

b=0

Horl
620.171.5
A485e
TES/MEM

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE VÁLVULAS
DE EXTINTORES DE INCÊNDIO
E SEUS ASPECTOS LEGAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, por Danilo Amaral, obtendo Título de
Mestre em Engenharia Mecânica, tendo como Banca
Examinadora:

Prof. Dr. Henner Alberto Gomide
(Orientador - UFU)

Prof. Dr. Renan Billa
(UFU)

Prof. Dr. Tito Luiz da Silveira
(Faculdade Eng. Souza Marques)

620.171.5 A485e /TES/FU
DIRBI/UFU 07748/95



Uberlândia 25 de agosto de 1995

AGRADECIMENTOS

Ao Professor **Henner Alberto Gomide**, orientador desta dissertação, pelas valiosas informações e sugestões dadas ao longo do trabalho

Aos **amigos**, companheiros de mestrado, Alberto, Alessandro, Elmo, Rouverson, aos funcionários da oficina, ao Júlio e à Ângela, por suas sugestões, valiosa colaboração e apoio constante.

À **CAPES** (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) pelo apoio financeiro, tornando possível a realização deste trabalho.

Aos **Professores** do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU pelo inestimável conhecimento que me passaram.

Ao **DEMEC-EEUFMG** pela oportunidade que me proporcionaram.

Aos meus pais, à minha esposa Sanderli e ao meu filho Pedro a quem dedico este trabalho.

ESTUDO EXPERIMENTAL DE VÁLVULAS DE EXTINTORES DE INCÊNDIO E SEUS ASPECTOS LEGAIS

SUMÁRIO

	página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - A VÁLVULA	
2.1 - Caracterização do objeto de estudo	7
2.2 - Descrição do “Estudo de caso”	12
3 - RESPONSABILIDADE X PRODUTO	
3.1 - Introdução	15
3.2 - Conceituação Geral	17
3.2.1 - O Projeto como Possível Fonte de Falha	20
3.2.2 - A Fabricação como Fonte de Falha	21
3.2.3 - Manutenção, Prática de Trabalho e Manejo	21
3.2.4 - Fatores Humanos na Engenharia do Produto	22

3.2.5 - Avaliação de Integridade	23
3.2.6 - Análise de Falha: Implicações Sociais e Educacionais	24
3.2.7 - Perito em Engenharia	25
3.2.8 - A Qualidade e o Risco na Engenharia	26
3.2.9 - Informações Técnicas: Suporte para a Legislação	27
3.2.10 - Leis de Patentes	28
3.3 - Responsabilidade X Produto	29
3.3.1 - Conceituação Legal do Produto	31
3.3.2 - O Papel do Produto	32
3.3.3 - O Rigor da Responsabilidade	34
3.3.4 - O Estado da Responsabilidade / Produto	36
A) Em outros Países	36
B) No Brasil	39
3.3.5 - Proteção do Consumidor	42
4 - ENSAIOS EXPERIMENTAIS - RESULTADOS	
4.1 - Ensaio Destrutivos	44
4.1.1 - Sistema de carga / Resultados	44
4.2 - Ensaio de Micro-Dureza	46
4.2.1 - Embutimento das Amostras	46
4.2.2 - Valores da Micro-Dureza	47
4.3 - Análise da Micro Estrutura do Material	48
4.4 - Composição Química do Material	50

4.5 - Ensaio Dimensionais	51
4.6 - Medidas das Forças Atuantes	53
4.6.1 - Força Devido ao Anel de Vedação	53
4.6.2 - Força da Mola	55
4.6.3 - Força Devido à Pressão	55
5 - ESTUDO FOTOELÁSTICO TRIDIMENSIONAL - RESULTADOS	
5.1 - Fotoelasticidade Tridimensional	56
5.1.1 - Relação Modelo Protótipo - Similitude	58
5.1.2 Considerações Complementares	59
5.2 - Formulação Fotoelástica	61
5.2.1 - Identificação do Sistema de Eixos Coordenados	61
5.2.2 - Fatia Meridional	63
5.2.3 - Fatia Transversal	66
5.2.4 -Sub-Fatia da Fatia Transversal	67
5.2.5 - Separação das Tensões	68
5.3 - Procedimentos e Resultados	70
5.3.1 - O Material Fotoelástico	70
5.3.2 - Preparação do Material Fotoelástico	71
5.3.3 - Os moldes	72
5.3.4 - Tratamento Térmico	73
5.3.5 - Propriedades do Material Fotoelástico	74
5.3.6 - Obtenção do Material Fotoelástico	76

5.3.7 - Sistema de Carga	78
5.3.8 - Congelamento das Tensões	80
5.3.9 - O Corte do Modelo em Fatias	81
5.3.10 - Obtenção das Tensões	84
6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS / DISCUSSÃO	87
6.1 - Análise dos Resultados Experimentais	88
6.1.1 - Análise dos Ensaios	88
6.1.2 - Análise Fotoelástica	92
6.1.3 - Análise da Válvula Sinistrada	95
6.2 - Análise Legal	97
7 - CONCLUSÕES	100
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

ANEXOS

Anexo 1 - Calibração das Juntas de Vedação do Modelo Fotoelástico	109
Anexo 2 - Valores das Cargas dos Ensaios Destrutivos das Válvulas	111
Anexo 3 - Valores das Isocromáticas	114
Anexo 4 - Valores das Cargas dos Ensaios de Tração do Latão	130

AMARAL, D., "Estudo Experimental de Válvulas de Extintores de Incêndio e seus Aspectos Legais", Uberlândia, 1995

RESUMO

Extintores de incêndio são equipamentos de segurança que estão presentes na maior parte de nosso cotidiano, particularmente no ambiente de trabalho e nos veículos, onde a sua presença é obrigatória por lei. Este trabalho apresenta um estudo experimental da válvula P1/P2 que equipa os extintores para veículos automotores. Além disso, é feita uma análise dos aspectos legais que envolve a responsabilidade técnica sobre o projeto, a fabricação, a montagem, operação e manutenção. A compatibilidade entre a tecnologia com suas normas técnicas, a legislação que define a responsabilidade sobre produtos e o seguro que trata da reposição dos danos eventualmente ocorridos, está se delineando como uma tendência que a sociedade organizada está impondo aos profissionais envolvidos com a criação, produção e distribuição de produtos. Esta tendência é no sentido de se obter uma maior segurança e qualidade de tal forma a não colocar em risco a vida e o patrimônio, principalmente em se tratando de um produto essencial na prevenção e combate a incêndio, que é o extintor e a válvula que o equipa. Este estudo experimental abrange desde ensaios destrutivos, micro-dureza, dimensional, análise da micro-estrutura e da composição química do material com que esta válvula é fabricada, bem como uma análise fotoelástica em modelos da válvula para a determinação do estado de tensões em seus pontos críticos e os fatores de segurança adotados. Uma configuração alternativa para a rosca interna da válvula é proposta. Finalmente, é feito um estudo de caso, de um rompimento acidental de uma destas válvulas, buscando identificar suas causas e apurar as responsabilidades com base nos resultados obtidos.

PALAVRAS - CHAVE:

Válvulas de extintores, Fotoelasticidade tridimensional, Responsabilidade de produto

AMARAL, D., "Experimental study of Fire Extinguisher Valves and its legal aspects"

Uberlândia, 1995

ABSTRACT

Fire extinguisher are safety equipments that are present daily in the major part of our lifes, meanly in the workplace and the vehicles, where their use is obliged by law. This work presents an experimental study of a valve P1/P2 which equip the fire extinguisher of motor vehicles. An analysis about the legal aspects that involves the technical responsibilities of the project, manufacturing, assembly line, operation and maintenance. The compatibility between the technology with their technical rules, the legislation that define responsibility over products and the insurance that cover the damages, increase as a tendence of the organized society in order to improve the professionals job related with the criation, manufacturing and distribution of the products. This tendence goes on the direction of a major security and quality of products which threat the life and the patrimony, mainly when the product is a equipment essential to avoid and fight fires. This experimental study report the results of the destructive tests, micro-hardness, dimensional and chemical composition of the material which the valve is manufactured, as well as the three dimensional photoelasticity analysis to obtain the stresses in the critical points and the factors of safety adopted. An different lay-out for the inside thread of the valve is compared whith the actual design. Finally, a particular damage valve that has fractured accidentally is also analysed to identify the causes of the failure, based on the obtained results.

KEYWORDS:

Fire Extinguisher valve, Three-Dimensional Photoelasticity, Product Liability

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
2.1	Vista da válvula P1/P2 em corte e em perspectiva	8
2.2	Desenho em corte da válvula P1/P2 montada	8
2.3	Foto do indicador de pressão da válvula	9
2.4	a) Vista da válvula em corte b) Detalhe ampliado do perfil da rosca	10
2.5	Fases da fabricação da válvula	11
2.6	Foto do acidente da válvula P1/P2	12
2.7	Foto da válvula acidentada	13
2.8	Detalhes da região de ruptura a) Perfil da região de ruptura b) Detalhe da propagação da trinca vista pelo lado externo c) Aspecto da região de ruptura	14
3.1	Interligação entre o projeto defeituoso, falha prematura, a legislação e o seguro	19
3.2	Inter-relação entre Ciência/Tecnologia, Legislação e Seguro	30
3.3	Esforço de segurança nas diversas fases de um sistema	35
4.1	Foto do sistema de carga para os ensaios destrutivos na MTS a) Base e b) Simulador de pressão	45
4.2	Foto das amostras embutidas	47
4.3	Gráfico com as medidas da micro-dureza	47
4.4	Fotos da micro-estrutura do latão a) Fundo da rosca interna b) Fundo da rosca externa	49
4.5	Posição das medidas efetuadas	52
4.6	Resultados dos ensaios dimensionais	52

4.7	Resultado das medidas para a determinação da força atuante no anel de vedação em um extintor montado	54
4.8	Sistema de carga para determinação da força no anel de vedação	54
5.1	Esquema de um polariscópio de transmissão	60
5.2	Esquema do perfil da válvula mostrando a região dos últimos filetes da rosca	61
5.3	Posição do sistema de eixos referencial	62
5.4	Esquema das fatias e sub-fatias com o sistema de eixos auxiliares	63
5.5	Posição do sistema x, y, z , do sistema x', y', z' e ângulo α na fatia meridional	64
5.6	Posição relativa das fatias M e T	66
5.7	Gráfico do primeiro e segundo períodos de cura	74
5.8	Variação do valor da franja com a temperatura	76
5.9	Modelos fotoelásticos utilizados (no detalhe: modelos sem o anel) a) Escala real b) Escala 1:2	77
5.10	Sistema de carga fotoelástico e um modelo em corte	78
5.11	Vista do sistema de carga a) montado dentro do forno fotoelástico b) esquema da montagem	81
5.12	a) Modelo e fatia meridional b) Fatias transversais c) Procedimento de retirada das sub-fatias das fatias transversais	82
5.13	Vista do polariscópio vertical e típica ordem de franja na fatia meridional	83
9.1	Sistema de carga para ensaio do anel de vedação do modelo em escala 1:2	110
9.2	Gráfico da deformação X força do anel de borracha de silicone	110

LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
4.1	Resultado dos testes destrutivos nas válvulas P1/P2	45
4.2	Amostras selecionadas para análise química	50
4.3	Resultado pela microsonda ORTEC	51
4.4	Resultado por análise de via úmida	51
5.1	Valores das constantes físicas do material utilizado, à temperatura crítica	76
5.2	Carregamentos dos modelos fotoelásticos	79
5.3	Valores dos parâmetros fotoelásticos no contorno	85
5.4	Valor das tensões em cada modelo	86
6.1	Características do latão ASTM 377	89
9.1	Forças aplicadas nos modelos devido ao anel de vedação	109

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

O extintor de incêndio, é composto de um tubo de aço onde se armazena sob pressão substância adequada ao tipo de fogo que se deseja combater e uma válvula que regula o fluxo e direção do jato. Sua presença é obrigatória por lei na maioria dos ambientes, pois trata-se de um equipamento de segurança fundamental no combate e prevenção de incêndios. Há diversas classes de extintores, destacando-se os portáteis, para veículos e de parede, os não portáteis, estacionários e sobre rodas e os pressurizados e não pressurizados.

