 2.5(a)), sendo que a medida que esses intervalos tendem para zero, a distribuição tende para a sua respectiva função densidade de probabilidade (fdp).

As principais distribuições contínuas utilizadas em trabalhos de confiabilidade são: a distribuição normal, a distribuição lognormal, a distribuição exponencial, a distribuição gama e a distribuição de Weibull, as quais estão apresentadas detalhadamente no apêndice A1, quanto as suas principais particularidades. Os parâmetros valor esperado ( $E(x)$ ) e variância ( $\sigma^2$ ) dessas distribuições encontram-se, entretanto, na tabela 2.1.

TABELA 2.1 – Sumário da função confiabilidade e parâmetros (Billinton, 1987)

Distribuição	Função confiabilidade R(x)	Valor esperado E(x)
binomial	$1 - \sum_{j=0}^x \frac{n!}{j!(n-j)!} \cdot p^j \cdot q^{(n-j)}$	$n \cdot p$
Poisson	$1 - \sum_{j=0}^x \frac{e^{-np} \cdot (n \cdot p)^j}{j!}$	$n \cdot p$
normal	$\int_x^{\infty} f_X(x) dx$	$\mu$
lognormal	$\int_x^{\infty} f_{\ln x}(x) dx$	$\exp\left(\mu_{\ln x} + \frac{(\sigma_{\ln x})^2}{2}\right)$
exponencial	$e^{(-\lambda x)}$	$\frac{1}{\lambda}$
gama	$\int_x^{\infty} f_X(x) dx$	$\alpha \cdot \beta$
Weibull	$\exp\left[-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta\right]$	$\eta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$

**TABELA 2.1** – Sumário da função confiabilidade e parâmetros (Billinton, 1987)  
(continuação)

Distribuição	Variância $\sigma^2$
binomial	$n \cdot p \cdot q$
Poisson	$n \cdot p$
normal	$\sigma^2$
lognormal	$\exp(2\mu_{\ln x} + 2(\sigma_{\ln x})^2) - \exp(2\mu_{\ln x} + (\sigma_{\ln x})^2)$
exponencial	$\frac{1}{\lambda^2}$
gama	$\alpha^2 \cdot \beta$
Weibull	$\eta^2 \cdot \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]$

## 2.6 - Confiabilidade

Segundo Dias (1996), a confiabilidade ( $R(x)$ ), também chamada de probabilidade de sobrevivência, é determinada a partir de observações experimentais ou de uso, e pode ser dada pela seguinte relação:

$$R(x) = \frac{N_o - N_{f(x)}}{N_o} = 1 - \frac{N_{f(x)}}{N_o} \tag{2.13}$$

onde:  $N_o$  = quantidade total de itens em bom funcionamento no início do ensaio ou da observação considerada;

$N_{f(x)}$  = quantidade de itens que falharam durante o período de vida X.

Considerando a variável aleatória “X” como o tempo até a primeira falha, a função de probabilidade acumulada de falha será:



$$F_X(x) = \frac{N_{f(x)}}{N_0} \quad (2.14)$$

e conseqüentemente: 
$$R(x) = 1 - F_X(x) \quad (2.15)$$

Substituindo-se ainda a função de probabilidade acumulada de falha, apresentada em 2.5, na equação acima, chega-se a:

$$R(x) = 1 - \int_0^x f_X(x) dx \quad (2.16)$$

observando-se que o limite de integração inferior fora alterado para 0 (zero) ao invés de  $-\infty$ , visto que componentes mecânicos, em geral, dificilmente apresentam valores mensurados abaixo deste valor.

Como a área sob a curva da função densidade de probabilidade (fdp) representada por  $f_X(x)$  deve ser igual à unidade, tem-se ainda:

$$R(x) = \int_x^{\infty} f_X(x) dx \quad (2.17)$$

que corresponde à equação geral da confiabilidade para componentes ou sistemas mecânicos, desde que a função densidade de probabilidade ( $f_X(x)$ ) seja adaptada ao tipo de distribuição adotada no estudo.

Do ponto de vista puramente matemático, pode-se admitir qualquer distribuição para o estudo do tempo de vida do componente considerado e, depois, simplesmente estudar as conseqüências dessa hipótese (Meyer, 1994).

### **2.6.1 - Confiabilidade e taxa de falhas ( $\lambda$ )**

Considerando-se que a taxa de falhas ( $\lambda$ ) do componente tenha uma probabilidade de falha condicionada ao intervalo ( $x$ ) para ( $x+dx$ ), ou seja, supondo-se que esse não tenha

falhado até o período de vida (X) ou, ainda, não tenha falhado num período próximo ao de uso, uma outra maneira de avaliar a confiabilidade será:

$$\lambda(x) = -\frac{1}{R(x)} \frac{dR(x)}{dx} \quad (2.18)$$

Integrando-se ambos os lados da equação acima chega-se a:

$$\int_{x_1}^{x_2} \lambda(x) dx = - \int_{R(x_1)}^{R(x_2)} \frac{dR(x)}{R(x)} = -\ln \left( \frac{R(x_2)}{R(x_1)} \right) \quad (2.19)$$

cuja solução será:

$$R(x_2) = R(x_1) \cdot \exp \left[ - \int_{x_1}^{x_2} \lambda(x) dx \right] \quad (2.20)$$

considerando-se, ainda, que  $x_1 = 0$  e  $x_2 = x$ , tem-se  $R(x_1) = 1$  e conseqüentemente:

$$R(x) = \exp \left[ - \int_0^x \lambda(x) dx \right] \quad (2.21)$$

conhecida como equação geral da confiabilidade, em termos da taxa de falhas.

Dias (1996) cita diversos autores que tratam tais definições matemáticas detalhadamente.

## 2.7 - Confiabilidade de sistemas

Considerando um sistema como um conjunto de componentes que se inter-relacionam logicamente de alguma forma, pode-se afirmar que a confiabilidade de um dado sistema é, na verdade, uma síntese das confiabilidades de seus componentes parciais. Isso ocorre devido às particularidades inerentes de cada sistema, o que torna bastante complicado a obtenção empírica de sua taxa de falhas específica. Dessa forma, o modelamento do relacionamento lógico entre os componentes de um dado sistema é fundamental para o sucesso da análise.

Uma das maneiras de se representar um conjunto de itens num sistema, sob o ponto de vista da confiabilidade, é o arranjo funcional ou a técnica dos diagramas de blocos, os quais são apresentados a seguir para sistemas em série e sistemas em paralelo.

### 2.7.1 - Sistemas em série

Um sistema é dito “em série” quando o funcionamento de todos os seus componentes é essencial para o funcionamento do sistema, sendo que a falha de um único componente é suficiente para causar a falha do sistema. Portanto, o sucesso do sistema durante uma dada missão de duração “t” requer o funcionamento de todos os componentes neste período.

A figura 2.8 ilustra esquematicamente a técnica do diagrama de blocos para um sistema em série (modelo de confiabilidade) com dois componentes. Deve-se observar que a confiabilidade deste sistema pode ser definida pela seguinte equação (modelo matemático):

$$R_{SS} = R_1 \cdot R_2 \quad (2.22)$$

onde :  $R_{SS}$  = confiabilidade do sistema em série

$R_1$  = confiabilidade do componente “1”

$R_2$  = confiabilidade do componente “2”



**FIGURA 2.8** - Diagrama de blocos para um sistema em série com dois componentes

Generalizando para um sistema de “n” componentes em série, tem-se:

$$R_{SS} = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.23)$$

## 2.7.2 - Sistemas em paralelo

Um sistema é dito “em paralelo” quando o funcionamento do mesmo depende do funcionamento de pelo menos “k” itens, entre os “n” disponíveis. Assim, o sucesso do sistema não depende exclusivamente do sucesso de todos os componentes simultaneamente.

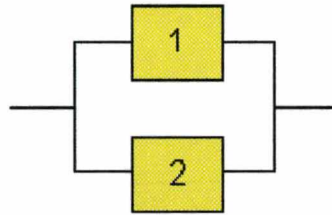
A figura 2.9 ilustra esquematicamente a técnica do diagrama de blocos para um sistema em paralelo (modelo confiabilístico) com dois componentes. A confiabilidade para tal situação pode ser calculada pela equação:

$$R_{SP} = 1 - [1 - R_1] \cdot [1 - R_2] \quad (2.24)$$

onde :  $R_{SP}$  = confiabilidade do sistema em paralelo

$R_1$  = confiabilidade do componente “1”

$R_2$  = confiabilidade do componente “2”



**FIGURA 2.9** - Diagrama de blocos para um sistema em paralelo com dois componentes

Generalizando para um sistema de “n” componentes em paralelo, tem-se:

$$R_{SP} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.25)$$

A equação acima apresentada somente tem validade para arranjos paralelos puros ou plenos, ou seja, arranjos com redundância ativa de “1” componente bom em “n”. Segundo Park, citado por Dias (1996), esse tipo de redundância não representa a grande maioria dos arranjos existentes na prática, principalmente, na área de engenharia mecânica.

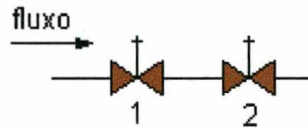
Para sistemas de “k” componentes bons em “n”, designados arranjos paralelos parciais, o modelo matemático não é único (quando se trata de itens diferentes), visto que são

diversas as composições que podem ser feitas. Segundo Dias (1996), esses sistemas se situam entre o arranjo em série e o arranjo paralelo simples, tidos como casos extremos.

O modelo matemático para os arranjos parciais com “2” itens bons em “3”, “2” itens bons em “4” e “3” itens bons em “4”, encontra-se em Dias (1996). Maiores detalhes também podem ser verificados no estudo da distribuição binomial, já discutida em 2.5.1.

### **2.7.3 - Comparação entre os sistemas em série e em paralelo**

Para se fazer uma comparação entre os sistemas apresentados, considere, por exemplo, a situação de duas válvulas colocadas fisicamente em série conforme a figura 2.10. Considere ainda que a válvula “1” apresenta uma confiabilidade  $R_1 = 0,98$  e que a válvula “2” apresenta uma confiabilidade  $R_2 = 0,97$ . A questão é, como ficaria a confiabilidade do sistema caso as válvulas fossem consideradas em série ou em paralelo ?



**FIGURA 2.10** - Sistema com 2 (duas) válvulas colocadas fisicamente em série

- se a função do sistema for bloquear o fluxo, qualquer uma das válvulas funcionando, atenderá ao objetivo proposto, logo, em termos de confiabilidade, ambas estarão em paralelo;
- se a função do sistema for liberar o fluxo, ambas deverão funcionar simultaneamente para atender ao objetivo proposto, logo, ambas estarão em série.

Assim, a análise a ser efetuada deverá contemplar a função a ser desempenhada pelo sistema, e não somente a disposição física dos componentes. Matematicamente, tem-se:

$$R_{SS} = (0,98) \times (0,97) = 0,9506 \text{ e}$$

$$R_{SP} = 1 - [(1 - 0,98) \times (1 - 0,97)] = 0,9994$$

o que comprova que para um sistema em série a confiabilidade diminui, enquanto que para um sistema em paralelo, a confiabilidade aumenta. Por esse motivo é que os sistemas em paralelo são considerados como sistemas redundantes.

Deve-se lembrar, entretanto, que um aumento no número de componentes em paralelo acarreta aumento no custo inicial, no peso, no volume, bem como, nos requisitos de manutenção.

### 2.7.4 - Sistemas em série-paralelo

É bastante comum o aparecimento de sistemas combinados (série-paralelo) em estudos confiabilísticos, os quais podem ser analisados a partir de uma redução seqüencial da configuração original em configurações mais simplificadas. Trata-se, na verdade, da substituição de um sistema aparentemente complicado por um sistema equivalente mais simples e de fácil identificação.

A figura 2.11 (Billinton, 1987) ilustra um sistema em série-paralelo, bem como, as suas reduções seqüenciais desenvolvidas.

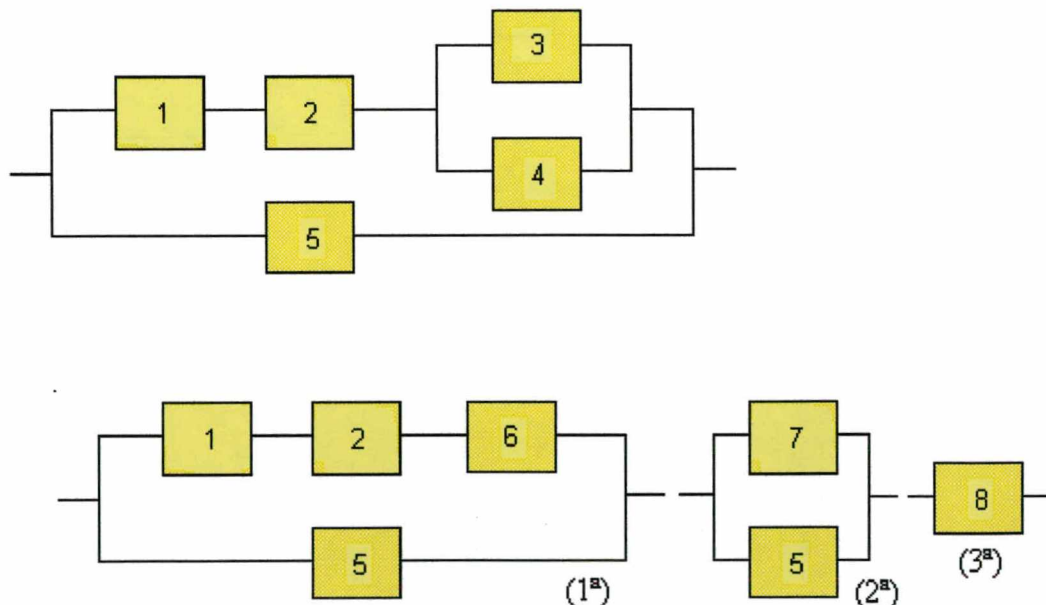


FIGURA 2.11 - Sistema em série-paralelo com suas reduções seqüenciais (Billinton, 1987)

### 2.7.5 - Sistemas em paralelo com “standby”

O termo “standby”, designado também por redundância passiva, é uma forma particular de redundância em arranjos paralelos (figura 2.12). Em síntese, trata-se de um componente de reserva que somente entra em operação quando comutado (do inglês, “switched”) ou quando o componente principal operante, falha.

Segundo Billinton (1987), o uso de um sistema redundante “standby” justifica-se em aplicações onde a probabilidade de falha do componente reserva é muito pequena quando não operante, se comparado a sua probabilidade de falha quando em modo ativo. Um exemplo típico dessa situação são os sistemas de bombeamento em paralelo.

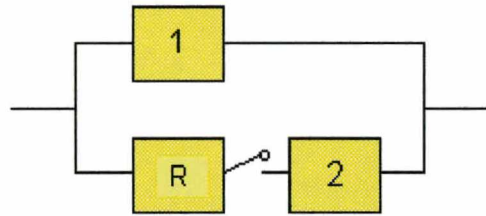


FIGURA 2.12 - Diagrama de blocos para um sistema em paralelo com redundância passiva

Novamente, existem várias possibilidades de modelos confiabilísticos e matemáticos para arranjos com redundâncias passivas, os quais podem ser encontrados em Park, citado por Dias (1996). Especificamente em Dias (1996), dois casos principais são considerados:

- todos os componentes envolvidos são idênticos;
- somente o componente reserva (“standby”) tem característica diferente do componente operante.

### 2.7.6 - Sistemas complexos

Muitos sistemas fogem do escopo discutido até o momento, seja por não apresentarem uma estrutura simplificada ou por terem uma lógica operacional complexa.

Nesses casos, torna-se necessário uma análise mais aprofundada do sistema, enfocando várias técnicas de modelagem e avaliação adicionais para determinação da confiabilidade do sistema. A figura 2.13 (Billinton, 1987) ilustra um sistema complexo, onde nenhum dos componentes está conectado em um simples arranjo série/paralelo.

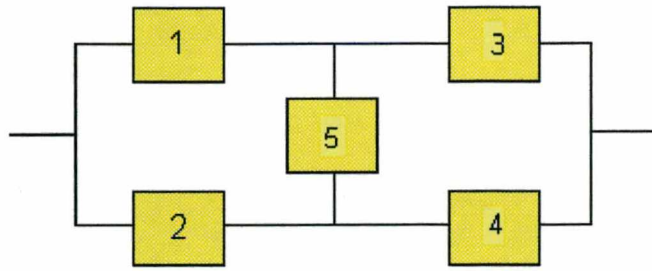


FIGURA 2.13 - Diagrama de blocos para um sistema “complexo” (Billinton, 1987)

Algumas das possíveis técnicas para solução desse tipo de sistema, desde que se considere a distribuição exponencial, são:

- Teorema de Bayes ou Princípio das Probabilidades Condicionais -

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P\left(\frac{A}{B_i}\right) \cdot P(B_i) \tag{2.26}$$

ou seja:  $P(\text{falha do sistema}) = P(\text{falha do sistema, se o componente "x" é bom}) \cdot P(\text{componente "x" ser bom}) + P(\text{falha do sistema, se o componente "x" é ruim}) \cdot P(\text{componente "x" ser ruim})$ ;

- Método dos cortes mínimos - cuja definição está diretamente associada a um grupo mínimo de componentes do sistema que, quando falham, causam a falha do sistema, mas que, quando ao menos um desses componentes não falha, não ocorre a falha do sistema;
- Método do conjunto de laços - similar e mais simplificado do que o método anterior;
- Método da matriz de conexão - cujo princípio baseia-se na construção de uma matriz que compreenda como os componentes do sistema são conectados entre os nós do diagrama, fornecendo assim a transmissão do “fluxo” entre a entrada e a saída do sistema (2 nós de interesse);
- Método da árvore de eventos - usado mais freqüentemente para a segurança dos sistemas, mas que também pode ser utilizado para sistemas com “standby”, onde a operação de um componente particular é dependente do sucesso ou falha de outro componente, enfocando ainda a seqüência cronológica na qual os eventos devem ocorrer.

Um maior detalhamento sobre as técnicas acima descritas pode, ainda, ser encontrado em Billinton (1987).



# **Capítulo 3      Sistemática de Projeto de Pahl&Beitz   -   Características Principais**

## **3.1 - Introdução**

Segundo Back (1996), o processo de projeto é um mapa que mostra como, a partir das necessidades de um objeto específico, chegar a um produto final. Entretanto, dependendo das necessidades exigidas, diferentes caminhos podem levar a diferentes produtos que satisfaçam tais necessidades. Em outras palavras, existem diferentes soluções para qualquer problema de projeto e o conhecimento do projetista a respeito desse processo de projeto e do domínio do problema, é que determina o melhor caminho.

Assim, um procedimento sistemático de projeto, associado à intuição e à habilidade do projetista, tende a aumentar a capacidade de trabalho, bem como, contribuir para o desenvolvimento das capacidades do pessoal envolvido. O desenvolvimento sistemático de produtos possibilita, também, uma racionalização de recursos disponíveis no setor de desenvolvimento, quanto no de construção, além de permitir fixar um cronograma realístico tornando a delegação de tarefas ainda mais fácil.

Com o passar dos anos, várias estruturas do processo de projeto têm sido propostas e melhoradas, servindo de ferramenta básica aos projetistas para que esses possam vencer os desafios surgidos com as necessidades da sociedade. As estruturas do processo de projeto têm sido desenvolvidas para satisfazer as necessidades de ensino em projeto, organização de projeto, provisão de auxílio ao trabalho dos projetistas e automação das informações de projeto.

Dessa forma, o uso de uma determinada metodologia de projeto, associada ao desenvolvimento de um dado produto, somente trará benefícios ao pessoal envolvido nessa atividade. É importante destacar, ainda, que independentemente da metodologia adotada, existem fases ou etapas bastante comuns entre tais metodologias, sendo que, algumas dessas fases são

mais ou menos detalhadas ou apresentam um maior ou menor desdobramento, dependendo da escolha efetuada. Tais fases ou etapas correspondem a:

- levantamento das necessidades;
- projeto conceitual;
- projeto preliminar;
- projeto detalhado;
- produção e descarte do produto,

as quais dividem a atividade de projeto em passos bem definidos, e apresentam, de maneira geral, características bastante específicas dentro do processo de projeto.

A proposta de Pahl&Beitz (1988), adotada como referência para o presente trabalho e que pode ser visualizada na figura 3.1, corresponde a uma abordagem clássica na área de projetos de produtos industriais, sendo oriunda da escola alemã, que, com certeza, é a que apresenta mais estudos e resultados sobre metodologias de projeto e sobre a problemática da concepção de produtos.

Similarmente às outras metodologias levantadas, Pahl&Beitz (1988) propõe a existência de um fluxo de trabalho durante o processo de planejamento e projeto, considerando que esse processo se inicia com o planejamento e a definição da tarefa, passando pela identificação das funções requeridas, a elaboração dos princípios de soluções e a construção de estruturas modulares, até a documentação final do produto completo.

No presente capítulo se discutirá como parâmetros da confiabilidade e da manutenibilidade (em menor escala) podem ser considerados dentro de cada uma das etapas da referida metodologia. Evidentemente, tal proposta, certamente, não contemplará todo o universo correspondente ao assunto, mas, com certeza, fornecerá subsídios básicos de como se trabalhar considerando tal enfoque.

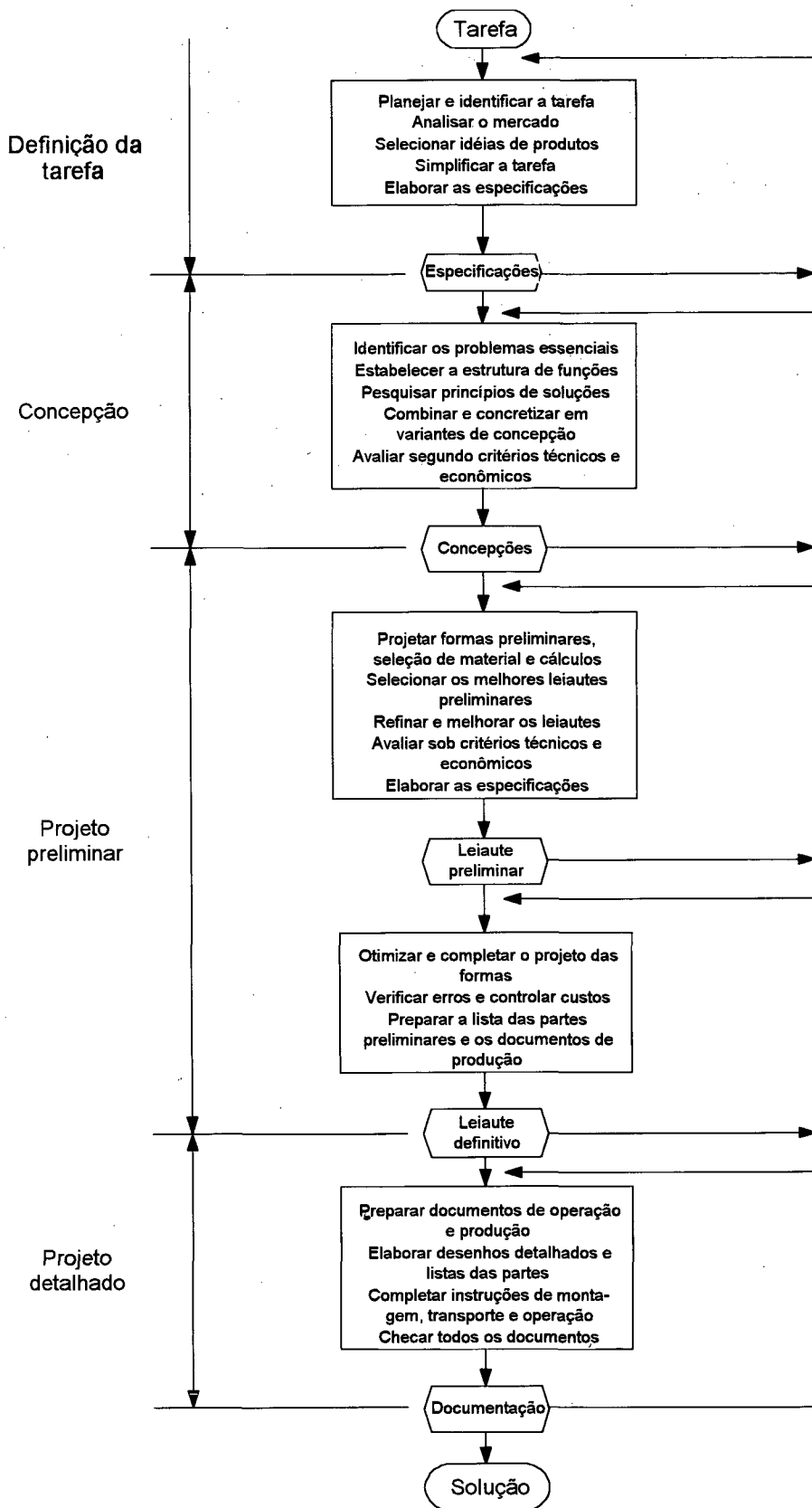


FIGURA 3.1 - Etapas do processo de projeto segundo Pahl&Beitz (1988)

### 3.2 – Definição da tarefa

O ponto de partida de qualquer projeto, desde que se tenha o conhecimento ou a preocupação de se trabalhar com o auxílio de uma dada sistemática de projeto, é o levantamento de todas as necessidades, que de alguma forma, possam vir a interferir no desenvolvimento ou, até mesmo, na utilização do produto em questão.

O levantamento correto de tais necessidades facilitará a definição dos chamados “requisitos de projeto”, os quais correspondem à tradução das necessidades dos clientes (normalmente de ordem abstrata) em linguagem de engenharia (normalmente de ordem mais concreta). Uma das principais maneiras de relacionar as necessidades dos clientes com os requisitos de projeto, bem como, priorizar o grau de importância de cada requisito em específico, é a técnica do QFD, também chamada de Casa da Qualidade, segundo Back (1996).

A referida etapa, segundo Pahl&Beitz (1988), é composta de alguns passos intermediários conforme ilustra a figura 3.2, os quais são, normalmente, levantados pela pesquisa de mercado tradicional. Back (1996), no entanto, destaca que outras maneiras devem ser utilizadas para identificar todas as necessidades dos clientes (internos, intermediários e externos), entre as quais: considerar-se um cliente, estudar o comportamento dos clientes, comunicar-se diretamente com os clientes e simular o uso pelos clientes.

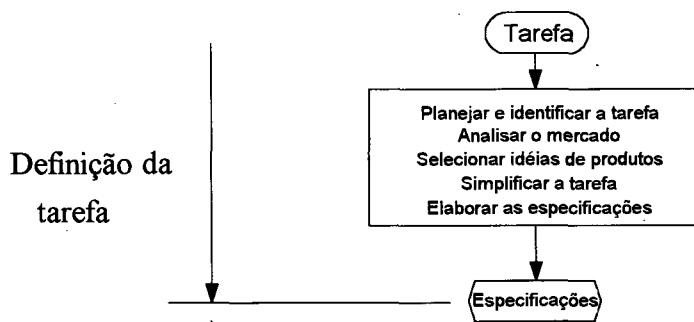


FIGURA 3.2 – Definição da tarefa segundo Pahl&Beitz (1988)

Visando se trabalhar a presente fase sob o enfoque da confiabilidade, os pontos a seguir enumerados, devem ser considerados pela equipe de projetos, de tal forma que as especificações de projeto, que correspondem ao resultado final da **definição da tarefa**, venham a

contemplar, não somente as necessidades funcionais e operacionais do produto considerado, mas também, as necessidades associadas à disponibilidade do mesmo. São eles:

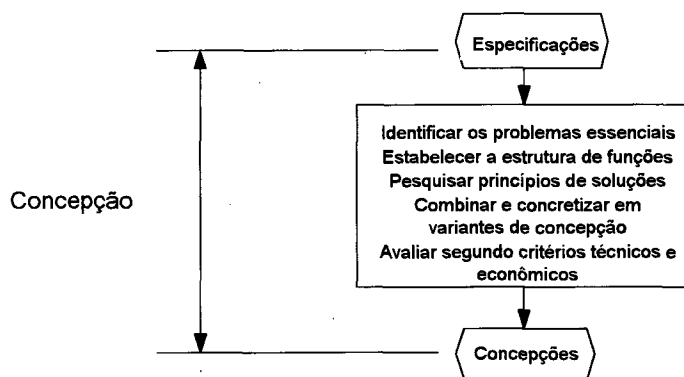
- definir claramente a expectativa da vida do produto a ser projetado, ou seja, estabelecer o ciclo de vida útil esperado;
- verificar e tomar conhecimento de todas as normas e recomendações existentes sobre o assunto;
- levantar o tipo e o histórico de falhas de produtos ou itens similares, que porventura, existam no mercado;
- estimar, se possível, a confiabilidade desejada para o produto;
- levantar as condições ambientais existentes, como temperatura, umidade, atmosfera, pressão, entre outros, visando a necessidade de se prever materiais ou processos especiais, quanto à desgastes acelerados;
- levantar as condições operacionais a serem suportadas, como cargas estáticas, cargas dinâmicas, vibrações, acelerações, entre outros, visando identificar possíveis problemas de sobrecargas ou fadiga;
- levantar os procedimentos de testes que possam ser direcionados à análise dos possíveis modos de falha identificados;
- levantar possíveis acidentes e suas respectivas causas, que porventura, tenham ocorrido em produtos similares;
- identificar a criticalidade para os clientes finais, quanto a possíveis falhas que possam vir a ocorrer;
- levantar dados quanto ao acondicionamento, manuseio e transporte do produto;
- etc.

Ao se considerar os pontos acima descritos, certamente, estará o projetista, inserindo aspectos que permitirão o desenvolvimento do respectivo projeto, com a efetiva consideração da confiabilidade e até mesmo, da manutenibilidade, ao longo das diversas etapas da referida metodologia. Por outro lado, num primeiro momento, dificilmente conseguirá o projetista, obter sucesso quanto ao levantamento de todos os parâmetros enumerados, dado, principalmente, a falta de cultura, ainda, existente dentro desse contexto. No entanto, essa cultura somente será

atingida a partir do momento que, novos projetos comecem a apresentar essa preocupação ao longo do seu respectivo desenvolvimento.

### 3.3 - O Projeto Conceitual

A partir da definição de todos os requisitos de projeto, inclusive aos associadas à disponibilidade do produto, pode-se chegar às chamadas “especificações de projeto”, as quais correspondem à formalização das tarefas a serem executadas pelo projetista e/ou sua equipe. Assim, de posse dessas informações, poder-se-á dar prosseguimento para a fase seguinte, ou seja, a fase do **Projeto Conceitual**.



**FIGURA 3.3** – Projeto Conceitual segundo Pahl&Beitz (1988)

Nessa fase, normalmente, ocorre uma síntese de soluções alternativas, das quais a mais viável, técnica e economicamente, deverá ser escolhida. Evidentemente, o aspecto da criatividade é de vital importância para a presente fase, pois quanto mais amplo for o universo de soluções alternativas propostas, menor será a chance de ocorrerem mudanças ou interferências de projeto, posteriormente. Fiod (1993) associa, em seu trabalho, técnicas que visam auxiliar o projetista no contexto da criatividade, entre as quais: a técnica da palavra-chave e o quadro morfológico.

Dentro do enfoque da confiabilidade, a premissa básica do projeto conceitual, que corresponde a estruturação de uma dada função a partir da formulação do problema dado, deve, nesse caso, considerar que essa função será atendida com a menor chance de falhas. Dessa forma,

não poderá o projetista somente associar às estruturas de funções, o menor grau de complexidade, mas também, o menor grau de falhas ou insucessos.

Assim, ao se trabalhar no estudo dos princípios de soluções, deve o projetista, direcionar suas atividades, também, para os seguintes aspectos:

- verificar e estabelecer parâmetros de confiabilidade em possíveis contratos de fornecimento, como taxa de falhas, índices de reparos mínimos, etc.;
- viabilizar o uso de ferramentas voltadas para a confiabilidade do sistema, como FMEA e RCM, por exemplo, caso existam dados disponíveis;
- definir, explicitamente, os itens do sistema a serem considerados, a partir das seguintes premissas: itens de menor conhecimento, itens similares a outros projetos e itens considerados mais críticos;
- prever possíveis testes e simulações;
- identificar os elementos ou condições de uso e operação que poderão ser descartadas, ou seja, que poderão ser admitidas externas ao sistema, como por exemplo, a falta de energia elétrica ou um funcionamento em tensão inadequada;
- trabalhar sobre diagramas de *Ishikawa* (Akao, 1996), reunindo possíveis agrupamentos de falhas e seus respectivos efeitos;
- trabalhar nos diagramas levantados, visando transformá-los em listas de verificação;
- definir parâmetros a serem controlados no processo;
- definir procedimentos para ensaios e inspeções;
- compilar as informações para manutenção e elaboração de procedimentos;
- definir as condições de operação e os componentes considerados mais críticos;
- verificar a possibilidade de se trabalhar sobre as possíveis condições operacionais, que sejam desfavoráveis;
- prever possíveis erros humanos, como por exemplo, falhas de montagem ou de identificação;
- etc.

Posteriormente, na fase correspondente a combinação dos princípios de solução, deve a equipe de projetos, raciocinar sob o ponto de vista das compatibilidades física e geométrica, bem como, dos estudos de viabilidade técnica econômica. Novamente, visando-se a inserção da confiabilidade no **projeto conceitual** de maneira objetiva, pode o projetista considerar juntamente à matriz morfológica os seguintes aspectos:

- procurar trabalhar com itens ou acessórios padronizados ou normalizados;
- minimizar, se possível, o número de partes;
- selecionar o uso de uniões de forma a minimizar o risco de falhas;
- identificar como os itens poderão se associar fisicamente, visando a elaboração dos diagramas de blocos correspondentes;
- propor alternativas de solução com o uso de redundâncias;
- identificar procedimentos que permitam detectar possíveis falhas;
- identificar falhas que não poderão ser detectadas ou bloqueadas e cujo efeito será detectado somente pelo cliente;
- analisar a possibilidade de projetos de sistemas de segurança ou sistemas alternativos;
- etc.

Finalmente, para se chegar a seleção das combinações efetivamente viáveis, pode ainda, o projetista vir a estudar as melhores alternativas considerando a ferramenta de análise do valor associada, ainda, a confiabilidade realmente desejada para o produto em questão.

### **3.4 - O Projeto Preliminar**

Cabe ao projetista e/ou sua equipe, a partir desse momento, iniciar a fase que simboliza o início do desenvolvimento físico do produto. De posse da documentação oriunda do Projeto Conceitual (que pode e deve trazer mais de uma única solução alternativa), a equipe de projetos deve trabalhar sob critérios de sensibilidade, compatibilidade, comportamento funcional, bem como, confiabilidade e manutenibilidade, entre outros.

O uso de modelos matemáticos e programas de simulação podem, em alguns casos, aproximar enormemente a passagem dos aspectos abstratos para aspectos concretos, enquanto que a divisão do projeto em subsistemas facilita a identificação de possíveis incoerências, em termos gerais de tolerâncias. Demais aspectos até então não enfocados, como possíveis tratamentos térmicos, acabamentos superficiais e materiais mais específicos ou adequados, podem, ainda, ser discutidos visando gerar um leiaute bem definido e completo para a próxima fase do processo de projeto.