Existem um grande número de normas legais que envolvem o projeto, a fabricação, a montagem, a recarga, a vistoria e os locais que devem possuir um extintor de incêndio. Dentro deste contexto, existe toda uma legislação que diz que o Engenheiro Mecânico é um profissional que possui atribuição para ser o RT - Responsável Técnico por estas fases citadas. É a forma da sociedade se proteger da ação de leigos que colocariam em risco a vida e o patrimônio das pessoas. Por serem utilizados em veículos automotores, a população deste extintor é de mais de 18 milhões de unidades, além do estoque de reposição. Aproximadamente 50 milhões de pessoas, usuárias destes veículos, são potenciais utilizadores ou beneficiários deste componente de segurança. Assim, o estudo e aprimoramento desta válvula e da legislação pertinente

será revertido como uma contribuição à toda sociedade e torna-se importante como parâmetro para outros trabalhos de análise de projetos de sistemas. A escolha da válvula de extintor de incêndio, como objeto de estudo, é sobretudo em função de ser um item fundamental de segurança e, conseqüentemente, da necessidade de estar absolutamente dentro de padrões mínimos exigíveis para seu perfeito funcionamento. A falha nestas válvulas, pode resultar em sinistros de conseqüências graves. O patrimônio e a vida das pessoas dependem do bom funcionamento do extintor e da válvula que o equipa.

É crescente no mundo inteiro a preocupação e necessidade com a "Avaliação da responsabilidade técnica sobre os produtos ou serviços" (Product Liability) que define a responsabilidade ou consciência dos atos praticados voluntariamente por um profissional devidamente qualificado e habilitado. Entende-se por *qualificação*, a conclusão de um curso regular registrado e autorizado pelo Ministério da Educação e *habilitação*, a obtenção de atribuições concedidas pelos Conselhos de Fiscalização Profissional. Uma das raízes desta tendência é de natureza legal e deriva da pressão da sociedade em direção à maior segurança e qualidade. Responsáveis técnicos por inspeção, segurança e autores de projetos estão sendo processados civil e criminalmente como decorrência de acidentes com vítimas [1, 2]. Outra questão relevante é a atual tendência dos países em se organizarem em blocos econômicos como o Mercado Comum Europeu e aqui na América do Sul, o Mercosul. Para se integrarem, os países precisam definir em comum acordo, as regras do exercício profissional

sobretudo na questão da ética, das atribuições e da responsabilidade sobre os produtos e serviços.

Esta análise segue uma tendência mundial como demonstra a realização de diversos encontros nacionais e internacionais destacando-se a "International Conference on Structural Failure, Product Liability and Technical Insurance- SPT-4, realizado em julho de 1992, em Viena, Áustria, a IEV 93 - Conferência Internacional sobre Avaliação de Integridade e Extensão de Vida de Equipamentos Industriais, realizado em Pouso Alto, Minas Gerais, Brasil em setembro de 1993 e o "An International Symposium on Risk, Economy and Safety, Failure Minimization and Analysis - Failures'94 em junho de 1994, dentre outros. Isto demonstra o interesse da comunidade científica nacional e internacional com a interligação das ciências, da tecnologia, da legislação e do seguro. Como consequência, foi criado o Comitê de Tecnologia, Seguro e Legislação - CTSL da ABCM - Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, em agosto de 1993 e o ISTLI - International Society for Technology, Law and Insurance em novembro de 1993 em Viena, Áustria. Outro setor que demonstra grande interesse nesta questão, são as empresas de Seguro, que na eventual ocorrência de um sinistro, procuram identificar a origem do dano e seus responsáveis.

Na introdução do capítulo 3, é feito um levantamento dos trabalhos e livros publicados sobre os aspectos legais da questão da responsabilidade dos fabricantes de produtos. Para o estudo do projeto da válvula de extintor de incêndio, foi utilizada a técnica fotoelástica que é um dos métodos disponíveis, assim como a extensometria, para se proceder

a uma análise experimental de tensões. Além dos métodos experimentais, pode-se utilizar a abordagem matemática ou analítica ou o tratamento numérico como elementos finitos ou diferenças finitas. A fotoelasticidade é uma técnica adequada pois permite a visualização da distribuição interior das tensões ao longo de uma seção do modelo, para posterior comparação com os resultados dos ensaios destrutivos. A fotoelasticidade é também apropriada para geometrias irregulares, como é o caso da válvula em estudo. Esta técnica teve sua grande aplicação inicial na determinação de fatores de concentração de tensões em seções descontínuas. Já na década de 30 e 50, autores como M. M. Frocht [3] e R. E. Peterson [4] já publicavam estudos nesta direção. Na década de 60, I. M. Allison [5] publica vários trabalhos também sobre este assunto, utilizando a fotoelasticidade como ferramenta. No Brasil, a fotoelasticidade tridimensional foi introduzida por H.A. Gomide [6] em 1972, quando se desenvolveu um material nacional para a fotoelasticidade tridimensional. Logo em seguida, em 1973, surgiram trabalhos aplicando esta técnica em componentes de geometrias irregulares como C.A. Rosa [7] que a utilizou para a determinação da distribuição de tensões no colo do fêmur humano. J. L. Freire estudou, em 1975, a concentração de tensões em eixos com entalhes submetidos à esforços combinados utilizando a fotoelasticidade [8]. Novos tipos de materiais foram sendo desenvolvidos ampliando a aplicação da fotoelasticidade, como H.A. Gomide e P.S. Neto [9] em 1984, S.A.G. Oliveira e H.A. Gomide [10] em 1989. Em 1985, B. Kenny e E. A. Patterson [11] estudam a distribuição de tensões em parafusos e porcas com rosca, e também fazem comparações dos resultados com análise de

roscas (porca e parafuso) por elementos finitos de autores como M. Tanaka e H. Miyazawa [12].

Este trabalho se dedica a estudar a válvula que equipa os extintores portáteis para veículos, de pó químico seco, com capacidade de carga de 10 N, aproximadamente 1 kgf para utilização em veículos leves e 20 N, aproximadamente 2 kgf para utilização em veículos de carga e coletivos. A válvula é a mesma para ambos os casos, mudando apenas o volume do cilindro. Desta forma, é feita uma análise criteriosa da válvula de extintor de incêndio tanto sob o aspecto legal, como seu enquadramento nas normas vigentes e na legislação profissional além de se determinar pela análise fotoelástica em um modelo da válvula a distribuição e posição das tensões máximas em seu interior, identificando-se os pontos críticos de tensões, os critérios adotados no projeto, sua confiabilidade, os fatores de segurança adotados e feitas sugestões a serem incorporadas no processo de fabricação e na legislação.

A imprensa tem registrado diversos acidentes com extintores. Um destes acidentes foi estudado neste trabalho, como um “estudo de caso” onde ocorreu um rompimento súbito de uma destas válvulas, dentro de um veículo estacionado no pátio de uma grande empresa. Um dos objetivos desta dissertação é identificar a origem, a causa e a responsabilidade deste acidente utilizando a análise fotoelástica, os resultados dos ensaios realizados e o estudo da legislação pertinente.

Para isto, o presente trabalho foi dividido nos seguintes capítulos: O capítulo 2 é dedicado ao objeto de estudo, dando todas as características e informações relevantes sobre a válvula. Posteriormente, é

descrito um *estudo de caso* onde se relata um acidente ocorrido com uma destas válvulas em um extintor de um veículo estacionado no pátio de uma empresa. No capítulo 3 foi feito inicialmente, uma revisão bibliográfica dos trabalhos já publicados e apresenta a relação entre tecnologia, legislação e seguro, a origem da questão da responsabilidade do fabricante sobre os produtos, a conceituação legal de produto, o papel do produto na sociedade, a segurança e o risco dos produtos, a proteção do consumidor e a legislação sobre o assunto em outros países e no Brasil. O capítulo 4, é dedicado aos procedimentos experimentais onde são descritos os ensaios destrutivos, as medidas de micro-dureza, micro-estrutura, composição química do material, ensaios dimensionais e as medidas das forças atuantes na válvula, além de fornecer todos os resultados. No capítulo 5, é descrita a técnica da fotoelasticidade, seus princípios, sua base matemática, a relação modelo-protótipo, o material, os tratamentos térmicos e o equipamento utilizado. Em seguida, é apresentada a forma de coleta dos dados necessários para o cálculo e a obtenção das tensões. O capítulo 6 traz uma discussão da questão legal que envolve um produto defeituoso e dos resultados obtidos nos ensaios experimentais. O capítulo 7 mostra as conclusões do trabalho e apresenta algumas sugestões para tornar a válvula estudada mais segura. Finalizando, o Anexo I contém o procedimento de calibração das juntas para os modelos, os Anexos II e III mostram as leituras das ordens de franja das fatias retiradas dos modelos fotoelásticos e o Anexo IV as curvas dos ensaios de tração com o latão utilizado como matéria prima das válvulas.

CAPÍTULO 2

2 . A VÁLVULA

2.1 . Caracterização do Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho, é a válvula que equipa os extintores de incêndio portáteis para uso automotivo. Este tipo de extintor, de carga de pó químico, é normalizado pela ABNT através da norma EB-148 de maio de 1989 [13] que fixa as condições a serem cumpridas. A válvula de descarga é um componente mecânico que é montado na extremidade de um cilindro pressurizado e deve ser capaz de permitir a liberação e interrupção do jato de pó químico, possibilitando ao operador o combate do incêndio em diversas posições. O gás utilizado para a pressurização é o Nitrogênio e o pó químico é a base de bicarbonato de sódio com um agente secante (97% Bicarbonato de sódio, 1% fosfato de magnésio, 1% fosfato tricálcio e 1% esteriato de bário.). Esta válvula é comercialmente conhecida como P1/P2, pois pode ser utilizada tanto no cilindro de capacidade de carga de 10 N (aproximadamente 1 kgf) para veículos leves e de passeio quanto no cilindro de 20 N (aproximadamente 2 kgf) para veículos de carga e coletivos. A Figura 2.1 mostra uma vista em corte e em perspectiva da válvula P1/P2 e a Figura 2.2 mostra um desenho em corte com os respectivos componentes.

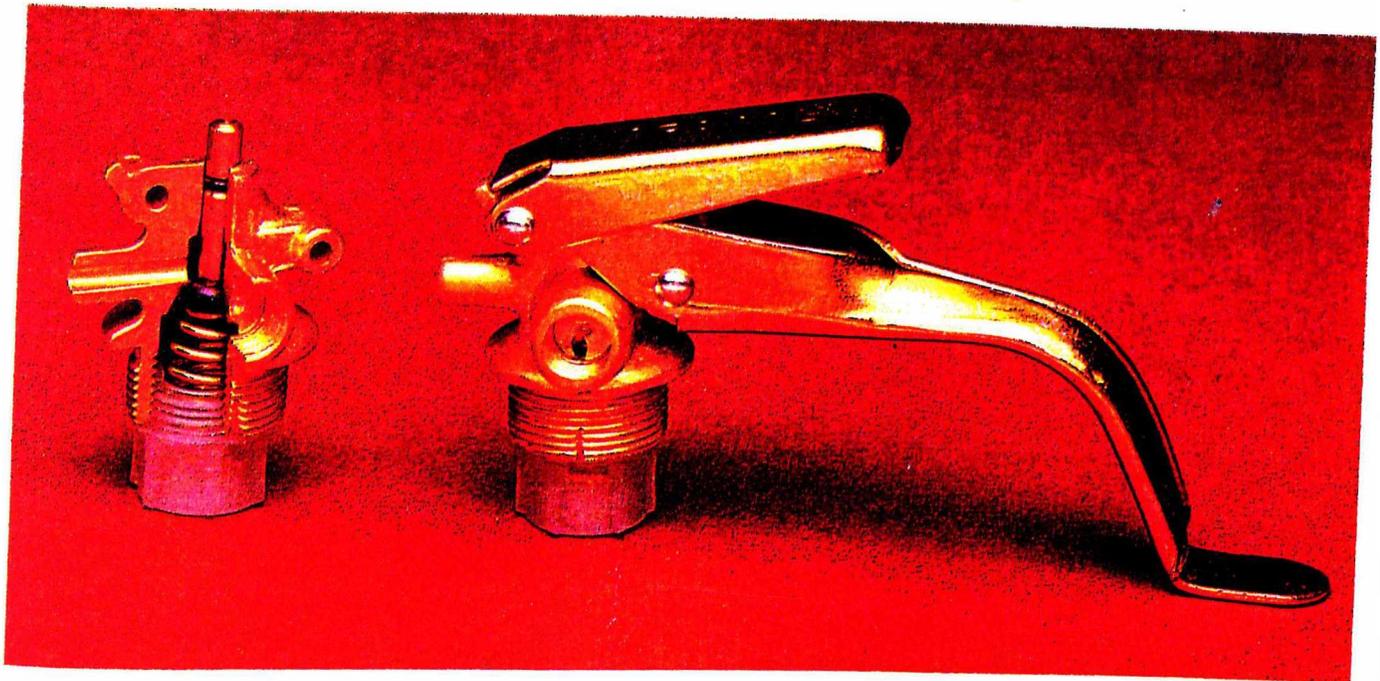
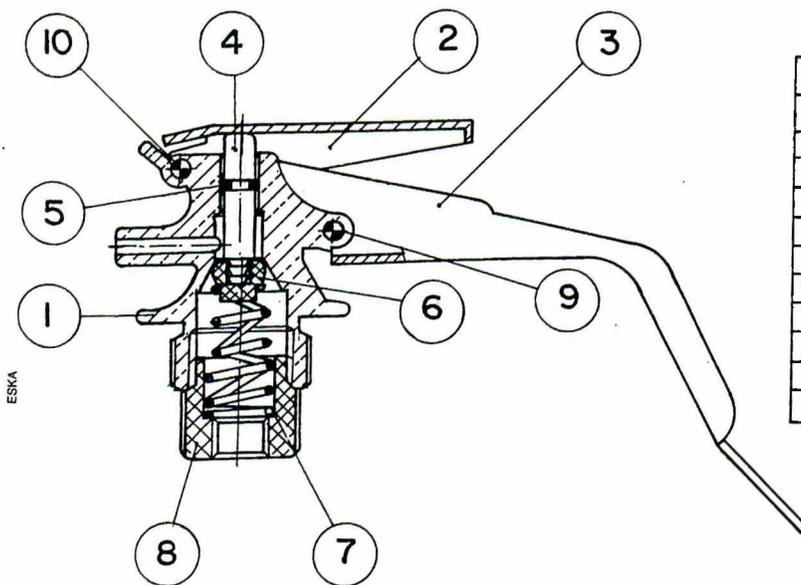


Figura 2.1: Vista da válvula P1/P2 em corte e em perspectiva



COMPONENTES				
POS	CÓDIGO	QTD.	DENOMINAÇÃO	MATERIAL
10	IP - VPI/10	1	Rebite	Liga de Alumínio
9	IP - VPI/9	1	Rebite	Liga de Alumínio
8	IP - VPI/8	1	Conector	Polipropileno
7	IP - VPI/7	1	Mola	Aço Carbono
6	IP - VPI/6	1	Bucha Vedadora	Borracha
5	IP - VPI/5	1	O'ring	Nitrilo de Buna n
4	IP - VPI/4	1	Haste central	Latão
3	IP - VPI/3	1	Cabo	SAE 1008-1010
2	IP - VPI/2	1	Gatilho	SAE 1008-1010
1	IP - VPI/1	1	Corpo	Latão

Figura 2.2: Desenho em corte da válvula P1/P2 montada

Estes extintores se localizam dentro da cabine de passageiros e no caso de veículos com carga inflamável é necessário ainda outro tipo adicional de extintor. A pressão de trabalho é em média de 1,0 Mpa (aproximadamente 10,2 kgf/mm² ou 10 Bar) e pode variar 20% em torno deste valor. A Figura 2.3 mostra uma foto do indicador de pressão utilizado.

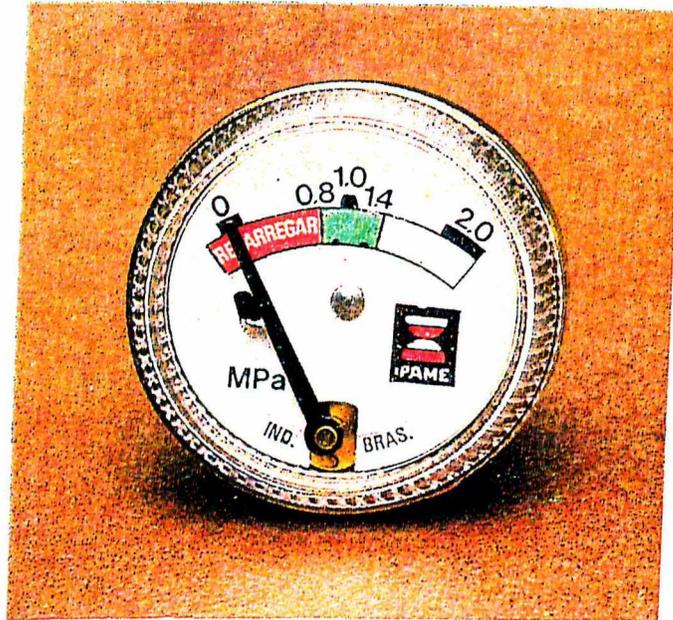
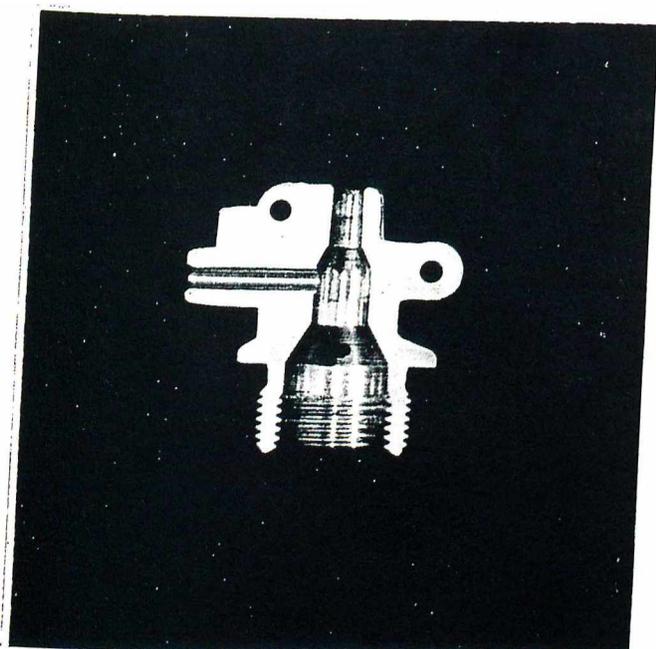


Figura 2.3: Foto do indicador de pressão da válvula

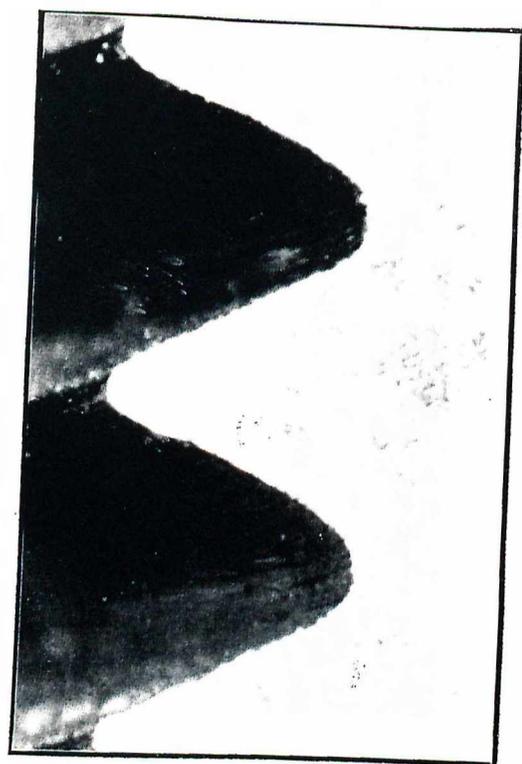
Estas válvulas tem o corpo feito em latão forjado (Liga de Cu e Zn) e possuem um gatilho e uma alça de sustentação fabricados em aço SAE 1010 com tratamento anti-corrosivo. Os pinos de articulação do gatilho são de liga de alumínio. Possuem também um conector rosqueado internamente fabricado em polipropileno, cuja função é apoiar a mola do gatilho e sustentar um tubo sifão da válvula até o fundo do cilindro. Esta válvula é do tipo “normalmente fechada”. A rosca de conexão com o cilindro é de 7/8”x 20 UNEF (Unifield National Extra Fine) e são dotadas de um pequeno rasgo lateral cuja função é o alívio de carga em caso de retirada da válvula com o cilindro pressurizado. A norma determina um mínimo de 6 fios de rosca para a fixação da válvula no cilindro. Possuem também uma saída de pressão para conexão com um indicador de pressão. A Figura 2.4 ilustra a posição e o detalhe das roscas.

Existem no Brasil diversos fabricantes como a YANES, IPAME, ITALFORJA, dentre outros. São fabricadas aproximadamente 150.000



(a) Escala 1:1

Figura 2.4: A válvula P1/P2 a) vista em corte e b) detalhe ampliado do perfil da rosca



(b) Escala 1:30

unidades por mês e a população estimada destas válvulas é superior a 20 milhões, maior do que a população de veículos automotivos de carga e passeio no país. O estoque de reposição é estimado em 1 % deste total.

A matéria prima é uma barra cilíndrica de latão com diâmetro de 1" fornecida na sua maior parte pela empresa Termodinâmica, de São Paulo [14]. Estas barras são cortadas por cisalhamento em uma prensa, em pedaços de 35mm de comprimento. Posteriormente, estes pedaços são aquecidos ao rubro e em seguida, é forjada individualmente cada válvula em uma prensa. Em outra operação é retirada a rebarba. A seguir é laminada a rosca externa de fixação ao cilindro do extintor e finalmente, seguem-se os processos de usinagem das superfícies, dos furos e da rosca interna, que fixa o conector de polipropileno. Depois do corpo da válvula pronto, é iniciada a montagem final, colocando-se o medidor de pressão, a haste central, o gatilho, o cabo, a mola e o conector. A Figura 2.5 ilustra as fases da fabricação.



Figura 2.5: Fases da fabricação da válvula

O fabricante em geral, fornece uma “Declaração de Conformidade” que reporta-se à norma ABNT EB-148, no caso da válvula P1/P2, citando a empresa cliente, o número da nota fiscal e a quantidade de válvulas. Esta declaração deveria ser assinada por um profissional Engenheiro Mecânico registrado no CREA, entretanto, não é o que de fato ocorre, e geralmente, vai assinada por um leigo.

Além dos fabricantes, que em geral fornecem diretamente o extintor montado às montadoras, Indústria Automobilística, existem também as empresas que prestam serviços de manutenção. Destas, existem dois tipos: Vistoriadoras e Recarregadoras. As primeiras executam serviços de manutenção, inspeção e recarga e a estas últimas, executam somente os serviços de recarga. O INMETRO, órgão do Ministério da Justiça, tem um regulamento próprio [15] e fixa os critérios para a obtenção, pelas empresas interessadas, do Certificado de Capacitação Técnica e também executa a fiscalização.

2.2 Estudo de Caso

O estudo de caso tem como motivação, objeto também deste trabalho, estudar um acidente ocorrido com uma destas válvulas. Em janeiro de 1993, ocorreu um rompimento súbito da válvula de um extintor em uma perua Kombi, estacionada dentro do pátio de uma empresa, felizmente sem nenhum ocupante. Este fato, considerando a obrigatoriedade da existência de extintores equipados com o tipo de válvula apresentada, sem dúvida constitui tema importante de estudos, visando encontrar prováveis causas e evitar futuros acidentes. A válvula se rompeu na altura do início da rosca que a fixa no cilindro, projetando-se para cima sob a ação da pressão interna. Igualmente, o pó químico foi também expelido, espalhando-se por todo o interior do veículo. Certamente, estando este veículo em operação, este acidente poderia ter conseqüências mais graves, inclusive com risco de vida humana. O extintor, com garantia até outubro de 1994, teve sua manutenção realizada em setembro de 1993 por empresa capacitada pelo INMETRO.