Pahl&Beitz (1988) em sua proposta, divide o projeto preliminar em duas fases distintas, ou seja, a obtenção de um leiaute preliminar e, posteriormente, um leiaute definitivo,



conforme ilustra a figura 3.4. Tal passagem possibilita, na realidade, uma verificação da proposta inicial.

O enfoque dado à confiabilidade, nesse momento, pode ser analisado sobre os pontos a seguir relacionados:

- verificar se cada item apresenta funcionalidade compatível com os itens aos quais está interligado;
- efetuar a construção dos modelos matemáticos associados aos arranjos de confiabilidade anteriormente levantados;
- estudar a viabilidade e a possibilidade de se trabalhar com o uso de redundâncias;
- organizar dados para a criação de futuros “bancos de dados”, vinculados às falhas em geral;
- verificar possíveis incompatibilidades de materiais, ambientes, carregamentos, dimensões, entre outros;
- construir árvores de falhas associadas à concepção final obtida, visando identificar possíveis problemas, como também, o nível desejado para a confiabilidade de cada item individual;
- analisar se as tolerâncias de fabricação e montagem são compatíveis com as dos itens aos quais existe interligação;
- verificar dificuldades quanto aos processos de fabricação, montagem, manutenção e inspeção;
- etc.

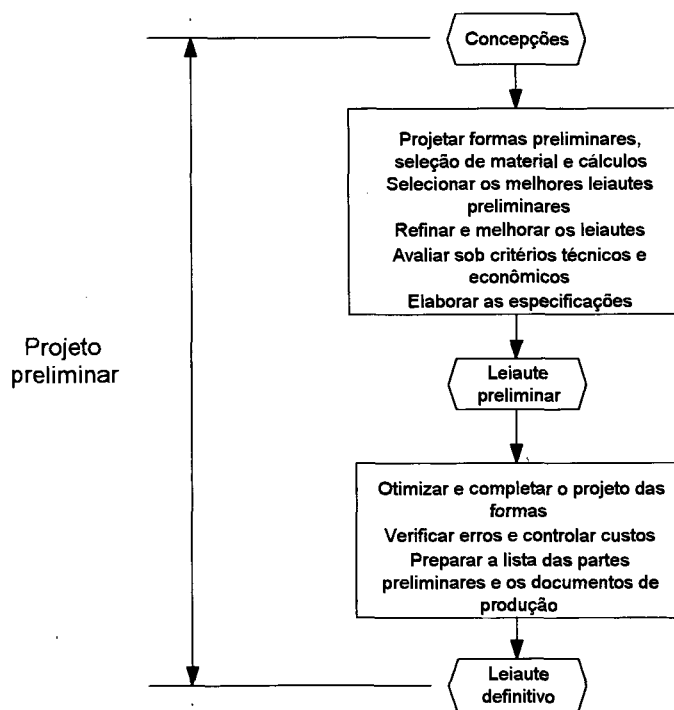


FIGURA 3.4 – Projeto Preliminar segundo Pahl&Beitz (1988)

Deve-se destacar que, em algumas situações, cabe ainda ao projetista, nessa fase, a criação de modelos ou protótipos que possibilitem identificar, além do funcionamento do produto considerado, possíveis falhas que possam vir a ocorrer, permitindo alterações que venham a melhorar o desempenho e a correspondente disponibilidade do mesmo. Deve-se lembrar, porém, que a quantidade a ser produzida, o custo e a complexidade do produto é que determinarão a viabilidade do equipamento de teste a ser desenvolvido.

### 3.5 - O Projeto Detalhado

A presente fase é a que mais se aproxima de um projeto convencional, visto que documentos, especificações, desenhos e memórias de cálculo devem ser elaborados e enviados ao setor de manufatura e montagem. Por outro lado, diferentemente de um projeto convencional, modificações ou correções de projeto, deverão ocorrer em menor grau, dado o refinamento efetuado nas fases anteriores, tornando assim, maiores as chances de sucesso.

A figura 3.5, a seguir, ilustra o fluxo de informações segundo a proposta de Pahl&Beitz (1988). Deve-se observar, que a presente fase não contempla nada além do que a preparação da documentação final do projeto e sua respectiva verificação.

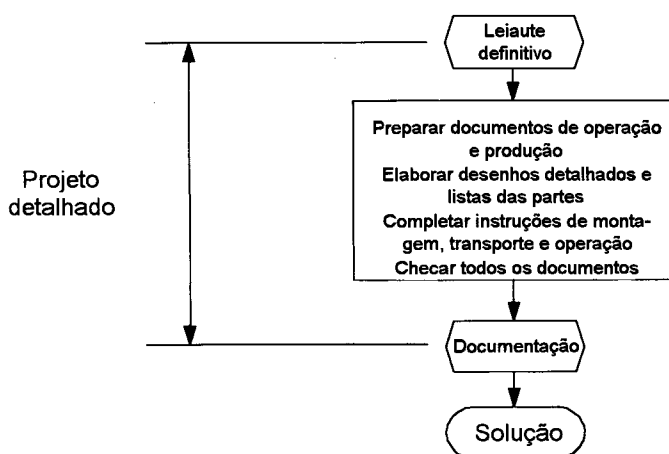


FIGURA 3.5 – Projeto Detalhado segundo Pahl&Beitz (1988)

Um estudo complementar das descrições iniciais de forma, medidas, materiais, exequibilidade e custos de todas as partes individuais do produto, favorecerá a geração de todos os desenhos e documentos necessários à execução do produto em questão.

Quanto à confiabilidade, é possível, ainda:

- considerar, novamente, a efetiva participação do pessoal da manufatura na preparação dessas especificações finais, objetivando, assim, a eliminação de quaisquer incompatibilidades de fabricação e montagem;
- verificar a viabilidade em se trabalhar com modelos e protótipos, visando identificar possíveis falhas, problemas operacionais ou até mesmo uma avaliação da confiabilidade;
- revisar todos os procedimentos para as documentações a serem emitidas;
- verificar, matematicamente, a confiabilidade desejada ou estimada para os itens e para o produto em questão;
- elaborar manuais para manutenção e operação do sistema;
- elaborar manuais com instruções detalhadas aos consumidores finais;
- cadastrar um banco de dados, visando a obtenção de informações pertinentes às possíveis falhas e suas respectivas causas;
- etc.

### **3.6 – Comentários finais**

Com a conclusão do presente capítulo, pode-se considerar que a primeira etapa correspondente aos objetivos propostos para o trabalho em questão, está concretizada. A utilização da metodologia de projeto apresentada, certamente, possibilitará o levantamento de pontos ou considerações que podem influenciar diretamente o aspecto da disponibilidade de um produto ou sistema.

Dessa forma, a efetiva utilização ou uso adaptado da metodologia em questão, permitirá que projetistas, em geral, possam agregar a seus respectivos projetos, as variáveis de confiabilidade e até mesmo de manutenibilidade no desenvolvimento de suas atividades de maneira mais direta e precisa. Deve-se destacar, entretanto, que dependendo do tipo de produto ou sistema a ser desenvolvido, poderá a equipe de projetos responsável verificar, ainda, outros pontos até então não levantados nesse primeiro momento.

Com uma visão voltada para a criação dos chamados “bancos de dados”, certamente, atingir-se-á, também, um nível razoável quanto ao uso desses parâmetros no desenvolvimento de produtos ou sistemas mecânicos, em geral.

Para exemplificar, o capítulo 5, traz uma descrição sucinta da utilização dessa proposta, vinculada ao projeto de redes de distribuição de gás canalizado.

# **Capítulo 4 Redes de Distribuição de Gás**

## **4.1 - Histórico do gás no Brasil**

A indústria do gás no Brasil teve início com a inauguração da iluminação a gás de carvão na cidade do Rio de Janeiro, então capital do Império, em 1854. A partir dessa data, diversas cidades brasileiras passaram a ser contempladas com sistemas de gás, sendo que no início do século, chegou-se a ter onze empresas de iluminação a gás em operação. Em contrapartida, razões econômicas, aliadas ao rápido desenvolvimento do setor elétrico e à entrada do gás liquefeito de petróleo (GLP) no mercado, provocaram uma involução no setor de gás no País.

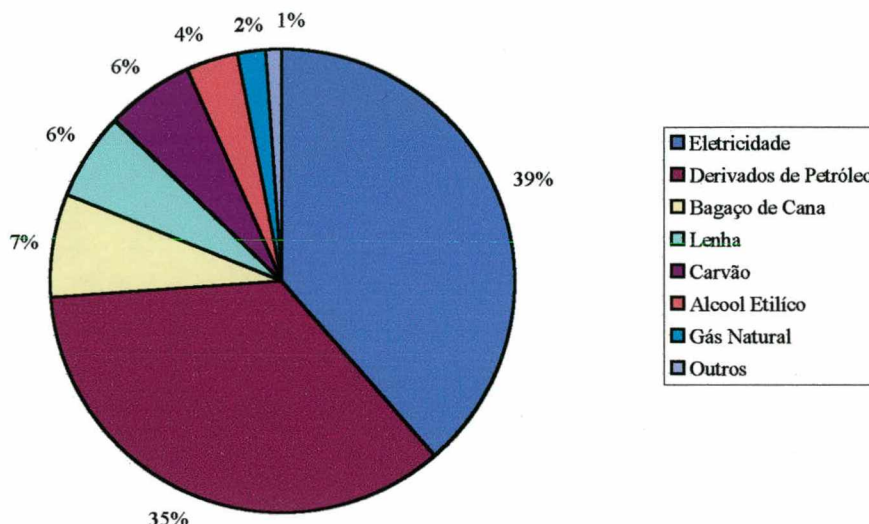
Desta forma, após a década de 1950, apenas duas empresas de gás permaneceram em operação: uma no Rio de Janeiro - Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG) e outra em São Paulo - Companhia de Gás de São Paulo (COMGÁS), passando então a ser distribuído gás obtido a partir da nafta. Mais tarde, no final da década de 60, com a descoberta do petróleo na Bahia e, posteriormente, no Rio Grande do Norte, teve início a distribuição de gás natural no País, a qual foi ampliada com a construção do gasoduto Sergipe-Bahia e do gasoduto do Nordeste, respectivamente.

No Rio de Janeiro, mesmo com a descoberta da Bacia de Campos em 1971 e com a construção do gasoduto Cabiúnas-REDUC (Refinaria Duque de Caxias), a distribuição do gás natural pela CEG somente teve início em 1983. Similarmente, São Paulo até 1988, somente dispunha do gás de nafta, sendo que somente a partir da construção do gasoduto Rio-São Paulo é que o gás natural de Campos também passou a ser distribuído.

Por outro lado, os choques do petróleo nos anos 70, seguidos da alta das taxas de juros internacionais, provocaram uma revisão da política energética nacional, cujas diretrizes fundamentais foram: a substituição do petróleo importado e a conservação de energia.

Segundo o Conselho Nacional do Petróleo – CONPET (1996), uma das medidas tomadas para efetuar tal substituição, foi o incremento da produção nacional e do uso de gás natural, o que, aliado à grande pressão ambientalista da sociedade nos dias atuais, projeta para esse combustível um importante papel no atendimento das necessidades de energia primária do

Brasil. Tal combustível deverá ocupar aproximadamente 12% da matriz energética nacional no ano de 2010, contra os atuais 2,1%, conforme mostra a figura 4.1.



**FIGURA 4.1** - Demanda brasileira de energia por fonte primária (BEN, 1997)

Visando ainda suprir a demanda de gás natural de municípios das regiões Sul e Sudeste do Brasil, o Governo Federal assinou em fevereiro de 1993, um contrato de compra e venda de gás natural proveniente da Bolívia, com validade para vinte anos. Tal contrato estipula um volume inicial de 8 milhões de m<sup>3</sup>/dia, com previsão de fornecer 16 milhões de m<sup>3</sup>/dia a partir do oitavo ano de fornecimento.

O traçado estipulado para o gasoduto Brasil-Bolívia levou em conta a sua integração com os gasodutos e refinarias da Petrobrás nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com as bacias de Campos e Santos, bem como, o atendimento dos principais mercados das duas regiões beneficiadas. A figura 4.2 mostra, de maneira esquemática, a rota definida para o gasoduto Brasil-Bolívia.

Com a assinatura do referido contrato, justificou-se a criação de novas empresas estaduais para explorar os serviços de distribuição de gás, o que, com certeza, está provocando uma ebulição na área de distribuição de gás natural no Sul do País. Entre essas concessionárias encontra-se a Companhia Paranaense de Gás - **COMPAGÁS**, na qual foi desenvolvido todo o estudo de caso do presente trabalho.

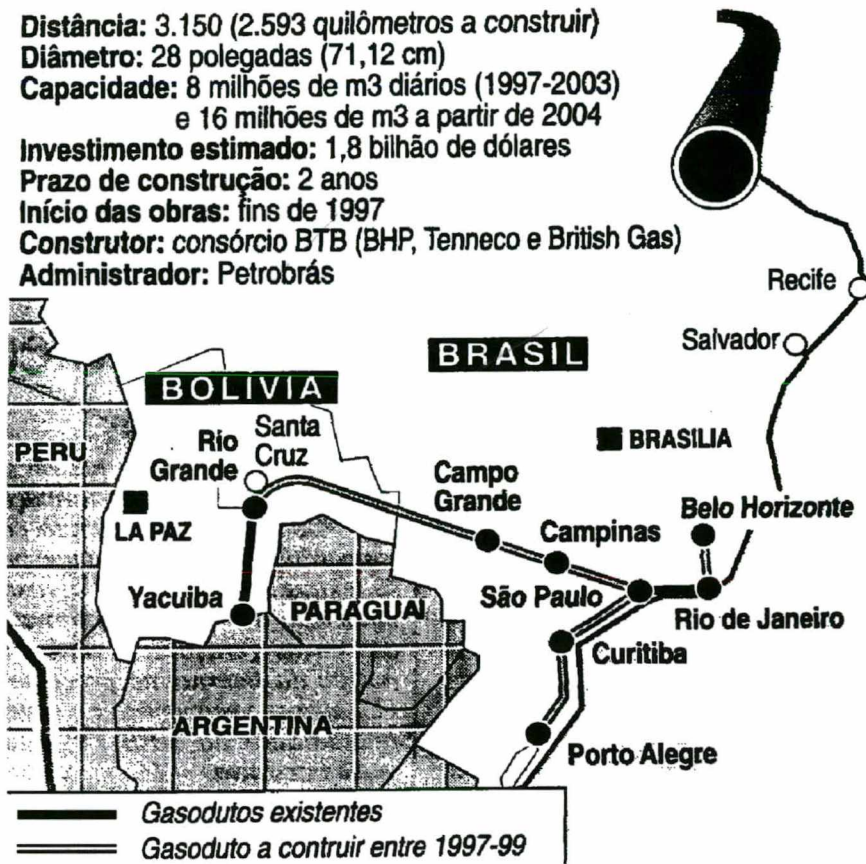


FIGURA 4.2 - Rota esquemática do Gasoduto Brasil-Bolívia (Gazeta do Povo, 1997)

## 4.2 - Gás Natural - Características, obtenção e transporte

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, o qual à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. Na natureza, o gás natural é encontrado acumulado em rochas porosas no subsolo, freqüentemente acompanhado por petróleo, constituindo um reservatório. A sua composição predominante é metano, etano, propano e, em menores proporções, outros hidrocarbonetos de maior peso molecular, além ainda de outras substâncias contaminantes como nitrogênio, gás carbônico, água e compostos de enxofre. Essa composição básica, porém, pode apresentar uma razoável variação em função do gás ser ou não associado; o gás associado é aquele que, no reservatório, está dissolvido no petróleo, enquanto que o gás não-associado é aquele que, no reservatório, está livre ou em presença de pequenas quantidades de óleo.

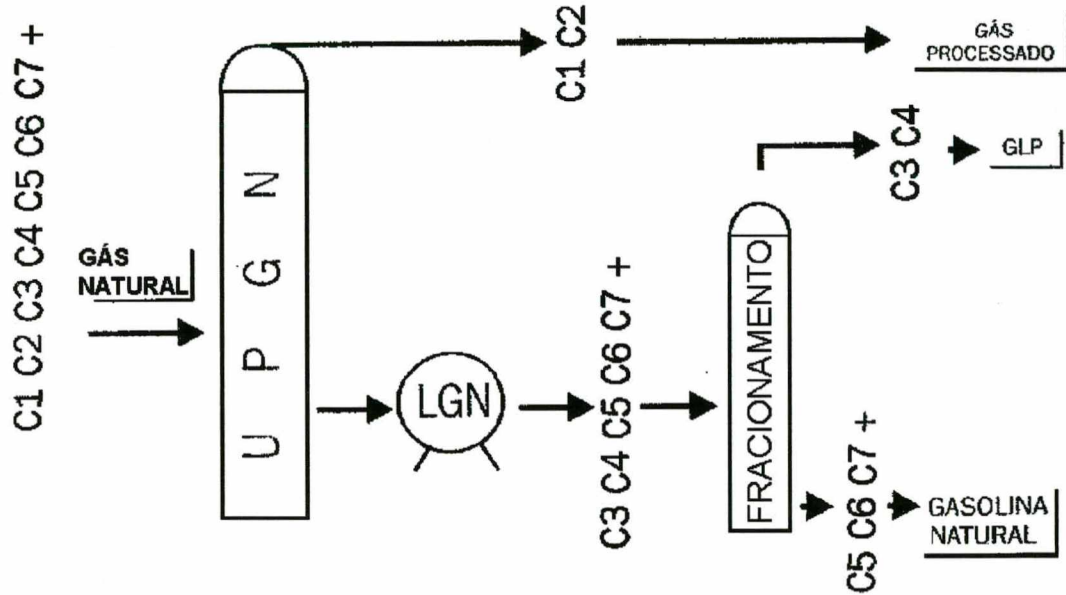
Segundo Oliveira (1997), o gás não-associado geralmente é produzido com elevadas pressões de superfície, o que se traduz em um melhor aproveitamento da energia do

reservatório. No Brasil, a maioria dos poços existentes são de gás associado (cerca de 70%), existindo, assim, poucos poços com predominância de gás não-associado, como nos Estados de Alagoas e Bahia, por exemplo.

### 4.2.1 – O processamento do gás natural

Após as etapas de exploração e produção, o gás é enviado para processamento, o que corresponde à separação de seus componentes em produtos especificados e prontos para utilização.

Esse processamento é efetuado nas chamadas "Unidades de Processamento de Gás Natural — UPGN", onde ele será desidratado e fracionado, gerando os seguintes componentes: metano (C<sub>1</sub>) e etano (C<sub>2</sub>), que formam o gás processado; propano (C<sub>3</sub>) e butano (C<sub>4</sub>), que formam o GLP; e um produto na faixa da gasolina, denominado de gasolina natural (com baixa octanagem). A figura 4.3 ilustra um esquema simplificado de uma UPGN.



- onde: LGN – líquido de gás natural
- GLP – gás liqüefeito de petróleo
- C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>,..., – hidrocarbonetos de maior peso molecular

**FIGURA 4.3** — Esquema simplificado de uma Unidade de Processamento de Gás Natural — UPGN

Deve-se ressaltar, ainda, que o gás natural retirado de uma UPGN deve apresentar características específicas que permitam a sua adequada e eficiente utilização. Tais características



são, na verdade, ditadas pelo Conselho Nacional do Petróleo e têm por objetivo uma padronização mais abrangente do gás natural. São elas:

- Poder calorífico superior (PCS) — entre 8500 e 12500 kcal/m<sup>3</sup>
- Poder calorífico inferior (PCI) — entre 7600 e 11500 kcal/m<sup>3</sup>
- Densidade relativa ao ar — entre 0,60 e 0,81
- H<sub>2</sub>S — máximo de 29 mg/m<sup>3</sup>
- N<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> — máximo de 6% em volume
- Isenção de hidrocarbonetos condensados, óleos e partículas sólidas

### **4.2.2 — O transporte do gás natural**

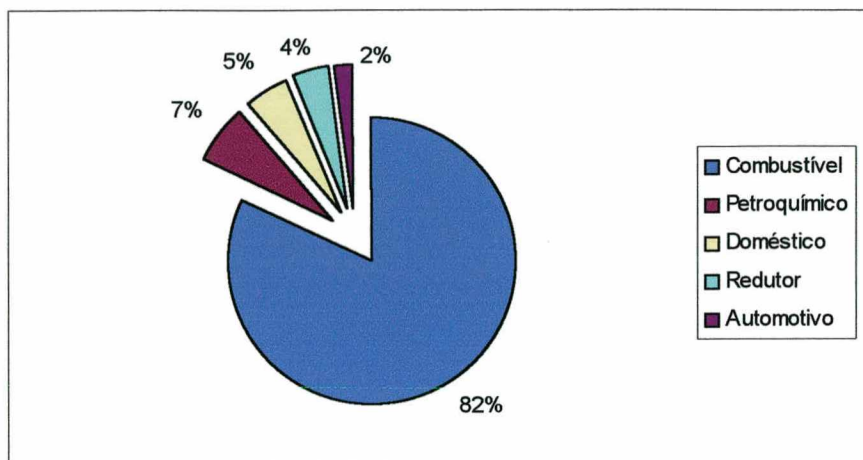
No estado gasoso, o transporte do gás natural é feito por meio de dutos ou, em casos muito específicos, em cilindros de alta pressão (como gás natural comprimido — GNC). Em ambos os casos, o transporte é efetuado a temperatura ambiente e a altas pressões, as quais podem chegar à 230 bar em cilindros e 120 bar em gasodutos.

No estado líquido, como gás natural liquefeito — GNL, o transporte pode ser efetuado por meio de navios, barcaças ou caminhões criogênicos, à baixas temperaturas (-160°C) e pressão próxima da atmosférica. Nessas condições, aproximadamente 600 m<sup>3</sup> de gás natural liquefeito ocupam 01 m<sup>3</sup>, justificando, assim, esse meio de transporte.

## **4.3 - Gás Natural - Distribuição, mercado e vantagens**

A chegada ao consumidor, ou distribuição, é a etapa final do processo, visto que nesse momento o gás está prestes a ser utilizado e já apresenta todos os rígidos padrões exigidos por lei. O seu uso pode atender o mercado residencial, comercial e industrial, além das termelétricas à gás e a área de transportes.

No Brasil, o uso residencial e comercial do gás natural é quase que exclusivo para cocção de alimentos e aquecimento de água, enquanto que na área industrial ele é utilizado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade (cogeração), matéria-prima para os setores químico, petroquímico e de fertilizantes, e como redutor siderúrgico na fabricação do aço. Uma outra pequena parcela de utilização é a área de transportes, onde o gás natural vem substituindo, aos poucos, o óleo diesel e a gasolina em ônibus e automóveis. A figura 4.4 ilustra a participação dos diversos setores na utilização do gás, no Brasil, no ano de 1995.



**FIGURA 4.4** — Utilização de gás natural no Brasil por setores (CONPET, 1996)

Deve-se ressaltar, porém, que essa disponibilização do gás natural para os consumidores finais, somente poderá ser efetuada pelas Companhias Estaduais de Gás, as quais detêm o direito de concessão para exploração dos serviços de distribuição de gás canalizado. No Estado do Paraná, a COMPAGÁS optou inicialmente pelo atendimento exclusivo ao setor industrial, dado a fase de estruturação da empresa, bem como ao volume de gás colocado a sua disposição (1 milhão de m<sup>3</sup>/dia), o qual somente será contemplado mediante grandes consumidores.

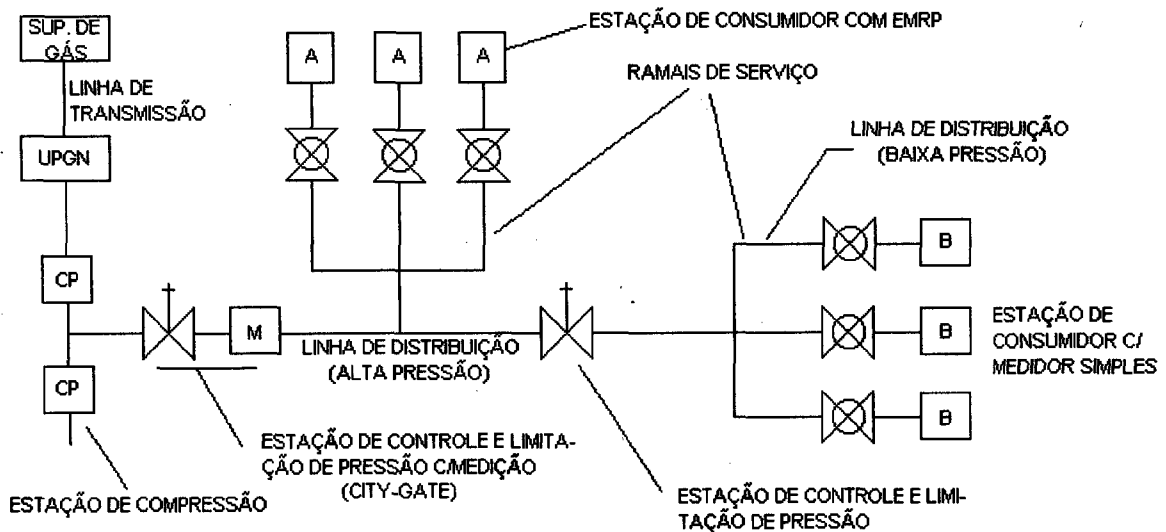
Fazendo-se ainda uma comparação do gás natural com os seus principais combustíveis concorrentes no setor industrial, os quais são, respectivamente, os óleos combustíveis, o óleo diesel, o GLP, o carvão (em menor escala) e a lenha em algumas regiões específicas, pode-se afirmar que aquele, além de apresentar uma política de preços competitiva dentro do mercado energético, apresenta diversas vantagens adicionais, entre as quais:

- redução na emissão de poluentes;
- melhor rendimento térmico;
- eliminação de estoques;
- redução dos custos operacionais;
- ausência de enxofre;
- etc.

## 4.4 – Redes de distribuição – Componentes principais

O transporte dutoviário de gás natural é composto basicamente de gasodutos de transporte, sistemas de compressão, redução de pressão, medição, supervisão e controle, objetivando colocar o gás natural à disposição das Companhias Distribuidoras em todos os pontos de entrega, os quais estão localizados ao longo da diretriz do gasoduto. Nesses pontos de entrega existem os chamados “City-Gates”, que são, na verdade, estações de controle e limitação de pressão com medição e que servem como delimitadores de áreas, visto que, a partir desses pontos inicia-se a rede de distribuição de gás, cuja responsabilidade pertence integralmente à Companhia Distribuidora.

A figura 4.5 retirada parcialmente da norma NBR – 12712 (Projeto de ..., 1993), a seguir ilustrada, tem por objetivo apresentar os principais componentes de uma rede de distribuição de gás, bem como mostrar o domínio de abrangência do presente trabalho. Pode-se verificar, pelo diagrama ilustrativo, que a rede de distribuição de gás fica compreendida entre o “City-Gate” e a estação de medição e regulação de pressão (EMRP) ou medidor do consumidor.



**FIGURA 4.5** – Diagrama ilustrativo de um sistema de transporte e distribuição de gás canalizado – NBR – 12712 (Projeto de ..., 1993)

É importante destacar que o dispositivo conhecido como “City-Gate” é de total responsabilidade da empresa transportadora de gás (Petrobrás, nesse caso) e que as EMRPs, as quais ficam localizadas dentro dos terrenos dos consumidores, são de total responsabilidade da empresa distribuidora de gás (COMPAGÁS).

Para o Estado do Paraná, a pressão de chegada do gás natural ficará na faixa de 50 bar, sendo rebaixada para 35 bar nos respectivos “City-Gates”. A rede de distribuição, a qual foi projetada para os 35 bar de pressão, transportará o gás para os diversos consumidores, que o receberão numa pressão de aproximadamente 2 bar. Essa variação na pressão (de 35 bar para 2 bar) ocorrerá devido a perda de carga na tubulação e a um rebaixamento final de pressão nas respectivas EMRPs dos consumidores.

Ao longo da “malha” da tubulação podem ainda existir ERPs intermediárias, com o objetivo de elevar a pressão (para situações de grandes perdas de carga) ou, ainda, de trabalhar com redes secundárias de baixa pressão, as quais são normalmente construídas em PEAD (polietileno de alta densidade), que por norma são limitadas, atualmente, a uma pressão máxima de 4 bar. Outros dispositivos não ilustrados na figura 4.5 e que normalmente são utilizados ao longo de uma rede de distribuição de gás são: as válvulas de bloqueio intermediárias, cujo espaçamento mínimo recomendável encontra-se na NBR – 12712 (Projeto de ..., 1993) e os lançadores/recebedores de “pig” ou raspadores, os quais têm por finalidade a limpeza interna dos dutos, e são impulsionados pela própria pressão do gás.

As estações de medição e regulação de pressão (EMRP) têm por finalidade garantir a estabilidade do sistema, bem como exercer funções de controle e proteção. Trata-se, na verdade, de um conjunto de acessórios e componentes de tubulação projetados e fabricados de acordo com padrões ou especificações ditados em norma. A figura 4.6 apresenta um fluxograma de uma EMRP típica, a qual pode ainda ter linha dupla objetivando uma maior confiabilidade de fornecimento para o consumidor. No capítulo 6 do presente trabalho, todos esses aspectos serão levantados.

#### **4.4.1 – Principais dispositivos de uma EMRP**

A estação de medição e regulação de pressão (EMRP) corresponde a um conjunto de equipamentos ou dispositivos montados sobre um cavalete numa ordem seqüencial, o qual permite o funcionamento adequado e seguro do sistema. A EMRP pode apresentar variações de tamanho em função da vazão predominante, mas dificilmente apresentará uma grande variabilidade na sua composição típica. A seguir, far-se-á uma descrição sucinta dos

principais dispositivos que compõem uma EMRP, os quais também podem ser identificados na figura 4.6. Dispositivos de menor importância, como manômetros e bujões de “purga”, não estão representados na figura.

- Filtro (F) – tem a função de filtrar o gás retendo possíveis partículas em suspensão, de modo a garantir um melhor desempenho dos demais dispositivos.
- Válvula de bloqueio automático (XV) – tem a função de isolar o consumidor nos casos de defeito do regulador de pressão, sendo, assim, um dispositivo de proteção. A norma NBR – 12712 (Projeto ..., 1993) exige a instalação de duas válvulas de bloqueio, quando a EMRP gerar uma mudança de classe de pressão.
- Válvula reguladora de pressão (PCV) – ou válvula de controle, tem a função de manter a pressão do consumidor (à jusante) constante.
- Válvula de alívio de pressão (PSV) - tem a função de aliviar a pressão da linha para a atmosfera, quando ocorrerem possíveis aumentos de pressão oriundos da passagem de gás através da vedação da válvula de controle. Normalmente esse dispositivo é regulado para atuar à 110% da pressão máxima do ramal.
- Válvula limitadora de vazão (FV) – tem a função básica de limitar a vazão de um dado consumidor, visando garantir a estabilidade da linha caso ocorra um possível pico de vazão de um grande consumidor. Para pequenos consumidores, esse dispositivo poderá ser dispensado, dado a inércia da própria linha de distribuição.
- Válvula de retenção (válvula globo) – tem a função de impedir o refluxo do gás, garantindo que as válvulas de bloqueio só se fechem devido a um possível defeito na válvula de controle correspondente.
- Estação de medição (EMED) – instalação destinada a realizar a medição de volume do gás. O grau de complexidade da EMED é função da incerteza da medição desejada. Para consumidores de médio a grande porte, onde se faz necessário medições (volumétricas) com incerteza de, no máximo, 1%, a medição de volume do gás envolve a correção simultânea dos parâmetros pressão e temperatura, além da própria composição do gás considerado. Deve-se ressaltar, entretanto, que uma incerteza de medição não corresponde a um erro de medição, mas indica a faixa de valores dentro da qual se encontra o verdadeiro volume medido.

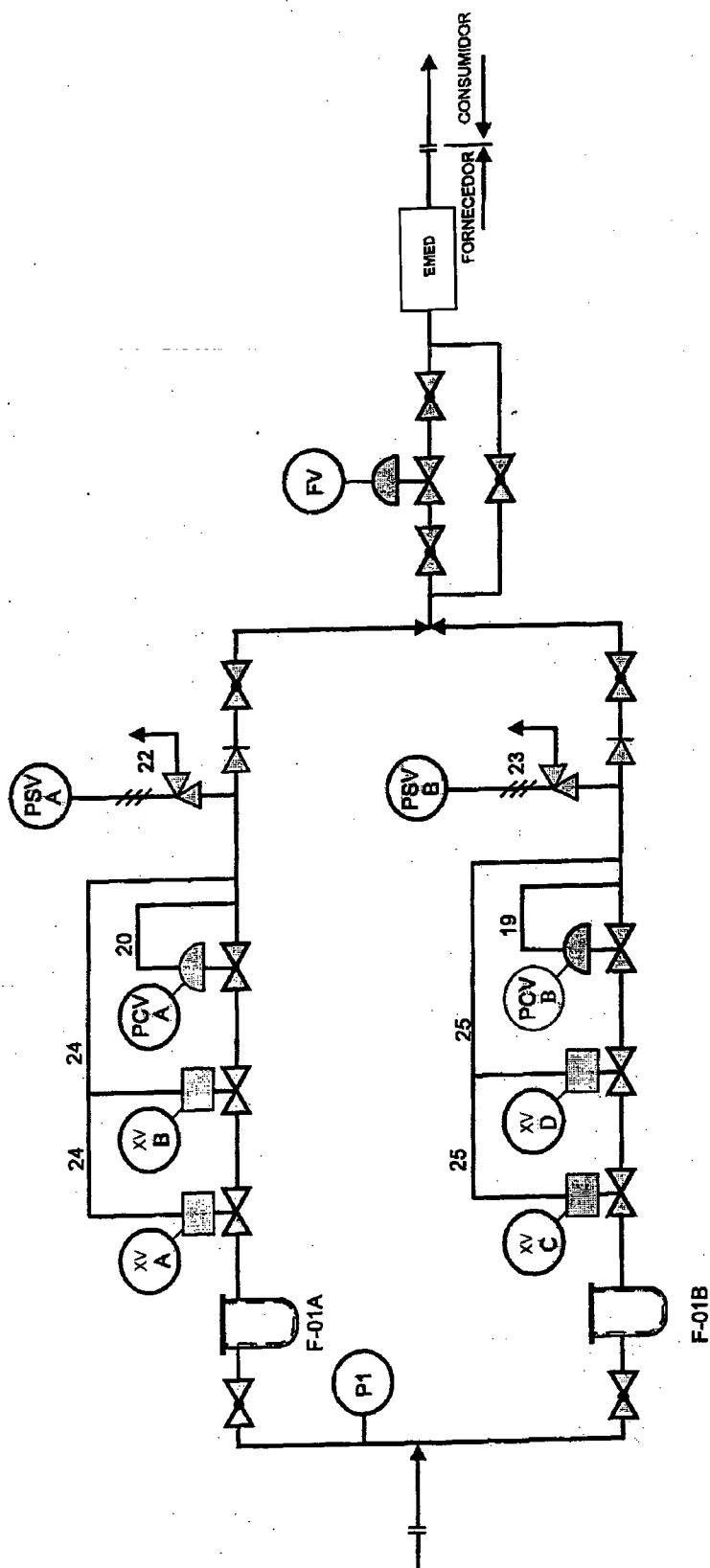


FIGURA 4.6 – Fluxograma típico de uma Estação de Medição e Regulagem de Pressão – EMRP  
(Lepsch, 1997)

### **4.4.2 – Operação de uma EMRP**

A figura 4.6, além de mostrar uma EMRP típica, servirá também para descrever o princípio de funcionamento desse sistema. Em operação normal, a pressão de saída da EMRP é mantida pela PCV-A em 20 bar e a PCV-B permanece fechada; caso a PCV-A apresente problema e não consiga manter a pressão, deixando a pressão de jusante subir, a válvula de alívio PSV-A abre. No entanto, as válvulas de alívio, normalmente, são reguladas para trabalhar numa faixa de pressão de apenas 10% acima da pressão considerada, permitindo dessa forma, que a pressão da linha continue subindo até os 24 bar, quando as válvulas de bloqueio XV-A e XV-B fecham interrompendo o fluxo de gás. Com o consumo se mantendo, a pressão cai até atingir os 19 bar, quando então a PCV-B assume o controle.