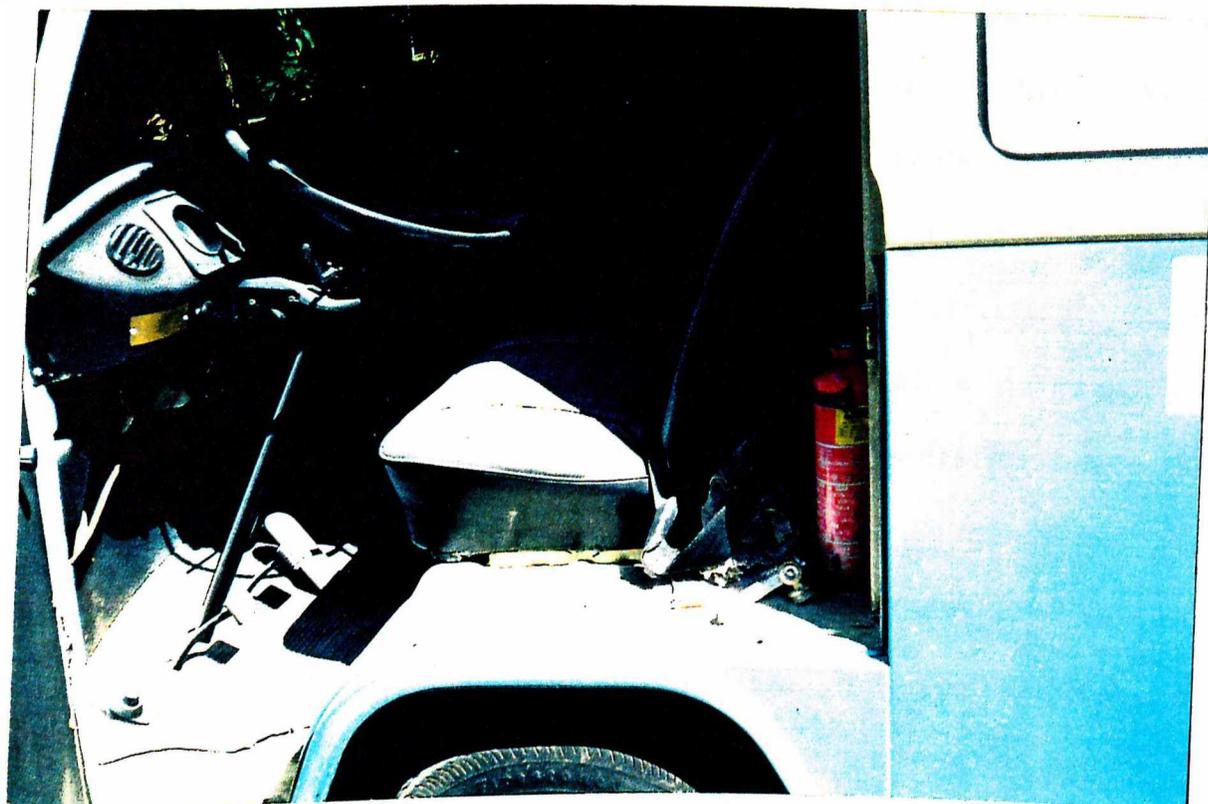


Figura 2.6: Foto do acidente com a válvula P1/P2

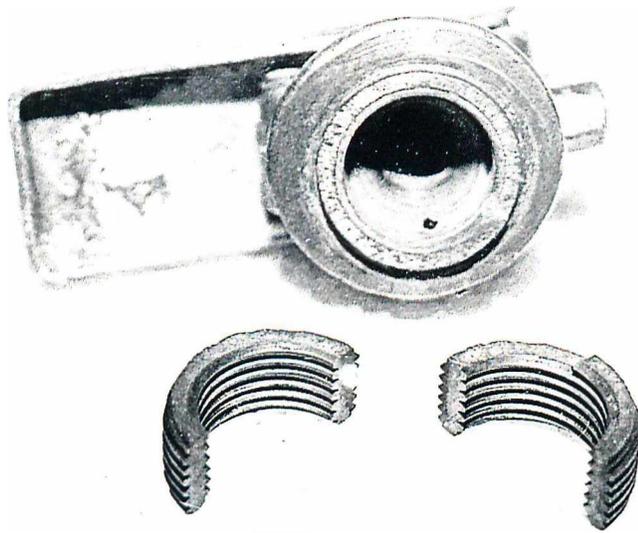
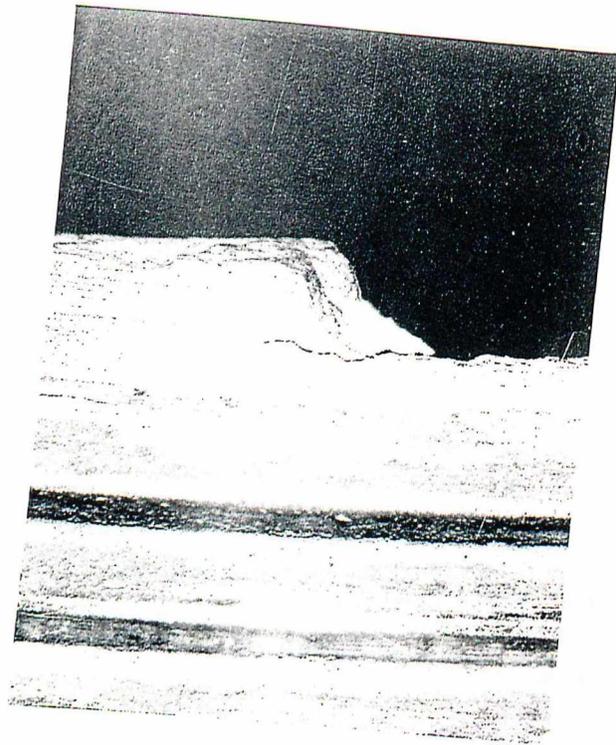


Figura 2.7: Foto da válvula acidentada

Por iniciativa da empresa capacitada, este extintor foi encaminhado à Universidade Federal de Uberlândia para ser analisado. Após fotografado e medido, este extintor foi seccionado para a retirada da parte que permaneceu rosqueada no cilindro de aço, permitindo assim, uma vista lateral da posição de ruptura. A Figura 2.7 mostra a foto da válvula rompida. Em um microscópio NEOPHOT-21 a válvula acidentada foi fotografada com detalhes da superfície e perfil da região de ruptura, envolvendo a rosca interna e externa. Parte do material da válvula acidentada foi posteriormente encaminhada para análise química, parte embutida para os testes de micro-dureza e análise micrográfica e o restante armazenada em uma estufa à 45°C. A Figura 2.8 mostra algumas fotos dos detalhes da válvula acidentada. A Empresa fabricante desta válvula, que possuía significativa participação no mercado nacional, veio à falência não sendo mais disponível no mercado.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.8: Detalhes da região de ruptura
a) perfil da região de ruptura b) Detalhe da propagação da trinca vista pelo lado externo c) Aspecto da região de ruptura

CAPÍTULO 3

3. O PRODUTO e a RESPONSABILIDADE

3.1 - Introdução

O tema Responsabilidade sobre o Produto ou Responsabilidade do Fabricante (Product Liability) é um meio de proteção do consumidor, que impõe responsabilidade legal ao produtor por danos causados por seus produtos. Diz respeito ao grande questionamento: "Quem é o responsável por danos resultantes de produtos defeituosos ?". Em outras palavras, trata das conseqüências do dano em outras partes protegidas legalmente como a vida, a saúde do indivíduo e o bem material, não compreendendo questões relativas a garantia, defeitos ou reposições [16].

Com o objetivo de remediar esta situação e responder estas questões, a Corte Americana foi a primeira a instituir, nos anos 60, o conceito de responsabilidade do fabricante. Da mesma forma, as diretrizes adotadas em 1985 pela Comunidade Econômica Européia (CEE) introduziram o conceito de responsabilidade entre seus membros [17]. Apesar da proteção ao consumidor, como hoje é conhecida, ter sido observada como conseqüência do desenvolvimento tecnológico dos anos 50 e 60, sua origem remonta na história. É sabido que no início das civilizações, autoridades de cidades e estados empenharam-se em estabelecer regulamentos, principalmente entre compradores e vendedores. O Código de Hamurabi* , escrito aproximadamente à 2.100 AC, descreve

*Código de Hamurabi (Rei da Babilônia) foi descoberto por Morgan em 1901, na cidade de Suma / Pérsia.

punições para preços exorbitantes, taxas excessivas e maus construtores. A Grécia e Roma tiveram problemas com farinha e vinhos adulterados. Em Constantinopla, o prefeito da cidade supervisionava pesos, medidas e moedas e geralmente protegia o consumidor e a corte. No restante da Europa medieval, políticas similares prevaleciam [18].

Os constantes avanços da indústria nos últimos anos têm acarretado uma enorme difusão de danos decorrentes de “produtos” defeituosos. Daí porque o reconhecimento de uma responsabilidade do produtor ou fabricante, em relação às vítimas de danos ocasionados por produtos lançados no mercado, está na ordem do dia em vários países. Objetiva-se com este novo tipo de responsabilidade, de um lado, assegurar a todos os que sofrem danos dessa natureza, uma proteção jurídica adequada, independente da existência de relações contratuais com o produtor. Por outro lado, trata-se de reforçar, de modo indireto, isto é, pela sanção da responsabilidade civil, o dever geral de todo fabricante de lançar no mercado produtos dotados de razoável segurança. Barros Leães [19] em seu trabalho, após examinar as orientações já adotadas em alguns sistemas jurídicos estrangeiros, lança as bases no direito brasileiro, do regime da responsabilidade do produtor perante as vítimas. Após a publicação do Código de Defesa do Consumidor - Lei 8078 de 11/09/1990, [61], vários autores [20, 21] tem dedicado a importantes comentários relativos a sua aplicação. Embora entendendo que deveria ter sido aproveitada a experiência das nações que há mais tempo se vêem a braços com os problemas oriundos do desenvolvimento econômico, Saad [20] não ousa declarar que o nosso legislador errou ou preferiu o Código à uma

série de leis esparsas. Outro importante trabalho é o do Jurista Coelho [22], que propõe um novo enfoque para a interpretação do Código de Defesa do Consumidor, buscando realçar a visão do empresário em preparar a sua empresa para o atendimento dos direitos do consumidor.

Um importante aspecto a ser mencionado é que, um dos protocolos do MERCOSUL estipula que os produtos comercializados dentro de suas fronteiras serão regidos pela lei do consumidor do país de origem. Com isto, saem perdendo os consumidores que contam com uma legislação mais moderna, como é o caso do Brasil. Para sanar ou amenizar este problema, foi criada a ACOM (Associação dos Consumidores do Mercosul), que deverá elaborar propostas para harmonização das legislações de defesa do consumidor dos países do Mercosul.

3.2 - Conceituação Geral

Nos dias de hoje, é reconhecidamente aceito que vários defeitos em materiais e estruturas, assim como deficiências em processos de fabricação levam à falha prematura de componentes e sistemas industriais. Estas falhas estão associadas às altas perdas de materiais e ocasionalmente, a perdas de vida. No final do século XX, o homem vem experimentando os privilégios dos avanços tecnológicos, proporcionando condições de vida cada vez mais satisfatórias. A criação de novos artefatos e a realização de novas idéias também incorporam o risco latente do homem não ter dedicado a atenção à algum fato crucial que, mais tarde poderá tornar-se uma fonte de perigo.

Dentro dos passos lógicos do desenvolvimento de um componente estrutural até sua produção, uso, manutenção e serviço, podem ocorrer "erros". Esta falha de procedimento pode resultar em uma redução na vida útil do componente levando a uma falha prematura de todo o sistema projetado. A Figura 3.1 ilustra este fato, onde um aspecto crucial do projeto não levado em consideração, reduz a vida do componente e ocasiona as implicações mostradas na ilustração. Qualquer falha em componentes estruturais ou sistemas está associada ainda a grandes perdas financeiras devido a redução da capacidade produtiva ou mesmo a paralisação completa da produção.

Por outro lado, como mostrado na figura 3.1, a avaliação do dano e a indenização são aspectos relacionados com a legislação e seguro. Esta ligação entre tecnologia, legislação e seguro deve ser caracterizada como uma forte retroalimentação para o projetista, através das conclusões obtidas por especialistas ou "peritos". As lições a serem aprendidas das investigações feitas sobre o problema é que, um projeto cuidadoso reduz o risco de falhas. Este assunto, torna-se mais evidente quando a saúde e a segurança de pessoas devem ser consideradas. Sabe-se hoje que, o custo total de acidentes tem crescido de forma exponencial nos últimos anos, e que, concomitantemente, o preço dos seguros sobem de forma proporcional. No período de 1971 à 1981 [23] os recursos financeiros dobraram devido a acidentes desta natureza, gerando como compensação uma inflação social. Sem a intenção de aprofundar em todos os temas, é apresentado nos itens seguintes conceituações básicas e importantes sobre o assunto.

CONCEITUAÇÃO GERAL

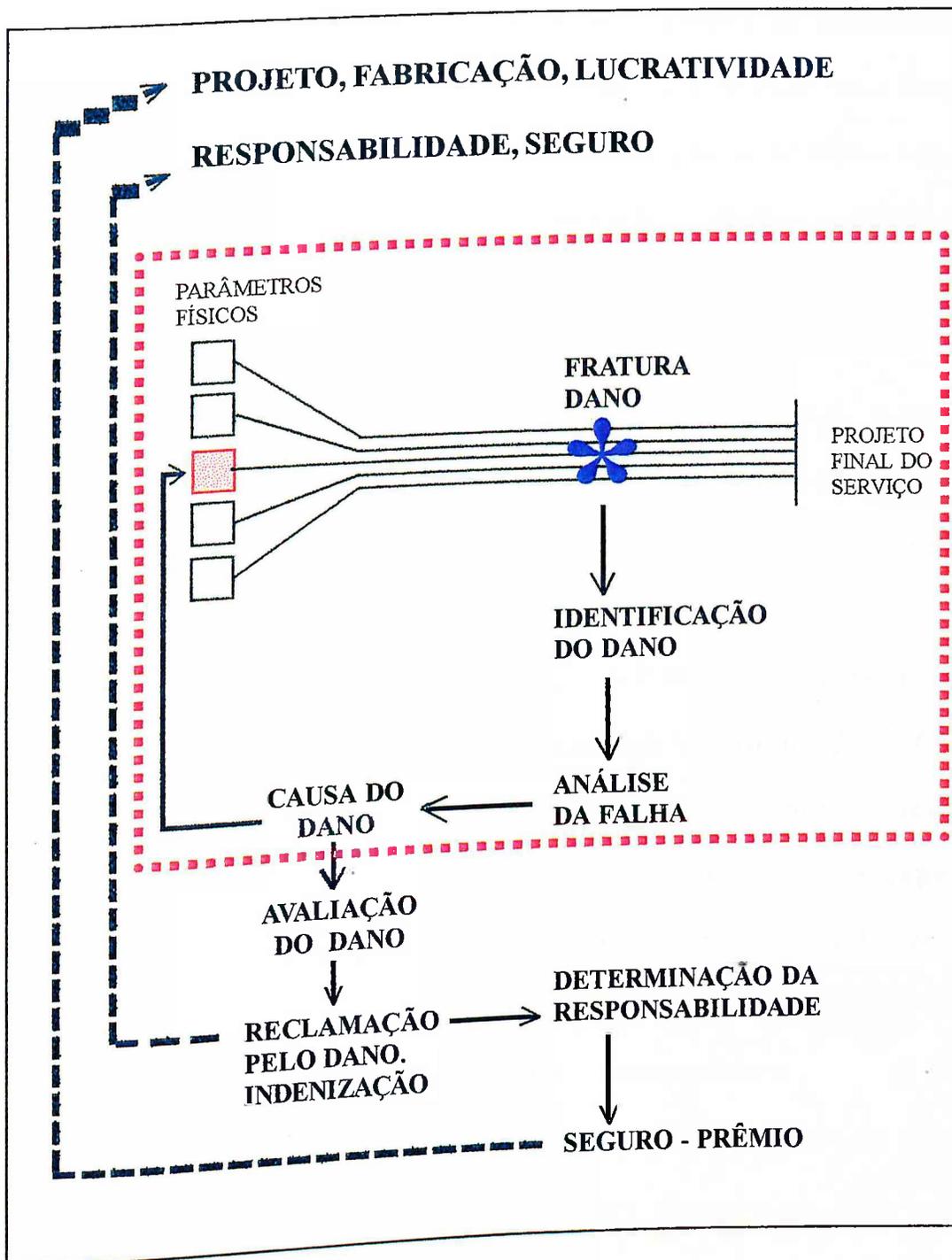


Figura 3.1: Interligação entre o projeto defeituoso, falha prematura, a legislação e o seguro.

3.2.1 - O Projeto como Possível Fonte de Falha

A falha devido a defeitos de projeto é um fato comumente observado na indústria. O projetista falha na previsão da confiabilidade e vida esperada do componente estrutural, sendo os aspectos mais frequentes a negligência quanto a possíveis cargas dinâmicas e cíclicas, níveis de umidade não prevista e ação de agentes devido a condições ambientais.

Na trajetória da imperfeição ao defeito, ainda existem dúvidas em caracterizar "o que é um defeito ?" Assim, a terminologia a ser entendida entre o projetista e o cliente, o público e a mídia, a companhia de seguro e o especialista legal ainda carece de desenvolvimento [24]. Entretanto, considera-se como defeito a causa que provoca um desvio da finalidade esperada e do desempenho requerido do componente.

Por outro lado, não existe uma definição geral de defeito de projeto, apesar de vários autores definirem defeito do produto [25, 26]. Tecnicamente, uma estrutura ou componente estrutural tem uma deficiência no projeto ou um defeito quando o artefato não corresponde à expectativa do cliente ou usuário na fase do projeto. A maioria das deficiências de projeto estão associadas a condições de cargas impróprias, seleção incorreta de materiais, tratamentos térmicos, entre outros.

A segurança de um produto desenvolvido depende de vários fatores intrínsecos, assim como das atividades associadas com o uso do mesmo. A completa segurança de um produto depende do nível de risco admissível na avaliação da segurança em uma dada situação. A decisão deve ser feita em conjunto com o projetista, fabricante, cliente, usuário, agências e o controlador de qualidade, onde as situações de

comercialização implicam em custo, tempo, material e tecnologia disponíveis e outros parâmetros, muitas vezes considerados mais importantes que a segurança [27].

3.2.2 - A Fabricação como Fonte de Falha

Deficiências em um produto pode ocorrer devido a falhas na fabricação e imperfeições na montagem bem como devido a execução e manutenção inadequada, mesmo quando o produto foi corretamente projetado. Em produtos fabricados sob especificações, os defeitos são introduzidos quando certas condições não são obedecidas. Descuidos na troca de materiais especificados, soldas defeituosas e montagem da estrutura são as mais freqüentes modificações, comprometidas ainda mais pela qualificação e inexperiência de pessoal.

3.2.3 - Manutenção, Prática de Trabalho e Manejo

A grande maioria de falhas operacionais são atribuídas a defeitos nas condições do sistema, que após um exame mais detido verifica-se que a causa do defeito é devido à falta de manutenção adequada. Todo componente mecânico, estrutura ou mesmo um complexo industrial necessita de manutenção regular e inspeção para garantir o funcionamento durante a vida definida no projeto. A falha do produto relacionada com a manutenção, pode ser classificada pelas causas básicas ou combinação das mesmas [28]: falha relacionada com o técnico de manutenção, defeito no projeto dificultando a manutenção e falha do operador em identificar a importância da interrupção para a manutenção ou rotina de manutenção.

Não se pode subestimar a existência e importância de procedimentos escritos de manutenção.

A realização de um procedimento de manutenção adequado como prática de trabalho (limpezas periódicas, e pinturas para minimizar a deterioração) proporcionará segurança e a garantia do produto para atingir a vida esperada. As falhas são freqüentemente ocasionadas devido às seqüências incorretas de operações e tipos de trabalhos executados, além da falta de manuais e instruções de instalação. A advertência de "cuidado" somente é efetiva quando a mensagem é recebida e entendida, estabelecendo para o usuário a base de suas ações [29]. Na área do manejo dos produtos (carga, levantamento, transporte, estocagem, descarga) , as condições que afetam a segurança são, principalmente, os equipamentos usados, o produto, o meio ambiente, o pessoal e a prática de trabalho. A maioria dos acidentes oriundos do manejo, tem sua origem em uma cadeia de eventos que geram a falha, sendo que um particular elemento deve ser identificado como iniciador da falha.

3.2.4 - Fatores Humanos na Engenharia do Produto

Nas últimas três décadas, o fator humano na Engenharia do produto ou ergonomia desenvolveu-se de uma idéia comum, como um importante campo da engenharia [30, 31]. Infelizmente, como toda disciplina nova, ela não foi totalmente entendida e analisada por projetistas e engenheiros e mesmo pouco aceita pelo público consumidor. Quando a interação entre o consumidor e um produto gera atrito, este fato implica em falha do projeto. Por outro lado, se através da utilização de um produto

a vida humana é mantida segura, mais eficiente, confortável e alegre, o projetista realizou um bom trabalho. Como a responsabilidade legal é afetada pelos erros técnicos e humanos, a boa qualidade do projeto e o esmero na fabricação do produto, ajudam na redução de perdas potenciais e, conseqüentemente, diminui a procura pelos seguros [32].

Os erros humanos têm sido apontados como o fator preponderante e contribuidor para a falha do produto ou perda de utilidade. O pouco entendimento das ocorrências de erro e o seu significado para a falha, assim como suas conseqüências sociais e econômicas, têm levado a um avanço na ergonomia [33].

3.2.5 - Avaliação de Integridade

Entende-se por avaliação de integridade as atividades de planejamento, exame e interpretação de resultados quando aplicadas em equipamentos ou sistemas, para caracterizar a evolução do estado dos danos acumulados em serviço, com o objetivo de garantir a conservação econômica da segurança e da confiabilidade operacional a longo prazo [34].

A avaliação de integridade nada mais representa senão um rótulo para o conceito moderno de inspeção de equipamentos em operação [35]. A definição dada é de caráter geral. Ela se aplica a sistemas produtivos em distintos universos tecnológicos. Ainda que alguns princípios básicos possam ser comuns, as condições de contorno específicas justificam atitudes inteiramente diversas. Este assunto tem despertado a atenção de vários segmentos, dado sua importância para a indústria brasileira [36].

3.2.6 - Análise de Falha: Implicações Sociais e Educacionais

A análise de uma falha ou investigação deve ser conduzida por especialistas, com o objetivo de identificar as causas que acarretaram a falha do produto, e principalmente estabelecer parâmetros para a prevenção deste tipo de falha.

No âmbito desta atividade profissional, uma pergunta sempre se evidencia: "O que é um especialista ?" Uma possível definição caracteriza o especialista como um indivíduo com experiências relevantes na área associada com o problema investigado. Um especialista técnico é conhecido pelo seu envolvimento e compromisso em um campo particular da tecnologia. Deve ser selecionado com base no nível de experiência e competência demonstrado em atividades já realizadas [37].

A experiência obtida em uma determinada análise de falha, deve ser colocada ao alcance de todos os especialistas ligados a este tipo de problema. Da mesma forma, os resultados da investigação devem ser tornados públicos, ou ainda mais, as informações resultantes de uma pesquisa de falha devem ser disseminadas em publicações como revistas, congressos, simpósios e outros meios de comunicação. Estas informações, devem também, ser estudadas e analisadas por profissionais do ensino superior, visando completar e ampliar sua qualificação acadêmica, proporcionando um ensino atualizado e uma educação e treinamento continuado para os profissionais da área. É imperativo que, as lições aprendidas devido a falhas industriais sejam incorporadas nos programas educacionais e que, efetivamente, sejam absorvidas pelo sistema produtivo.