As válvulas de retenção colocadas após as válvulas de alívio impedem que, devido a proximidade dos “sets” das válvulas de bloqueio, as válvulas de bloqueio do ramal “by-pass” atuem junto com as válvulas de bloqueio do ramal de operação, o que bloquearia toda a EMRP, interrompendo o fluxo de gás.

Deve-se observar também pelo esquema que, caso o consumo de gás à jusante da EMRP seja interrompido, a pressão na saída dessa tende a subir e ambas as válvulas de controle, PCV-A e PCV-E, se fecham. Entretanto, a válvula de controle não garante estanqueidade e pode ocorrer passagem de gás. Assim, se não houvesse válvula de alívio, a pressão à jusante tenderia a subir até fechar as válvulas XV-A/XV-B em 24 bar e as válvulas XV-C/XV-D em 25 bar, ocasionando um bloqueio da estação quando o consumo reiniciasse. Porém, com as válvulas de alívio, e como uma passagem de gás esperada para as válvulas de controle fica em menos de 10%, antes do fechamento das válvulas de bloqueio, as válvulas de alívio, PSV-A e PSV-B, atuam, não deixando a pressão subir acima de 23 bar.

## **4.5 – Principais parâmetros envolvidos no projeto de uma rede de distribuição de gás**

Analogamente aos demais projetos de engenharia, um projeto de uma rede de distribuição de gás canalizado deve contemplar diversas fases ou etapas, bem como envolver uma série de considerações até a sua conclusão final. Nesse momento, far-se-á uma descrição sucinta

dessas considerações e fases que compõem essa atividade, objetivando dar ao leitor, uma noção geral sobre o assunto.

A definição da área de estudo, a qual deverá partir dos setores comerciais e de planejamento é o ponto de partida do projeto, visto que a construção de uma rede de distribuição de gás somente será viável caso existam consumidores potenciais que venham a remunerar o investimento realizado. Para fins de comparação, o preço médio aproximado de uma rede de distribuição é de US\$20,00/m.pol (vinte dólares por metro x polegada), ou seja, uma tubulação com diâmetro de 6" (seis polegadas) e 100m de comprimento, terá um custo aproximado de:  $20 \times 6 \times 100 = \text{US\$ } 12.000,00$ . Deve-se ressaltar que esse preço inclui não somente a tubulação, mas também, a mão-de-obra e os demais dispositivos necessários.

Na seqüência, outra consideração a ser feita diz respeito ao local onde o traçado da tubulação passará, dada a necessidade de obtenção de Licenças Ambientais de Construção e Operação, bem como a existência da possibilidade de desapropriação de terrenos particulares, o que, na medida do possível, deverá ser evitado. Em algumas situações, o traçado original do projeto poderá sofrer diversas alterações em função desses aspectos ou, até mesmo, em função de possíveis dificuldades do terreno, somente encontradas durante a fase de construção. Normalmente, diversos traçados alternativos são preliminarmente estudados.

Quanto ao projeto propriamente dito, o dimensionamento das linhas deverá ser efetuado aplicando-se a cada tramo do sistema a ser projetado a equação de *Renouard* (Bratfish, 1997), a seguir apresentada e que relaciona a vazão de projeto – Q, com os parâmetros pressão -  $P_1$  e  $P_2$  (atm), temperatura – T (°K), densidade relativa do ar - G, fator de compressibilidade do gás - Z, diâmetro – d (cm) e comprimento da tubulação – L (km). O procedimento deve ser iterativo, ou seja, adotam-se os diâmetros do sistema e verificam-se se as pressões satisfazem as condições mínimas pré-estabelecidas.

$$Q = 640 \cdot \left[ \frac{1,82 \sqrt{(P_1^2 - P_2^2)}}{\sqrt{Z \cdot G \cdot T \cdot L}} \cdot d^{2,65} \right] \quad (\text{m}^3/\text{dia}) \quad (4.1)$$

Para projetos de sistemas abertos (tubulação contínua), além das condições mínimas de pressão a serem atendidas, o gradiente de pressão deverá se manter o mais constante possível em todos os tramos ou bifurcações do sistema, de modo a garantir que nenhum estrangulamento venha a ocorrer. Tal problema provavelmente não ocorrerá em sistemas



fechados, ou em malhas, dado o maior balanceamento da rede de distribuição. Um sistema em malha oferece, também, uma maior confiabilidade no fornecimento de gás ao consumidor, dada a possibilidade do mesmo ser atendido por mais de uma fonte.

Definidos os diâmetros e o traçado da rede de distribuição, o projeto deverá contemplar também o detalhamento das EMRPs, ERPs, dos lançadores/recebedores de “pigs”, dos sistemas de odorização de gás (o gás natural na sua fonte é inodoro) e das válvulas em geral. A tubulação de gás deverá ser enterrada a uma profundidade mínima de um metro a partir da sua geratriz superior, e deverá ser totalmente revestida contra corrosão (no caso de aço carbono). Para tubulações de polietileno de alta densidade (PEAD), tal revestimento, evidentemente, torna-se desnecessário. Além desse revestimento especial (polietileno extrudado), um projeto adequado de proteção catódica deverá ser realizado, de forma a garantir uma vida útil de aproximadamente vinte anos para o sistema.

Outro aspecto importante a ser considerado nesse tipo de projeto, são os procedimentos a serem executados caso qualquer acidente ou vazamento venha a ocorrer ao longo da tubulação. Normalmente são definidos os principais passos a serem tomados, como, por exemplo, o fechamento das válvulas de bloqueio intermediárias ao trecho, o isolamento da área afetada (se for o caso), a comunicação aos órgãos competentes, entre outros. O histórico de acidentes com gás mostra que, na maioria das vezes, os mesmos ocorrem com GLP (que é mais denso do que o ar, ao contrário do gás natural) e são oriundos de erros de projeto ou de instalação na parte interna do consumidor (prédios, condomínios e shoppings-centers, por exemplo). Acidentes com gás natural, quando ocorrem, são, na maioria das vezes, oriundos da interferência de terceiros, como por exemplo: obras de saneamento, telefonia, ou energia elétrica. A tubulação de gás canalizado contém uma faixa de identificação um pouco acima da sua superfície, o que, quando se tratam de escavadeiras ou equipamentos similares, não é o suficiente para evitar um possível acidente.

Quanto aos consumidores, o projeto e a construção da sua rede interna (da EMRP até os seus pontos de consumo) são de sua total responsabilidade, cabendo à empresa distribuidora de gás apenas as recomendações solicitadas e a liberação final da instalação, preliminarmente à ligação propriamente dita deste consumidor. Dessa forma, pode-se considerar que o projeto de uma rede de distribuição fica compreendido entre o “City-Gate”, que é o ponto de entrega do gás à empresa distribuidora até as respectivas EMRPs, que correspondem aos pontos de entrega de gás aos diversos clientes.

Finalizando, é importante salientar que todos esses aspectos serão melhor discutidos e considerados no capítulo seguinte, denominado Projeto de Redes de Distribuição de Gás, o qual pode ser considerado como um dos pontos centrais do presente trabalho.

# **Capítulo 5**                      **Projeto de Redes de Distribuição de Gás**

## **5.1 - Introdução**

Analogamente aos demais projetos de engenharia, o projeto de uma rede de distribuição de gás canalizado deve contemplar diversas fases ou etapas, bem como envolver uma série de considerações até a sua conclusão final. O presente capítulo tem por objetivo traduzir as principais características dessas fases, seguindo a metodologia de Pahl&Beitz (1988) e enfocando, sempre que possível, o parâmetro da confiabilidade, conforme discutido no capítulo 3.

Nas etapas subseqüentes do capítulo, as quais estão ordenadas conforme a seqüência proposta por Pahl&Beitz (conforme figura 3.1), faz-se uma descrição sucinta dos principais aspectos a serem considerados etapa por etapa. Por outro lado, a experiência demonstra que dadas as particularidades desse tipo de projeto, alguns dos passos propostos na metodologia em questão não são totalmente contemplados, o que, entretanto, não inviabiliza a sua utilização.

## **5.2 – Definição da tarefa**

Diferentemente de outros projetos, onde normalmente se trabalha sob o enfoque de um novo produto, o projeto de uma rede de distribuição de gás pode ser comparado, desde que guardadas as devidas proporções, ao projeto de uma usina hidroelétrica, onde normalmente existe um padrão mais ou menos definido e os projetistas são especialistas na área em questão. Por outro lado, algumas diferenças fundamentais devem ser destacadas, visto que o número de usinas hidroelétricas existentes em nosso país é muito grande e, conseqüentemente, a existência de profissionais qualificados e experientes é muito maior.

Dessa forma, o universo correspondente a definição da tarefa não é muito extenso, dado que muitos dos requisitos de projeto já são definidos em normas específicas, as quais traduzem uma série de exigências para esse tipo de projeto. A existência de outros projetos

similares também deve ser considerada, visto que um dos principais objetivos do presente trabalho é ordenar as ações do projetista através da metodologia adotada como referência.

A tabela 5.1 a seguir, traz os passos correspondentes a primeira etapa da metodologia de Pahl&Beitz, designada **definição da tarefa**, e apresenta as principais considerações (as quais são discutidos detalhadamente na seqüência) que devem ser levantadas, nesse momento, pelo projetista de redes de distribuição de gás. Deve-se ressaltar, ainda, que os considerações em destaque (\*) foram inseridas seguindo a proposta apresentada no capítulo 3 do presente trabalho.

**TABELA 5.1 – Definição da tarefa para uma rede de distribuição de gás**

Planejar e identificar a tarefa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir a área de estudo;</li> <li>• Tomar conhecimento da oferta de gás natural;</li> <li>• Definir as diretrizes gerais de fornecimento;</li> <li>• Definir o tempo de vida previsto para a rede de distribuição considerada (*).</li> </ul>
Analisar o mercado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar o levantamento da demanda;</li> <li>• Definir a área de projeto;</li> <li>• Levantar as condições ambientais existentes na área de projeto definida;</li> <li>• Efetuar o levantamento das necessidades dos clientes;</li> <li>• Levantar a criticalidade dos clientes finais (*).</li> </ul>
Selecionar idéias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir diversos traçados alternativos;</li> <li>• Definir os parâmetros a serem considerados para a estimativa da confiabilidade da rede (*);</li> <li>• Estudar a possibilidade de “malhas” fechadas (*).</li> </ul>
Elaborar as especificações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabalhar as necessidades visando a obtenção dos requisitos de projeto;</li> <li>• Levantar as normas técnicas, portarias e recomendações existentes sobre o assunto (*);</li> <li>• Solicitar a(s) licença(s) prévia(s) de instalação ao órgão competente.</li> </ul> <p>(*) parâmetros vinculados ao aspecto da confiabilidade</p>

### **5.2.1 – Planejar e identificar a tarefa**

- Definir a área de estudo – trata-se do ponto de partida do projeto e corresponde a área geográfica na qual vão se desenvolver os estudos de demanda. Normalmente essa atividade não pertence exclusivamente ao projetista, mas apresenta uma participação efetiva do setor comercial ou até mesmo da diretoria da empresa concessionária. Deve-se ressaltar também, que outros fatores externos poderão vir a intervir nesse estudo, como por exemplo: aspectos políticos ou a necessidade de desenvolvimento de uma dada região. Um bom resultado final para essa atividade, pode ser conseguido pelo levantamento detalhado das indústrias, comércios e até mesmo aglomerados residenciais existentes ou que possam vir a se implantar na área considerada. Para se contemplar o levantamento dessas informações pode-se, em muitos casos, realizar uma consulta junto a bancos de desenvolvimento, Secretarias de Estado, Associações e até mesmo Sindicatos.
- Tomar conhecimento da oferta de gás natural – o conhecimento da oferta de gás natural nacional ou importado nos limites da região de abastecimento estudada é fundamental para o desenvolvimento do projeto da rede de distribuição. Além disso, o conhecimento adicional das reais possibilidades de novas importações ou novas descobertas de gás, com suas respectivas condições comerciais de fornecimento, poderá definir estratégias ou áreas de estudo complementares por parte do projetista.
- Definir as diretrizes gerais de fornecimento – tendo-se a definição precisa da área de estudo e da oferta de gás natural, cabe ao projetista definir o tipo predominante de consumidor a ser atendido (residencial, comercial ou industrial). Novamente, a participação da área comercial ou da diretoria é fundamental para a definição desse passo, pois a política da empresa concessionária, bem como algumas particularidades específicas de cada tipo de consumidor é que irão determinar o mercado predominante. Deve-se destacar, entretanto, que as indústrias de grande porte, consideradas como “clientes âncoras”, é que poderão vir a viabilizar economicamente o investimento a ser efetuado num dado trecho ou rede de distribuição. Tomando-se, por exemplo, a COMGÁS, que fatura R\$ 285 milhões com aproximadamente 280.000 clientes (residenciais, comerciais e industriais), é importante salientar que apenas 500 clientes industriais traduzem, aproximadamente, 65% desse faturamento (COMGÁS, 1989). Dados relativos ao tamanho dos consumidores também são importantes e devem ser complementados no passo seguinte da metodologia, designado análise do mercado.

- Definir o tempo de vida previsto para a rede de distribuição considerada – para se trabalhar um determinado projeto sobre o ponto de vista da confiabilidade, e até mesmo da manutenibilidade, deve o projetista, estar bem seguro da vida útil requerida para seu produto ou sistema. No caso específico do transporte canalizado de fluidos, alguns parâmetros são fundamentais para tal estimativa, dado a própria natureza do empreendimento. O fenômeno da corrosão, por exemplo, é um desses parâmetros, pois dependendo das condições ambientais e da característica do fluido transportado, considerações especiais devem ser previstas em projeto, visando o atendimento ao fator tempo considerado.

### **5.2.2 – Analisar o mercado**

- Efetuar o levantamento da demanda – um dos pontos mais importantes para o dimensionamento final das tubulações, bem como o seu encaminhamento mais provável, está diretamente associado ao estudo da demanda do mercado em questão. Normalmente, o planejamento da demanda é efetuado por uma pesquisa específica associada a um questionário básico, o qual contém um conjunto de informações necessárias, e é aplicado diretamente aos consumidores por pessoas que conhecem efetivamente o mercado no detalhe de cada segmento. Segundo Pereira (1997), a PETROBRÁS classifica a demanda de gás natural para o setor industrial em demanda potencial, demanda factível e demanda de penetração, onde:
  - 1) demanda potencial - estudo dos municípios localizados numa área de influência de até 50 km de gasodutos existentes ou projetados, desde que se tenha, evidentemente, viabilidade técnica. Nesse estudo, uma ênfase especial deve ser dada à substituição de todos os energéticos consumidos na área em questão;
  - 2) demanda factível - trata-se de uma projeção da substituição dos energéticos utilizados por gás natural, considerando-se alguns condicionantes estratégicos como: ritmo de implantação das redes de distribuição, implantação das modificações internas de cada consumidor e aspectos ambientais, por exemplo. Algumas premissas de exclusão devem ser consideradas para compor a demanda factível, como por exemplo: excluir segmentos de mercado sem viabilidade econômica para gás natural (cimenteiras, cerâmica vermelha, etc.), excluir energéticos que sejam subprodutos do próprio processo industrial (cavacos em madeiras), excluir energéticos que sejam abundantes numa dada região e excluir energéticos considerados de consumo cativo dentro do segmento industrial (carvão vegetal na siderurgia);
  - 3) demanda de penetração - novamente uma projeção da substituição de energéticos por gás

natural deve ser efetuada, considerando-se, entretanto, outros aspectos mais específicos, como por exemplo: a relação de preço entre o gás e o combustível substituído, a capacidade de investimento do consumidor e o crescimento setorial dos diversos setores industriais, entre outros.

- Definir a área de projeto – a aplicação das diretrizes de fornecimento à área de estudo, permite que a mesma seja reduzida à chamada “área de projeto”, ou mais precisamente, à área de atuação direta do projetista de redes. Com o auxílio do planejamento da demanda, pode-se também excluir as possíveis zonas vazias e, com isso, direcionar o investimento a ser efetuado.
- Levantar as condições ambientais existentes na área de projeto definida – nesse momento, tendo o projetista definido a sua área de atuação, deverá o mesmo efetuar um levantamento detalhado das condições ambientais existentes, visto a necessidade de se trabalhar com algumas dessas variáveis nas etapas subsequentes do próprio projeto. Um exemplo dessa situação corresponde à mínima temperatura local possível, dado a possibilidade de congelamento das estações de redução de pressão quando em operação. Na prática, uma variação de pressão de 20 bar, por exemplo, ocasionará uma abaixamento de temperatura equivalente à 10°C na válvula reguladora de pressão, podendo assim, ocasionar um congelamento local do sistema.
- Efetuar o levantamento das necessidades dos clientes – inicialmente cabe ao projetista efetuar um levantamento de todos os “clientes” que estejam associados de alguma forma ao projeto. Preliminarmente, pode-se considerar que existem os clientes externos ou consumidores, os clientes intermediários, ou seja, todo pessoal responsável pela construção, operação e manutenção da rede e os clientes internos, ou seja, o pessoal da área comercial e assistência técnica ao cliente. Após essa definição, deve-se efetuar o levantamento das necessidades juntamente a todo esse pessoal, visando se chegar aos chamados “requisitos de projeto”.
- Levantar a criticalidade dos clientes finais – além do levantamento das necessidades dos consumidores ou clientes finais, deve-se efetuar um levantamento individualizado de cada equipamento (fornos, caldeiras, etc.) no que diz respeito a possibilidade da sua conversão para gás natural. Outro fator muito importante a ser considerado é a não possibilidade desse consumidor permanecer sem o fornecimento de gás por um dado período de tempo, visto que, em algumas situações, a disponibilidade do combustível é fatal para o processo ou até mesmo

para o equipamento considerado (como é o caso de alguns fornos cerâmicos).

### **5.2.3 – Selecionar idéias**

- Definir diversos traçados alternativos – similarmente ao projeto de um produto, onde normalmente se trabalha sob diversas idéias de soluções, nessa situação também cabe ao projetista efetuar uma análise prévia para se estudar vários traçados alternativos dentro da área de projeto. Tal estudo justifica-se, principalmente, pela possibilidade de um dado traçado preliminar cruzar uma propriedade particular ou alguma região sob jurisdição de outros órgãos governamentais. Evidentemente, por se tratar de um projeto considerado de utilidade pública, torna-se mais coerente executar a construção da rede em vias públicas, o que evitará, principalmente, problemas de desapropriação de terrenos particulares. Outro aspecto que também pode ser levantado, superficialmente nesse momento, é a existência de interferências ao longo do traçado (rios, pontes, terrenos não apropriados, etc.), as quais, somente poderão ser detectadas com precisão na fase do traçado preliminar. Os chamados “clientes âncoras” também poderão vir a gerar traçados alternativos, visto que em muitas situações, uma rede somente será executada caso um determinado cliente desse porte venha realmente utilizar o gás natural. Recomenda-se, para situações desse tipo, que seja, no mínimo, firmado um protocolo de intenções, preliminarmente.
- Definir os parâmetros a serem considerados para a estimativa da confiabilidade da rede – para se definir, com precisão, a confiabilidade desejada para uma rede de distribuição de gás canalizado, diversos parâmetros deverão ser considerados nesse estudo. Evidentemente, num primeiro momento, dado a falta de informações e de históricos sobre o assunto, deverá o projetista, considerar algumas simplificações preliminares em seu trabalho. Aspectos vinculados a confiabilidade no fornecimento (ao longo do transporte do gás), intervenção de terceiros sobre a rede, e até mesmo problemas vinculados á tarifação ou preço do gás, poderão, nesse primeiro momento, serem desconsiderados pelo projetista, ou ainda, serem considerados, mas, com confiabilidade igual á unidade.
- Estudar a possibilidade de “malhas” fechadas – uma das grandes preocupações dos consumidores de gás canalizado é a não disponibilidade desse combustível em algumas circunstâncias, seja por algum problema operacional, seja pela falta de pressão na linha. A concepção de um traçado em malha fechada, possibilita que a rede de distribuição trabalhe como se fosse um “pulmão”, dando uma maior garantia de pressão na linha e



consequentemente minimizando esse possível problema. Diferentemente, um traçado em malha aberta pode apresentar problemas, principalmente aos consumidores em final de linha, visto que a perda de carga é diretamente proporcional ao comprimento da tubulação. Dessa forma, um estudo associado a essa disposição da linha deve ser efetuado, considerando, é claro, os aspectos de custos e a criticalidade dos consumidores em final de linha.

### **5.2.4 – Elaborar as especificações**

- Trabalhar as necessidades visando a obtenção dos requisitos de projeto – após a definição das necessidades de todos os clientes preliminarmente considerados, o projetista tem agora a missão de obter os requisitos de projeto. Nessa fase, o uso da ferramenta conhecida como QFD ou Casa da Qualidade (Akao, 1996) pode ser utilizada com grande êxito, pois além de se conseguir passar da abstração (necessidades) para uma linguagem de engenharia (requisitos), ainda é possível priorizar o desejo dos clientes em termos de importância. A referida ferramenta, num segundo momento, pode também ser utilizada em termos de comparação com outros projetos similares, o que, com certeza, fornecerá subsídios para projetos futuros.
- Levantar as normas técnicas, portarias e recomendações existentes sobre o assunto – a princípio, é do conhecimento dos projetistas de redes de gás, em geral, a norma brasileira NBR-12712 (Projeto..., 1993) e a norma americana ANSI B.31.8 no tocante à redes de distribuição de gás. Por outro lado, existe uma série de recomendações de fabricantes, portarias do INMETRO, normas internas de órgãos públicos (DER, DNER, por exemplo) e até mesmo normas de outras companhias distribuidoras de gás em nosso país, que devem ser levantadas e consideradas pela equipe de projetos responsável, visando o atendimento e até mesmo, possíveis considerações adicionais dentro do referido trabalho.
- Solicitar a(s) licença(s) prévia(s) de instalação ao órgão competente – os aspectos ambientais vinculados às alternativas preliminares de traçado serão analisados através de um órgão competente, o qual, mediante solicitação, poderá emitir uma licença prévia de instalação. Tal licença, em algumas circunstâncias, somente será emitida após um estudo de análise de risco da área considerada ou ainda, em situações mais específicas, após um estudo de EIA/RIMA (estudo de impacto ambiental). Deve-se ressaltar que tal solicitação deve ser efetuada com bastante antecedência, visto que um estudo de EIA/RIMA, por exemplo, pode levar de 6 à 12 meses para ser concluído.

## 5.3 – Projeto Conceitual

Algumas das principais ferramentas normalmente utilizadas dentro da fase do projeto conceitual não apresentam uma aplicação direta para o caso de uma rede de distribuição de gás, dado as particularidades já discutidas para esse tipo de projeto. Por outro lado, outras tantas técnicas como o “brainstorming” e a análise do valor, por exemplo, podem facilmente ser adaptadas e utilizadas com bastante resultado.

Similarmente ao item anterior, construiu-se a tabela 5.2, na qual todos os passos correspondentes a segunda etapa da metodologia de Pahl&Beitz (1988), designada **projeto conceitual**, são discutidas no contexto do projeto de uma rede de distribuição de gás. Novamente, os parâmetros associados à confiabilidade do sistema foram inseridos seguindo a proposta apresentada no capítulo 3 do presente trabalho.

**TABELA 5.2** – Projeto Conceitual de uma rede de distribuição de gás

Identificar os problemas essenciais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir o tipo de parâmetro de projeto a ser adotado;</li> <li>• Executar um planejamento urbano;</li> <li>• Definir as pressões de projeto;</li> <li>• Identificar as variáveis químicas do gás;</li> <li>• Levantar o histórico de acidentes e suas respectivas causas em redes de distribuição de gás canalizado (*);</li> <li>• Levantar o histórico de falhas em redes de distribuição de gás canalizado (*);</li> <li>• Definir claramente os itens, considerados mais críticos dentro de uma rede de distribuição de gás, quanto a possíveis falhas (*).</li> </ul>
Estabelecer estruturas de análise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classificar as áreas de risco;</li> <li>• Estudar as possibilidades de testes para as válvulas de bloqueio intermediárias (*);</li> <li>• Identificar condições de uso e operação a serem descartadas ou consideradas externas ao projeto (*);</li> <li>• Dividir os traçados alternativos em trechos.</li> </ul>

**TABELA 5.2 – Projeto Conceitual de uma rede de distribuição de gás (continuação)**

<p>Combinar e concretizar em variantes de concepção</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Executar o pré-dimensionamento da tubulação;</li> <li>• Levantar a taxa de falhas dos acessórios (válvulas, medidores, filtros, etc.), em geral (*);</li> <li>• Levantar os possíveis tipos de falhas desses acessórios (*);</li> <li>• Considerar a possibilidade de EMRPs simples e duplas (*);</li> <li>• Construir modelos matemáticos para o cálculo da confiabilidade das EMRPs (*);</li> <li>• Construir modelos matemáticos para o cálculo da confiabilidade das ERPs (*);</li> <li>• Identificar procedimentos visando a detecção de possíveis falhas (*);</li> <li>• Analisar projetos de sistemas de segurança.</li> </ul>
<p>Avaliar segundo critérios técnicos e econômicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Executar estudos de viabilidade técnico-econômica dos trechos;</li> <li>• Estudar a possibilidade de novos materiais e equipamentos, bem como, a sua viabilidade técnico-econômica (*);</li> <li>• Verificar possíveis parâmetros confiabilísticos em contratos de fornecimento (*).</li> </ul> <p>(*) parâmetros vinculados ao aspecto da confiabilidade</p>

### **5.3.1 – Identificar os problemas essenciais**

- Definir o tipo de parâmetro de projeto a ser adotado – o dimensionamento dos sistemas, efetuado a partir das vazões de projeto, as quais estão ainda associadas ao levantamento da demanda, deve ser realizado utilizando-se coeficientes estimativos, designados parâmetros de projeto. Tais parâmetros são estimados em função de valores históricos das áreas de serviço de gás, similares ao projeto efetuado. É evidente que uma definição mais precisa desses valores depende de cada caso, bem como da experiência do projetista. Segundo Bratfish (1997), os parâmetros de projeto devem ser levantados pela setorização dos consumidores, sendo os parâmetros residenciais os mais facilmente determinados. A COMGÁS, por exemplo, adota parâmetros residenciais em função dos artefatos existentes (fogões, fornos, aquecedores, etc.) e do nível sócio-econômico da área de projeto considerada. Como

parâmetros comerciais, trabalha-se com dados relativos a grandes comércios, como hotéis e hospitais e, quanto aos parâmetros industriais, mais difíceis de serem determinados dada a grande diversificação das indústrias existentes, sugere-se além do levantamento da demanda potencial, uma estimativa aceitável do fator de simultaneidade (relação entre o consumo máximo e a carga instalada) associado a uma caracterização precisa de eventuais sazonalidades de consumo.

- Executar um planejamento urbano – o fator determinante da expansão, e até mesmo operação e manutenção de um sistema de distribuição de gás numa região considerada urbana, é o planejamento para utilização e ocupação do solo. Dessa forma, torna-se importante efetuar um planejamento detalhado considerando os cadastros das outras empresas serventúrias (água, esgoto, telefonia, etc.), os quais, associados aos traçados da rede de distribuição, servirão como referência ao projetista no sentido de proporcionar pequenas alterações, visando uma redução nos custos de implantação e conseqüentemente uma minimização nos riscos de acidentes.
- Definir as pressões de projeto – uma definição que merece muito cuidado por parte do projetista é a escolha das pressões de projeto para a rede de distribuição considerada, visto que a norma NBR-12712 (Projeto..., 1993) não estabelece nenhuma limitação direta em termos desse parâmetro. Deve-se ressaltar entretanto os seguintes pontos: (1) a espessura de parede da tubulação a ser projetada é função direta da pressão de projeto (quanto maior a pressão, maior a espessura de parede da tubulação); (2) para uma mesma vazão, uma maior pressão permite um menor diâmetro para a tubulação; (3) para um maior diferencial de pressão entre a entrada e saída de uma EMRP, maiores são as exigências de segurança, descritas por norma; (4) algumas áreas de risco, classificadas por norma, exigem maior segurança para pressões mais elevadas; (5) a pressão de entrada em clientes industriais, normalmente limitada em 2 bar, será mais facilmente alcançada para maiores pressões ao longo da linha de distribuição. Dessa forma, a atuação do projetista nesse momento deve ser bastante criteriosa, pois diversas são as variáveis que atuam direta ou indiretamente na sua escolha final. Evidentemente, a comparação com a pressão de trabalho de outras redes de distribuição existentes também é uma boa referência inicial para um dado projeto.
- Identificar as variáveis químicas do gás – o projeto de uma rede de distribuição é efetuado tomando-se por base algumas variáveis químicas básicas do gás considerado, como a sua própria composição química, que, para o gás natural, não apresenta uma grande

diversificação. Mesmo assim, o reconhecimento dessas variáveis é fator importante para o projetista, pois outros estudos poderão ser necessários dentro desse contexto, dependendo da região e das condições ambientais do projeto. O levantamento da possibilidade de condensação de frações pesadas do gás, da possibilidade de polimerização do gás e da possibilidade de formação de água livre ao longo da linha de distribuição, são informações importantes e que também devem ser consideradas em projeto.

- Levantar o histórico de acidentes e suas respectivas causas em redes de distribuição de gás canalizado – semelhante ao item anterior, o levantamento da maioria dos acidentes envolvendo redes de gás canalizado torna-se extremamente importante nesse momento, tanto pelas considerações de projeto a serem efetuadas, como também pelas informações que, certamente, subsidiaram a obtenção de licenças junto à órgãos ambientais, principalmente.
- Levantar o histórico de falhas em redes de distribuição de gás canalizado – visando a obtenção de dados para as fases seguintes do projeto, cabe à equipe de projetos, efetuar uma pesquisa detalhada de todas as falhas ocorridas em redes de distribuição de gás existentes e que estejam em operação. Tal levantamento, permitirá dar uma diretriz inicial a ser seguida pela equipe de projetos responsável, bem como, direcionar os estudos para situações mais específicas de falhas. Evidentemente, dado o pequeno universo de redes instaladas, até o momento, em nosso país, provavelmente, poucas serão as informações a serem obtidas dentro desse contexto.
- Definir os itens, considerados mais críticos, quanto a possíveis falhas – numa rede de distribuição de gás, a qual não apresenta uma grande diversificação em termos de componentes e acessórios, torna-se possível, já na fase do projeto conceitual, efetuar um levantamento dos itens que provavelmente poderão vir a apresentar problemas quando da sua colocação em operação. Em seguida, cabe à equipe de projetos, efetuar uma classificação em termos da criticalidade de cada componente ou acessório para o sistema como um todo.

### **5.3.2 – Estabelecer estruturas de análise**

- Classificar as áreas de risco – a área de projeto, definida preliminarmente na análise do mercado, deve ser subdivida em áreas de menor tamanho de acordo com uma classificação em áreas de risco, o que poderá ocasionar maiores exigências de projeto quanto ao dimensionamento da tubulação e quanto a disposição das válvulas de bloqueio intermediárias.

A norma NBR-12712 (Projeto..., 1993) apresenta uma classificação de locação baseada principalmente no grau de atividade humana e no número de edificações existentes em cada região, bem como alguns critérios para determinação das divisas entre classes de locação diferenciadas. Após essa subdivisão, o projetista terá dados suficientes para o posterior dimensionamento da rede de distribuição, levando-se em consideração ainda as exigências de segurança apresentadas em norma.

- Estudar a possibilidade de testes para as válvulas de bloqueio – as referidas válvulas trabalham como equipamentos de proteção e segurança, normalmente em “standby”, podendo entrar em funcionamento no momento em que ocorra uma variação anormal da pressão ao longo da rede de distribuição. Durante o período em que o sistema permanece inativo, a ocorrência de uma possível falha normalmente não é detectada e conseqüentemente não será reparada. Assim, para se evitar a indisponibilidade desses equipamentos, deve-se prever testes periódicos, objetivando a detecção dessas possíveis falhas e o seu respectivo reparo. Segundo Santos (1996), esses testes não acarretam um aumento da confiabilidade do sistema, mas permitem um efeito positivo na disponibilidade do mesmo.
- Identificar condições de uso e operação consideradas externas ao projeto – alguns pontos associados à rede de distribuição, devem ser desconsiderados pela equipe de projetos, como por exemplo: a não utilização de “back-ups” por parte de consumidores considerados não críticos (a possível falta de gás, não traria grandes complicações para o usuário), o possível consumo de gás acima do contratado, por parte de consumidores de pequeno e médio porte (a capacidade da tubulação supriria facilmente esse excesso), as instalações internas de cada consumidor (a responsabilidade pelo projeto e execução dessa rede deve ser do próprio consumidor), etc. Tais condições, se desconsideradas em projeto, certamente contribuirão para o desenvolvimento do trabalho do projetista.
- Dividir os traçados alternativos em trechos – os programas de instalação, operação e manutenção, a serem definidos posteriormente pelo projetista, serão mais facilmente adaptados para atender trechos intermediários ou independentes da rede de distribuição. Assim, uma divisão dos traçados alternativos em trechos intermediários é um aspecto importante a ser considerado, pois além de permitir uma visão mais abrangente do sistema ao projetista, favorecerá a identificação mais clara dos possíveis problemas. Normalmente essa divisão pode ser efetuada por municípios, por grupos de empresas, ou ainda, por faixas de pressão a serem adotadas no sistema.

### **5.3.3 – Combinar e concretizar em variantes de concepção**

- Executar o pré-dimensionamento da tubulação – conhecendo-se os volumes destinados a cada futuro consumidor, conforme levantamento da demanda associada aos parâmetros de projeto, pode o projetista executar um pré-dimensionamento dos diâmetros das tubulações da rede de distribuição. Esse cálculo, que pode ser efetuado inicialmente pela equação de *Renouard* (equação 4.1), fornecerá subsídios preliminares para os chamados “estudos de viabilidade técnico-econômica” a serem executados antes da definição do traçado final da rede. Evidentemente, após essa definição, outros cálculos envolvendo os parâmetros velocidade, perda de carga e regime de operação dos principais consumidores deverão ser executados através de um programa específico para simulação de redes.
- Levantar a taxa de falhas dos acessórios – a maioria dos acessórios ou componentes a serem utilizados ao longo da rede de distribuição devem ter suas taxas de falhas levantadas nesse momento, seja junto aos respectivos fornecedores ou junto a possíveis bancos de dados a serem desenvolvidos. Tal levantamento tem por objetivo fornecer subsídios ao projetista de redes, viabilizando a consideração da confiabilidade nas etapas posteriores do projeto.
- Levantar os possíveis tipos de falhas – tendo-se uma listagem desses acessórios ou componentes com suas respectivas taxas de falhas, torna-se possível realizar um estudo junto a cada fornecedor ou a outros projetos similares, visando levantar os possíveis tipos de falhas que possam vir a ocorrer, bem como classificar essas falhas em termos da sua criticalidade para o sistema.
- Considerar a possibilidade de EMRPs simples e duplas - as EMRPs a serem instaladas nos consumidores, podem ser construídas com linhas simples ou linhas duplas, dependendo, a princípio, do tamanho do consumidor considerado (consumidores maiores justificam um maior investimento em termos de medição, principalmente), bem como, da política da empresa distribuidora. Dessa forma, cabe à equipe de projetos, analisar essas possibilidades e definir especificamente o que será adotado em projeto.
- Construir modelos matemáticos para o cálculo da confiabilidade das EMRPs - visando um projeto que considere as variáveis de confiabilidade, cabe ao projetista, também, realizar um estudo comparativo entre a confiabilidade de uma EMRP simples e uma EMRP dupla, visto que esse dispositivo contém os principais equipamentos e acessórios que poderão vir a

apresentar falhas durante a operação do sistema.