3.2.7 - Perito em Engenharia

O perito em engenharia está envolvido com a arte e a ciência de investigações na engenharia, ou seja, determinação de fatos e causas. As principais áreas de atuação do perito são: responsabilidade do fabricante, investigações e reconstrução de acidentes e contratos de responsabilidade [38]. As ações a serem desempenhadas pelo perito incluem a determinação de:

- O que aconteceu ?
- Onde aconteceu ?
- Como aconteceu ?
- Porque aconteceu ?
- O que causou o sinistro ?
- Quem é o responsável pelo que aconteceu ?
- Qual é o custo para reparar ou substituir ?
- Quais os danos sofridos pelas partes envolvidas ?

Dentro desta visão e na opinião de alguns autores o perito deve ter o perfil de um excelente investigador e soberbo detetive (Sherlock Holmes), a capacidade de um advogado em manter em alto nível o entusiasmo e atenção do Juiz e dos Jurados (Perry Hason) e a coragem de um policial de enfrentar situações perigosas com calma e frieza (Humphrey Bogart).

Não obstante o irrefutável nível de competência do perito, este pode ser definido como um especialista altamente treinado, normalmente

um engenheiro ou cientista da área em consideração, que não tenha nenhum vínculo específico ou interesse com os demandistas no caso, a não ser o firme propósito de emitir um parecer profissional [39]. O perito tem a tarefa de fazer as investigações com base na coleta primária de dados, que geralmente incluem o produto físico ou o resto do mesmo e investigações no local do acidente. Nenhuma interação com as partes (cliente, advogado ou especialista) deve ocorrer antes do parecer final, tendo o perito autonomia no seu trabalho, incluindo o recebimento antecipado de seus honorários. A mais evidente diferença entre o perito e o advogado da lei é a diferença de visão no desenrolar do caso como um todo. O advogado tem inclinações naturais favoráveis e obrigações éticas com o cliente, enquanto o perito objetiva exclusivamente estabelecer e certificar a verdade da matéria, sem levar em conta nenhum interesse particular.

3.2.8 - A Qualidade e o Risco na Engenharia

Com relação a produtos industriais, o principal compromisso do engenheiro é com a segurança e qualidade, incluindo o controle dos subprodutos, processos de fabricação, serviços e possibilidade de reciclagem.

Com as exigências cada vez maiores na segurança dos produtos, condições ambientais impostas pela legislação e os regulamentos e impacto de seguros industriais, os engenheiros têm mudado de atitude e têm sido forçados a aprender para agir de maneira mais responsável no tocante às demandas da sociedade, dentro da expectativa de maior segurança. Quando

a saúde entre o consumidor e produtor vai bem, é porque a segurança e a qualidade está em primeiro plano.

Quanto ao risco, a principal meta do risco em engenharia é a sua redução, ou seja, eliminando ou mesmo reduzindo os problemas na cadeia entre o projetista e o consumidor. A engenharia do risco compreende a identificação e o controle do inesperado, eliminação de riscos inaceitáveis, implementação de procedimentos de redução de risco, entre outros, conseguidos através da aplicação de conhecimentos em engenharia. Todos os esforços da engenharia do risco são direcionados para maior segurança e melhores produtos [40]. Em todos os países industrializados as companhias de seguro já implantaram, ou estão em processo de implantação, centros nacionais e internacionais de engenharia do risco, onde profissionais de excelentes níveis e reputação nas áreas técnicas e de seguro oferecem uma ampla gama de serviços interprofissionais e interdisciplinares [41].

3.2.9 - Informações Técnicas: Suporte para a Legislação

A importância do papel do perito cresce a cada dia nos atuais casos de litígios, que se desenrolam na corte, no sentido de orientar os especialistas da legislação no tocante a matérias técnicas. Assim, as obrigações do perito em um julgamento, vão desde ministrar uma aula dos fundamentos teóricos sobre o assunto, demonstrar e explicar os fundamentos que levaram à sua conclusão, até defender seu posicionamento contra eventuais questionamentos [42].

Estes procedimentos orientam, com evidências técnicas, o trabalho do advogado durante um julgamento. As demonstrações de evidências podem ser feitas de muitas formas, tal que uma determinada apresentação possa constar de protótipos, modelos, fotografias, documentos, diagramas, cartazes, mapas, demonstrações, desenhos, esquemas e ilustrações, réplicas de componentes, computadores para visualização de imagens, apresentação de vídeos, entre outros.

Demonstrações geradas por computador, com base em processadores de imagens, têm se tornado uma poderosa ferramenta na visualização de reconstrução de acidentes, onde “softwares” específicos são usados para simular os fatos em diferentes situações. Não obstante o uso do computador para este fim, as aplicações clássicas envolvendo a concepção de produtos, projeto e fabricação, constituem também formas de geração e esclarecimentos técnicos [43]. É importante lembrar que, com relação a responsabilidade do fabricante, o “software” é um produto como outros [44, 45].

3.2.10 - Leis de Patentes

O progresso e o avanço da ciência e da tecnologia, a maior “patente” do século XX, tem exercido significativa influência na sociedade e no meio ambiente. As grandes inovações e descobertas prosperam à uma taxa cada vez maior, gerando um grande número de patentes em todo o mundo. Atualmente, existe uma doutrina, “uma patente - um país”, atribuída às diferenças nacionais da lei de patentes [46].

Torna-se urgente, portanto, a unificação dessas diferenças em um sistema único internacional de patentes. Por outro lado, a extensão de vida de equipamentos promovidos através de reparos ou troca de componentes, vem ganhando a atenção relativa a questões de patente das partes substituídas e da responsabilidade do reparo [47].

3.3 - Responsabilidade X Produto

Como já definido anteriormente, o termo "PRODUCT LIABILITY" tem um significado muito amplo e de difícil contextualização dentro das diferentes áreas que o tema abrange. Para melhor entendê-lo, pode-se dizer que qualquer ato deve gerar a obrigação do agente em responder pelo que realizar, isto é, "a responsabilidade". O ato, por sua vez, como concepção de um produto, realização de um serviço, elaboração de um diagnóstico ou parecer, enfim todos os tipos de trabalho, deve ser entendido como "o produto". Neste trabalho, optou-se pela utilização do termo "O PRODUTO E A RESPONSABILIDADE", sendo o produto fruto das ações e a responsabilidade fruto da legislação.

Este assunto está se delineando como uma tendência mundial em termos de compatibilização entre a Ciência/Tecnologia, com seus procedimentos e normas técnicas, a Legislação, que trata da responsabilidade técnica dos profissionais envolvidos e o Seguro, que trata da proteção aos danos eventualmente ocorridos. A Figura 3.2 mostra o triângulo desta interação, onde o vértice norteador é o da Ciência/Tecnologia. A realização de uma ação que dará origem a um

produto, desenvolvida no âmbito da Ciência/Tecnologia, poderá gerar danos cuja responsabilidade é tratada pela legislação vigente. Assim, a proteção às partes prejudicadas completa os vértices do triângulo, através do Seguro. Deve-se ressaltar a retroalimentação promovida pela legislação à Ciência/Tecnologia pela sanção da responsabilidade, bem como a interação direta entre o seguro e a Ciência/Tecnologia para a comprovação dos fatos. Poucos países, hoje, desenvolvem esta interação tão bem quanto os Estados Unidos [16, 17].

Esta tendência demonstra um novo rumo que a sociedade organizada está impondo aos profissionais que se dedicam à elaboração de um determinado produto, no sentido de cobrar destes profissionais uma maior segurança e qualidade, de tal forma a não colocar em risco a vida e o patrimônio.

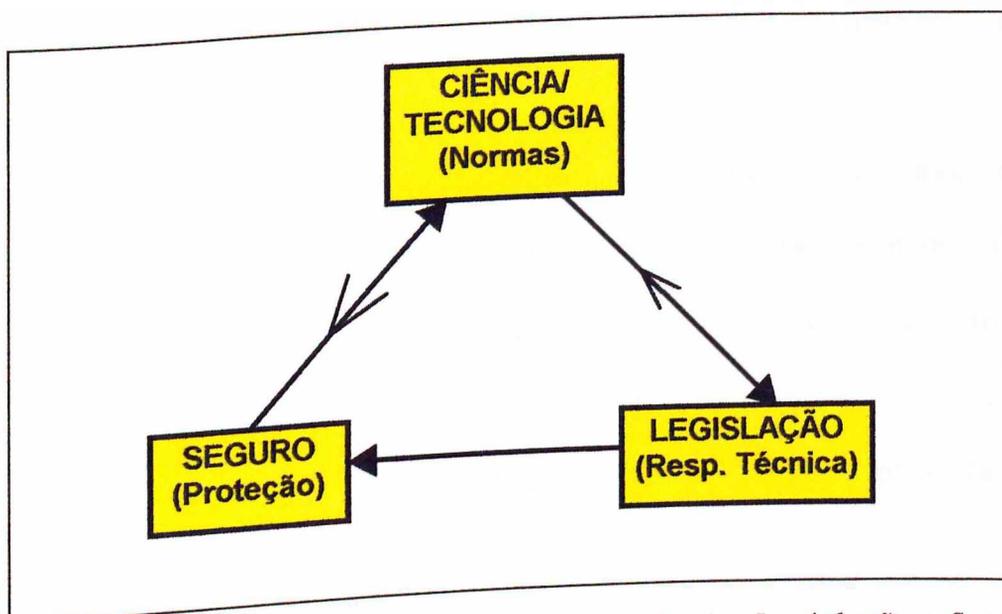


Figura 3.2: Inter-relação entre Ciência/Tecnologia, Legislação e Seguro.

A questão, “O PRODUTO E A RESPONSABILIDADE”, dentro da visão tecnológica, tem origem no grande número de acidentes ocorridos

principalmente no ambiente doméstico e de recreação, grande parte deles atribuídos à insegurança no projeto dos produtos [42, 48, 49]. A reação geral tem sido a criação de uma legislação própria para regulamentar a responsabilidade daqueles envolvidos com a concepção, projeto, fabricação e manutenção de produtos que possam, eventualmente, representar uma fonte de risco para a sociedade.

A tecnologia traz em si um risco intrínseco, inerente, em maior ou menor grau, às novas formas de conhecimento. Não é possível uma produção completamente isenta de riscos e conseqüentemente, que ofereça segurança total. Entretanto, a existência do risco não é capaz em si de condenar uma atividade ou empreendimento. Por exemplo, a produção de medicamentos para doenças graves, como o câncer ou a AIDS, mesmo possuindo efeitos colaterais que a ciência não soube evitar, ainda é um caso em que os benefícios suplantam os riscos [50]. Entretanto, um projeto de qualidade e uma fabricação cuidadosa dos produtos ajudam a reduzir estes riscos potenciais [51].

Congressos internacionais têm se dedicado às pesquisas de análise de falhas, prevenção de danos, fratura mecânica, responsabilidade sobre os produtos e técnicas de seguro [32]. Trata-se de um tema multidisciplinar que envolve cientistas, engenheiros, legisladores, gerentes, técnicos de seguro e representantes dos governos e indústria privada [51].

3.3.1 - Conceituação Legal do Produto

A dificuldade em se definir "produto" resulta da amplitude que este termo envolve. Segundo o dicionário "Aurélio" produto significa o

resultado de qualquer atividade humana, física ou mental. Segundo alguns autores, o produto deve ser caracterizado por um tempo definido desde o momento em que é colocado em circulação ou quando é prestado um serviço, pois na determinação da responsabilidade sobre o produto, este é um fator importante. Segundo o "American Consumer Product Safety Act" produto é qualquer artigo ou parte de um componente produzido ou distribuído para venda ao consumidor usuário [50]. Segundo a Diretiva da CEE de 25 de julho de 1985, que trata da responsabilidade de produtos defeituosos, produto é todo bem móvel, ainda que incorporado à outro bem móvel ou imóvel [17]. O Código de Defesa do Consumidor - Lei 8.078 de 11/09/90 § 1º do art 3º define produto como qualquer bem, móvel ou imóvel, material ou imaterial.