- Construir modelos matemáticos para o cálculo da confiabilidade das ERPs – as ERPs, a serem instaladas nos pontos correspondentes às mudanças de classe de pressão ou às mudanças de material (aço carbono x PEAD), certamente influenciarão diretamente a confiabilidade do sistema de distribuição, visto que tais dispositivos são bastante similares às EMRPs e, conseqüentemente, contém os principais equipamentos e acessórios que podem vir a apresentar falhas quando em operação.
- Identificar procedimentos visando a detecção de possíveis falhas – a necessidade de se elaborar, futuramente, um manual de operação para a rede considerada, exigirá que alguns pontos sejam levantados ainda na fase do projeto conceitual. Dessa forma, além da previsão de testes e verificações periódicas em componentes ou acessórios considerados mais críticos, deve ser efetuado um levantamento junto aos clientes finais, visando obter informações relativas ao perfil de consumo de cada um, como também, a possibilidade de se detectar, de forma imediata, qualquer variação na pressão do gás consumido.
- Analisar projetos de sistemas de segurança – assim como qualquer projeto, uma rede de distribuição de gás, deve prever a possibilidade de acidentes ocasionados pela intervenção de terceiros ou até mesmo de pessoas mal informadas. Dessa forma, alguns pontos devem ser considerados pela equipe de projetos ainda na fase conceitual. Exemplos dessa situação correspondem: a concepção a ser adotada para a instalação das ERPs/EMRPs, a sinalização a ser prevista para a rede, a possibilidade de se trabalhar com proteções adicionais (placas de concreto, por exemplo) contra possíveis intervenções de terceiros, entre outras tantas.

### **5.3.4 – Avaliar segundo critérios técnicos e econômicos**

- Executar estudos de viabilidade técnico-econômica dos trechos - cada trecho da rede de distribuição pode ou não apresentar uma viabilidade econômica em seu estudo. Dependendo do volume de gás a ser disponibilizado, por exemplo, o investimento inicial efetuado pode não oferecer o retorno financeiro esperado à empresa concessionária. Em outras circunstâncias, a relação entre o preço de compra e o preço de venda do gás pode ser o fator determinante para viabilizar a execução de um dado trecho. Assim, pode o projetista ter que procurar soluções alternativas para conseguir que um dado trecho, inicialmente sem viabilidade, torne-se viável,



seja pela redução de custos (como a redução no diâmetro da tubulação, por exemplo) ou ainda, pelo aumento no volume de gás a ser disponibilizado.

- Estudar a possibilidade de novos materiais e equipamentos – nos dias atuais o desenvolvimento de novos produtos, equipamentos e materiais é uma constante praticamente em todas as áreas. Evidentemente, a área de gás canalizado não poderia ser diferente, principalmente em nosso país que vem apresentando um desenvolvimento bastante progressivo nessa área. Assim, o projetista de redes deve acompanhar de perto essas novas descobertas, visando sempre utilizá-las ou até mesmo testá-las em seus novos projetos. Como exemplo dessa situação, tem-se atualmente a aplicação dos tubos de polietileno (PEAD) em redes de gás, em substituição gradativa aos tradicionais tubos de aço carbono. Esse novo material, ainda pouco difundido no Brasil, apresenta uma maior facilidade de manuseio (questão de peso), a eliminação das soldas tradicionais, a redução do número de soldas (até 8” de diâmetro os tubos de PEAD podem ser fornecidos em bobinas), e, principalmente, a eliminação dos revestimentos anti-corrosivos necessários aos tubos de aço carbono, tendo somente como limitação principal, a sua faixa de pressão de operação (atualmente limitada em 4 bar). Além desse exemplo, novos tipos de revestimentos, novos tipos de medidores e novas concepções para válvulas e acessórios também estão sendo desenvolvidos, ficando o projetista bem assessorado para inovar em seu projeto. A substituição de equipamentos ou acessórios que venham a apresentar uma alta taxa de falhas também estará contemplando um projeto com uma maior confiabilidade. Não se pode esquecer, entretanto, que um levantamento econômico, além do técnico, pode, em algumas circunstâncias, justificar a não substituição imediata de um dado componente, ainda que o mesmo apresente diversas vantagens técnico-operacionais ao sistema.
- Verificar possíveis parâmetros confiabilísticos em contratos de fornecimento – visando projetos que contemplem os aspectos de confiabilidade, principalmente, deve-se prever antecipadamente, possíveis exigências a serem inseridas nos contratos de fornecimento, que em algumas circunstâncias, serão celebrados junto à fornecedores de determinados materiais ou equipamentos. Assim, especificações vinculadas à taxa de falhas, por exemplo, poderão ser discutidas e exigidas como fator de fornecimento.

## 5.4 – Projeto Preliminar

A partir do momento que se tenha uma ou mais alternativas de traçado, com as respectivas vazões e correspondentes diâmetros, pode o projetista seguir para o projeto preliminar da rede de distribuição, também designado de projeto básico, para o caso de redes de gás.

A documentação correspondente ao projeto preliminar é bastante completa e conseqüentemente, todo o levantamento efetuado na fase do projeto conceitual é fundamental para se atingir um projeto que não venha a exigir um número elevado de modificações nas fases subseqüentes, como também durante a montagem ou operação do sistema.

A terceira etapa da metodologia de Pahl&Beitz (1988), designada evidentemente de **projeto preliminar**, está apresentada na tabela 5.3, onde novamente, faz-se uma subdivisão dessa etapa em seus respectivos passos, objetivando detalhar as atividades inerentes ao projeto de uma rede de distribuição de gás canalizado. Para se manter uma coerência com as etapas anteriores, os aspectos vinculados à confiabilidade, encontram-se em destaque na tabela.

**TABELA 5.3 – Projeto Preliminar de uma rede de distribuição de gás**

<p>Projetar formas preliminares, seleção de materiais e cálculos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Executar as simulações relativas aos traçados preliminares da rede;</li> <li>• Efetuar alterações nesses traçados preliminares, visando possíveis correções provenientes da simulação;</li> <li>• Analisar o projeto quanto ao emprego de redundâncias (*);</li> <li>• Efetuar o dimensionamento do sistema;</li> <li>• Concretizar a modelagem matemática das ERPs e EMRPs analisadas no projeto conceitual (*);</li> <li>• Trabalhar, se possível, com a ferramenta da árvore de falhas, visando identificar a confiabilidade requerida para cada item individual (*).</li> </ul>
<p>Selecionar os melhores leiautes preliminares</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir o traçado preliminar final da tubulação dentre os diversos traçados alternativos;</li> <li>• Executar um levantamento detalhado de todas as interferências existentes;</li> <li>• Verificar a compatibilidade funcional dos componentes adotados em projeto (*).</li> </ul>

TABELA 5.3 – Projeto Preliminar de uma rede de distribuição de gás (continuação)

Avaliar sob critérios técnicos e econômicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar um levantamento da relação custo x disponibilidade do sistema (*);</li> <li>• Estudar possíveis incompatibilidades gerais no projeto do traçado preliminar (*);</li> <li>• Estudar a possibilidade de ampliação futura para áreas adjacentes.</li> </ul>
Otimizar e completar o projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir a localização das válvulas de bloqueio e das estações reguladoras;</li> <li>• Encaminhar as solicitações para autorização de passagem junto a órgãos públicos e privados;</li> <li>• Levantar dados para a elaboração de um plano de emergência para a rede;</li> <li>• Levantar dados para a elaboração de um plano de manutenção para a rede (*);</li> <li>• Iniciar a organização do banco de dados (*).</li> </ul>
Verificar erros e controlar custos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilizar o projeto básico com a norma NBR-12712;</li> <li>• Elaborar uma revisão final do projeto básico.</li> </ul>
Preparar as listas preliminares e os documentos finais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar a documentação final do projeto básico;</li> <li>• Solicitar a(s) licença(s) de instalação e construção ao órgão competente.</li> </ul> <p>(*) parâmetros vinculados ao aspecto da confiabilidade</p>

### **5.4.1 - Projetar formas preliminares, seleção de materiais e cálculos**

- Executar as simulações dos traçados preliminares – dos possíveis e diversos traçados alternativos até então levantados, somente alguns serão mantidos a partir desse momento. Dessa forma, cabe ao projetista efetuar uma simulação mais detalhada desses traçados, visando a obtenção de todos os demais parâmetros até então não estudados mais profundamente, como velocidades, perdas de carga, pressões finais, entre outros. As referidas

simulações podem ser efetuadas manualmente (quando se tratar de um número de clientes, ou nós, relativamente pequeno) ou ainda, em softwares específicos para a simulação de redes de distribuição de gás. Atualmente, o software mais divulgado e recomendado para grandes redes de distribuição é o STONER da SWS, empresa americana especializada em softwares de simulação de redes (água, energia elétrica, gás, etc.). Para o caso específico do gás, as versões mais básicas, permitem a simulação de até 100.000 nós, simultaneamente.

- Efetuar as alterações nos traçados preliminares – a simulação dos traçados ainda considerados, certamente apresentará valores não recomendados para alguns dos parâmetros envolvidos no projeto de uma rede de distribuição. O parâmetro velocidade, por exemplo, deve-se situar na faixa de 20 m/s, visto que valores superiores a este, poderão vir a causar um arraste acentuado de partículas de pó ou pequenos fragmentos, ocasionando problemas ao longo da linha. Dessa forma, após a identificação dessas possíveis incompatibilidades, deve o projetista efetuar as devidas compensações no traçado da rede, trabalhando sob a alteração de diâmetros, traçados, comprimentos e até mesmo vazões. Evidentemente, para casos em que se utilize um programa de simulação, tais alterações serão facilmente efetuadas, possibilitando, inclusive, se chegar a solução de traçado mais viável.
- Analisar o projeto quanto ao emprego de redundâncias - todos os estudos, então, levantados que venham a apresentar resultados positivos, visando o emprego de redundâncias, devem ser gradativamente incorporados na versão final do projeto básico. Deve-se considerar porém, que o possível aumento no número de acessórios ou equipamentos, poderá vir a ocasionar um aumento proporcional no número de manutenções programadas para a rede, como também um custo adicional final. Por outro lado, todas as modificações que sejam efetuadas em cada projeto, deverão ser cadastradas objetivando fornecer dados para projetos futuros, o que justifica inclusive, o início da implementação de um banco de dados nesse momento.
- Efetuar o dimensionamento do sistema – após a definição das pressões de projeto, diâmetro das tubulações, classe de pressão dos materiais empregados e interferências de traçado, o projeto básico deve ser complementado com o dimensionamento da espessura de parede mínima necessária, sistema de proteção catódica e tipo de recobrimento anti-corrosivo a ser adotado, além da definição dos testes e ensaios aos quais a tubulação deverá ser submetida antes da operação. As condições mínimas relativas ao dimensionamento da espessura de parede, controle de corrosão e requisitos da qualidade superficial da tubulação estão detalhadas na norma NBR-12712 (Projeto..., 1993).

- Concretizar a modelagem matemática das ERPs e EMRPs – os diagramas de blocos referentes às ERPs e EMRPs (simples e duplas) levantadas na fase do projeto conceitual, devem ser trabalhados visando a obtenção dos modelos matemáticos equivalentes. Dessa forma, poder-se-á chegar a um número representativo da confiabilidade correspondente a cada um desses dispositivos, os quais, em termos gerais, são constituídos dos principais equipamentos e acessórios que poderão vir a apresentar o maior número de falhas quando em funcionamento. De posse desse valores, cabe ao projetista, efetuar uma avaliação final quanto ao uso de EMRPs simples ou duplas, como também, direcionar um estudo junto a fornecedores ou fabricantes, visando melhorias no projeto de seus respectivos equipamentos.
- Trabalhar, se possível, com a ferramenta da árvore de falhas – a partir do momento que a equipe de projetos possa iniciar a verificação das taxas de falhas adotadas em projeto, para cada componente da rede de distribuição, tornar-se-á possível definir novos parâmetros a serem exigidos durante a aquisição dos mesmos. Assim, a aplicação da árvore de falhas permitirá que um subsistema de maior porte (como uma ERP, por exemplo) possa ser desdobrado e conseqüentemente analisado sob o ponto de vista da confiabilidade requerida para cada item. Novamente, pode ser verificado a importância em se trabalhar com bancos de dados.

### ***5.4.2 - Selecionar os melhores leiautes preliminares***

- Definir o traçado preliminar final da tubulação – de posse de todas as informações até então levantadas, pode-se chegar a escolha do traçado final da tubulação, o qual na medida do possível, deverá contemplar todos os aspectos descritos nas fases anteriores. Por outro lado, é possível que pequenas alterações de traçado possam vir a ocorrer durante a fase de construção, seja em função das diversas variáveis envolvidas, como também das possíveis interferências não detectadas e que venham aparecer. Todas essas modificações são, entretanto, consideradas na etapa final da obra, através do chamado “projeto como construído” ou ainda, “as-built”.
- Executar um levantamento detalhado de todas as interferências existentes – tendo-se a definição do traçado final da tubulação, torna-se possível executar um levantamento detalhado de campo quanto a existência de cruzamentos com rodovias, ferrovias, cursos de água, linhas

de energia elétrica e outros obstáculos que possam vir a ocasionar qualquer dificuldade durante a execução da obra, principalmente. Os referidos obstáculos devem ser evitados sempre que possível, visto que para o posicionamento final da tubulação na vala, nessas circunstâncias, pode ser necessário a utilização de processos não destrutivos, denominados de “cravação”, os quais, além de mais onerosos, exigem também uma melhor qualificação do pessoal envolvido. Um conhecimento mais profundo do tipo de solo considerado, da existência de pântanos e terrenos rochosos é outro fator importante a ser considerado, visto que o preço do metro linear de tubo “lançado” é função direta das dificuldades apresentadas nesse sentido. Por outro lado, mesmo com todos esses cuidados, existe ainda a possibilidade de se encontrar, por exemplo, redes subterrâneas de telefonia e eletricidade durante a execução da obra, dada principalmente a baixa qualidade dos cadastros disponibilizados pelas companhias serventuárias.

- Verificar a compatibilidade funcional dos componentes adotados em projeto – de posse do traçado preliminar final, deve a equipe de projetos, efetuar uma verificação de todas as compatibilidades necessárias entre os componentes utilizados em projeto. Como exemplo dessa situação, pode-se considerar: as classes de pressão adotadas para as válvulas e tubulações, o tipo de medidor adotado para cada faixa de vazão, a capacidade do filtro utilizado nas estações de compressão e medição, os diâmetros projetados com as respectivas vazões de pico do sistema, entre outras tantas. Tomando-se esses cuidados, certamente, estará se trabalhando com um sistema onde as falhas operacionais ou problemas associados à possíveis incompatibilidades de componentes não virão a ocorrer.

### **5.4.3 - Avaliar sob critérios técnicos e econômicos**

- Efetuar um levantamento da relação custo x disponibilidade – visando um aumento na disponibilidade do sistema, ou ainda, na disponibilidade do gás canalizado como combustível, alterações de projeto deverão ser incorporadas, seja pela utilização de redundâncias, conforme já levantado, ou ainda, por modificações efetuadas pelo projetista dentro desse contexto. Dessa forma, é bastante provável que um custo adicional venha a ocorrer sobre o projeto final, justificando-se assim um estudo complementar no âmbito “custo x benefício”, de tal forma que o projetista tenha subsídios para avaliar e se necessário, defender essa nova

proposta.

- Estudar possíveis incompatibilidades gerais no projeto – similarmente ao levantamento efetuado quanto às compatibilidades funcionais dos componentes utilizados no projeto, uma análise mais global também deverá ser efetuada, visando contemplar todos os demais aspectos envolvidos nesse processo desde o levantamento das necessidades. Tal levantamento é bastante importante, visto que o tempo decorrido entre a primeira fase do processo de projeto à fase correspondente, normalmente, torna-se um pouco acentuado, permitindo assim que muitas modificações, até mesmo de mercado, possam vir a ocorrer.
- Estudar a possibilidade de ampliação futura para áreas adjacentes – muitas vezes o projeto de uma rede de gás não é executado visando contemplar de imediato todos os clientes potenciais existentes, seja pela não disponibilidade de gás, pela não adaptação dos consumidores ou até mesmo pela parcela de investimento então liberada. Logo, a possibilidade de uma futura ampliação da rede para áreas adjacentes ou até mesmo dentro da própria área de projeto, é fundamental para um bom projeto final, visto que um pequeno custo adicional permitirá contemplar diversos outros consumidores. Uma solução bastante viável nesse sentido, é a utilização de válvulas de espera, as quais deverão ser posicionadas em pontos considerados estratégicos, permitindo assim uma fácil adaptação das redes ou ramais adicionais que venham a ser necessários.

#### **5.4.4 - Otimizar e completar o projeto**

- Definir a localização das válvulas de bloqueio e das estações reguladoras – a colocação de válvulas de bloqueio, em sistemas de distribuição de gás, deve ser efetuado sempre visando a possibilidade de se bloquear o gás em um trecho da rede, no caso de acidentes, vazamentos ou até mesmo num simples procedimento de manutenção ou ligação de um novo consumidor. Assim, a determinação do espaçamento entre válvulas deve prever, no mínimo, aspectos de acessibilidade, continuidade e flexibilidade operacional e tempo de desgaseificação. Segundo a norma NBR-12712 (Projeto..., 1993), sistemas de distribuição em alta pressão, exigem que uma válvula seja instalada na tubulação de entrada de cada EMRP e que demais válvulas sejam instaladas ao longo da rede. Para sistemas de baixa pressão, entretanto, a mesma norma dispensa a utilização das referidas válvulas. Outros aspectos a serem considerados pelo projetista são: a possibilidade de “clientes críticos” serem afetados por um possível bloqueio

da linha e a não utilização do automatismo em válvulas de bloqueio intermediárias, o que poderia ocasionar problemas adicionais ao sistema.

- Encaminhar as solicitações para autorização de passagem junto a órgãos públicos e privados – a versão final do projeto básico, mesmo que atendidas as recomendações preliminares de se evitar terrenos particulares, certamente exigirá a necessidade de se conseguir autorizações de passagem junto aos órgãos competentes. A autorização para travessias por rodovias (nacionais ou estaduais) e ferrovias, por exemplo, deve ser solicitada previamente, visto que possíveis alterações de traçado podem ser necessárias para se atender normas internas ou recomendações dos respectivos órgãos responsáveis.
- Levantar dados para a elaboração de um plano de emergência para a rede – sendo a distribuição de gás canalizado uma atividade que possibilita certos riscos, é fundamental que a partir da definição do projeto básico final, seja estabelecido um plano preliminar de emergência que venha a contemplar todo o pessoal da operação, os órgãos externos e até mesmo a própria população. Tal documento deve conter os principais procedimentos, um fluxograma de ações, e operações a serem executadas de imediato em caso de acidentes, além é claro, de definir as atribuições correspondentes a cada pessoa diretamente envolvida em tal atividade. Posteriormente, na fase final do projeto detalhado, sugere-se uma revisão completa desse manual e sua respectiva atualização para uma versão final.
- Levantar dados para a elaboração de um plano de manutenção para a rede – similarmente ao plano de emergência, um plano preliminar de manutenção para a rede de distribuição também deverá ser elaborado. O referido documento servirá como referência ao pessoal responsável por esse serviço, além de possibilitar o fornecimento de informações para a criação de um futuro banco de dados que venha a contemplar novos projetos. Dessa forma, o levantamento efetuado na fase do projeto conceitual, referente a todos os equipamentos ou acessórios que irão compor a rede, servirá como base para uma programação detalhada do sistema de manutenção de cada componente em separado. Além dessa programação específica por componentes, deve-se efetuar uma programação de manutenção que venha contemplar os aspectos globais do sistema de distribuição, como por exemplo, a periodicidade necessária para a passagem de “pigs” ao longo da tubulação, visando a limpeza interna e a retirada de possíveis impurezas ou umidades (oriundas do próprio gás) existentes. Novamente, recomenda-se que o referido manual seja atualizado na fase final do projeto detalhado.



- Iniciar a organização do banco de dados – conforme discutido anteriormente, o número de informações disponíveis, ainda, com relação às falhas ocorridas em redes de distribuição de gás natural, é bastante limitado ou até mesmo inexistente. Assim, a equipe de projetos, que num primeiro momento, provavelmente, estaria trabalhando com taxas de falhas estimadas ou obtidas junto à fabricantes e/ou fornecedores, deve direcionar estudos visando contemplar a criação de bancos de dados, que permitam organizar as informações pertinentes à ocorrência de falhas, ao tipo dessas falhas e aos tempos envolvidos entre os períodos de manutenção e operação.

#### **5.4.5 - Verificar erros e controlar custos**

- Compatibilizar o projeto básico com a norma NBR-12712 – a norma brasileira NBR-12712 (Projeto..., 1993), traz todos os principais aspectos a serem considerados em sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível dentro da nossa realidade, contemplando ainda as normas internacionais existentes sobre o assunto. O projeto básico até então elaborado, evidentemente contempla muitos aspectos associados às recomendações apresentadas na referida norma, mas, provavelmente, apresenta outros pontos que podem não ter sido considerados pelo projetista. Dessa forma, cabe ao projetista efetuar uma análise complementar do projeto visando o atendimento à norma na sua totalidade, onde aspectos de afastamentos mínimos, profundidades e sinalizações, por exemplo, podem não ter sido considerados adequadamente.
- Elaborar uma revisão final do projeto básico – todo e qualquer tipo de estudo requer sempre uma revisão final bastante abrangente, dada a possibilidade de erros ou até mesmo, aspectos não considerados no desenvolvimento das respectivas etapas anteriores. Para o caso do projeto de uma rede de distribuição de gás, esses cuidados devem ser redobrados, visto o pequeno histórico existente sobre o assunto, como também a quantidade de informações envolvidas nesse processo. Uma boa ferramenta para essa verificação final é o uso de “check-lists” específicos, os quais podem ser elaborados previamente pelo próprio projetista ou sua equipe.

### **5.4.6 - Preparar as listas preliminares e os documentos finais**

- Elaborar a documentação final do projeto básico – para se passar á etapa final do projeto, todos os levantamentos efetuados até então devem ser apresentados na forma de uma documentação clara e objetiva, que permita, além de uma fácil compreensão, um histórico detalhado de todos os aspectos considerados. Assim, a documentação final do projeto básico deve conter: (1) memória descritiva contendo área de estudo, diretrizes gerais de fornecimento e estudo de demanda, com indicação dos critérios de captação e projeção; (2) desenhos mostrando a área de projeto com a respectiva distribuição dos consumidores correspondentes a situação atual e futura; (3) memória de cálculo do sistema; (4) desenhos mostrando a distribuição de pressões no sistema projetado; (5) desenhos dos traçados das tubulações, detalhando diâmetros e localização das válvulas de bloqueio e das estações reguladoras; (6) memória descritiva indicando obras especiais (travessias em geral); (7) memória descrevendo as principais características construtivas e (8) especificações e quantitativos preliminares do material a ser utilizado (COMGÁS, 1989).
- Solicitar a(s) licença(s) de instalação e construção ao órgão competente – de posse da licença prévia, solicitada ainda na fase da definição da tarefa, deve a empresa concessionária entrar com o pedido da licença de instalação e construção do empreendimento junto ao órgão competente. Nesse momento, todos os estudos de meio-ambiente considerados necessários já foram executados, e conseqüentemente, o tempo a ser disponibilizado para a retirada da referida autorização, certamente, tornar-se-á bem menor.

## **5.5 – Projeto Detalhado**

O projeto detalhado, também designado projeto executivo, para o caso de redes de distribuição de gás, corresponde a etapa final de todo o levantamento até o momento efetuado. Nessa etapa, chega-se a documentação que efetivamente representa o empreendimento a ser realizado sob o ponto de vista da construção, montagem e operação, associado ainda às condições de segurança e confiabilidade do sistema. Os documentos a serem emitidos devem obedecer, em princípio, a uma certa ordenação seqüencial, a qual está apresentada na tabela 5.4, seguindo o mesmo critério adotado nas etapas precedentes.

TABELA 5.4 – Projeto Detalhado de uma rede de distribuição de gás

Preparar documentos de operação e produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar o fluxograma de engenharia do sistema (*);</li> <li>• Elaborar as folhas de dados dos componentes;</li> <li>• Elaborar o projeto do sistema de odorização;</li> <li>• Executar o projeto da proteção catódica do sistema;</li> <li>• Verificar a confiabilidade estimada ou desejada para a rede (*);</li> <li>• Executar o projeto de vasos, lançadores e recebedores de “pigs” e caixa de válvulas (*).</li> </ul>
Elaborar desenhos detalhados e listas finais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar a planta chave do sistema;</li> <li>• Elaborar as plantas e perfis das tubulações;</li> <li>• Elaborar os desenhos de detalhes de tubulação;</li> <li>• Elaborar as listas de material;</li> <li>• Elaborar as memórias de cálculo.</li> </ul>
Completar instruções de montagem, transporte e operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Executar uma estimativa de custos;</li> <li>• Elaborar um manual para operação da rede de distribuição (*);</li> <li>• Atualizar o plano (ou manual) de manutenção para a rede de distribuição (*);</li> <li>• Atualizar o plano (ou manual) de emergência para a rede de distribuição (*);</li> <li>• Elaborar um manual básico com informações gerais para os consumidores finais (*).</li> </ul>
Checar todos os documentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar uma verificação final de toda documentação;</li> <li>• Solicitar a licença de operação do sistema.</li> </ul> <p>(*) parâmetros vinculados ao aspecto da confiabilidade</p>

### **5.5.1 - Preparar documentos de operação e produção**

- Elaborar o fluxograma de engenharia do sistema – o fluxograma de engenharia é um desenho esquemático, sem escala, que deve representar todas as linhas troncos, laterais e ramais de serviço, bem como todos os equipamentos e acessórios que compõem a rede considerada. O

objetivo desse documento é traduzir de maneira simplificada todos os dados (vazões, pressões, temperaturas) de projeto e de operação, além de possibilitar uma fácil compreensão do funcionamento operacional da rede. Através desse documento, é possível também, identificar, ainda, pontos considerados “críticos” para a disponibilidade do sistema.

- Elaborar as folhas de dados dos componentes – cada componente ou acessório do sistema deve apresentar a sua respectiva folha de dados, a qual deve trazer todas as informações referentes às características físicas e operacionais do componente considerado. A folha de dados de uma determinada válvula, por exemplo, deve contemplar dados sobre o material adotado, tipo de vedação, faixas de vazão, pressão e temperatura, tipo de fluido e até mesmo a taxa de falhas considerada.
- Elaborar o projeto do sistema de odorização – a norma NBR 12712 (Projeto..., 1993) exige que o gás natural seja detectado através do seu odor característico, no caso de algum vazamento, quando a sua concentração no ambiente atingir, no máximo, 20% do seu limite inferior de explosividade. Assim, sendo o gás natural inodoro na sua fonte, cabe a empresa distribuidora efetuar a odorização do mesmo através do chamado “sistema de odorização”, o qual consiste basicamente de um vaso de pressão, contendo uma substância odorante (tetrahidrotiofeno), para onde é desviado uma pequena parcela da vazão do gás circulante, permitindo a sua saturação e posterior retorno ao fluxo normal. O projeto desse sistema deve ser contemplado também no que diz respeito a sua localização, dado a criticalidade do odorante para o meio-ambiente durante o período de manutenção ou abastecimento, ou ainda, no caso de um possível vazamento.
- Executar o projeto da proteção catódica do sistema – a tubulação de uma rede de gás será, por norma, enterrada a uma profundidade mínima exigida e, sendo essa tubulação de aço carbono, estará a mesma submetida à ação do fenômeno da corrosão. Dessa forma torna-se imprescindível um projeto específico para a proteção catódica do sistema, considerando-se aspectos associados à resistividade do solo, sistemas de proteção (corrente impressa ou ânodos de sacrifício), pontos de medição, flanges isoladoras, entre outros. Novamente, deve-se destacar a importância de se ter uma equipe multidisciplinar associada ao projeto, o que com certeza, possibilitará um maior domínio para a solução desses problemas.
- Verificar a confiabilidade estimada ou desejada para a rede – inicialmente, de posse dos dados referentes a criticalidade dos consumidores finais, torna-se possível estimar uma determinada

confiabilidade para a rede de distribuição como um todo. Nesse momento, conhecendo-se a confiabilidade dos principais subsistemas (ERPs e EMRPs, por exemplo), a disposição dos consumidores a serem contemplados e considerando-se as simplificações já discutidas, pode, a equipe de projetos, definir a confiabilidade correspondente ao sistema. Em cima desse valor, algumas providências poderão, ainda, serem tomadas visando alterações nesse resultado.

- Executar o projeto de vasos, lançadores e recebedores de “pigs” e caixa de válvulas – além dos equipamentos principais (válvulas, medidores, filtros, etc.) que compõem uma rede de distribuição, existem outros componentes (em menor escala) que também deverão ser considerados no projeto. Dessa forma, o projeto e detalhamento final dos lançadores e recebedores de “pig”, como também, das caixas de válvula, deverão ser concretizados.

### **5.5.2 - Elaborar desenhos detalhados e listas finais**

- Elaborar a planta chave do sistema – quando o número de plantas de tubulação for igual ou superior à quatro recomenda-se a apresentação de uma planta chave. Tal documento deve ser realizado em bases cartográficas, preferencialmente numa escala de 1:10000, fornecendo dados relativos a delimitação das áreas ocupadas pelas diversas plantas, o número de cada planta correspondente e a indicação das válvulas e equipamentos previstos em projeto.
- Elaborar as plantas e perfis das tubulações – são os principais documentos que compõem o projeto executivo da rede. As plantas de tubulação são documentos que devem apresentar, no mínimo, indicação do norte de projeto, coordenadas topográficas, estaqueamento dos dutos (a cada 20 m), válvulas e acessórios, além da locação e identificação das estações reductoras de pressão. Os perfis são documentos complementares, que têm por objetivo, apresentar as características da topografia do terreno e as interferências existentes. Ambos os documentos devem ser executados de maneira simplificada, fornecendo ainda os diâmetros das tubulações, as distâncias envolvidas e o posicionamento aproximado das tubulações em relação a uma dada referência. Evidentemente, um maior ou menor detalhamento nesses documentos depende ainda do perfil do projetista e até mesmo da empresa considerada.
- Elaborar os desenhos de detalhes de tubulação – quando necessário, para maior clareza, podem ser elaborados desenhos de detalhes de tubulação, os quais, normalmente são representados em cortes (vistas ou elevação) ou em plantas. Justifica-se a execução de tais

documentos, principalmente, para trechos mais congestionados.

- Elaborar as listas de material – as listas de material são relações em que se possibilitam discriminar todos os itens, quantidades, dimensões, normas de fabricação e uma possível codificação a ser adotada para todos os materiais utilizados na rede de distribuição. Tais documentos devem ser elaborados por planta e também por projeto, objetivando fornecer subsídios para o pessoal responsável pela aquisição desses materiais. Não se pode esquecer, em algumas circunstâncias, do prazo mínimo de entrega necessário para alguns componentes, como válvulas e medidores, por exemplo.
- Elaborar as memórias de cálculo – todos os cálculos efetuados pelo projetista, desde a etapa da definição da tarefa, devem ser apresentados em documentos designados memórias de cálculo, as quais devem conter informações referentes aos critérios, normas e considerações efetuadas pelo projetista. Caso se utilize algum programa de cálculo específico ou de simulação, relatórios finais devem ser emitidos e anexados às respectivas memórias de cálculo. As memórias de cálculo são as principais referências para possíveis questionamentos sobre qualquer dimensionamento efetuado, além de servirem como referência para projetos futuros.

### ***5.5.3 - Completar instruções de montagem, transporte e operação***

- Executar uma estimativa de custos – na fase do projeto conceitual, estudos de viabilidade técnico-econômica foram efetuados visando analisar determinados trechos ou traçados no contexto da sua viabilidade econômica, principalmente. A partir dessa análise, somente os traçados considerados viáveis é que deram prosseguimento dentro do estudo, chegando-se assim ao projeto básico da rede considerada. Nessa fase final do projeto deve-se, ainda, efetuar um estudo final sobre o custo da rede de distribuição projetada, considerando os custos dos materiais, da construção e até mesmo de operação. Tal levantamento, possibilitará a definição final da política de preços da empresa concessionária e conseqüentemente um indicativo das possíveis faixas de negociação junto aos consumidores finais.
- Elaborar um manual para operação da rede de distribuição – após a conclusão da obra da rede de distribuição, inicia-se talvez, uma das etapas mais complicadas em todo o universo do empreendimento. Segundo informações de outras companhias distribuidoras de gás canalizado, a partida do sistema, bem como, as primeiras semanas de operação da rede são os

momentos mais críticos para serem gerenciados, dado o número de pequenos problemas que possam vir a surgir, além da própria inexperiência do pessoal envolvido. Dessa forma, torna-se muito importante, a elaboração de um manual, mesmo que preliminar, para operação da rede, o qual deve contemplar a maioria dos pontos a serem considerados durante a fase operacional do sistema. Evidentemente, dado a própria natureza e complexidade do sistema, outros possíveis pontos poderão surgir acarretando a necessidade de revisões adicionais para o referido documento.

- Atualizar o plano (ou manual) de manutenção para a rede de distribuição – o plano de manutenção, previamente, elaborado na fase do projeto preliminar, deve agora, ser totalmente revisado e atualizado mediante a documentação final a ser emitida. Deve-se ressaltar, a importância desse manual para a confiabilidade do sistema, pois através do mesmo é que as informações serão repassadas para o banco de dados a ser desenvolvido.
- Atualizar o plano (ou manual) de emergência para a rede de distribuição – similarmente ao plano de manutenção, cabe a equipe de projetos, efetuar uma atualização completa no plano de emergência do sistema, previamente confeccionado na fase do projeto preliminar. Com esse plano ou manual atualizado, poder-se-á complementar a documentação exigida pelo órgão ambiental quanto a obtenção da licença de operação do sistema. Outro aspecto importante de ser considerado, é a completa divulgação desse documento perante todos os órgãos envolvidos com possíveis emergências a nível populacional, como o Corpo de Bombeiros e a Defesa Civil.
- Elaborar um manual básico com informações gerais para os consumidores finais – visando contemplar a continuidade da distribuição com segurança, torna-se viável, a elaboração de um manual básico para os consumidores finais. Tal manual deve trazer informações gerais sobre o gás canalizado, bem como, informações específicas sobre critérios de projeto e materiais a serem considerados pelo cliente quando do projeto e construção de sua rede interna. Dessa forma, apesar da responsabilidade desse empreendimento ser do próprio consumidor, estar-se-á garantindo condições mínimas para que o mesmo não venha a apresentar problemas quanto ao uso do gás canalizado.

#### **5.5.4 - Checar todos os documentos**

- Efetuar uma verificação final de toda documentação – conforme já executado na fase final do

projeto preliminar, torna-se necessário também uma verificação final do projeto detalhado ou executivo, visto que a maioria dos documentos até então emitidos sofreram alterações e/ou considerações adicionais.

- Solicitar a licença de operação do sistema – similarmente às licenças prévia e de instalação solicitadas anteriormente ao órgão competente, torna-se necessário também, a solicitação de uma licença para operação do sistema, a qual, para ser emitida, necessita de toda a documentação relativa ao traçado final da tubulação, suas considerações sobre emergência, manutenção e operação (manuais), e cópia das licenças anteriores. Novamente, existe uma grande possibilidade de ocorrerem atrasos para emissão desse documento, o que também deve ser considerado, no cronograma, pela equipe responsável pelo projeto.

## 5.6 – Conclusões

A aplicação da metodologia apresentada ao projeto de uma rede de distribuição de gás canalizado, favoreceu além da ordenação de todas as atividades normalmente desenvolvidas pela equipe de projetos responsável, uma visão inicial dos principais aspectos a serem inseridos no contexto da atividade de projeto, permitindo-se com isso, uma definição preliminar de pontos e considerações que afetam diretamente a confiabilidade de uma rede de distribuição de gás. Evidentemente, alguns dos passos propostos pela própria metodologia não puderam ser contemplados na sua totalidade, dado a própria natureza do empreendimento considerado, conforme já mencionado.

Por outro lado, certamente, existem outras considerações não apresentadas que poderão vir a surgir durante o desenvolvimento dessa atividade, dado a diversidade das variáveis envolvidas, bem como, as novidades que podem aparecer dentro desse contexto.

Visando-se analisar a viabilidade da presente proposta, faz-se no capítulo seguinte do trabalho, a aplicação da mesma ao projeto de uma rede de gás preliminar a ser implantada pela COMPAGÁS na cidade de Curitiba e Região Metropolitana. Tal estudo, permitirá, provavelmente, que novas recomendações ou sugestões possam ser inseridas para projetos futuros. Quanto ao aspecto da confiabilidade, um acompanhamento posterior da rede de distribuição durante a sua fase operacional, permitirá que conclusões sejam obtidas e conseqüentemente subsídios para futuros bancos de dados sejam alcançados.



# Capítulo 6

# Estudo de Caso

## 6.1 – Domínio do estudo

Conforme descrito no capítulo 4, a Companhia Paranaense de Gás – COMPAGÁS assinou um contrato para compra de gás natural proveniente da Bolívia por um período de vinte anos, contados a partir do final do ano de 1999. Dada, porém, a disponibilidade atual de uma pequena parcela do chamado gás de refinaria (GR), proveniente da Refinaria Presidente Getúlio Vargas - REPAR, situada em Araucária (região metropolitana de Curitiba), houve uma decisão da empresa em iniciar as suas atividades previamente.

Tal decisão teve por objetivo antecipar o projeto e a obra da rede (a qual servirá posteriormente para o próprio gás natural), antecipar o mercado em termos de consumidores, bem como antecipar o treinamento e aprendizado do pessoal técnico envolvido, principalmente.

Como o gás de refinaria apresenta características bastante similares ao gás natural, tornou-se possível desenvolver um projeto que viesse a contemplar as duas situações, ou seja: gás de refinaria nos primeiros dezoito meses de operação, aproximadamente, e gás natural posteriormente. Dessa forma, o presente estudo de caso será contemplado até o projeto conceitual da 1ª fase da rede de distribuição de gás da COMPAGÁS, a qual atenderá uma parte da Cidade de Curitiba e Região Metropolitana, correspondendo a aproximadamente 53 km de extensão.

Um dos principais motivos que levou a escolha do referido “estudo de caso”, deve-se a efetiva participação na execução do referido projeto desde o seu início, ou seja, desde a etapa da definição da tarefa, o que, com certeza, possibilitou uma visão mais abrangente para o desenvolvimento da presente proposta.

Outro aspecto importante a ser considerado é a futura ampliação da referida rede de distribuição, a qual deverá atingir cerca de 300 km de extensão nos próximos dois anos, atendendo indústrias de outras regiões metropolitanas de Curitiba e até mesmo da Cidade de Ponta Grossa. Tal fato permitirá que possíveis considerações adicionais possam ser efetuadas na seqüência, dando continuidade à proposta inicial e fornecendo uma maior quantidade de subsídios para projetos futuros.

Assim, o presente capítulo traduz, de maneira detalhada, as atividades desenvolvidas nas fases definição da tarefa e projeto conceitual da 1ª etapa da rede de distribuição de gás considerada, seguindo, evidentemente, os passos propostos ao longo das respectivas etapas da metodologia.

## **6.2 – A rede de distribuição de gás da COMPAGÁS**

Conforme descrito, a primeira etapa da rede de distribuição de gás canalizado da COMPAGÁS, fornecerá, preliminarmente, gás de refinaria a algumas indústrias localizadas nos municípios de Curitiba, Araucária e Campo Largo, contemplando cerca de 53 km de extensão e atendendo a uma faixa de aproximadamente 15 a 18 indústrias. Para tal, um investimento da ordem de R\$ 14.000.000,00 está sendo disponibilizado, com a possibilidade de se entregar um volume de até 220.000 m<sup>3</sup>/dia de gás.

Numa segunda etapa, com a chegada do gás natural proveniente da Bolívia, além da substituição do gás de refinaria, haverá também uma extensão da rede de distribuição para outros municípios da região Metropolitana de Curitiba e Cidade de Ponta Grossa (cerca de 245 km), objetivando atingir a distribuição de até 1.000.000 m<sup>3</sup>/dia de gás logo no primeiro ano de contrato. O investimento adicional para tal empreendimento chegará a R\$ 46.000.000,00, totalizando um investimento global de R\$ 60.000.000,00. Com a conclusão dessa etapa, pretende-se atender cerca de 150 indústrias ao longo do traçado da rede.

Atualmente, a COMPAGÁS está executando a obra correspondente à 1ª etapa da rede de distribuição (53 km), desenvolvendo o projeto relativo à 2ª etapa e trabalhando com a pesquisa de mercado juntamente aos clientes finais, visando, principalmente, o mercado para o gás natural. Do volume total de gás de refinaria disponibilizado pela REPAR, a área comercial da COMPAGÁS, atingiu até o momento, um volume de 155.000 m<sup>3</sup>/dia de gás vendido, contemplando onze consumidores industriais, os quais serão considerados como referência para o presente estudo de caso.

## **6.3 – Definição da tarefa**

### **6.3.1 – Planejamento e identificação da tarefa**

#### a) Área de estudo

Diferentemente de outras companhias de distribuição de gás canalizado, onde a definição da área de estudo se aplica para possíveis ampliações das suas respectivas redes de distribuição, a COMPAGÁS direcionou a sua área de estudo visando, inicialmente, a sua própria criação como empresa. Dessa forma, a partir de estudos desenvolvidos sobre o mercado potencial do Paraná, chegou-se a elaboração da matriz energética do Estado, através da qual, possibilitou-se uma definição dos chamados pólos industriais, que serviram como referência para os primeiros estudos desenvolvidos.

Com isso, chegou-se a conclusão de que Curitiba e sua Região Metropolitana, além da cidade de Ponta Grossa, apresentavam a maior concentração de indústrias do Estado, direcionando uma análise mais detalhada sobre a possibilidade do uso de gás natural em substituição aos outros energéticos então utilizados. Nessa fase, que durou cerca de dois anos, chegou-se a um levantamento completo de todas as indústrias instaladas nessas regiões seus potenciais de consumo, além da possibilidade de futuras ampliações.

Numa segunda fase, concluiu-se, então, que as áreas de estudo deveriam contemplar a cidade de Curitiba, a cidade de Ponta Grossa e a Região Metropolitana de Curitiba, a qual compreende os municípios de Araucária, Campo Largo, Rio Branco do Sul, Almirante Tamandaré, Colombo e São José dos Pinhais, conforme ilustra a figura 6.1.

Por outro lado, dada a particularidade da rede de distribuição operar preliminarmente com gás de refinaria, optou-se em restringir a área de estudo aos municípios de Araucária (local onde se localiza a fonte de suprimento - REPAR) e de Campo Largo (dada a concentração de indústrias cerâmicas de grande porte), além da cidade industrial de Curitiba – CIC, que se encontra nas proximidades da própria REPAR.

Assim, uma outra área de estudo a ser considerada, posteriormente, contemplará Ponta Grossa, Balsa Nova e São José dos Pinhais (esta última, dado a instalação das montadoras automotivas), além da Região Norte de Curitiba, onde se concentram as indústrias de cal.

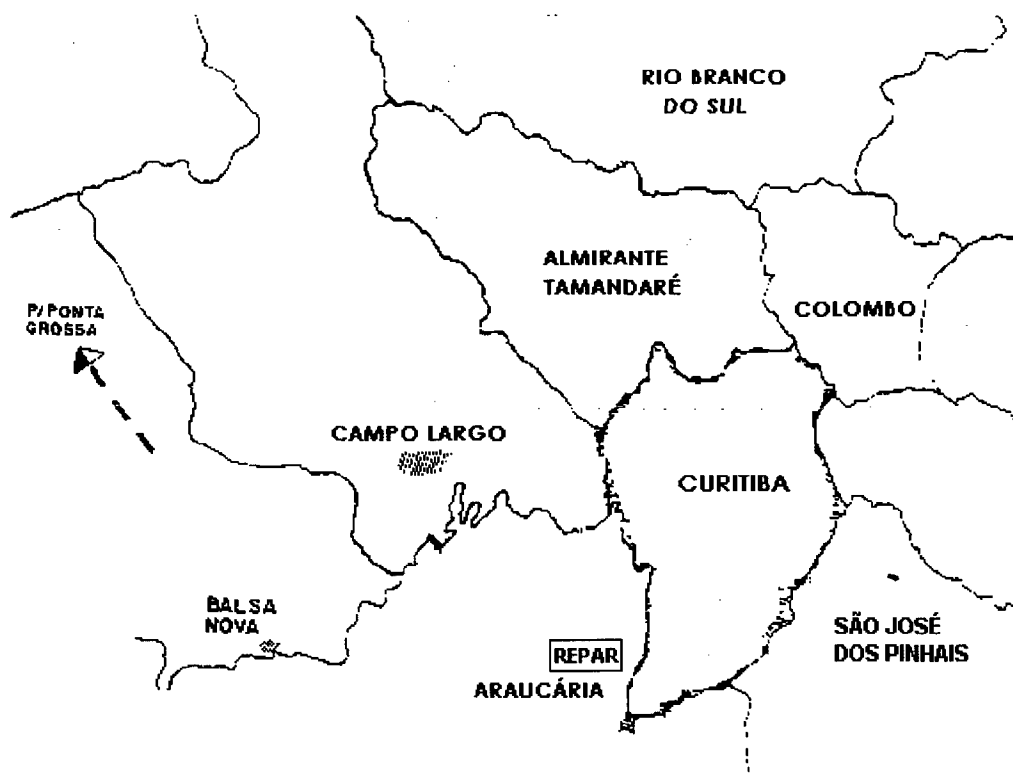


FIGURA 6.1 – Curitiba e sua Região Metropolitana

#### b) Oferta de gás

Para a região descrita, pode-se afirmar que o volume de gás natural contratado junto à Bolívia atenderá, sem dificuldades, o mercado industrial considerado por um período de, no mínimo, dez anos. Evidentemente, existe a possibilidade de que novas indústrias de porte, até então não consideradas, ou até mesmo usinas termoeletricas à gás, venham a se instalar ao longo dessas regiões. Dessa forma, estudos visando outras alternativas de suprimento de gás estão constantemente sendo analisados e discutidos, pois, além da região preliminarmente apresentada, existe o compromisso de se abastecer outros pontos estratégicos do Estado.

Atualmente, por exemplo, analisa-se a possibilidade de se importar gás natural proveniente da Argentina, o que, com certeza, além de contemplar alguns dos pontos estratégicos do Estado, será uma alternativa favorável quanto à disponibilidade de gás para o sistema. Outra alternativa de suprimento também considerada atualmente é o gás proveniente de Pitanga (região central do Estado), onde poços de gás natural foram descobertos recentemente.

Dessa forma, pode-se afirmar que o Estado do Paraná estará bem servido de gás natural por um longo período, justificando todo o investimento, que, no momento, está sendo efetuado, a fim de proporcionar um futuro progressivo para o desenvolvimento industrial do próprio Estado.

### c) Diretrizes gerais de fornecimento

Dadas as particularidades até então apresentadas, torna-se evidente que o mercado a ser contemplado de imediato, pela COMPAGÁS, é o industrial. Tal fato pode ser justificado dada a necessidade de se viabilizar economicamente o investimento inicial, o qual somente poderá ser conseguido com a negociação de grandes volumes de gás. Posteriormente, com a rede de distribuição já instalada, certamente atender-se-á também os mercados comercial e residencial.

Para um acompanhamento mais detalhado do setor industrial a ser considerado, a COMPAGÁS executou a implantação de um “banco de dados” visando o cadastramento de todas as indústrias localizadas ao longo da sua rede de distribuição. Tal banco, além dos dados gerais de cada indústria, permite o armazenamento de informações relativas ao energético utilizado, ao consumo atual, sua previsão de ampliação para os próximos anos, bem como a possibilidade de futuras cogerações (geração de energia elétrica a partir de gás natural). Com isso, torna-se possível a geração de relatórios pela região de estudo, pelo tipo de empresa, pela faixa de consumo ou, até mesmo, pelo tipo de energético a ser substituído.

### d) Tempo de vida previsto para a rede de distribuição

Considerando-se que um dos componentes mais críticos, em termos de vida útil, dentro da rede de distribuição canalizada de gás é a própria tubulação de aço carbono, dado o fenômeno da corrosão, efetuou-se um levantamento junto a fornecedores visando identificar o tipo e as características dos revestimentos disponíveis no mercado. Para tal, chegou-se a duas possibilidades distintas: a utilização do revestimento em “coaltar” e a utilização do revestimento em polietileno extrudado. O primeiro destes possibilita uma vida prevista de quinze anos para a tubulações de aço carbono, contra uma vida prevista na faixa de vinte anos para o revestimento em polietileno extrudado.

Dessa forma, mesmo apresentando um custo um pouco superior ao revestimento em “coaltar”, optou-se em trabalhar com o revestimento em polietileno extrudado, devido as dificuldades em se efetuar uma possível substituição antecipada da tubulação, bem como, ao fato de se estar trabalhando dentro de um universo, também, de vinte anos em termos contratuais.

Com isso, poder-se-á considerar que todo o projeto em questão estará sendo desenvolvido visando contemplar um tempo de vida de, no mínimo, vinte anos de utilização.

### **6.3.2 – Análise de mercado**

#### **a) Planejamento da demanda**

O planejamento da demanda, correspondente ao mercado a ser atendido numa primeira etapa com gás de refinaria, efetuou-se pela área comercial da COMPAGÁS, através de visitas individuais a todas as indústrias e comércios localizados dentro da área de estudo. Para tal, desenvolveu-se uma ficha de pesquisa (cujo modelo encontra-se no apêndice A2) que possibilita a obtenção de diversas informações necessárias para a implantação de um planejamento mínimo. Tais fichas, serviram como referência para a execução do planejamento da demanda potencial, como também, para projeções da demanda factível e demanda de penetração.

O princípio básico da referida ficha corresponde à obtenção do consumo (real e nominal) de cada equipamento existente, ao tipo de energético utilizado, às perspectivas de ampliação dos equipamentos térmicos e ao perfil de produção da empresa nos últimos dois anos. Com tais informações, torna-se possível definir o volume de gás a ser dispendido para cada região, além de se criar uma estimativa para os próximos anos de consumo.

Em paralelo, desenvolveram-se, também, estudos associados ao número captável de consumidores, tomando-se por base o preço pago pelo energético atual e o preço a ser pago pelo gás de refinaria (ou natural). A figura 6.2 ilustra os passos correspondentes às atividades desenvolvidas dentro desse contexto.

#### **b) Área de projeto**

Conforme descrição já efetuada, os clientes potenciais da COMPAGÁS, no momento, são os industriais. Dessa forma, a partir do planejamento da demanda e das diretrizes preliminares para a implantação da empresa, pode-se considerar que a área de projeto corresponde à própria área de estudo, preliminarmente selecionada. Posteriormente, para as outras etapas de implantação, tornar-se-á necessário, evidentemente, uma nova análise dentro desse contexto.

#### **c) Condições ambientais da área de projeto**

Efetuando-se um levantamento junto ao SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná, obteve-se informações detalhadas de todas as variações climáticas ocorridas, nos últimos anos, na região correspondente ao domínio da rede de distribuição da COMPAGÁS. Tais informações serão necessárias, posteriormente, na fase do projeto detalhado, quando efetuar-se-á,

por exemplo, a seleção e a escolha dos sistemas corretores de vazão, os quais dependem, fundamentalmente, da faixa de variação de temperatura local e são incorporados aos respectivos medidores.

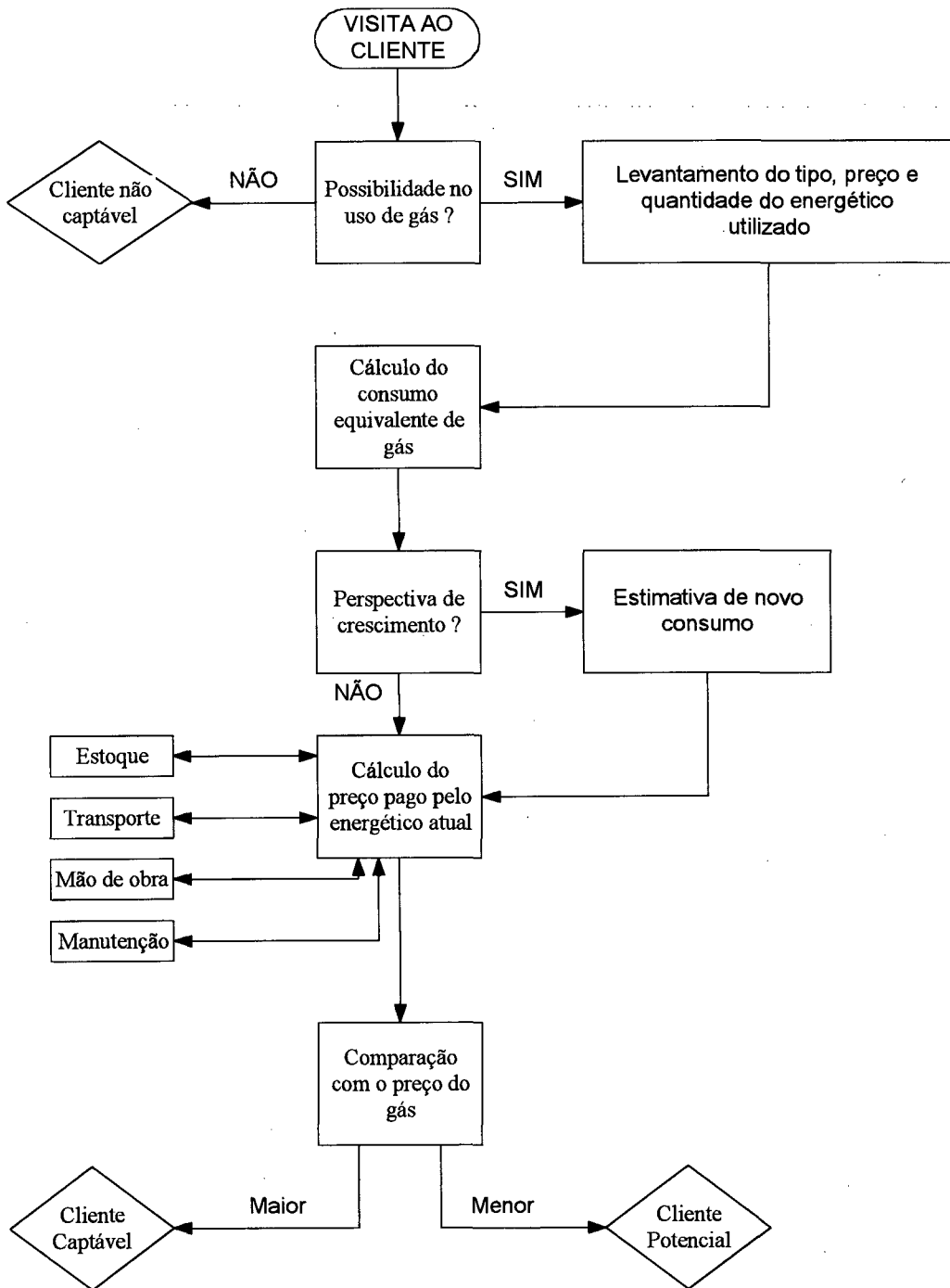


FIGURA 6.2 – Fluxograma para análise de mercado

#### d) Acidentes em redes de distribuição de gás

Ao se desenvolver a análise de risco correspondente à rede de distribuição de gás de refinaria, obteve-se informações de um órgão mantido pelo Reino Unido e designado “*Safety and Reliability Business of the United Kingdom Atomic Energy Authority*” (Tecnosan, 1997), o qual contém dados de acidentes ocorridos em redes de gás, correspondentes à 95 países, desde o início do século XX.

Esse documento apresenta, percentualmente, as causas naturais (tempestades, terremotos, raios, etc.), as causas técnicas (materiais inadequados, ruptura de solda, falhas mecânicas, etc.), as causas operacionais (corrosão, falhas em válvulas, etc.) e as causas oriundas de fontes de ignição (impacto mecânico, chama direta, energia química, etc.) que vieram, de alguma forma, ocasionar algum tipo de acidente em redes de distribuição de gás.

Com tais informações, evidentemente, pode-se direcionar o referido projeto, visando contornar ou minimizar as chances de tais problemas virem a causar qualquer tipo de dano e, conseqüentemente, acidentes ao longo da rede de distribuição.

#### e) Histórico de falhas em redes de distribuição de gás

Conforme discutido acima, informações pertinentes ao histórico dos acidentes ocorridos em redes de distribuição de gás em diversos países do mundo, foram obtidos juntamente a documentação referenciada. No entanto, tal documentação não especifica detalhadamente as causas que ocasionaram falhas em válvulas ou qualquer outro equipamento, bem como, não especifica detalhadamente os tipos de falhas efetivamente ocorridas.

Assim, coube a equipe de projetos da COMPAGÁS, efetuar um levantamento junto a empresas distribuidoras de gás em nosso país (COMGÁS e GASMIG, por exemplo), como também, junto ao pessoal de operação e manutenção da REPAR, visando a obtenção desses dados. De posse de tais informações, efetuou-se a construção da tabela 6.5, onde se descreve sucintamente as possíveis falhas, e suas respectivas causas, que poderão vir a ocorrer nos principais componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás.

#### f) Necessidades dos clientes

Para se realizar um estudo visando a obtenção das necessidades dos clientes, efetuou-se, inicialmente, uma divisão por categorias da clientela envolvida, ou seja, definiu-se quem são os clientes internos, externos e intermediários de uma rede de gás. Na seqüência,



desenvolveram-se pesquisas direcionadas a cada categoria de clientes, objetivando contemplar todas as necessidades reais de cada grupo.

A tabela 6.1 traduz o universo do pessoal considerado para o levantamento das chamadas “necessidades dos clientes”, as quais encontram-se descritas em 6.3.4(a), onde se faz a definição das especificações de projeto com auxílio da ferramenta do QFD.

**TABELA 6.1 – Clientes de uma rede de distribuição de gás**

Classificação dos clientes	Descrição de cada grupo
Clientes externos	São os consumidores finais, ou mais especificamente, os clientes industriais que passarão a consumidor gás canalizado em seus equipamentos. Para o presente trabalho, considerou-se o universo correspondente aos onze primeiros consumidores da COMPAGÁS.
Clientes intermediários	É todo o pessoal envolvido com a rede de distribuição em questão. Devido ao fato da COMPAGÁS ser uma empresa estatal e não possuir, ainda, quadro de pessoal permanente para todas as áreas, considerou-se como clientes intermediários: o pessoal que está executando a obra, o pessoal da fiscalização da obra, o pessoal que irá operar a rede e o pessoal responsável pela manutenção da rede. Para tal, trabalhou-se com duas equipes de obra da empreiteira contratada, uma equipe de fiscalização contratada e algumas pessoas ligadas à manutenção e operação de redes (nesse caso, de outras empresas distribuidoras existentes).
Clientes internos	Foram considerados como clientes internos, o pessoal da área comercial da COMPAGÁS, que, no momento, está executando atividades correlacionadas com o atendimento ao cliente externo, não somente em termos de negociação de gás, mas também em termos de assistência técnica.

## g) Criticalidade dos consumidores

Após o levantamento geral das necessidades dos clientes, tornou-se possível efetuar um levantamento direcionado para a “criticalidade” dos clientes externos ou consumidores de gás. Tal levantamento teve por objetivo direcionar parâmetros de projeto no sentido de viabilizar possíveis problemas quanto a não disponibilidade de gás para um dado consumidor.

Dessa forma, para o presente estudo de caso, direcionou-se tal levantamento junto aos onze primeiros consumidores considerados. A tabela 6.2 relaciona tais consumidores (designados por letras), seus respectivos equipamentos a serem adaptados para gás, e soluções tomadas no aspecto da criticalidade, ou mais precisamente, a possibilidade da falta de gás durante o fornecimento do GR.

Posteriormente, para a fase do gás natural, poder-se-á, através da confiabilidade e da manutenibilidade estimada para a rede, dimensionar, se necessário, o “back-up” para cada consumidor específico. Assim, para uma confiabilidade de 95%, por exemplo, considerando-se uma manutenibilidade de 90% num tempo de três horas, seria necessário um “back-up” para atender, no máximo, a essas três horas de interrupção. A efetiva implantação de um banco de dados e sua correspondente alimentação, possibilitará, com certeza, análises posteriores dentro desse contexto.

**TABELA 6.2** – Levantamento da “criticalidade” dos consumidores de gás canalizado, na fase de gás de refinaria (GR)

<b>Consumidor</b>	<b>Equipamentos adaptados p/gás</b>	<b>Conseqüências da possibilidade na falta de gás</b>	<b>Alternativas previstas em Projeto/Contrato</b>
A	2 Fornos	Perda de produção, com possibilidade de perda dos fornos para temperaturas abaixo de 700°C.	“Back-up” de GLP.
B	4 Fornos e 2 Secadores	Perda de produção, com possibilidade de perda dos fornos para temperaturas abaixo de 700°C.	“Back-up” de GLP.

**TABELA 6.2** – Levantamento da “criticalidade” dos consumidores de gás canalizado, na fase de gás de refinaria (GR) - (continuação)

C	1 Caldeira	-	Existe outra caldeira trabalhando com óleo combustível.
D	1 Aquecedor	-	“Back-up” de óleo combustível.
E	2 Caldeiras e 1 Incinerador	Perda de produção temporária, com necessidade da troca dos queimadores da caldeira.	“Back-up” de GLP.
F	1 Caldeira	Perda de produção temporária, com necessidade de ajustes no queimador (bi-combustível).	“Back-up” de óleo combustível.
G	1 Forno	Perda de produção.	-
H	1 Secador	Redução da produção.	-
I	Fogões e Panelões	Grande perda de produção.	“Back-up” de GLP.
J	1 Estufa	Atraso na produção.	“Back-up” de óleo combustível.
K	1 Caldeira	-	Existem outras caldeiras trabalhando com óleo combustível.

### **6.3.3 – Seleção de idéias**

#### a) Traçados alternativos

Após a definição dos chamados “clientes âncoras” para a 1ª etapa da rede de distribuição da COMPAGÁS, efetuou-se um levantamento detalhado de todas as vias de acesso existentes até as empresas então consideradas, chegando-se a alguns traçados alternativos preliminares. Evidentemente, sobre as várias alternativas levantadas, estudos complementares

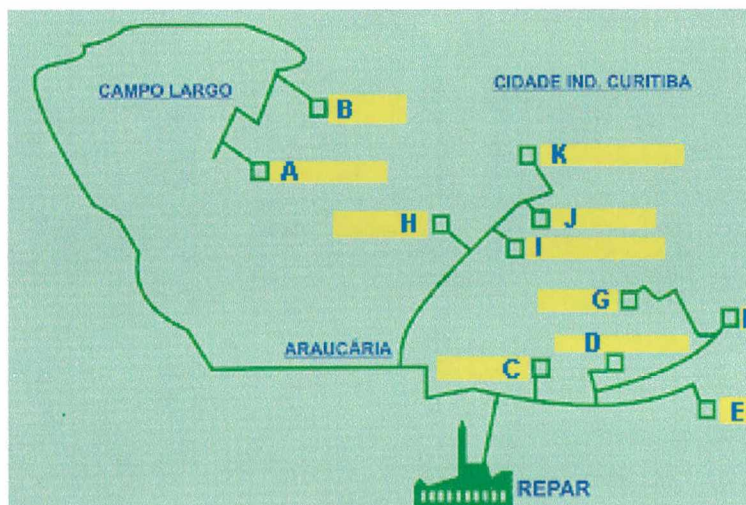
foram desenvolvidos visando identificar percursos ou trajetórias que viessem a contemplar o maior número de indústrias instaladas, como também, indústrias a se instalar.

Outro fator observado, preliminarmente, foi a maior ou menor facilidade de se executar a obra posteriormente, visto que algumas regiões apresentam total inviabilidade até mesmo para operação com máquinas e equipamentos de porte.

A figura 6.3 ilustra, esquematicamente, a disposição da 1ª etapa da rede de distribuição COMPAGÁS com seus primeiros consumidores. Para se chegar à configuração apresentada, partiu-se previamente dos clientes âncoras “B”, “C” e “E”, que, evidentemente, apresentavam o maior potencial inicial para o consumo de gás, associando-se a seguir, os critérios então mencionados.

Além do exposto, outras considerações adicionais foram efetuadas, dada a presença de recomendações ou, até mesmo, restrições impostas por parte das Prefeituras locais ou, ainda, dos órgãos responsáveis pelas rodovias (estaduais e federais) da região considerada. Atualmente, por exemplo, mesmo durante a etapa de construção, pequenas alterações de traçado estão sendo efetuadas, visando o atendimento aos órgãos acima descritos.

Dessa forma, é fator primordial um comprometimento total entre a equipe de projetos e os órgãos envolvidos com um dado traçado de uma rede de distribuição, objetivando contemplar, ainda na fase do projeto, o atendimento a todas as possíveis restrições que possam vir a surgir.



**FIGURA 6.3** – Traçado da 1ª etapa da rede de distribuição COMPAGÁS

#### b) Parâmetros considerados para estimar a confiabilidade da rede

Por se tratar de um estudo preliminar, associado à dificuldade em se obter informações pertinentes sobre o assunto, algumas hipóteses simplificadoras foram efetuadas para o desenvolvimento do presente trabalho. Assim, uma das principais considerações, corresponde ao estudo exclusivo da rede de distribuição de gás, desconsiderando-se dessa forma, todos os possíveis problemas originados na rede de transmissão do gás (gasoduto) para o gás natural ou até mesmo na REPAR, para o gás de refinaria.

Dessa forma, todas as análises a serem efetuadas, estarão restritas entre o ponto de recebimento de gás pela COMPAGÁS e o ponto de entrega de gás para os consumidores finais (entre o City-Gate e as EMRPs, conforme ilustrado na figura 4.5).

Outras considerações efetuadas são: 1) problemas oriundos de possíveis acidentes, causados pela interferência de terceiros sobre a rede de distribuição, terão confiabilidade igual a unidade, ou seja, não serão considerados nesse estudo e 2) possíveis falhas, oriundas de problemas com a tubulação de aço, decorrentes da soldagem e/ou montagem das mesmas, também serão desconsideradas nesse primeiro momento.

Com isso, acredita-se estar delimitando, previamente, o universo de variáveis a serem consideradas preliminarmente, de tal forma que, outros estudos posteriores devam ser desenvolvidos, a partir dos dados inicialmente constatados.

#### c) Estudos de malhas fechadas

Por se tratar de um projeto novo, não se teve, no momento, condições para se estudar traçados com malhas fechadas para a rede COMPAGÁS. Assim, somente após a ligação dos primeiros consumidores, com o conhecimento das condições operacionais do sistema, associado aos consumidores a serem interligados e às novas fontes de suprimento, poder-se-á estudar alternativas nesse sentido.

### **6.3.4 – Especificações**

#### a) Obtenção dos requisitos de projeto

A seguir, faz-se a construção da “Casa da Qualidade”, figura 6.4, através da qual foram levantadas as especificações de projeto para o desenvolvimento da 1ª etapa da rede de distribuição COMPAGÁS. As necessidades obtidas juntos aos “clientes” (ver tabela 6.1) serviram como ponto de partida para o uso da referida ferramenta, enquanto que os “pesos” para

cada item foram estimados pela equipe de projetos envolvida. A escala adotada (0 à 5) para o grau de relacionamento entre as necessidades e os requisitos corresponde a: 0 (zero) – nenhuma relação e 5 (cinco) – relação máxima.

Com o resultado da classificação por importância, obtido do QFD, construiu-se a tabela 6.3, na qual discute-se metas a serem atingidas no desenvolvimento do projeto, visando contemplar, efetivamente, os principais pontos ou parâmetros segundo a visão dos clientes considerados.

#### b) Normas técnicas, portarias e recomendações

Além da aquisição e análise das normas NBR-12712 (Projeto..., 1993) e ANSI B31.8, efetuou-se um levantamento detalhado de todas as normas e recomendações disponíveis em outras empresas do ramo, como COMGÁS e GASMIG.

Utilizando-se as palavras chaves: gás natural e projeto de tubulações, efetuou-se, também, uma consulta aprofundada à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com o intuito de obter todas as normas relativas ao assunto.

A aquisição das normas PETROBRÁS, vinculadas ao assunto em questão, também foi concretizada e por fim, informações mais específicas, como a padronização da faixa de vazão em medidores tipo turbina, foram levantadas junto ao INMETRO.

Com isso, considera-se que todas as informações disponíveis sobre gás natural em termos de normas técnicas e recomendações foram levantadas, o que, associado ainda, a grande quantidade de catálogos e informações de fabricantes, pode ser considerado como um bom início para o prosseguimento das atividades.

#### c) Licença Prévia

A Licença Prévia correspondente ao 1º trecho da rede de distribuição da COMPAGÁS (Campo Largo, Araucária e CIC) fora obtida juntamente ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP, após a execução de um trabalho de análise de risco desenvolvido para os trechos considerados. Deve-se destacar, entretanto, que o período entre a entrada do pedido e a emissão da referida Licença, foi de aproximadamente quatro meses, confirmando-se a necessidade de se trabalhar com um cronograma bastante flexível. Com a Licença Prévia, torna-se possível solicitar a chamada Licença de Instalação, através da qual poderão se iniciar as atividades correspondentes à execução das obras.