3.3.2 - O Papel do Produto

Para garantir sua sobrevivência e conforto, o homem se utiliza de ferramentas e utensílios desde os primórdios de sua existência. Assim, o papel do produto na sociedade é atender as necessidades humanas, com o menor risco possível à vida, saúde, patrimônio e meio ambiente. Com o desenvolvimento da tecnologia, ao final do século XX, passou-se a criar artefatos que incorporaram, cada vez mais, um perigo latente ao homem. Assim, tornou-se uma preocupação não só com o desenvolvimento de produtos que atendessem as necessidades humanas como também, de eliminar ou diminuir o risco que eles incorporam. Portanto, não basta que um bem ou serviço atenda ao fim a que se propõe, mas é importante que

cuidados sejam tomados para evitar que o produto seja uma fonte de malefícios ao próprio homem.

Estudos já realizados da origem das falhas em sinistros dão lições que podem ser incorporadas em projetos futuros, de tal forma a tornar os mesmos cada vez mais seguros. Por isto, é importante determinar se a origem da falha do produto ocorreu no projeto ou se desenvolveu ao longo das fases que o mesmo percorre até a utilização pelo consumidor final. É longo o caminho do produto: projeto, fabricação, estocagem, transporte e manutenção. A porta para o início de uma falha, que pode conduzir ao colapso do produto, está aberta em todas estas fases. Assim, em todas as etapas, o produto tem um importante papel para sua própria evolução.

Dentro deste contexto, a conceituação de falhas e defeitos torna-se pertinente. A falha se caracteriza por uma diminuição da vida útil de um sistema ou estrutura. Pode ser tanto reversível como irreversível, mas sempre representa uma interrupção na utilização do produto. Esta inoperabilidade pode, em alguns casos, representar um risco à segurança, nas ocasiões em que a falta de utilização do produto representa um risco potencial. Segundo a ABNT (ABNT-TB-19), a falha é uma ocorrência nos equipamentos que impede seu funcionamento e o defeito uma ocorrência nos equipamentos que não impede seu funcionamento, podendo a curto prazo, acarretar sua indisponibilidade.

Na Comunidade Econômica Européia, o produtor que gerar um produto defeituoso será o responsável por danos causados por este defeito [17]. O produto é defeituoso quando ele não é provido da segurança

necessária, incluindo aí a apresentação com instruções de uso, nome adequado e advertências. Um produto não poderá ser considerado defeituoso pelo fato de um novo e melhor ser colocado em circulação.

Cabe, portanto, aos projetistas, fabricantes, transportadores e comerciantes que estocam e/ou vendem produtos para a população se conscientizarem da nova ordem que se vislumbra nas sociedades organizadas.

3.3.3 O Rigor da Responsabilidade

Os avanços conseguidos sobre o presente tema, "o produto e a responsabilidade" devem ser atribuídos, sem dúvida, ao grande crescimento do custo total em acidentes nos últimos 30 anos e às constantes reivindicações de melhores produtos por parte do consumidor. O rigor destas formas de proteção da sociedade se caracteriza desde o código de Hamurabi, que estipulavam penas severas aos construtores da época, em caso de sinistro. Já em 1930 surgiram movimentos de consumidores nos EUA e em 1945 na Europa, que não se restringiam em testar os produtos mas, também, em publicar seus resultados. Em função da pressão destas organizações que sensibilizaram os governos para as questões do consumidor, surgiu em 1970, nos Estados Unidos, a "National Commission on Product Safety". Esta comissão concluiu que existia a falta de controle adequado para produtos potencialmente perigosos, expondo o consumidor a um risco passível de ser evitado. Seguiram esta mesma tendência a França, Inglaterra e Japão. Assim, quando uma pessoa se sentia prejudicada por um

produto, ela podia obter compensações e punição do responsável pelo dano, recorrendo ao judiciário, tendo atrás de si o respaldo da lei.

Segundo B. Klikar, da Zurich Insurance Company [40] a segurança que um produto ou sistema deve ter, reduzindo seu risco, é maior na fase de seu projeto e importante também na fase de fabricação, conforme mostrado a Figura 3.3. Assim, a responsabilidade do projetista ou do profissional que especifica e dimensiona o produto é de fundamental importância na vida e segurança do sistema, devendo portanto, haver uma conscientização destes das eventuais conseqüências resultantes de projetos inadequados.

A lei, por ser justa, é também rigorosa na mesma medida da dimensão do dano causado pelo produto defeituoso, podendo resultar em responsabilidade civil e até criminal. Tal ação tende a tornar os produtos cada vez mais seguros e de melhor qualidade, na medida que os profissionais envolvidos percebem os graves problemas de se colocar no mercado, um produto inseguro ou de qualidade inferior.

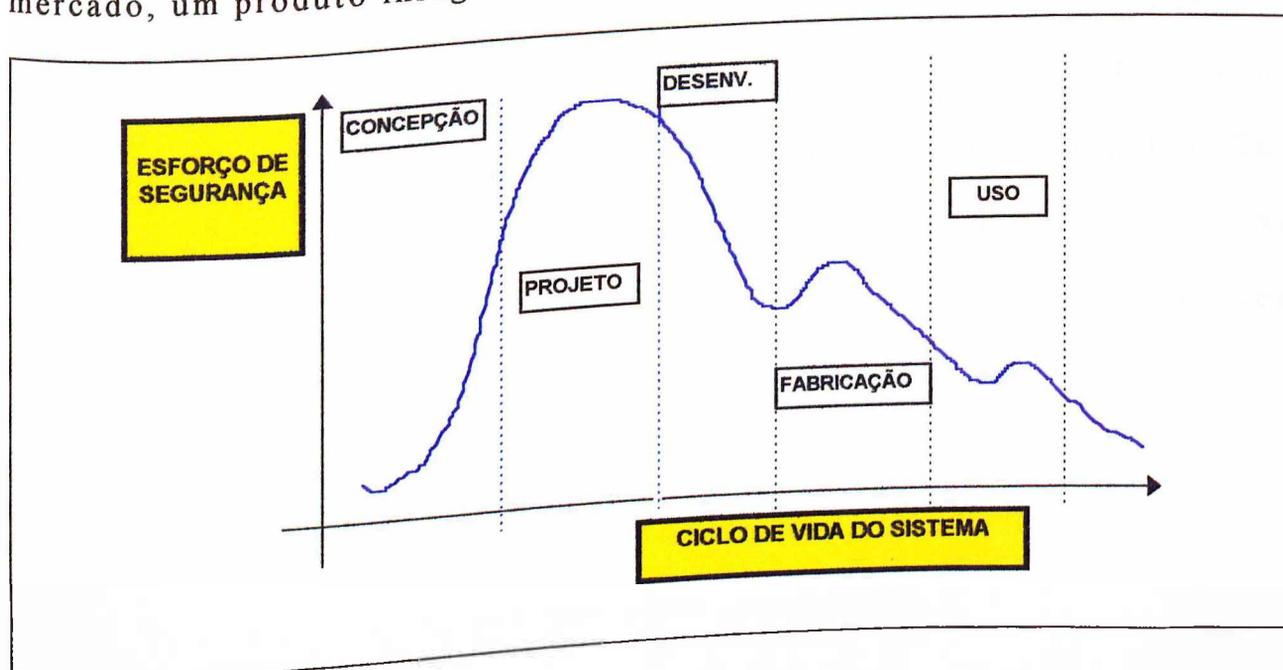


Figura 3.3: Esforço de segurança nas diversas fases de um sistema

3.3.4 O Estado da Responsabilidade / Produto

A) EM OUTROS PAÍSES: Com a revolução industrial e a produção em massa, as situações em que o consumidor precisava ser amparado se tornaram mais numerosas e mais complexas, o que motivou a transformação da legislação geral em específica. A primeira diretiva da Comunidade Econômica Européia, sobre a responsabilidade do fato dos produtos defeituosos, é de 25 de julho de 1985 e a partir daí, no velho continente, as legislações dos países membros foram se adaptando a essa diretriz. Antes disto, a Assembléia Consultiva do Conselho da Europa, aprovou através da resolução nº 543 de 17 de maio de 1973, a Carta de Proteção ao Consumidor. Neste documento, o consumidor é definido como uma pessoa física ou coletiva a quem são fornecidos bens e prestados serviços para uso privado. Dá destaque à proteção contra danos físicos causados por produtos perigosos que, quando usados de forma normal podem ser prejudiciais aos consumidores, bem como proteção aos interesses econômicos do consumidor. Posteriormente, pela Resolução de 14 de abril de 1975, o Conselho da Comunidade Econômica Européia (CEE) definiu um programa preliminar para uma política de proteção e de informação ao Consumidor. Neste documento, os interesses dos consumidores são agrupados em cinco categorias de direitos fundamentais [17, 19, 20]:

- a) direito à proteção da saúde e da segurança
- b) direito à proteção dos interesses econômicos
- c) direito à reparação dos prejuízos

- d) direito à informação e à educação
- e) direito à representação (direito de ser ouvido)

Na Inglaterra, a responsabilidade civil do produtor por danos resultantes de defeitos dos produtos é definida pela responsabilidade contratual ou extracontratual. O descumprimento de um contrato é taxado como ilícito civil ou penal, não havendo exata distinção entre as duas modalidades. Durante um longo período, a justiça só decidia uma sentença condenatória do produtor, se ele fosse demandado por quem lhe tivesse adquirido diretamente a mercadoria. O terceiro comprador estava impedido de chegar ao produtor para exigir-lhe reparação do dano ocasionado por defeito do bem negociado. Somente no final deste século é que os tribunais britânicos modificaram sua posição, reconhecendo que o fabricante tinha, também, o dever de entregar a terceiros, produtos seguros e de boa qualidade, acabando definitivamente com o princípio do *privative of contract* [17].

O acelerado desenvolvimento industrial dos Estados Unidos da América do Norte, tornou a evolução da legislação de proteção ao consumidor, mais rápida do que na Inglaterra, onde buscou suas origens. Inicialmente, foi também adotado nos Estados Unidos, o princípio do *privative contract*, mas logo reconheceram a responsabilidade do produtor por danos sofridos por terceiros, que adquiriam suas mercadorias, independente da existência de um contrato. Assim, a responsabilidade do produtor se fundamenta não na negligência ou garantia de qualidade do produto, mas tão somente no fato de haver o fabricante colocado à venda um produto com defeito ou vício de qualidade. Em 1962, o Presidente

Kennedy anunciou em sua famosa mensagem aos estados da união, a elaboração de uma legislação capaz de dar ao consumidor o direito à segurança, à informação e à escolha [17, 52].

Na Alemanha, foi somente à partir da década de 60 que a justiça passou a adotar, em seus decisórios, os princípios mais modernos da responsabilidade civil do produtor, por defeitos dos bens por ele fabricados. Em 24 de julho de 1985, o Conselho de Ministros da Comunidade Econômica Européia concluiu a "Concil Directive" para servir de orientação aos estados membros, com o fim de aproximar os regulamentos legais e administrativos concernentes à questão da responsabilidade por produtos defeituosos [52]. Esta diretiva é baseada na responsabilidade do produtor sobre seus produtos. Todos os países da CEE, além de alguns estados não membros, como a Áustria, Finlândia e Noruega têm procurado integrar estas diretrizes na sua legislação nacional. Na Alemanha e Austrália são utilizados há muito tempo, um contrato com efeitos protetivos beneficiando uma terceira parte.

Nos Estados Unidos, a origem da legislação de "product liability" é de 1965 estabelecendo que aquele que vender qualquer produto defeituoso ou perigoso é responsável pelos danos causados. Verifica-se que a situação legal na CEE e nos EUA são quase similares. Entretanto, existe uma substancial diferença nos procedimentos existentes entre estes dois sistemas legais. Uma mesma situação legal pode levar a resultados diferentes.

No Japão, as ações concernentes à responsabilidade causadas por produtos defeituosos é baseada no Código Civil e na existência de um

contrato. O consumidor tem o ônus de provar a existência do defeito no produto e a relação de causa e efeito do dano resultante.