**TABELA 6.3** – Especificações de projeto para as principais (\*) necessidades dos clientes

Necessidade do cliente	Especificação de projeto
1) Substituição de outros energéticos por gás	Projeto e construção da rede de distribuição de gás canalizado visando o atendimento ao maior número possível de consumidores.
2) Exigir pessoal qualificado para obra	Elaborar o edital de concorrência para a contratação da obra da rede de distribuição, exigindo-se a efetiva participação de, somente, pessoal com qualificação técnica especializada.
3) Adotar válvulas/equipamentos normalizados e/ou padronizados	Prever em projeto, somente a utilização de componentes/acesórios normalizados e/ou padronizados.
4) Prever outras fontes de suprimento	Efetuar estudos visando possibilidades de novas fontes de suprimento além do Gasoduto Brasil-Bolívia.
5) Sistemas de filtros adequados	Projetar as ERPs e EMRPs com filtros de capacidade compatível com as características do gás considerado.
6) Adotar EMRPs duplas	Classificar o maior número possível de consumidores que venham a viabilizar, economicamente, o uso de EMRPs duplas.
7) Utilizar tubulação de PEAD	Procurar viabilizar o traçado final da tubulação, contemplando o uso de ERPs intermediárias, de tal forma que, torne-se possível a utilização de uma maior quantidade de PEAD.
8) Fiscalização eficiente	Efetuar a contratação da fiscalização da obra, visando um número adequado de pessoas disponibilizadas e que apresentem, também, uma elevada experiência na atividade.
9) Estudar traçados alternativos	Prever o estudo de diversos traçados alternativos antes de se definir o traçado final da rede de distribuição.
10) Utilizar diâmetros compatíveis	Efetuar um dimensionamento preliminar da tubulação, com posterior simulação dinâmica da rede de distribuição.  (*) consideração dos primeiros dez itens classificados na Casa da Qualidade.

## **6.4 – Projeto Conceitual**

### **6.4.1 – Problemas essenciais**

#### a) Parâmetros de projeto adotados

Dada a particularidade do projeto COMPAGÁS contemplar, preliminarmente, somente a área industrial, não se teve uma preocupação muito aprofundada na determinação dos parâmetros de projeto referentes as áreas residencial e comercial. Dessa forma, cada ramal da rede de distribuição foi projetado a partir do levantamento da demanda efetuado anteriormente, considerando-se, porém, o regime de funcionamento de cada consumidor para se chegar a vazão máxima ou vazão de pico necessária.

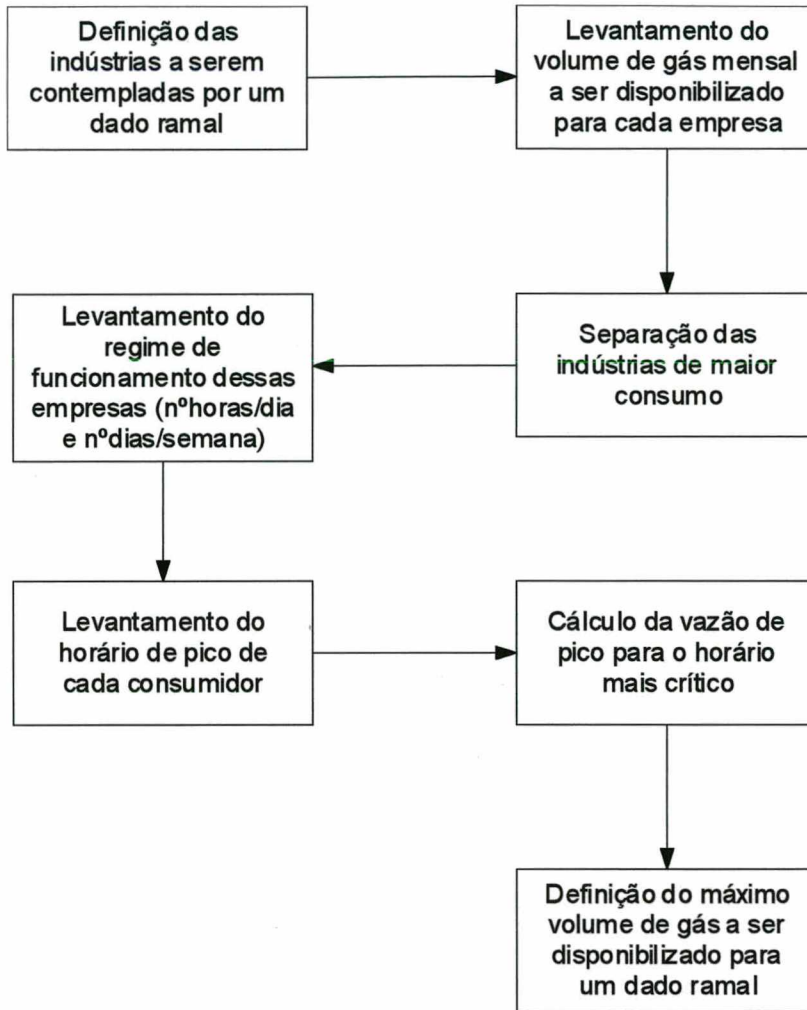
A figura 6.5 ilustra um fluxograma das ações efetuadas nesse contexto, visando a definição do volume máximo de gás a ser transportado por ramal, de forma a subsidiar a equipe de projetos quanto ao pré-dimensionamento da tubulação a ser empregada.

Evidentemente, nesse momento, não se pode considerar somente os consumidores preliminares existentes em cada região, mas sim, o universo de consumidores a serem contemplados posteriormente, justificando-se, assim, todo o levantamento efetuado em termos da demanda factível e da demanda de penetração.

#### b) Planejamento urbano

A 1ª fase da rede de distribuição de gás da COMPAGÁS compreende, na sua maior parte, regiões com pequenas densidades populacionais (áreas industriais). Dessa forma, a quantidade de outras redes (luz, água, esgoto, etc.) de utilidades que pudesse vir a causar grandes interferências ao longo do traçado foi relativamente pequena, restringindo, assim, a realização de um estudo voltado para um planejamento urbano.

Por outro lado, mesmo para as regiões mais povoadas, pode-se notar que a quantidade de informações disponíveis nesse sentido é relativamente pequena, dificultando, assim, qualquer tipo de estudo dentro desse contexto. Para o projeto COMPAGÁS, pretende-se, com a finalização das obras, a criação de um cadastro completo e atualizado da rede de gás construída, visando facilitar estudos e/ou levantamentos futuros. Esse cadastro deverá apresentar, também, todas as interferências identificadas durante a execução da obra.



**FIGURA 6.5** – Fluxograma para definição do máximo volume de gás a ser disponibilizado para uma dada região

c) Pressões de projeto

Apesar da 1ª etapa da rede de distribuição COMPAGÁS trabalhar, preliminarmente, com gás de refinaria, cuja pressão de fornecimento está limitada à 7 bar, o desenvolvimento do projeto teve que ser efetuado visando compatibilizar a pressão de distribuição do gás natural.

As pressões adotadas para redes de distribuição de gás são, normalmente, limitadas pela resistência dos tubos e, principalmente, pelos acessórios utilizados, através das chamadas “classes de pressão”, atentando, evidentemente, para as recomendações de segurança descritas em normas para cada tipo de região (áreas de risco). Assim, as empresas distribuidoras de gás existentes, trabalham com pressões na faixa de 17 bar (classe 150#), 35 bar (classe 300#)

ou 70 bar (classe 600#). Gasodutos de transmissão, como o Brasil Bolívia, podem atingir a 120 bar de pressão.

Evidentemente, existem vantagens e desvantagens em se trabalhar com pressões de distribuição mais elevadas, sendo necessário, para isso, um estudo comparativo da pressão mais viável para cada situação.

Dessa forma, após diversas análises, definiu-se que o projeto COMPAGÁS seria desenvolvido para uma pressão de distribuição de 35 bar para tubos de aço carbono (classe 300#), e 4 bar para tubos de PEAD. A referida escolha demonstrou ser a melhor relação entre os diâmetros adotados (em virtude da máxima vazão exigida) e os custos dos materiais envolvidos (uma válvula classe 300# apresenta um custo de aproximadamente 70% do preço da mesma válvula, classe 600#).

Posteriormente, durante a ampliação da rede, pretende-se trabalhar, também, com uma pressão intermediária de 17 bar (classe 150#), visando o atendimento às regiões com maiores densidades populacionais. Para a interligação entre as tubulações existentes (classe 300#) e as tubulações a serem instaladas (classe 150#), utilizar-se-á ERPs ao longo da rede de distribuição.

#### d) Identificação das variáveis químicas do gás

Tanto o gás natural boliviano como o gás de refinaria, proveniente da REPAR, apresentam composições químicas, assim como demais características gerais, como o poder calorífico superior (máximo e mínimo), por exemplo, definidos em contrato, facilitando o trabalho do projetista, fornecendo subsídios ao consumidor (nos casos de conversão de equipamentos), e possibilitando o cumprimento de qualquer exigência contratual.

Para o gás de refinaria, principalmente, o qual apresenta uma maior quantidade de impurezas e água (umidade), deverá ser considerado em projeto, a presença de “vents” e “drenos” posicionados em todos os pontos baixos da rede, passíveis de qualquer tipo de acumulação. O projeto das EMRPs com separadores e purgadores tipo bóia, além dos filtros tradicionais, certamente, também será um aspecto a ser considerado, dado as particularidades do gás disponível preliminarmente.

O programa de manutenção preventiva, a ser desenvolvido para a rede, deverá prever, entre outros, a possibilidade do gás de refinaria vir a polimerizar formando um acúmulo de “goma” ao longo da rede de distribuição. Para tal, o tempo necessário para a passagem de “pigs” deve ser determinado considerando-se essa situação.

e) Componentes ou acessórios críticos, quanto a possíveis falhas

Através de um levantamento efetuado juntamente ao pessoal de manutenção da REPAR e de outras empresas distribuidoras de gás, conseguiu-se informações de que todos os possíveis problemas ocasionados numa rede de distribuição de gás canalizado, estarão, provavelmente, vinculados aos seguintes motivos:

- i. falhas gerais oriundas nas ERPs ou EMRPs;
- ii. problemas ocasionados pelo excesso de sujeira na rede;
- iii. consumo excessivo de um consumidor de grande porte, ocasionando a “queda” de consumidores menores;
- iv. falha no fornecimento do gás (a partir do gasoduto de transmissão);
- v. interferência de terceiros, ocasionando possíveis acidentes ao longo da rede e
- vi. falhas na tubulação em geral.

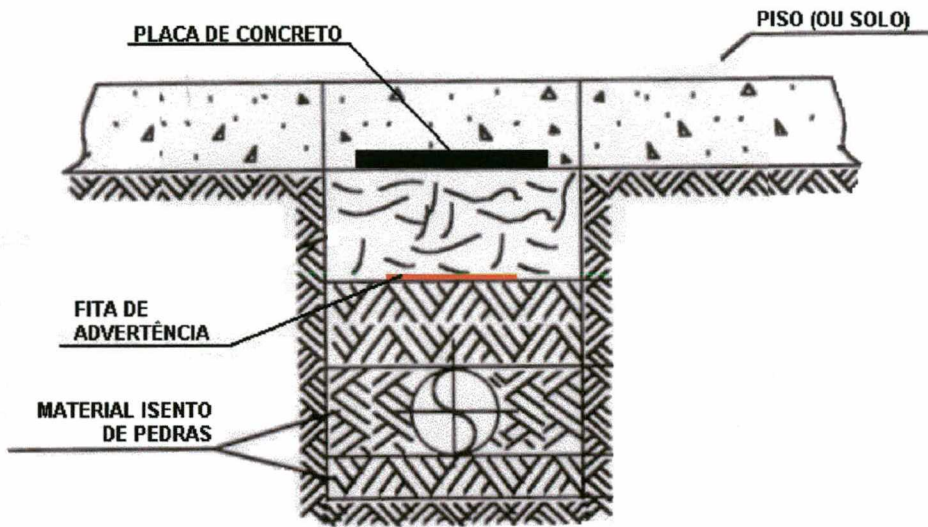
No entanto, conforme discutido no item 6.3.3 (b) do presente capítulo, algumas simplificações foram definidas para se delimitar o universo do estudo a ser contemplado nesse primeiro momento. Com isso, os aspectos descritos nos três últimos itens acima, foram, num primeiro momento, desconsiderados pela equipe de projetos dentro desse contexto.

Por outro lado, cabe à equipe de projetos, efetuar um levantamento prévio detalhado de todos os componentes ou acessórios vinculados aos primeiros três itens acima descritos, visando a minimização ou, se possível, a eliminação desses problemas.

### **6.4.2 - Estruturas de funções**

a) Áreas de risco

O projeto COMPAGÁS, em atendimento à norma NBR-12712 (Projeto..., 1993), foi dividido em áreas de risco (classes de locação) correspondentes às densidades populacionais existentes ao longo do seu traçado. Assim, para as classes de locação 3 e 4 (regiões urbanas, consideradas mais críticas) deverá se efetuar, por exemplo, a colocação de placas de concreto sobre a tubulação de gás, além das faixas de advertência normalmente existentes, conforme sugere a figura 6.6.



**FIGURA 6.6** – Detalhe da tubulação dentro da vala (classes 3 e 4)

Outros aspectos que podem ser considerados em projeto, dentro dessa divisão, são: 1) a colocação de válvulas de bloqueio adicionais em regiões de intensa densidade populacional (parte central da cidade de Campo Largo, por exemplo); 2) o dimensionamento de toda a tubulação para a condição mais crítica (classe 4) prevista em norma, independentemente da sua real localização; (3) o uso de placas de advertência e sinalização em percursos de menor distância, entre outros.

Dessa forma, entende-se que, no que se refere a segurança, a rede de distribuição considerada, estará contemplando, com folga, todos os aspectos previstos em norma.

#### b) Válvulas de bloqueio intermediárias – Testes

Segundo a norma NBR-12712 (Projeto..., 1993), uma rede de distribuição deve apresentar ao longo da sua trajetória, válvulas de bloqueio intermediárias, objetivando o uso operacional ou de emergência. Tais válvulas, as quais serão colocadas a cada 3 km de distância para trechos não urbanos e a cada 1 km para trechos urbanos, trabalham na posição normalmente aberta, possibilitando o fluxo do gás.

Com isso, essas válvulas somente serão acionadas em situações de emergência, manutenção da rede ou, até mesmo, bloqueio de um dado ramal, visando a interligação de um novo consumidor, e favorecendo, assim, a presença das chamadas “falhas ocultas”.

Santos (1996) sugere que o tempo entre testes (manutenções) para equipamentos que trabalhem em “standby” seja obtido em função da disponibilidade desejada para o equipamento considerado. Assim, designando o tempo entre testes por “ $T_t$ ” e o tempo de duração de cada teste por “ $t_t$ ” tem-se:

$$T_t = \left( \frac{2t_t}{\lambda} \right)^{1/2} \quad (6.1)$$

o que permite, conhecendo-se a taxa de falhas da válvula de bloqueio (nesse caso) e o tempo necessário para a manutenção desse equipamento, a determinação do tempo mais recomendado para a execução dessa atividade, visando a redução ou, até mesmo, a eliminação das “falhas ocultas”.

#### c) Condições de uso e/ou operação consideradas externas ao projeto

A política da COMPAGÁS, num primeiro momento, é deixar todo o projeto e construção relativa ao ramal interno do consumidor por sua inteira e total responsabilidade, fornecendo somente orientações, se necessário. Com isso, pode-se considerar que falhas oriundas nesses ramais (após a EMRP) não serão computadas ou consideradas para a confiabilidade da rede de distribuição.

Outro aspecto que não causará interferência na confiabilidade do sistema atual, diz respeito às possíveis falhas oriundas do fornecimento de gás para consumidores de pequeno porte, devido a um possível consumo extra (acima do contratado) por parte de um consumidor de grande porte, visto que toda a tubulação foi projetada para vazões muito superiores aos valores iniciais de consumo.

#### d) Divisão em trechos

O traçado final da 1ª etapa da rede de distribuição COMPAGÁS (ver figura 6.3) fora dividido, durante a fase de projeto, em três trechos: trecho REPAR-Campo Largo (consumidores A e B), trecho CIC (consumidores D, E, F, G) e trecho Araucária (consumidores C, H, I, J e K), visando facilitar tanto as simulações quanto os estudos de viabilidade técnico-econômica.

Tal divisão não foi efetuada em virtude de nenhum parâmetro específico, mas sim, pelas particularidades inerentes a cada trecho. O trecho REPAR-Campo Largo, por exemplo, foi diferenciado por se tratar de uma rede com grande distância (40 km aproximadamente) e de diâmetros com grande dimensão (10” na sua maior parte), dada a elevada perda de carga a ser compensada nesse percurso.

Já o trecho CIC foi também diferenciado por se tratar de uma rede de baixa pressão, confeccionada em PEAD. Para a ligação dessa rede de baixa pressão com a rede principal (em aço carbono) colocou-se uma ERP antes da travessia para o consumidor “D”. Por fim, restou o trecho Araucária, no qual se situa o 1º consumidor já efetivamente abastecido com gás de refinaria, no presente momento.

A divisão da rede de distribuição por trechos, apesar de aparentemente não mostrar nenhum benefício, agrega diversas vantagens à equipe de projetos envolvida, pois permite, além de uma identificação mais rápida do ramal, uma maior facilidade, seja em termos de estudos, em termos de alocação de recursos ou, até mesmo, em termos de programas de manutenção.

### **6.4.3 – Variantes de concepção**

#### a) Pré-dimensionamento da tubulação

Conhecendo-se os volumes (vazões) máximos a serem transportados por cada ramal, a pressão de projeto, os consumidores contemplados e as características do gás envolvido, foi possível, através da equação de *Renouard* e de um software de simulação disponível (SNAP), obter os diâmetros preliminares a serem adotados em projeto.

Nessa fase, a equipe de projetos da COMPAGÁS chegou aos seguintes diâmetros:

- Trecho REPAR-Campo Largo -  $\phi$  8”;
- Trecho CIC -  $\phi$  6”;
- Trecho Araucária -  $\phi$  10”.

Esses diâmetros foram confirmados quase que integralmente (o trecho REPAR-Campo Largo passou para 10”) através da simulação completa da rede, efetuada, posteriormente, por uma empresa projetista contratada, que utilizou o software de simulação “STONER”.



Com isso, independentemente da disponibilidade de um software de simulação mais completo, torna-se necessário a execução de um dimensionamento preliminar dos diâmetros a serem adotados em projeto, visando não somente uma confirmação dos dados finais calculados, como também uma estimativa prévia de custos e investimentos a serem realizados.

Deve-se destacar, porém, que informações mais detalhadas como as velocidades em cada ramal, as perdas de carga (com maior precisão) e até mesmo, a verificação dinâmica da rede, somente serão possíveis com o auxílio de um software de simulação compatível, a ser empregado na fase do projeto preliminar, que para o caso de gás, é chamado de projeto básico.

#### b) Taxa de falhas dos acessórios

Como a atividade associada à confiabilidade de redes de distribuição de gás é ainda praticamente desconhecida, a existência de bancos de dados que venham a contemplar informações pertinentes (taxas de falhas, por exemplo) aos principais itens que compõem o projeto de uma rede de distribuição, certamente é nula, requerendo ainda, estudos nesse sentido.

Dessa forma, optou-se em consultar fabricantes, fornecedores, ou até mesmo outras empresas distribuidoras de gás, no sentido de se conseguir informações sobre as taxas de falhas dos principais componentes que compõem uma rede de gás. A tabela 6.4, na seqüência, resume tais componentes com suas respectivas taxas de falha, as quais foram, a princípio, consideradas constantes e tomadas como referência para os estudos a serem desenvolvidos ao longo do presente capítulo.

As figuras 6.7 à 6.11, a seguir ilustradas, mostram, esquematicamente, a disposição desses componentes em relação aos dispositivos utilizados no projeto em questão. Associado a cada figura, colocou-se também um texto descritivo das características e do funcionamento do referido dispositivo.

**TABELA 6.4** – Taxas de falhas (\*) dos principais componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás canalizado, considerando-se gás de refinaria (GR)

Componente ou Acessório	Taxa de falhas ( $\lambda$ ) $\times 10^{-4}/h$	Aplicação
Válvula esfera	0,1157	ERP/EMRP/Lançador/Vaso/ Válv.Bloqueio (linha)
Válvula globo	0,1157	ERP/EMRP/Lançador/Vaso
Separador centrífugo	0,3858	EMRP
Filtro tipo Y	0,7716	ERP/EMRP
Purgador tipo bóia	0,3858	EMRP
Válvula de bloqueio automática - XV	0,2315	ERP/EMRP
Válvula reguladora de pressão - PCV	0,2315	ERP/EMRP
Válvula de alívio de pressão - PSV	0,1447	ERP/EMRP/Lançador/Vaso
Medidor tipo turbina	0,2315	EMRP
Medidor tipo rotativo	0,2315	EMRP
Manômetro - PI	0,5787	ERP/EMRP/Lançador/Vaso
Transdutor de pressão - PT	0,1929	EMRP
Transdutor de temperatura - TT	0,1929	EMRP
Totalizador, indicador e transdu- tor de vazão – FQIT	0,2315	EMRP
Válvula de 3 vias	0,5787	Lançador
Visor de nível	0,2315	Lançador/Vaso

(\*) tais valores, correspondem, em média, à taxa de falhas dos respectivos componentes (considerando-se a fase 3 da “curva da banheira”) e foram obtidos a partir de informações de fabricantes, fornecedores e usuários dos mesmos. Quanto a sua validade, pode-se considerar que a partir da implantação e acompanhamento de um banco de dados, tais valores poderão ser refinados com maior precisão.

- EMRP – as EMRPs adotadas no projeto COMPAGÁS não fogem do escopo de uma EMRP típica, conforme apresentado em 4.4.1. Deve-se ressaltar, entretanto, que dada a variabilidade das faixas de consumo dos consumidores a serem atendidos, optou-se em trabalhar com quatro modelos diferenciados de estações, as quais apresentam como diferença básica o tipo de medidor a ser adotado (tipo turbina ou tipo rotativo), associado as suas respectivas faixas de vazão. Dessa forma, todos os componentes ou acessórios que compõem uma dada EMRP, padrão COMPAGÁS, podem ser observados na figura 6.7, ilustrada a seguir. Comparando-se ainda uma EMRP típica (figura 4.6) com a EMRP projetada (figura 6.7), pode-se notar a inclusão de um separador centrífugo (dado o grau de impurezas do GR), a inexistência da válvula limitadora de vazão - FV (visto que, até o momento, não existem consumidores considerados críticos ao sistema), bem como a possibilidade de se trabalhar com estações constituídas de linhas simples ou duplas.

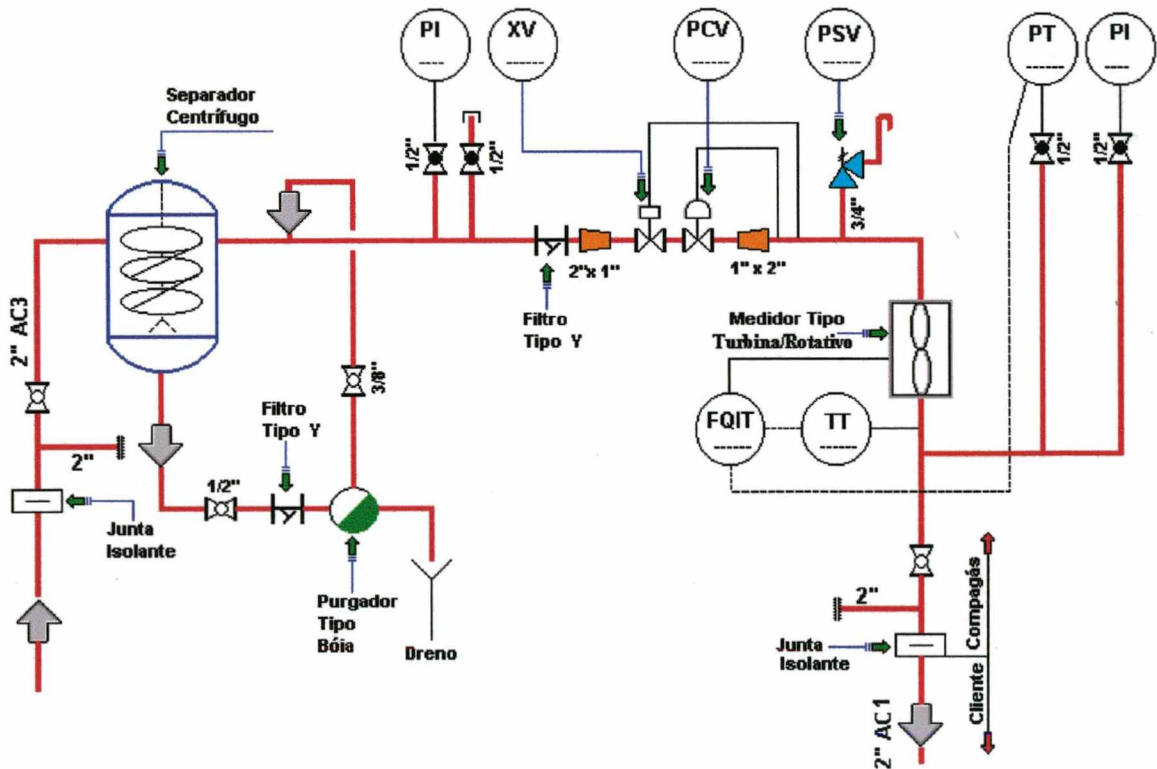


FIGURA 6.7 – EMRP Tipo A – Padrão COMPAGÁS

- Lançador de “pig” – de acordo com o programa de manutenção a ser adotado, existe a necessidade de se efetuar uma limpeza periódica no interior da tubulação, dada a possibilidade do acúmulo de impurezas ou umidade ao longo da mesma, considerando-se principalmente gás de refinaria. Para tal, utilizar-se-á a passagem de “pigs” (dispositivos especiais de poliuretano ou de borracha), os quais são impulsionados pela própria pressão do gás e resgatados no final da linha, nos chamados recebedores de “pig”. Para se efetuar a passagem dos “pigs”, torna-se necessário a utilização de dispositivos denominados lançadores de “pig”. A figura 6.8 ilustra o lançador de “pig” COMPAGÁS, o qual apresenta o seguinte princípio de funcionamento: (a) as linhas secundárias, pertencentes ao lançador, permanecem sem a presença de gás; (b) abrindo-se a válvula globo “T”, possibilita-se a entrada de gás nas linhas do lançador e ocasiona-se a purga do ar existente para a atmosfera (válvulas “C” e “D” abertas e “A” fechada); (c) fechando-se as válvulas “C” e “D” e abrindo-se a válvula “A”, permite-se que ocorra a equalização do sistema; (d) acionando-se a válvula de 3 vias “G”, injeta-se gás na câmara principal, a qual é dotada de um pistão que impulsionará o “pig” para dentro da linha principal; (e) para realizar o retorno do pistão, inverte-se a posição da válvula “G” e fecham-se as válvulas “A” e “T”, de forma que o gás existente dentro da câmara seja lançado para a atmosfera (válvulas “C” e “D” abertas), preparando, assim, o lançador para uma próxima operação. Como comentários complementares, pode-se destacar que o lançador possibilita o armazenamento de até seis “pigs” dentro da sua câmara e que o visor de nível (LG) serve para indicar o instante em que o “pig” chega à linha principal.

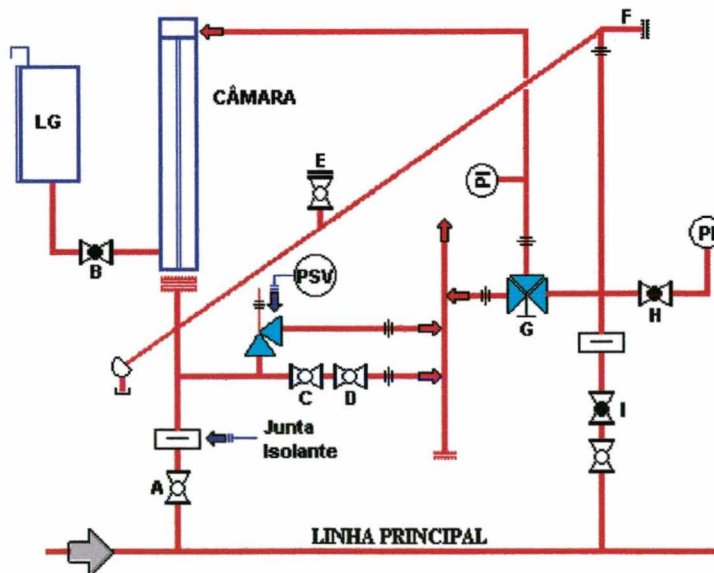


FIGURA 6.8 – Lançador de “pig” – Padrão COMPAGÁS

- Vaso receptor – ao concluir o percurso da linha, o “pig” deverá ser recolhido em um dispositivo denominado receptor de “pig”, o qual é bastante semelhante ao próprio lançador. O projeto COMPAGÁS, entretanto, adotou um vaso receptor simples em substituição ao receptor tradicional. Tal vaso corresponde a um vaso de pressão, onde os “pigs” utilizados permanecem armazenados até a próxima manutenção e/ou limpeza do mesmo. A figura 6.9 ilustra esquematicamente o vaso receptor de “pig” adotado, o qual apresenta um funcionamento bastante simplificado, ou seja, o fluxo de gás ocorre através da válvula “A” (aberta), passando pelo interior do vaso, e saindo pela linha corresponde a válvula “F” (também aberta). Caso exista o lançamento de um “pig”, este ficará acondicionado no interior do vaso, enquanto o fluxo de gás percorrerá a sua trajetória normal. Em situações de manutenção e/ou limpeza do vaso, fecha-se a válvula “A” e abre-se a válvula “B”, de forma que o fluxo de gás seja direcionado ao longo da tubulação colocada em “by-pass”.

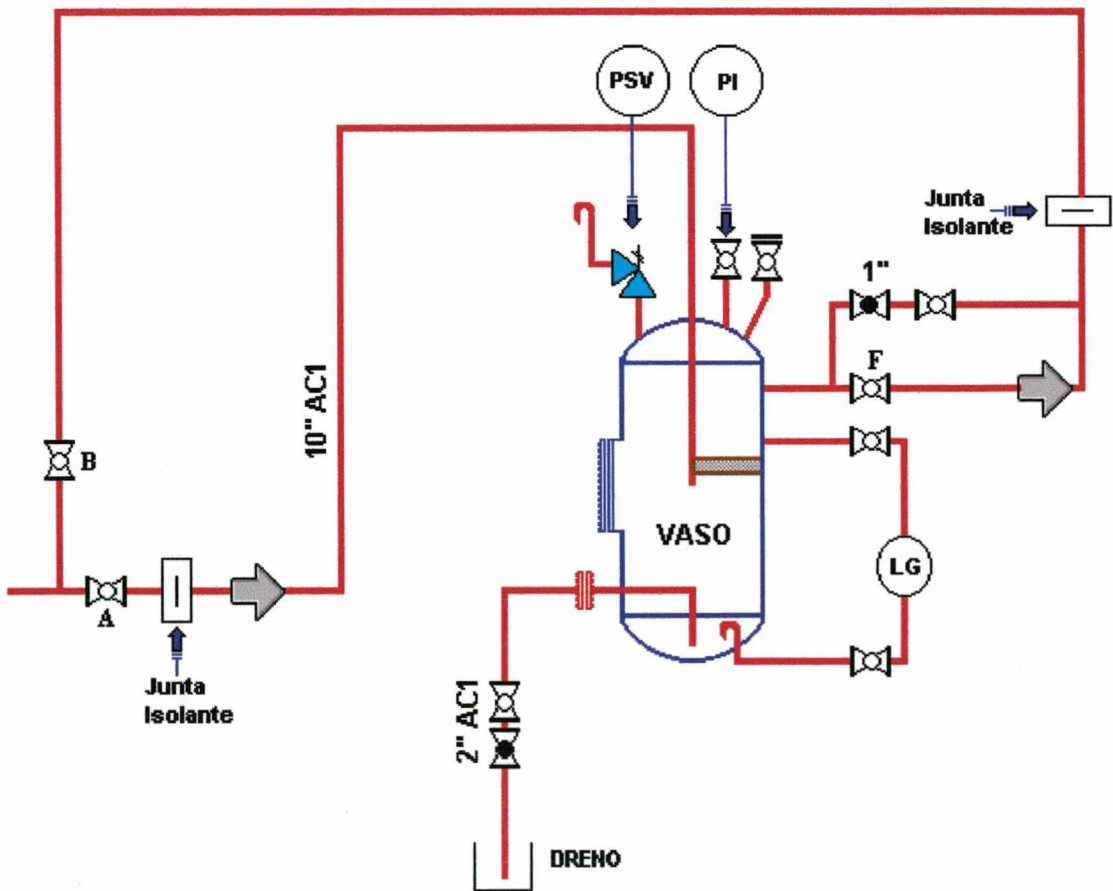


FIGURA 6.9 – Vaso receptor de “pig” – Padrão COMPAGÁS

- Estação de redução de pressão – o princípio de funcionamento de uma ERP é praticamente idêntico ao funcionamento de uma EMRP, a não ser no que diz respeito ao aspecto da medição do gás. Dessa forma, a instalação de uma ERP pode ocorrer em qualquer ponto ao longo da rede de distribuição, onde se tenha a necessidade de reduzir a pressão de operação do gás, seja pela região considerada ou, até mesmo, pela classe do material adotado (PEAD, por exemplo, tem como limitação uma pressão de 4 bar). Dessa forma, pode-se considerar que o número de EMRPs está diretamente associado ao número de consumidores finais a serem ligados, enquanto que o número de ERPs depende exclusivamente da configuração de projeto adotada. A figura 6.10, a seguir, ilustra, esquematicamente, a ERP adotada pela COMPAGÁS em seu projeto, a qual, por questões de manutenção (e confiabilidade), fora projetada com duas linhas paralelas.

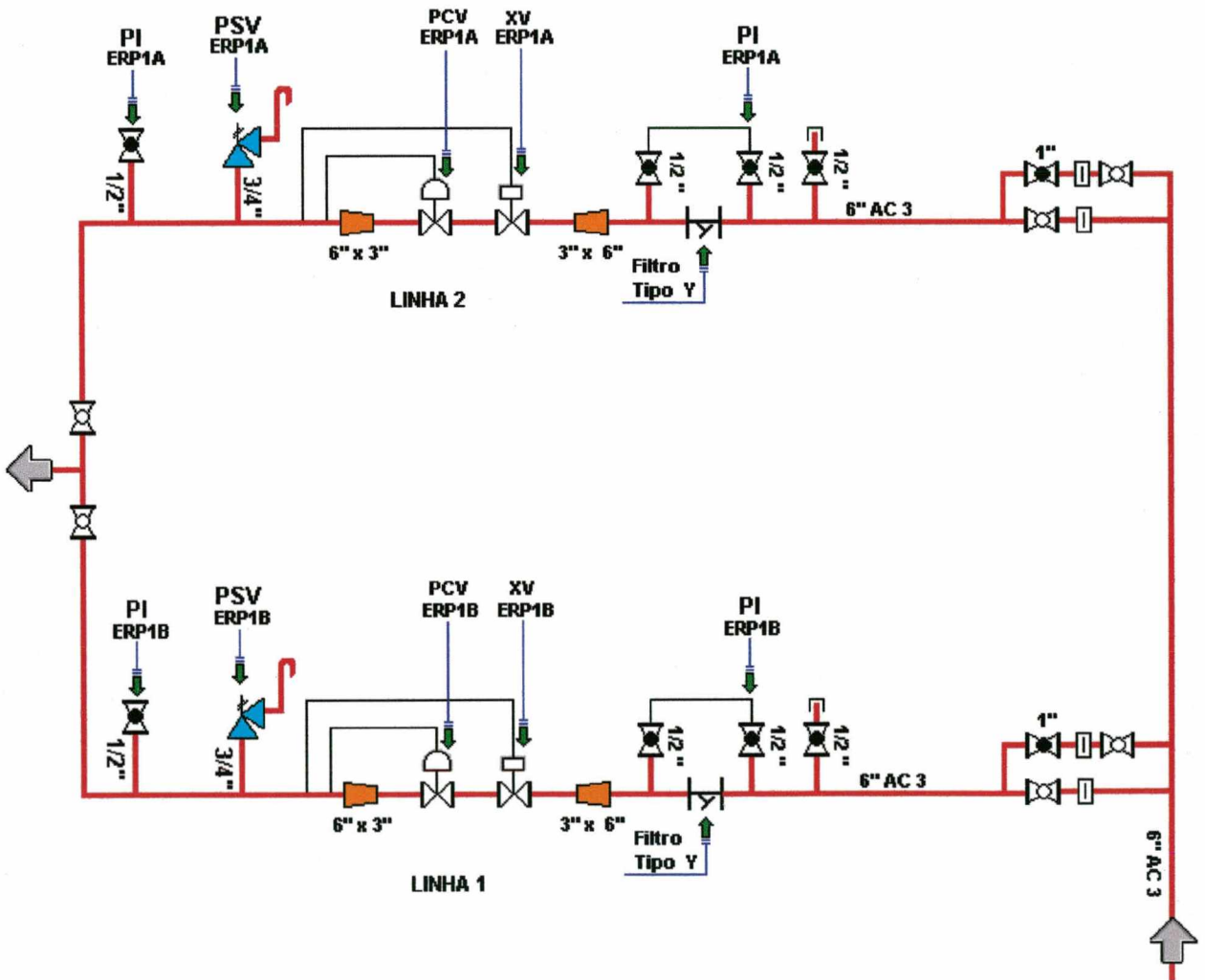


FIGURA 6.10 – Estação de redução de pressão – Padrão COMPAGÁS

- Válvula de bloqueio intermediária – a figura 6.11 ilustra o detalhe típico de uma válvula de bloqueio intermediária utilizada ao longo da rede de distribuição. Dependendo da região considerada, existem distâncias mínimas recomendadas por norma para a colocação das referidas válvulas, as quais, em condições normais de operação, permanecerão totalmente abertas, possibilitando o fluxo total do gás ao longo da linha. Em situações de emergência, manutenções, ou, até mesmo, interrupção de um dado ramal (visando a ligação de um novo consumidor), efetua-se o fechamento de duas válvulas intermediárias correspondentes ao trecho considerado. As válvulas esfera “A” e “B” servem, se necessário, para a liberação do gás à montante ou à jusante da válvula de bloqueio, bem como para possibilitar a equalização do sistema na reabertura da própria válvula de bloqueio.

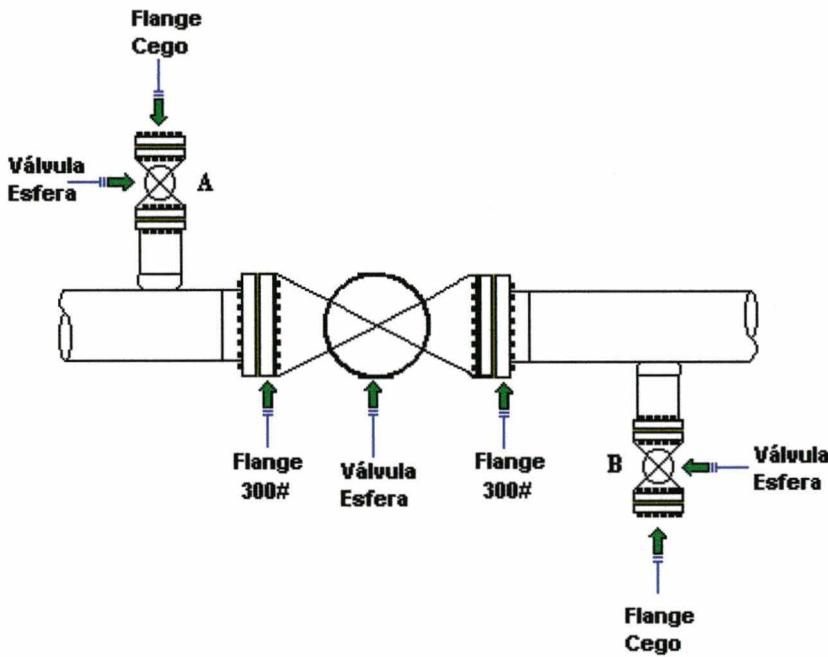


FIGURA 6.11 – Válvula de bloqueio intermediária

c) Classificação dos possíveis tipos de falhas

A tabela 6.5 traduz, novamente, os principais componentes e/ou acessórios que compõem os dispositivos adotados no projeto da rede de distribuição da COMPAGÁS, bem como os possíveis tipos de falha e suas respectivas conseqüências para o sistema. Em paralelo, para se avaliar o grau de criticidade (Ce) de cada falha e obter uma classificação preliminar destas, adotou-se a proposta de Akao (1996) de forma adaptada, ou seja:

$$C_e = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \quad (6.2)$$

onde:  $F_1$  – grandeza da influência provocada pela falha

$F_1 = 5,0$  – falha com perda total

$F_1 = 3,0$  – falha com perda considerável

$F_1 = 1,0$  – falha com perda da função

$F_2$  – abrangência da influência exercida sobre o sistema

$F_2 = 2,0$  – duas ou mais influências graves para o sistema

$F_2 = 1,0$  – uma influência grave para o sistema

$F_2 = 0,5$  – influência não muito grave para o sistema

$F_3$  – frequência de ocorrência da falha

$F_3 = 1,5$  – alta possibilidade de ocorrência (estimado)

$F_3 = 1,0$  – possibilidade de ocorrência (estimado)

$F_3 = 0,5$  – pouca possibilidade de ocorrência (estimado)

$F_4$  – dificuldade de prevenção da falha

$F_4 = 1,3$  – prevenção impossível

$F_4 = 1,0$  – prevenção possível

$F_4 = 0,7$  – prevenção fácil

Na seqüência, para cada tipo de falha descrita na tabela 6.5, calculou-se o seu respectivo grau de criticalidade para o sistema (tabela 6.6), visando direcionar decisões para as etapas subseqüentes do presente trabalho.



**TABELA 6.5** – Tipos de falhas dos principais componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás canalizado

<b>Componente ou Acessório</b>	<b>Tipo de falha</b>	<b>Motivos</b>	<b>Conseqüências para o sistema</b>
Válvula esfera – ERP/EMRP/Lançador/Vaso Receptor	1) Haste emperada.  2) Vazamento pela haste.	1) Problemas de desgaste ou sujeira.  2) Desgaste na sede.	1) Impossibilidade para bloqueios repentinos nos dispositivos considerados ou para a execução de manutenções.  2) Descarga de gás para a atmosfera.
Válvula esfera – Bloqueio	1) Haste emperada.  2) Não abrir após o fechamento.	1) Trabalhar na posição semi-aberta ou problemas de desgaste/sujeira.  2) Diferencial de pressão muito alto.	1) Impossibilidade de bloquear um dado trecho em caso de emergência.  2) Impossibilidade de restabelecer o fluxo no trecho considerado.
Válvula globo – ERP/EMRP/Lançador/Vaso Receptor	1) Vazamento pela haste (gaxeta).  2) Desgaste acen tuado.	1) Desgaste na sede ou falta de montagem.  2) Número de ciclos elevado.	1) Descarga de gás para a atmosfera.  2) Dificuldade para operação do sistema considerado ou imprecisão no visor de nível (lançador).
Separador centrífugo	1) Saturação muito rápida.	1) Problemas de limpeza.	1) Entupimento do filtro e/ou do purgador.
Filtro tipo Y – Separador	1) Entupimento.	1) Falta de limpeza no filtro ou saturação do separador.	1) Entupimento do purgador.
Filtro tipo Y – Linha da EMRP	1) Entupimento.	1) Falta de limpeza no filtro ou saturação do separador.	1) Jato de líquido no medidor e oscilação de pressão no sistema.

**TABELA 6.5** – Tipos de falhas dos principais componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás canalizado (continuação)

Filtro tipo Y – Linha da ERP	1) Entupimento.	1) Problemas de limpeza no filtro.	1) Baixa pressão do gás na linha da ERP.
Purgador tipo bóia	1) Entupimento.  2) Bóia furar.	1) Falta de limpeza no purgador ou entupimento do filtro do separador.  2) Desgaste ou falha de montagem.	1) Entupimento do filtro posicionado na linha da EMRP.  2) Entupimento dos filtros com conseqüente saturação do separador.
Válvula de bloqueio automático – XV – EMRP/ERP	1) Fechamento fora do “set”.  2) Não funcionamento com variação de pressão.  3) Descalibração no piloto.  4) Fechamento inadequado.	1) Descalibração no piloto.  2) Excesso de sujeira.  3) Vibração na linha.  4) Mau funcionamento da PCV.	1) Redução de pressão à jusante.  2) Funcionamento irregular da PSV com possibilidade de danos por sobrepressão.  3) Fechamento fora do “set”.  4) Bloqueio do gás na linha.
Válvula reguladora de pressão – PCV – EMRP/ERP	1) Descalibração no piloto  2) Não funcionamento ou mal funcionamento.  3) Fechamento inadequado.	1) Vibração na linha.  2) Excesso de sujeira.  3) Alta pressão na linha.	1) Possibilidade de bloqueio irregular da válvula XV.  2) Funcionamento irregular da XV ou baixa pressão na saída do gás.  3) Acionamento da XV com bloqueio da linha.

**TABELA 6.5** – Tipos de falhas dos principais componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás canalizado (continuação)

Válvula de alívio de pressão – PSV – ERP/EMRP	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Funcionamento sem variação de pressão na linha.</li> <li>2) Descalibração no piloto.</li> <li>3) Abertura inadequada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Descalibração do piloto.</li> <li>2) Vibração na linha.</li> <li>3) Possibilidade de falha da XV ou pressão elevada na linha.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Gás enviado para a atmosfera.</li> <li>2) Abertura fora do “set”.</li> <li>3) Gás enviado para a atmosfera.</li> </ol>
Válvula de alívio de pressão – PSV - Lançador	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Abertura inadequada.</li> <li>2) Abertura inadequada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Possibilidade de falha na válvula de 3 vias.</li> <li>2) Pressão elevada no lançador.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Não funcionamento do lançador de “pig”.</li> <li>2) Funcionamento inadequado do lançador.</li> </ol>
Válvula de alívio de pressão – PSV – Vaso recebedor	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Abertura inadequada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Pressão muito alta na linha ou no vaso recebedor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Gás enviado para a atmosfera.</li> </ol>
Medidor tipo turbina - EMRP	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Danos mecânicos ou desgaste acelerado.</li> <li>2) Falta de precisão na medida.</li> <li>3) Erro de medição.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Excesso de vazão, falta de lubrificação ou excesso de líquido no gás.</li> <li>2) Excesso de líquido ou sujeira no gás.</li> <li>3) Possibilidade de corrente induzida no sistema.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Passagem de gás sem a respectiva medição.</li> <li>2) Medição incorreta no volume de gás.</li> <li>3) Medição incorreta no volume de gás.</li> </ol>
Manômetro - PI	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Erro de leitura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Descalibração ou choques.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Possibilidade da não indicação em um aumento de pressão da linha.</li> </ol>

**TABELA 6.5** – Tipos de falhas dos principais componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás canalizado (continuação)

Medidor tipo rotativo - EMRP	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Desgaste acelerado.</li> <li>2) Travamento do medidor.</li> <li>3) Erro ou falta de medição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Excesso de líquido ou sujeira no gás</li> <li>2) Excesso de sujeira no gás.</li> <li>3) Falta de fluxo (vazão) ou possibilidade de corrente induzida no sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Medição incorreta no volume de gás.</li> <li>2) Bloqueio no fluxo de gás para o consumidor.</li> <li>3) Medição incorreta no volume de gás.</li> </ul>
Transmissor de pressão – PT - EMRP	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Erro de medição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Descalibração ou desgaste.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Falha na correção da vazão do gás.</li> </ul>
Transmissor de temperatura – TT - EMRP	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Erro de medição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Descalibração ou desgaste.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Falha na correção da vazão do gás.</li> </ul>
Totalizador, indicador e transmissor de vazão – FQIT - EMRP	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Erro de medição.</li> <li>2) Não funcionamento/funcionamento impreciso.</li> <li>3) Falta de medição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Variação na temperatura.</li> <li>2) Choques ou vibrações.</li> <li>3) Problemas de bateria (carga).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Indicação de vazão incorreta.</li> <li>2) Não indicação da vazão consumida.</li> <li>3) Não indicação da vazão consumida.</li> </ul>
Válvula de 3 vias – Lançador	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Desgaste.</li> <li>2) Vazamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Excesso de sujeira no gás.</li> <li>2) Desgaste.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2) Acionamento da PSV.</li> <li>2) Dificuldade para acionamento da câmara do lançador.</li> </ul>
Visor de nível – Lançador	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Indicação incorreta ou falta de indicação na posição do “pig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Excesso de sujeira ou falta de pressão na câmara.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Incerteza na colocação do “pig” em operação.</li> </ul>

**TABELA 6.6 – Cálculo do grau de criticalidade de cada falha para o sistema**

<b>Componente ou Acessório</b>	<b>Tipo de falha</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>4</sub></b>	<b>Ce</b>
Válvula esfera	1) Haste emperrada.	3,0	2,0	1,0	1,0	<b>6,0</b>
	2) Vazamento pela haste.	1,0	0,5	1,0	1,0	<b>0,5</b>
	3) Não abrir após o fechamento.	3,0	1,0	0,5	0,7	<b>1,05</b>
Válvula globo	1) Vazamento pela haste (gaxeta).	1,0	0,5	1,0	1,0	<b>0,5</b>
	2) Desgaste acentuado.	3,0	1,0	1,0	1,0	<b>3,0</b>
Separador centrífugo	1) Saturação muito rápida.	3,0	2,0	1,0	1,0	<b>6,0</b>
Filtro tipo Y	1) Entupimento.	5,0	2,0	1,5	1,0	<b>15,0</b>
Purgador tipo bóia	1) Entupimento.	3,0	2,0	1,5	1,0	<b>9,0</b>
	2) Bóia furar.	5,0	1,0	1,0	0,7	<b>3,5</b>
Válvula de bloqueio automático – XV	1) Fechamento fora do “set”.	3,0	0,5	1,5	1,0	<b>2,25</b>
	2) Não funcionamento com variação de pressão.	5,0	2,0	1,0	1,0	<b>10,0</b>
	3) Descalibração no piloto.	3,0	1,0	1,0	1,0	<b>3,0</b>
	4) Fechamento inadequado.	1,0	1,0	1,0	0,7	<b>0,7</b>
Válvula reguladora de pressão – PCV	1) Descalibração no piloto.	3,0	1,0	1,0	1,0	<b>3,0</b>
	2) Não funcionamento ou mal funcionamento.	3,0	2,0	1,0	1,0	<b>6,0</b>
	3) Fechamento inadequado.	3,0	2,0	1,0	0,7	<b>4,2</b>
Válvula de alívio de pressão – PSV	1) Funcionamento sem variação de pressão na linha.	1,0	0,5	1,0	1,0	<b>0,5</b>
	2) Descalibração no piloto.	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,0</b>
	3) Abertura inadequada.	1,0	0,5	1,5	1,0	<b>0,75</b>
Medidor tipo turbina	1) Danos mecânicos ou desgaste acelerado.	3,0	1,0	1,0	1,0	<b>3,0</b>
	2) Falta de precisão na medida	1,0	1,0	1,5	1,0	<b>1,5</b>
	3) Erro de medição.	1,0	1,0	0,5	0,7	<b>0,35</b>

**TABELA 6.6** – Cálculo do grau de criticalidade de cada falha para o sistema (continuação)

Medidor tipo rotativo	1) Desgaste acelerado.	1,0	1,0	1,5	1,0	<b>1,5</b>
	2) Travamento do medidor.	5,0	1,0	1,0	1,0	<b>5,0</b>
	3) Erro ou falta de medição.	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,0</b>
Manômetro – PI	1) Erro de leitura.	3,0	0,5	1,5	1,0	<b>2,25</b>
Transmissor de pressão – PT	1) Erro de medição.	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,0</b>
Transmissor de temperatura – TT	1) Erro de medição.	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,0</b>
Totalizador, indicador e transmissor de vazão – FQIT	1) Erro de medição.	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,0</b>
	2) Não funcionamento ou funcionamento impreciso.	3,0	1,0	1,5	1,0	<b>4,5</b>
	3) Falta de medição.	1,0	1,0	1,5	0,7	<b>1,05</b>
Válvula de 3 vias	1) Vazamento.	1,0	0,5	1,5	1,0	<b>0,75</b>
	2) Desgaste.	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,0</b>
Visor de nível	1) Indicação incorreta ou falta de indicação na posição do “pig”.	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,0</b>

Como referência, considerar-se-á a seguinte escala de valores:  $C_e \geq 10$  – criticalidade acentuada (providências imediatas),  $3 < C_e < 10$  – criticalidade normal (providências a médio prazo) e  $C_e \leq 3$  – criticalidade aceitável (providências futuras).

Novamente, deve-se destacar que esses resultados poderão, a partir da implementação de um banco de dados, serem diretamente associados à confiabilidade do sistema considerado.

d) Modelos matemáticos – EMRPs (simples e duplas)

A partir de uma EMRP padrão COMPAGÁS, descrita em 6.4.3(b), pode-se construir os diagramas de blocos e os modelos matemáticos correspondentes. Para tal, desconsiderou-se o conjunto de manômetros, válvulas mais simples e reduções existentes, dada a sua pequena influência para o sistema, mesmo em caso de uma possível falha (grau de criticalidade “ $C_e \leq 3$ ”).

A figura 6.12 identifica os equipamentos e acessórios considerados, com seus respectivos algoritmos de identificação, enquanto que a figura 6.13 ilustra o diagrama de blocos equivalente, do modelo para cálculo da confiabilidade do subsistema EMRP.

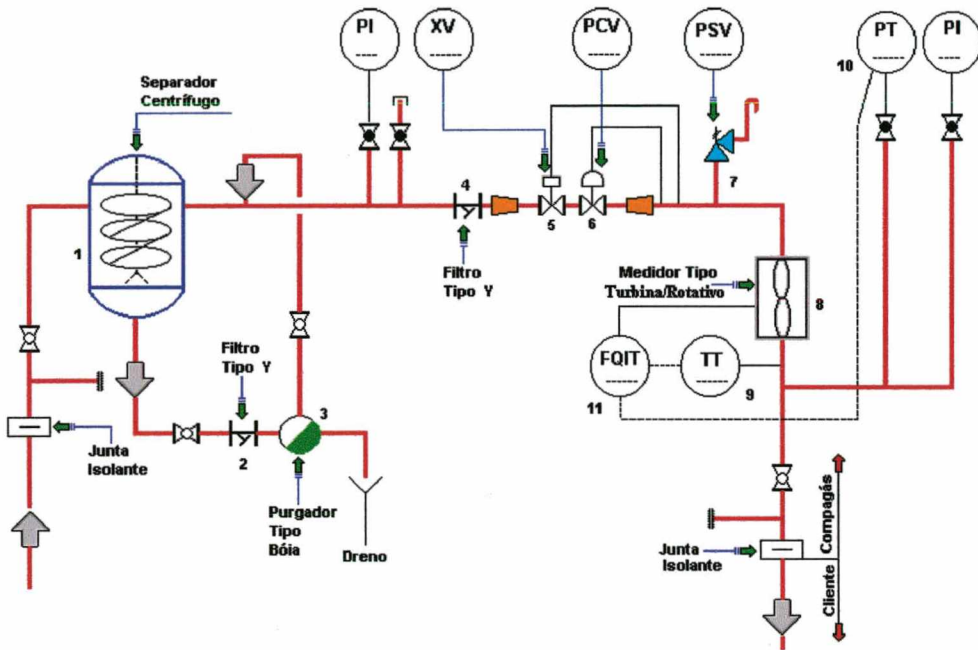


FIGURA 6.12 – Identificação dos componentes da EMRP considerados para o diagrama de blocos

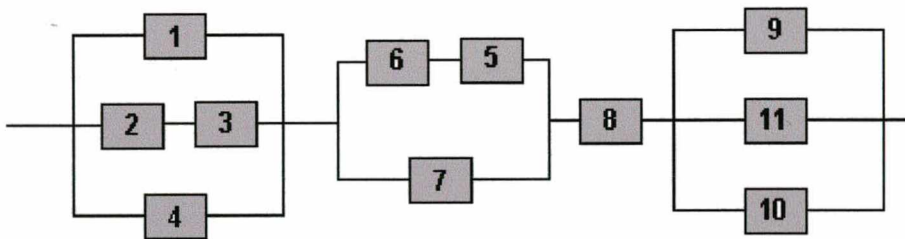


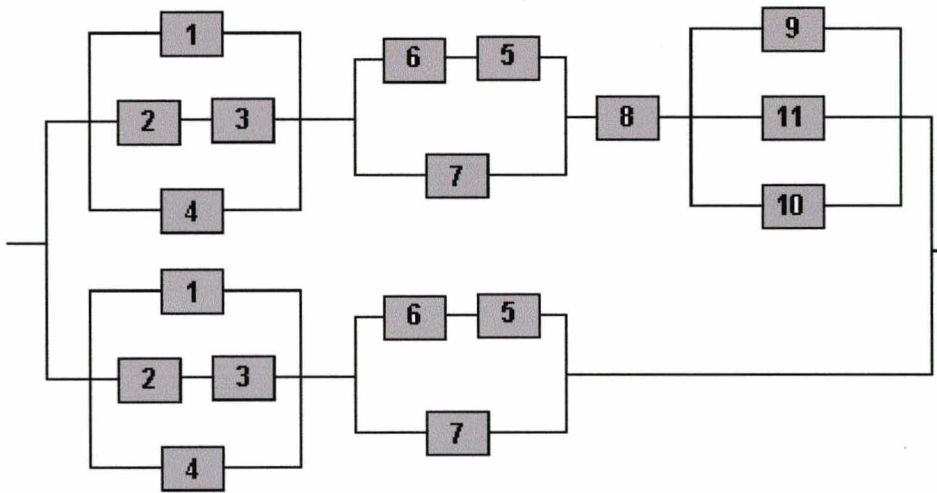
FIGURA 6.13 – Diagrama de blocos para uma EMRP simples – Padrão COMPAGÁS

O modelo matemático equivalente corresponde à:

$$R_{EMRPS} = R_{c1} \cdot R_{c2} \cdot R_8 \cdot R_{c3} \tag{6.3}$$

onde:  $R_{c1} = [1 - (1 - R_1)(1 - R_2 \cdot R_3)(1 - R_4)]$   
 $R_{c2} = [1 - (1 - R_6 \cdot R_5)(1 - R_7)]$   
 $R_{c3} = [1 - (1 - R_9)(1 - R_{10})(1 - R_{11})]$

Para a situação de se utilizar uma EMRP dupla, é comum, por questões de economia, não se trabalhar com um 2º medidor em paralelo, sendo o consumo de gás faturado, nessas circunstâncias, pela média dos consumos anteriores. Dessa forma, o arranjo de confiabilidade e o modelo matemático correspondentes serão:



**FIGURA 6.14** – Diagrama de blocos para uma EMRP dupla – Padrão COMPAGÁS

$$R_{EMRPD} = 1 - [1 - R_{c1} \cdot R_{c2} \cdot R_8 \cdot R_{c3}] [1 - R_{c1} \cdot R_{c2}] \tag{6.4}$$

Considerando-se ainda, que em caso de falha do medidor ou de seus acessórios (PT, TT ou FQIT) não haveria paralisação do subsistema, pois o fluxo de gás passaria automaticamente pela linha em paralelo da estação, sem medição, é possível propor que:

$$R_{EMRPD}^* = 1 - [1 - R_{c1} \cdot R_{c2}] [1 - R_{c1} \cdot R_{c2}] \tag{6.5}$$



e) Modelos matemáticos – ERPs

Similarmente ao item anterior, o diagrama de blocos e o modelo matemático correspondentes a uma ERP – Padrão COMPAGÁS, foram obtidos desconsiderando-se acessórios mais simples como manômetros e reduções, por exemplo.

As figuras 6.15 e 6.16 correspondem a ERP mencionada e ao diagrama de blocos equivalente, respectivamente. Deve-se observar que, diferentemente do estudo da EMRP, a ERP apresenta seu projeto com linha dupla, garantindo uma maior confiabilidade ao sistema.

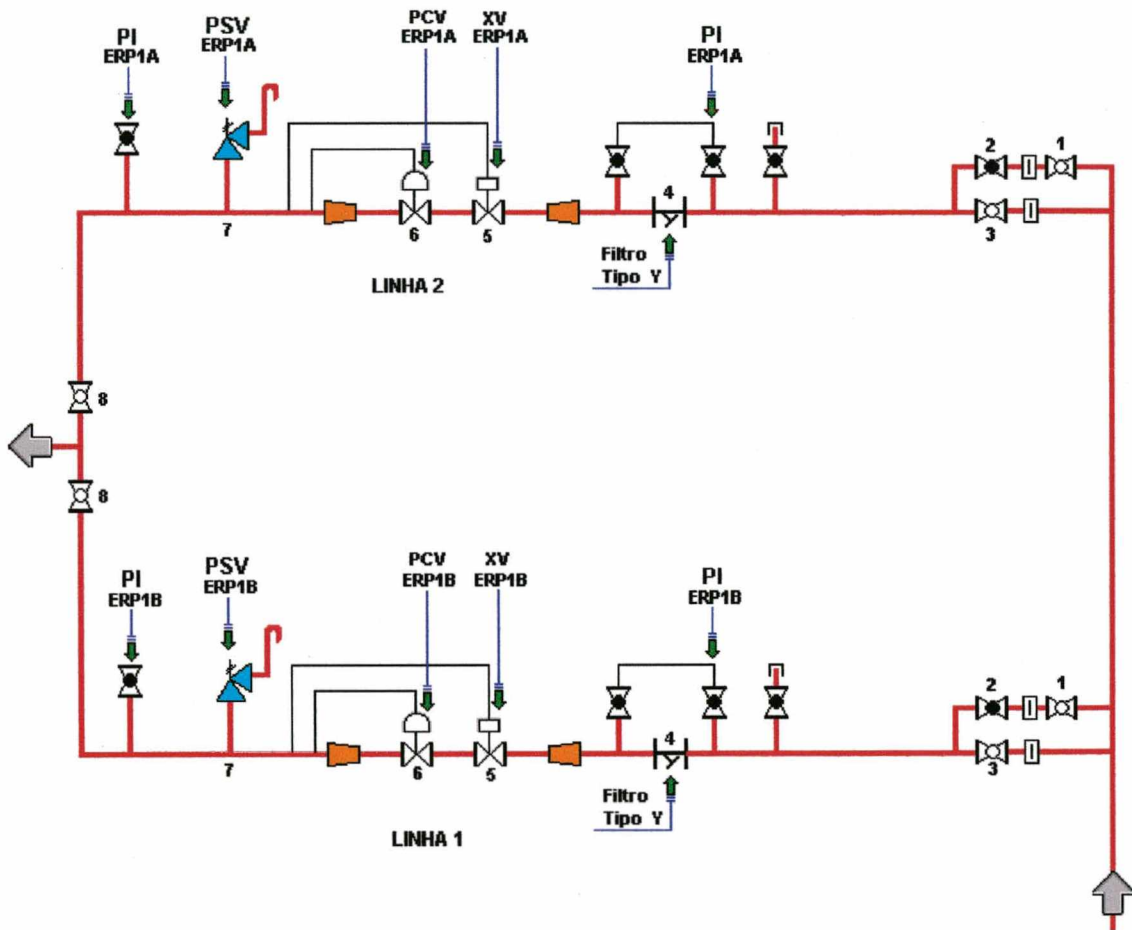
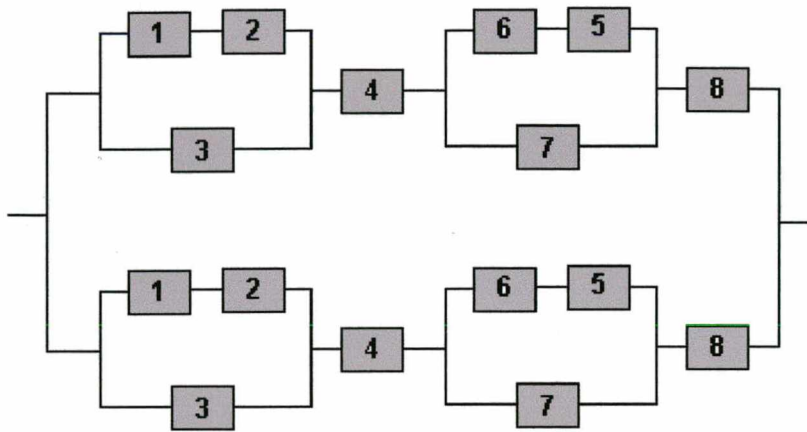


FIGURA 6.15 – Identificação dos componentes da ERP considerados para o diagrama de blocos



**FIGURA 6.16** – Diagrama de blocos para uma ERP – Padrão COMPAGÁS

O modelo matemático equivalente corresponde à:

$$R_{ERP} = 1 - [1 - R_{c4} \cdot R_4 \cdot R_{c5} \cdot R_8] [1 - R_{c4} \cdot R_4 \cdot R_{c5} \cdot R_8] \tag{6.6}$$

$$R_{c4} = [1 - (1 - R_3)(1 - R_1 \cdot R_2)]$$

$$R_{c5} = [1 - (1 - R_6 \cdot R_5)(1 - R_7)]$$

f) Procedimentos para detecção de falhas

Uma das principais maneiras para se detectar, inicialmente, uma possível falha no sistema, certamente, corresponde a comunicação direta do consumidor final para a área operacional da COMPAGÁS. Posteriormente, com a implantação total da rede, poder-se-á trabalhar com sistemas integrados que permitam verificar qualquer anormalidade da rede de maneira, quase que instantânea.

Outro ponto a ser considerado, no momento da elaboração do manual de operação do sistema, corresponde a definição de uma rotina a ser seguida pelo pessoal da operação, visando percorrer trechos da rede periodicamente, no sentido de se verificar a situação de estações de regulagem e medição, válvulas e até mesmo a própria tubulação.

#### g) Sistemas de segurança

Visando o aspecto da segurança de uma rede de distribuição de gás, alguns procedimentos podem ser definidos, ainda na fase do projeto conceitual, procurando eliminar ou minimizar qualquer possibilidade de acidentes, principalmente.

Dessa forma, deve-se estudar, por exemplo, a concepção final de uma ERP, visto que a mesma pode ser aérea ou enterrada. No caso da mesma ser aérea, maior será a facilidade para manutenções ou revisões da mesma, enquanto que para a situação enterrada, maior será o aspecto da segurança (contra a colisão de um veículo, por exemplo).

Outro ponto fundamental corresponde a uma perfeita sinalização ao longo do traçado da tubulação, pois, estando a tubulação totalmente enterrada, grandes são as possibilidades de máquinas ou equipamentos virem a romper a mesma em caso de obras no local. Também associado a esse aspecto, pode-se prever a colocação de placas de concreto (conforme figura 6.6) ao longo do traçado da tubulação, minimizando o risco de impactos com a tubulação em situações de obra.

E finalmente, deve-se pensar, também, numa efetiva campanha para a divulgação da rede de gás, com suas respectivas características e com uma definição precisa do traçado da tubulação.

### **6.4.4 – Avaliação técnico-econômica**

#### a) Estudos de viabilidade técnico-econômica dos trechos

Diferentemente de uma empresa distribuidora de gás que já apresente uma rede implantada e que por motivos de expansão venha a estudar a possibilidade de extensão de um novo ramal, a COMPAGÁS iniciou suas atividades com a execução da 1ª etapa de sua rede de distribuição, visando uma ampliação quase que imediata da mesma pelos motivos já expostos anteriormente.

Dessa forma, todos os estudos de viabilidade técnico-econômica efetuados pela equipe técnica da COMPAGÁS sempre foram realizados no sentido de se compatibilizar o investimento global com os volumes de gás a serem disponibilizados por contrato. Para isso, a consideração do preço de compra do gás, do investimento da rede, dos custos de operação e manutenção do sistema e do preço de venda a ser praticado para o gás, permitem a verificação da viabilidade econômica do empreendimento como um todo, respeitando-se obviamente as taxas internas de retorno pré-estabelecidas pela empresa. Tais estudos, normalmente, são

desenvolvidos para um período de 20 anos, o que corresponde ao prazo do contrato Brasil-Bolívia e a expectativa de vida para as linhas de distribuição como um todo.

#### b) Novos materiais e equipamentos

Além da utilização de tubos de PEAD, quando possível, o projeto COMPAGÁS procurou contemplar outras mudanças quanto a adoção de materiais e equipamentos diferenciados, visando a redução de custos e de futuros problemas operacionais, bem como o aumento da confiabilidade da sua rede.

Evidentemente, como ainda não se dispõem de informações mais específicas sobre o desempenho dos diversos dispositivos e acessórios utilizados numa rede de distribuição de gás, uma análise mais crítica tornou-se, ainda, um pouco inviável.

A seguir, faz-se uma descrição das alterações efetuadas dentro desse contexto no projeto COMPAGÁS:

- tubos de polietileno em substituição aos tubos de aço carbono (os tubos de PEAD não apresentam problemas de corrosão);
- substituição dos lançadores de “pig” tradicionais por lançadores de funcionamento basicamente mecânico (permitindo assim, principalmente, a redução do número de válvulas utilizadas);
- substituição dos receptores de “pig” tradicionais (similares aos lançadores) por simples vasos receptores (permitindo a eliminação de válvulas, câmaras e demais acessórios);
- adoção de medidores com possibilidade para adaptação futura à computadores de vazão (permitindo, se necessário, a indicação instantânea de qualquer problema na EMRP ou no próprio medidor);
- utilização de revestimentos de polietileno extrudado em substituição ao revestimento tradicional de “coaltar” para os tubos de aço carbono (permitindo um melhor desempenho em termos de proteção anti-corrosiva);
- uso de separadores centrífugos e purgadores tipo bóia nas EMRPs (permitindo uma maior retenção das impurezas presentes no próprio gás).

Considerando-se, ainda, os parâmetros de projeto acima descritos, pode-se afirmar que:

- uma tubulação de PEAD apresenta um custo bastante competitivo em relação a uma tubulação de aço carbono tradicional para bitolas de até 6". Bitolas de 8" apresentam uma igualdade de custos e bitolas superiores são desfavoráveis até o momento (considerando-se o PEAD para 4 bar de pressão);
- o custo na redução do número de válvulas utilizadas num lançador tradicional é mais ou menos similar ao custo do sistema haste-pistão utilizado no lançador – Padrão COMPAGÁS. Por outro lado, supõem-se que um ganho adicional será obtido pela redução do número de falhas, e conseqüentemente, de manutenções para o novo sistema;
- a adoção de vasos recebedores em substituição aos recebedores tradicionais não apresenta, de imediato, uma redução de custos para o sistema. Por outro lado, similarmente aos lançadores, estima-se um ganho ao longo da vida útil desses dispositivos;
- a princípio, os medidores com saída para computadores de vazão apresentam um maior custo em relação aos medidores tradicionais. Dada, porém, a rápida evolução desses dispositivos, acredita-se que em pouco tempo tais custos serão equivalentes, justificando-se, assim, todas as vantagens adicionais oferecidas por esses modelos mais modernos;
- o revestimento em polietileno extrudado apresenta um custo adicional de aproximadamente 8% sobre o custo do tubo revestido em "coaltar", o que, certamente, é compensado pelo ganho de vida em termos de proteção anti-corrosiva (de 15 para 20 anos);
- evidentemente o uso adicional de separadores e purgadores em cada EMRP ocasiona um aumento do custo final desse dispositivo. Mas, dada a necessidade de se trabalhar por um dado período inicial com gás de refinaria, esse custo torna-se inevitável, mesmo vindo a ocasionar uma maior possibilidade de falhas para o sistema.

### c) Parâmetros de confiabilidade em contratos de fornecimento

Num segundo momento, de posse de informações mais detalhadas sobre o funcionamento de cada equipamento ou acessório utilizado em projeto, as quais deverão estar devidamente cadastradas num banco de dados, torna-se possível começar a implementar cláusulas específicas de taxas de falhas, por exemplo, em contratos de fornecimento.

Para tal, pode-se, inclusive, obter tais valores a partir da utilização da ferramenta da "árvore de falhas", estimando-se a confiabilidade do subsistema e obtendo-se a confiabilidade desejada para cada item individualmente.

Esse tipo de análise, certamente, exigirá que o próprio fornecedor passe a ter uma efetiva preocupação com a disponibilidade de seu produto, e não somente com a funcionalidade do mesmo, como normalmente acontece.

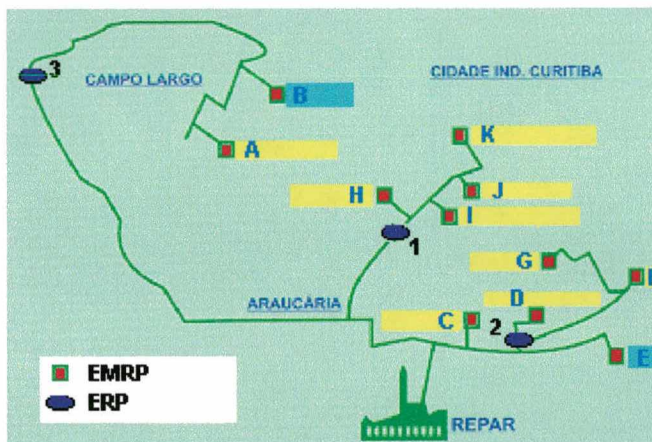
## 6.5 - Confiabilidade da rede de distribuição

A grande questão nesse momento é, qual será a confiabilidade de uma rede de distribuição de gás, ou, ainda, mais precisamente, qual será a confiabilidade da 1ª etapa da rede de distribuição de gás da COMPAGÁS?

A partir de todos os parâmetros considerados ao longo do trabalho, pode-se calcular a confiabilidade dessa rede a partir das seguintes considerações:

- ⊗ a probabilidade de acidentes externos ou da falta de gás no ponto de entrega (REPAR) serão consideradas nulas;
- ⊗ as falhas associadas à rede de distribuição propriamente dita (tubulação) serão consideradas desprezíveis;
- ⊗ as EMRPs adotadas em projeto são compostas de linhas simples, com exceção dos consumidores “E” e “B”;
- ⊗ descarta-se a possibilidade de um dado consumidor vir a comprometer a estabilidade da rede através de possíveis oscilações em seu consumo, dada a grande flexibilidade existente em termos dos diâmetros considerados (a rede deverá contemplar também a distribuição de gás natural, cujos volumes serão extremamente maiores);
- ⊗ para uma análise preliminar serão considerados períodos de funcionamento contínuo (24 h/dia, 30dias/mês) de 2, 3, 6, 12 e 18 meses, o que, em síntese, não corresponde a uma situação real, pois alguns dos dispositivos utilizados, como os filtros, por exemplo, deverão apresentar uma manutenção preditiva em intervalos de tempos muito menores, conforme apresentado na tabela 6.8;
- ⊗ as ERPs existentes nessa 1ª etapa da rede de distribuição estão apresentadas, esquematicamente, na figura 6.17;
- ⊗ as taxas de falhas e os modelos matemáticos considerados correspondem aos dados discutidos na tabela 6.4 e item 6.4.3 (d) e (e), respectivamente.

Dessa forma, construiu-se a tabela 6.7, na qual estão apresentados os valores correspondentes à confiabilidade calculada em cada um dos pontos relativos a figura 6.17 (consumidores e ERPs) da rede de distribuição COMPAGÁS. Para tal, considerou-se como falha para o sistema, a suspensão no fornecimento de gás para qualquer um dos consumidores considerados.



**FIGURA 6.17** – Rede de distribuição de gás de refinaria – COMPAGÁS

onde: pontos A, C, D, F, G, H, I, J e K – consumidores interligados com EMRPs simples  
 pontos B e E – consumidores interligados com EMRPs duplas

**TABELA 6.7** – Confiabilidade (R(x)) da 1ª etapa da rede de distribuição de gás – COMPAGÁS, sob o ponto de vista da “falta” de gás

	2 meses	3 meses	6 meses	12 meses	18 meses
Ponto A	0,950718	0,915720	0,783510	0,489450	0,262960
Ponto B	0,985139	0,968030	0,888561	0,660750	0,427050
Ponto C	0,964985	0,945670	0,878782	0,714810	0,543900
Ponto D	0,950718	0,915720	0,783510	0,489450	0,262960
Ponto E	0,999923	0,999690	0,996608	0,964980	0,883310
Ponto F	0,950718	0,915720	0,783510	0,489450	0,262960
Ponto G	0,950718	0,915720	0,783510	0,489450	0,262960
Ponto H	0,950718	0,915720	0,783510	0,489450	0,262960

**TABELA 6.7** – Confiabilidade (R(x)) da 1ª etapa da rede de distribuição de gás – COMPAGÁS, sob o ponto de vista da “falta” de gás (continuação)

Ponto I	0,950718	0,915720	0,783510	0,489450	0,262960
Ponto J	0,950718	0,915720	0,783510	0,489450	0,262960
Ponto K	0,950718	0,915720	0,783510	0,489450	0,262960
Pontos 1, 2 e 3	0,985215	0,968330	0,891586	0,684730	0,483460

As diferenças existentes entre os resultados apresentados para alguns dos pontos em relação aos demais, num mesmo período de análise, (pontos A e B ou C e E, por exemplo) deve-se ao fato da existência ou não de ERPs ao longo da rede, bem como, a utilização de EMRPs simples ou duplas.

Uma análise mais geral da tabela 6.7, identifica, também, que para os resultados apresentados em 12 e 18 meses de funcionamento contínuo, a maioria dos pontos da rede de distribuição estariam apresentando um valor, relativamente, baixo para a sua confiabilidade. Dessa forma, optou-se em recalcular a confiabilidade do sistema, simulando-se uma manutenção preditiva de alguns componentes da rede, ou, mais precisamente, dos componentes que apresentam as maiores taxas de falhas. Assim, construiu-se a tabela 6.8, na qual estão apresentados os valores calculados para a confiabilidade do sistema em 12 e 18 meses de funcionamento contínuo, com as seguintes premissas: manutenção preditiva dos filtros tipo Y (ERPs e EMRPs) a cada 6 meses de funcionamento e manutenção dos purgadores e separadores centrífugos (EMRPs) a cada 12 meses de funcionamento contínuo.



**TABELA 6.8** – Confiabilidade ( $R(x)$ ) da 1ª etapa da rede de distribuição de gás – COMPAGÁS, para 12 e 18 meses de funcionamento contínuo, considerando-se a manutenção preditiva de alguns componentes

	12 meses	18 meses
Ponto A	0,639278	0,515590
Ponto B	0,833442	0,763952
Ponto C	0,752509	0,647919
Ponto D	0,639278	0,515590
Ponto E	0,981063	0,960025
Ponto F	0,639278	0,515590
Ponto G	0,639278	0,515590
Ponto H	0,639278	0,515590
Ponto I	0,639278	0,515590
Ponto J	0,639278	0,515590
Ponto K	0,639278	0,515590
Pontos 1, 2 e 3	0,849529	0,795763

Os resultados acima apresentados demonstram a possibilidade no aumento da confiabilidade do sistema, obtida através de um planejamento de manutenção, a ser desenvolvido para o sistema como um todo. Evidentemente, para 2, 3 ou 6 meses de funcionamento contínuo, esse aumento também pode ser facilmente comprovado.

A seguir, construiu-se outra tabela com os resultados obtidos para a confiabilidade do sistema, considerando-se a substituição de todas as EMRPs simples por duplas. Nesses cálculos, a hipótese das manutenções acima discutidas não foram consideradas.

**TABELA 6.9** – Confiabilidade (R(x)) da 1ª etapa da rede de distribuição de gás – COMPAGÁS, sob o ponto de vista da “falta” de gás, considerando-se o uso de EMRPs duplas

	2 meses	3 meses	6 meses	12 meses	18 meses
Ponto A	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto B	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto C	0,999923	0,999693	0,996608	0,964984	0,883308
Ponto D	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto E	0,999923	0,999693	0,996608	0,964984	0,883308
Ponto F	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto G	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto H	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto I	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto J	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto K	0,985116	0,968034	0,888561	0,660753	0,427046
Ponto 1, 2 e 3	0,985192	0,968331	0,891586	0,684729	0,483463

Comparando-se os resultados correspondentes às tabelas 6.7 e 6.9, pode-se facilmente observar que a substituição das EMRPs simples por duplas favorece, razoavelmente, a confiabilidade do sistema global. Dessa forma, um levantamento minucioso dos custos adicionais oriundos dessas substituições deve ser efetuado com bastante critério, conforme discutido anteriormente.

Finalizando, também é possível observar que diversas são as combinações de estudos que podem ser efetuados dentro do contexto da confiabilidade e da manutenibilidade da rede considerada, visando assim, um fornecimento de subsídios mais amplo para as etapas subsequentes do referido projeto.

## 6.6 – Comentários finais

Através da análise dos resultados obtidos, pode-se chegar a algumas conclusões quanto a confiabilidade da rede de gás considerada sob o ponto de vista da “falta” de gás para um dado consumidor:

- a substituição das EMRPs simples por EMRPs duplas permitiu uma quantificação no uso de redundâncias para o sistema;
- a análise preliminar para 12 e 18 meses de funcionamento contínuo da rede, permitiu a identificação dos itens mais críticos para o sistema;
- tornou-se possível a comprovação da importância de manutenções programadas e bem definidas para o sistema e;
- a utilização de ERPs ao longo da rede desfavorece o sistema sob o ponto de vista da confiabilidade.

Por outro lado, deve-se considerar que o acompanhamento dos passos ou etapas correspondentes à metodologia apresentada, requer dos analistas da área de gás uma razoável familiarização não somente com os parâmetros envolvidos com a confiabilidade, como também, com a utilização das metodologias de projeto.

Finalizando, deve-se destacar que o estudo efetuado corresponde a uma situação real onde os verdadeiros problemas e considerações de projeto foram demonstrados de forma organizada, e seguindo-se uma dada metodologia adotada como referência. Infelizmente, dadas as condições de prazo e, até mesmo, a própria proposta do trabalho em questão, não se contemplou todas as etapas descritas para o estudo de caso (projeto preliminar e detalhado), o que, com certeza, pode ser proposto como sugestão para trabalhos futuros.

Outro aspecto a ser destacado é que a confiabilidade pode ser inserida no contexto de qualquer projeto mecânico, independentemente dos dados preliminarmente conhecidos e da metodologia a ser utilizada. Nesses casos, o que se torna realmente importante é a cultura na utilização da confiabilidade de maneira mais corriqueira, pois somente assim é que os dados de falhas poderão ser levantados mais facilmente.

# **Capítulo 7 Resultados e Conclusões**

## **7.1 – Análise dos resultados**

Os resultados obtidos, contemplam, sem maiores dificuldades as proposições, inicialmente, pré-definidas no presente trabalho, favorecendo não somente os projetistas de redes de gás, mas também, projetistas mecânicos em geral, que de alguma forma, podem a partir de então, direcionar suas atividades visando contemplar seus projetos de uma maneira organizada e sistemática, considerando-se, porém, não somente o seu aspecto funcional, como também o ponto de vista da melhoria da sua qualidade temporal.

Associado a esse fato e considerando-se o presente estudo de caso, por exemplo, pode-se chegar a diversas conclusões (item 6.6) sobre a confiabilidade de uma rede de distribuição de gás canalizado, sob o ponto de vista da “falta de gás” para os consumidores finais, permitindo-se, inclusive, uma análise mais detalhada para a eliminação dos possíveis “back-ups” a serem utilizados, considerando-se o gás de refinaria (GR).

Outro aspecto vital a ser destacado para a sequência desses estudos, é a possibilidade na criação e efetiva implantação de bancos de dados correlatos ao assunto desenvolvido, permitindo-se com isso, que trabalhos futuros possam ser elaborados com um melhor grau de precisão e certeza.

Dessa forma, pode-se considerar, que os objetivos, inicialmente, estabelecidos para o presente trabalho, além de totalmente atingidos, favoreceram a análise de um tema pouco difundido, ainda, em nosso país e que com certeza, apresentará grande progresso nos próximos anos.

## **7.2 – Conclusões**

O desenvolvimento de uma metodologia que viesse a permitir uma ordenação das atividades do projetista de redes de gás, bem como a respectiva inserção de conceitos confiabilísticos nas diversas etapas desse projeto, correspondem ao primeiro passo de uma

atividade ainda pouco difundida no Brasil, seja em termos de distribuição de gás, em termos de confiabilidade ou, até mesmo, em termos de metodologias de projeto.

Por outro lado, tornou-se possível verificar que diversas são as análises a serem desenvolvidas para a efetiva utilização da confiabilidade de uma maneira prática e rotineira num dado projeto. O histórico das taxas de falhas e bancos de dados específicos são, certamente, o ponto de partida para a efetiva concretização de um projeto enfocando a confiabilidade.

Dessa forma, acredita-se que além dos objetivos previamente estabelecidos, boas contribuições puderam ser dadas, de forma que outros tantos trabalhos possam ser desenvolvidos e aprimorados, ainda, dentro desse contexto. Deve-se destacar, ainda, que diversos dos aspectos considerados ao longo do estudo de caso deverão ser verificados e comprovados com a efetiva operação da referida rede de distribuição.

# Capítulo 8

## próximos trabalhos

# Sugestões para

Nesse capítulo, pretende-se pontuar alguns tópicos envolvidos com a metodologia proposta e que, ainda, necessitam de algum tipo de investigação:

- implementar um banco de dados das taxas de falhas de todos os componentes e/ou acessórios que compõem uma rede de distribuição de gás;
- desenvolver um detalhamento das etapas: projeto preliminar e projeto detalhado de uma rede de distribuição de gás;
- estudar o tipo de distribuição matemática que melhor se adapte ao estudo da confiabilidade de uma rede de distribuição de gás;
- desenvolver um programa computacional que permita o cálculo da confiabilidade, bem como a função manutenibilidade e a disponibilidade de uma rede de distribuição de gás;
- direcionar estudos para os arranjos de confiabilidade desenvolvidos, visando possíveis adaptações sobre os mesmos;
- acompanhar parâmetros não considerados na confiabilidade do sistema de gás, verificando sua possível influência sobre esse sistema;
- desenvolver metodologias similares para outros tipos de projetos mecânicos, dando um enfoque mais direcionado para o aspecto da confiabilidade.

## Referências bibliográficas

- AKAO, Y., *Introdução ao Desdobramento da Qualidade – QFD*. Belo Horizonte, MG: Escola de Engenharia da UFMG – Fundação Christiano Ottoni, 1996.
- ALMEIDA, J.C. & DIAS, A., Estudo da confiabilidade no processo de projeto. *XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*. p.286, Bauru, 1997.
- ASIMOV, MORRIS, *Introdução ao projeto de engenharia*. Editora Mestre Jou, 1968.
- BACK, N. & FORCELINI, F., *Disciplina de Projeto Conceitual*, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis, SC: Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 1996. Notas de Aula.
- BAZOVSKY, I., *Reliability Theory and Practice*. England, John Wiley&Sons, 1987.
- BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, *Oferta de Demanda de Energia*. Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético, 1997, 153 pág.
- BILLINTON, R. & ALLAN, R.N., *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques*. New York and London, Plenum Press, 1987.
- BLANCHARD B.S. & FABRYCKY W.J., *Systems Engineering and Analysis*, 2ªEdition. New Jersey, Prentice-Hall, 1990.
- BRATFISCH, C.A., *Curso sobre gás natural: Projeto de sistema de distribuição de gás natural*. Instituto Brasileiro do Petróleo - IBP. Florianópolis, SC: junho 1997.
- BRASIL, A.D., *Conhecimento e uso de metodologias de desenvolvimento de produtos: uma pesquisa envolvendo 30 empresas situadas nos Estados de SC e RG*. Florianópolis, SC: Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 1998. Dissertação de Mestrado.
- CARTER A.D.S., *Mechanical Reliability*, 2ª Edition. Hong Kong, Macmillan Education Ltd, 1986.
- COMGÁS – Companhia de Gás de São Paulo, *Comitê de Normalização e Tecnologia da Comgás*. São Paulo, 1989.
- CONFIABILIDADE E MANTENABILIDADE – NBR 5462. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Nov 1994, 37 pág.
- CONPET – Conselho Nacional do Petróleo, 1996.

- CORYELL, A.E., The design process: 12 steps that turn ideas into hardware. *Machine Design*, Nov., 1967.
- DIAS, ACIRES, *Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos*. Campinas, SP: Departamento de Projeto Mecânico, UNICAMP, 1996. Tese de Doutorado.
- DIAS, ACIRES, *Disciplina de Confiabilidade e Manutenibilidade*, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis, SC: Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 1997. Notas de Aula.
- FIOD, M.N., *Desenvolvimento de sistema computacional para auxiliar a concepção de produtos industriais*. Florianópolis, SC: Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 1993. Tese de Doutorado.
- FREEMAN, J.M., Analysing equipment failure rates. *International Journal of Quality & Reliability Management*. V.13, n 4, p.39-43, 1996.
- FUEL GAS ENGINEERING PRACTICES. *Gas Engineers Handbook*. The Industrial Press Inc., New York, 1965.
- GAZETA DO POVO, Jornal. Reportagem: O gasoduto Brasil-Bolívia. Curitiba, PR: julho 1997.
- HELMAN, H. & ANDERY, P.R.F., *Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA – FTA)*. Vol.11. Belo Horizonte, MG: Escola de Engenharia da UFMG – Fundação Christiano Ottoni, 1995.
- KECECIOGLU, D., *Reliability Engineering Handbook*, vol.1. New Jersey, Prentice-Hall, 1992.
- KLINGELFUS, G., *Disciplina de confiabilidade e manutenibilidade*, Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Qualidade. Curitiba, PR: Centro de Tecnologia Industrial, PUC, 1991. Notas de Aula.
- LEITCH, ROGER D., *Reliability Analysis for Enginners: An Introduction*. New York, Oxford University Press, 1995.
- LEPSCH, A.J., *Curso sobre gás natural: Gás natural no Brasil e no mundo*. Instituto Brasileiro do Petróleo - IBP. Florianópolis, SC: junho 1997.
- MACHADO, C. & DEDINI, F.G., Uma ferramenta computacional para utilização do QFD no desenvolvimento de produtos. *XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*. p.282, Bauru, 1997.
- MEYER, PAUL L., *Probabilidade: Aplicações à Estatística*, 2ªEdição. Rio de Janeiro, LTC, 1994.



MURPHY A. & STEPHENSON D., Improving integrated circuits assembly quality – a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*. V.13, n 5, p.27-39, 1996.

O'CONNOR, PATRICK D.T., *Practical Reliability Engineering*. England, John Wiley&Sons, 1991.

OLIVEIRA, J.B., *Curso sobre gás natural: Gás natural no Brasil e no mundo*. Instituto Brasileiro do Petróleo - IBP. Florianópolis, SC: junho 1997.

OLIVEIRA, L.F.S., *Curso de confiabilidade de sistemas*. Curitiba, PR: Refinaria Presidente Getúlio Vargas, 1995.

PAHL, G. & BEITZ, W., *Engineering Design: a systematic approach*. Berlim, Springer Verlag, 1988.

PEREIRA, F.V., *Curso sobre gás natural: Comercialização do gás natural*. Instituto Brasileiro do Petróleo - IBP. Florianópolis, SC: junho 1997.

PRIEST, J.W., *Engineering design for producibility and reliability*. New York, Marcel Dekker Inc., 1988.

PROJETO DE SISTEMAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE GÁS COMBUSTÍVEL – NBR 12712. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Mar 1993, 76 pág.

SANTOS, I.S., *Metodologia para otimização da manutenção de equipamentos e sistemas*. Campinas, SP: Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP, 1996. Dissertação de Mestrado.

SHIGLEY, J.E., *Standard handbook of machine design*, 2ªEd. New York, McGraw-Hill, 1996.

TECNOSAN, MULTISERVICE e GRUPO ETEP, *Avaliação de Riscos da Rede de Distribuição de Gás de Refinaria/Gás Natural - COMPAGÁS*, Rev.0. São Paulo, SP, 1997.

## Apêndices

### A1 - Distribuições de variáveis aleatórias contínuas

- Distribuição normal

A distribuição normal corresponde a uma das mais importantes distribuições de freqüências utilizadas, visto que, com valores conhecidos da média e do desvio padrão de uma dada amostra, torna-se possível calcular qualquer valor de probabilidade. Além disso, qualquer população ou amostra que esteja em conformidade com essa distribuição, terá variações que são simetricamente dispostas sobre a média ( $\mu$ ), conforme a figura A1.1; razão pela qual tal distribuição está normalmente vinculada a maioria dos “controles de qualidade” adotados na indústria mecânica. Por outro lado, dado a essa mesma simetria de valores, tal distribuição é pouco significativa para a confiabilidade, dado que os mecanismos de falha não ocorrem, obrigatoriamente, dessa forma.

A função densidade de probabilidade para a distribuição normal corresponde a:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{A1.1})$$

$f_X(x)$

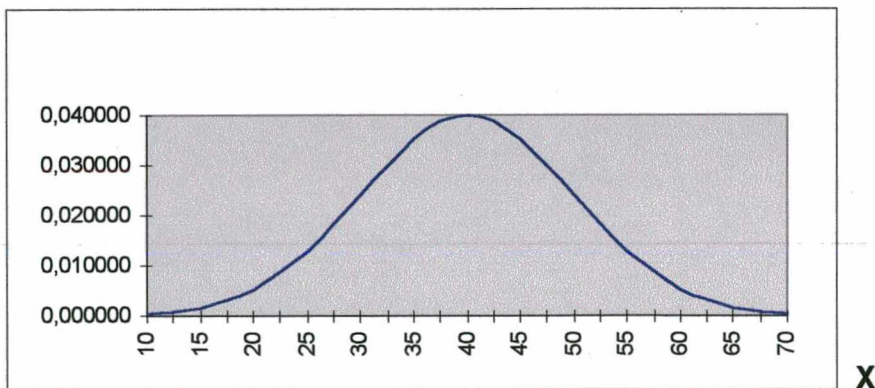


FIGURA A1.1 - Distribuição normal ( $\mu = 40$  e  $\sigma = 10$ )

Deve-se lembrar, porém, que para cada par de valores  $(\mu, \sigma)$  haverá uma curva com aspecto diferenciado ao da figura A1.1, exigindo-se assim a integração da equação (A1.1) para cada situação específica. Por esse motivo, normalmente se utiliza a distribuição normal padronizada  $(\phi(z))$  em substituição à distribuição normal, através de uma simples mudança de variáveis, ou mais precisamente:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{A1.2})$$

sendo que o valor calculado por esta equação, representa o número de deslocamentos de desvios padrões em relação à média, e deve ser tratado com auxílio de um gráfico ou tabela que forneça a função  $\phi(z)$ , conforme apresentado em O'Connor (1991).

- Distribuição lognormal

Comparativamente à distribuição normal, a presente distribuição apresenta características que melhor se adaptam ao estudo da confiabilidade, como, por exemplo, situações de desgaste de uma dada peça ou estrutura. A distribuição lognormal é também frequentemente utilizada na análise de tempos de reparo ou manutenção, segundo Leitch (1995).

Outro aspecto interessante é a função densidade de probabilidade dessa distribuição, a qual não admite valores negativos para a variável aleatória contínua "X" e, conseqüentemente,  $f_X(x) = 0$  quando  $x < 0$ . Matematicamente, a função densidade de probabilidade da distribuição lognormal é a mesma função densidade de probabilidade da distribuição normal, sendo, porém, a função  $(\ln x)$  a variável considerada:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma \cdot x \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{A1.3})$$

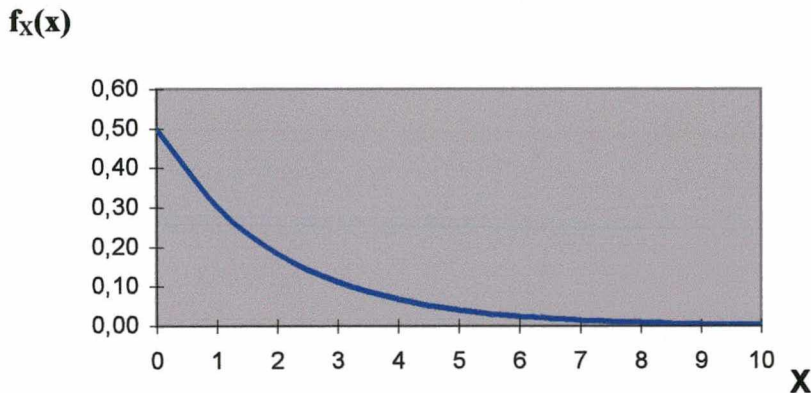
- Distribuição exponencial

A presente distribuição é utilizada para componentes submetidos a uma taxa de falhas  $(\lambda)$  constante, ou mais precisamente, componentes que estejam operando dentro da fase da vida útil (fase II da curva de banheira). Segundo Billinton (1987), a distribuição exponencial é a

distribuição de probabilidade mais utilizada e conhecida no estudo da confiabilidade de componentes ou sistemas, sendo a sua função densidade de probabilidade dada por:

$$f_X(x) = \lambda \cdot e^{(-\lambda \cdot x)} \quad (\text{A1.4})$$

Segundo Dias (1997), existem justificativas bem definidas para o uso da distribuição exponencial em trabalhos de confiabilidade: (1) o uso da distribuição exponencial facilita a solução do problema, o qual muitas vezes torna-se bastante complexo; (2) o número de informações disponíveis, principalmente na área mecânica, são normalmente muito limitadas e insuficientes para a verificação correta da distribuição. Assim, como ponto de partida, justifica-se a utilização da referida distribuição no estudo da confiabilidade de sistemas e/ou componentes. A figura A1.2 ilustra um gráfico típico da distribuição exponencial.



**FIGURA A1.2** - Distribuição exponencial com  $\lambda = 0,5$

Deve-se observar ainda, que o tempo médio até falhas (MTTF), corresponde neste caso, ao inverso da taxa de falhas desde que se considerem itens reparáveis:

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{A1.5})$$

- Distribuição gama

A função densidade de probabilidade (fdp) para a distribuição gama é dada por:

$$f_X(x) = \frac{\lambda}{\Gamma(a)} \cdot (\lambda \cdot x)^{a-1} e^{(-\lambda \cdot x)} \quad (\text{A1.6})$$

onde :  $\lambda$  = taxa de falhas (falhas completas)

$a$  = número de falhas parciais por falha completa

$\Gamma$  = função gama, dada por: 
$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{(a-1)} \cdot e^{(-x)} dx \quad (\text{A1.7})$$

Pela própria fdp da distribuição gama, pode-se observar que a presente distribuição permite o cálculo da probabilidade de falhas em situações de falhas parciais (os principais tipos de falhas, para componentes de uma rede de gás, estão discutidos no capítulo 6). Outra aplicação dessa distribuição é para situações em que as taxas de falhas sejam crescentes ou decrescentes com o tempo ( $a > 1$  e  $a < 1$ , respectivamente).

Quando “ $a$ ” for igual a unidade ( $a = 1$ ), a distribuição exponencial torna-se um caso especial da distribuição gama, pois:

$$\Gamma(1) = 1 \quad \text{e} \quad f_X(x) = \frac{\lambda}{1} \cdot (\lambda \cdot x)^0 e^{(-\lambda \cdot x)} = \lambda \cdot e^{(-\lambda \cdot x)}$$

- Distribuição de Weibull

Diferentemente das outras distribuições, Weibull permite um maior domínio de aplicações nos trabalhos de confiabilidade, visto que através de um certo “ajuste” nos parâmetros da distribuição, consegue-se trabalhar em qualquer uma das fases da curva da taxa de falhas ou curva da banheira.

A fdp de Weibull, originada empiricamente para estudos de fadiga, corresponde a:

$$f_X(x) = \frac{\beta}{\eta^\beta} \cdot x^{(\beta-1)} e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{A1.8})$$

onde :  $\eta$  = parâmetro de escala ou vida característica. Corresponde ao valor da variável aleatória “X” no qual existe aproximadamente 63,2% de probabilidade de que o componente venha a falhar.

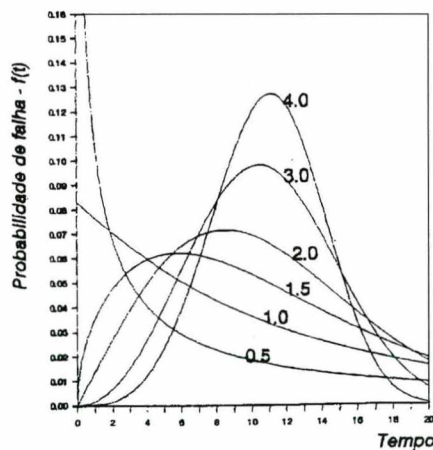
$\beta$  = parâmetro de forma. Indica o comportamento da taxa de falhas do componente ( $\lambda$ ), sendo que para  $\beta = 1$ , a equação (A1.8) torna-se:

$$f_X(x) = \frac{e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)} \cdot \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1}}{\eta^\beta \Gamma(\beta)}$$

, a qual substituindo-se  $\eta = \frac{1}{\lambda}$ , chega-se a:  $f_X(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}$ , que corresponde

a equação (A1.4), ou seja, a fdp da distribuição exponencial. Por outro lado, quando  $\beta = 3,44$ , a distribuição probabilística de Weibull se aproxima da distribuição normal ou Gaussiana.

Deve-se ressaltar também que quando  $\beta > 1$ , a função da taxa de falhas de Weibull é crescente (período de envelhecimento) e quando  $\beta < 1$ , a função da taxa de falhas é decrescente (período da juventude), sendo que para esse caso, os valores de “ $\beta$ ” ficam normalmente compreendidos entre 0 e 1,0. A figura A1.3, a seguir, ilustra o comportamento da distribuição de Weibull para alguns valores de  $\beta$ . Maiores detalhes sobre a influência e a determinação dos parâmetros de forma e de escala de Weibull são discutidos em Dias (1996).



**FIGURA A1.3 - Distribuição de Weibull (Klingelfus, 1991)**

Segundo Monchy e Pallerosi, citados por Dias (1996), quando o parâmetro de forma ( $\beta$ ) assume valores muito grandes, a fdp de Weibull tende a concentrar todos os pontos em torno de um valor médio, correspondente a posição de descarte de itens não reparáveis ou a posição de manutenção de itens reparáveis.

Em O'Connor (1991), pode-se encontrar, ainda, a situação em que as falhas não iniciam no tempo  $t = 0$ , mas somente num tempo finito ( $\gamma$ ), introduzindo assim um terceiro parâmetro no estudo, designado "tempo livre de falha". Para essa situação a fdp correspondente será:

$$f_X(x) = \frac{\beta}{\eta^\beta} \cdot (x-\gamma)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{A1.9})$$

## A2 - Ficha de pesquisa - COMPAGÁS



COMPANHIA PARANAENSE DE GÁS - COMPAGÁS  
 Rua 13 de Maio, 616 - 4º Andar - CEP 80510-030  
 Fone/Fax - (041) 222-6633 - Curitiba - PR

### 1 - IDENTIFICAÇÃO

EMPRESA :		
ENDEREÇO SEDE :		CEP :
TELEFONE :	FAX :	LOCALIDADE :
ENDEREÇO FÁBRICA :		CEP :
TELEFONE :	FAX :	LOCALIDADE :
INSCRIÇÃO ESTADUAL :	CGC :	
RAMO DE ATIVIDADE :		
GRUPO ECONÔMICO :		
RESPONSÁVEL PELAS INFORMAÇÕES :		
CARGO :		
REGIME DE FUNCIONAMENTO (EMPRESA) : _____ h/dia _____ dias/sem. _____ mês/ano		

### 2 - CONSUMO DE ENERGÉTICO

ENERGÉTICO			CONS.REALIZADO		CONS.PREVISTO		
ESPECIFICAÇÃO	TIPO	UNID.	1996	1997	1998	2000	2005

### 3 - CONSUMO INDUSTRIAL - EQUIPAMENTOS E ENERGÉTICOS UTILIZADOS

EQUIPAMENTOS	CAPACIDADE TRABALHO	PRESSÃO Kgf/cm <sup>2</sup>	TEMP. (°C)	ENERGÉTICO UTILIZADO			REGIME DE OPERAÇÃO		
				TIPO/UNID.	Méd.Atual/ Máx.Inst./ Min.Inst.	h/dia	dias/sem.	mês/ano	

### 4 - CONSUMO SECUNDÁRIO (laboratórios, cozinhas, lavanderias, etc) BASE - Consumo em 1997

LOCAL	ENERGÉTICO	TIPO	UNID.	QUANT./ANO



## 5 - PREVISÃO DE AMPLIAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS TÉRMICOS

EQUIPAMENTO	CAPACIDADE TRABALHO	QUANT.	CONSUMO DE ENERGÉTICOS			PREVISÃO OPERAÇÃO	
			TIPO	UNID.	CONS.ANUAL	MÊS	ANO

## 6 - PERFIL DE PRODUÇÃO

ESPECIFICAÇÃO PROD/MATÉRIA-PRIMA	UNID.	CAPACIDADE	REALIZADO		PROJEÇÃO			
			1996	1997	1998	1999	2000	2005
		NOMINAL						
		PROD.EFETIVA						
		NOMINAL						
		PROD.EFETIVA						
		NOMINAL						
		PROD.EFETIVA						
		NOMINAL						
		PROD.EFETIVA						
		NOMINAL						
		PROD.EFETIVA						

## 7 - MUDANÇA DE LOCAL

SIM ( )	NÃO ( )	MOTIVO ?
PARA ONDE ?		QUANDO ?

## 8 - SUPRIMENTO PRÓPRIO DE ENERGÉTICOS

POSSUI SUPRIMENTO PRÓPRIO DE ENERGÉTICOS ?	SIM ( )	NÃO ( )
TIPO :		
QUANTIDADE :		

## 9 - PREÇO ATUAL DOS ENERGÉTICOS UTILIZADOS (R\$/unidade)

TIPO	PREÇO	FORNECEDOR