B) NO BRASIL A primeira legislação Brasileira que tratou do exercício profissional da área da engenharia, é de 1933, através do Decreto-lei 23.596 de 11 de dezembro daquele ano [54]. Neste decreto, já se restringia aos profissionais da Engenharia, o exercício das atividades concernentes à projetos mecânicos. Havia a indicação do título de Engenheiro Industrial e Engenheiro Mecânico-Eletricista. Posteriormente, em 24 de dezembro de 1966, foi sancionada a lei 5.194 [55] que está em vigor até o momento. Esta legislação, em seu artigo 17, cita que os direitos e responsabilidades de um projeto são do profissional que o elabora. Em 07 de dezembro de 1977, foi instituída a lei 6.496 [56] determinando que os projetos e serviços de engenharia devem ser registrados nos CREAs (Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e Agronomia) através de um documento intitulado ART (Anotação de responsabilidade técnica). Esta ART é que define o RT (Responsável técnico) para efeitos legais. Em 30 de outubro de 1980, foi sancionada a lei 6.839 [57] que obriga o registro de empresas que atuam na área da engenharia e dos profissionais nos Conselhos de fiscalização profissional. Em 29 de junho de 1973, o CONFEA (Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia) baixa a Resolução nº 218 [58] que define as atividades das diferentes modalidades de Engenharia e fixa as atribuições de cada uma. A lei 5.194 dá poderes ao CONFEA de regulamentação através de resolução. É a resolução 218/76 do CONFEA que discrimina as atividades, nas quais um

Engenheiro tem atribuições legais para atuar. Em seu artigo 12, consta: "*Compete ao Engenheiro Mecânico, o desempenho das atividades de projetos referentes à processos mecânicos, máquinas em geral, instalações industriais, equipamentos mecânicos,...*". Desta forma, fica evidenciado que, projetos de equipamentos e peças mecânicas devem ser feitos por profissional devidamente qualificado, detentor de diploma de Engenheiro Mecânico. Os projetos devem ser registrados no CREA, através de uma ART, onde fica definido, para efeitos legais, a autoria e a responsabilidade técnica. Este registro no Conselho profissional, garante ao Engenheiro um acervo técnico comprovado por certidão de fé pública. Na recente lei 8.666 [59] que fixa normas de concorrências para o serviço público no Brasil, é necessário a comprovação da experiência profissional mediante a apresentação desta certidão fornecida pelo CREA, quando se tratar de obras de Engenharia. Assim, além do profissional definir a autoria do projeto, ele garante a formação de seu acervo.

Os avanços na regulamentação das leis vêm a cada dia se concretizando em todas as áreas. Pode-se citar, como exemplo, que no âmbito do estado de Minas Gerais, a Câmara de Engenharia Mecânica do CREA-MG aprovou em 26 de maio de 1994, uma Decisão Normalizadora nº 02/94 [60], que dispõe sobre o registro de empresas que atuam na área de manutenção, recarga e fabricação de extintores. Em função de atribuição dada em lei, as respectivas Câmaras setoriais dos CREAs (Civil, Elétrica, Mecânica, Arquitetura, etc) podem emitir normas referentes à fiscalização do exercício profissional. Esta norma, publicada no Diário Oficial do Estado em 16 de julho deste mesmo ano, define que as empresas que atuam

no setor de extintores de incêndio, inclusive na fabricação de seus componentes, devem se registrar no CREA-MG e apresentar um profissional Engenheiro da área Mecânica para ser o RT do projeto e da fabricação. Esta posição do CREA-MG foi aprovada em reunião com representantes de CREA's de 15 estados (AL, BA, CE, DF, ES, MS, PB, PE, PI, PR, RJ, RN, RS, SC e SE), realizada em João Pessoa, PB, nos dias 17, 18 e 19 de outubro de 1994, ampliando a gama de profissionais nas atividades de projeto e fabricação de extintores, que inclui os Engenheiros Industriais modalidade Mecânica, os Engenheiros Mecânicos-Eletricistas e os Engenheiros Civis que possuam atribuições da alínea f, art. 28 do Decreto-Lei 23.569 .

Por estes instrumentos é que a sociedade se protege contra a ação de leigos que não estão devidamente preparados para exercer atividades da área da Engenharia, evitando assim, colocar a vida e o patrimônio das pessoas em risco.

Além da questão legal relativa ao Profissional, há também normas e padronizações que os projetos devem obedecer. Assim, entidades foram criadas com o objetivo de estabelecer regras e padrões de segurança. É o caso, aqui no Brasil, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que possui normas específicas para cada tipo de produto. Outro órgão diretamente ligado à regulamentação de produtos, é o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), que regulamenta e fornece certificado de credenciamento técnico. Por outro lado, o IPEM - Instituto de Pesos e Medidas, cuida da fiscalização do cumprimento das normas e das legislações Federal e local.

3.3.5 - Proteção do Consumidor

O movimento de proteção ao consumidor tem sua origem histórica nas últimas três décadas, onde acelerou-se de modo considerável o processo de desenvolvimento econômico, dando origem à legislações específicas de proteção do consumidor. No Brasil, surgiu em 1990 a lei 8.078 intitulada "Código de Defesa do Consumidor" que estabelece direitos e obrigações de consumidores e fornecedores [61]. É considerado um consumidor, uma pessoa, ou várias pessoas ou ainda empresas que compram ou utilizam produtos e serviços para uso próprio. Fornecedores são empresas ou pessoas que produzem, montam, criam, constróem, transformam, importam, exportam, distribuem ou vendem produtos ou serviços. Produto, é qualquer bem móvel como carro, sofá, eletrodoméstico, etc ou bem imóvel como casa, apartamento, terreno, etc. Serviço é qualquer trabalho prestado, pago, abrangendo serviços públicos, bancários, financeiros, de crédito e de seguro.

Este código prevê que, sempre que um produto causar um acidente, o responsável será o fabricante, o construtor, o importador ou o prestador do serviço. Na impossibilidade de identificação do fabricante, produtor ou do importador, o responsável passa a ser o comerciante. Consta também desta lei que, o consumidor tem direito à indenização ou reparação financeira por danos causados por produtos ou serviços. Neste aspecto é que se inclui a questão do "Produto e a Responsabilidade".

No caso do produto apresentar um defeito, o consumidor pode reclamar a qualquer um dos fornecedores, como o comerciante, fabricante, construtor ou importador. Para isto, obriga que os produtos e serviços

devem ter informações claras, completas e em língua portuguesa com relação a qualidade, quantidade, composição, preço, prazo de validade, garantia, o nome e endereço do fabricante e os eventuais riscos que possam apresentar.

CAPÍTULO 4

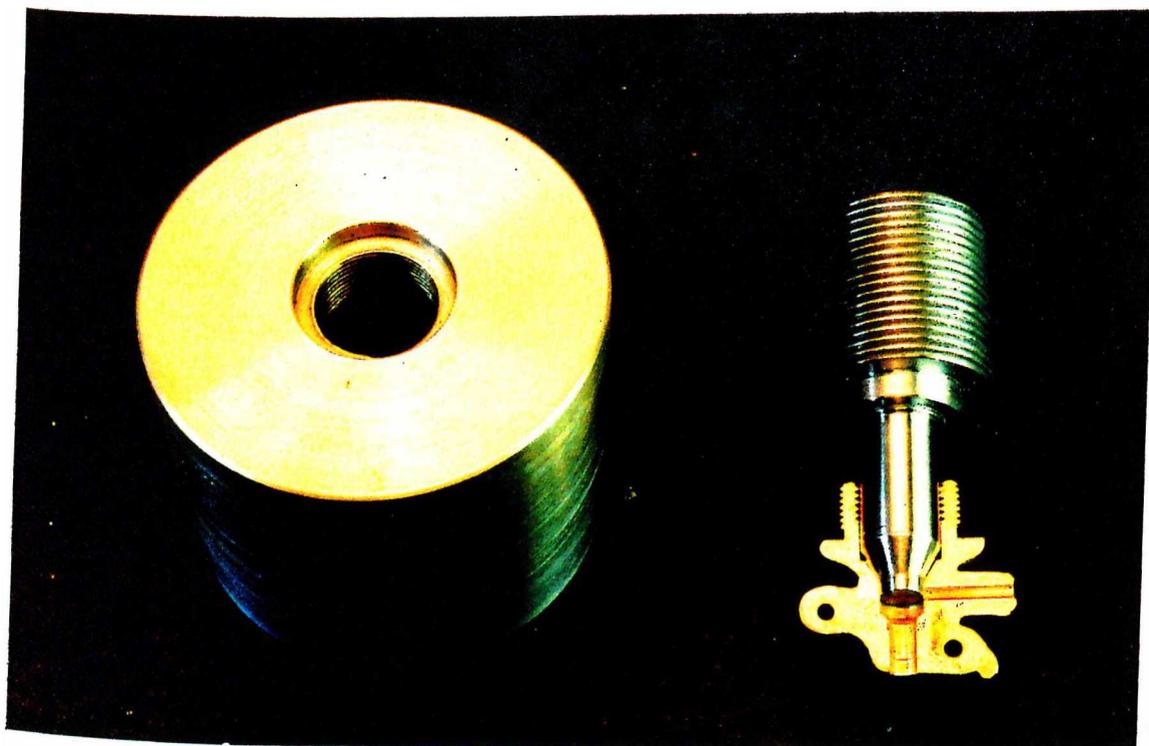
ENSAIOS EXPERIMENTAIS - RESULTADOS

4.1 . Ensaio Destrutivo

Os ensaios destrutivos foram executados na máquina MTS - Material Test System do Laboratório de Comportamento Mecânico dos Materiais na UFU. Foram executados em válvulas adquiridas aleatoriamente no mercado e de dois fabricantes diferentes.

4.1.1 . Sistema de Carga / Resultados

O sistema de carga para os ensaios destrutivos é constituído de duas peças em aço SAE 1030: uma base para o alojamento da válvula e um simulador de pressão. Foi idealizado de tal forma a simular as solicitações na válvula em condições de trabalho. A base possui a mesma rosca que se encontra na extremidade do cilindro do extintor e é mostrada na Figura 4.1a. O simulador da pressão (Figura 4.1b) tem formato adequado para alojar na parte interna da válvula, com rosca na extremidade oposta para fixação na máquina MTS. A válvula a ser testada é rosqueada de baixo para cima, pela parte inferior, no dispositivo de fixação da válvula que é apoiado na mesa da MTS. Este sistema de carga permite submeter a válvula a um esforço registrado pelo sistema MTS, simulando o efeito da pressão interna do extintor, até sua ruptura. O Anexo II mostra os diagramas dos testes, sendo os resultados das máximas forças mostradas na Tabela 4.1. Nesta tabela está também indicada a posição da ruptura, ocorrida predominantemente no 1º filete da rosca interna de dentro para fora.



(a)

(b)

Figura 4.1: Foto do sistema de carga para os ensaios destrutivos na MTS: a) base e b) simulador de pressão

Tabela 4.1 : Resultados dos testes destrutivos das válvulas P1/P2

Teste	Carga max. De ruptura [kN]	Local de rompimento
1	31,3232	1º filete
2	38,1592	1º filete
3	24,9512	Cabeça
4	31,5918	1º filete
5	37,3535	1º filete
6	35,3760	Espanou a rosca
7	34,7168	1º filete
8	41,5283	junção c/ a base
9	31,8115	1º filete

4.2 . Ensaio de Microdureza

Este ensaio foi realizado com o objetivo de determinar, comparativamente, a dureza do material nas proximidades do local de rompimento, tanto da válvula objeto do “estudo de caso” como de uma das válvulas testadas no ensaio destrutivo da MTS. Estas medidas foram comparadas com a microdureza de uma válvula nova, sem uso, na mesma posição das duas anteriores. Para a realização destes, foi necessário executar o embutimento das amostras.

4.2.1 . **Embutimento das Amostras**

Optou-se pelo embutimento à frio das amostras para se evitar influência térmica sobre as medidas uma vez que o embutimento convencional com baquelite é a quente. Para a execução do embutimento utilizou-se uma seção de 1 cm de comprimento de um tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ de polegada. Em seguida, as amostras foram colocadas dentro destes anéis e preenchidas com acrílico auto polimerizante em pó, sendo adicionado o catalisador líquido acrílico (monômero metil metacrilato de baixa toxidez). Uma vez concluído o embutimento para a fixação das amostras, estes são polidos com lixas de granulometria de 120 a 600. Ao final, obtêm-se as amostras embutidas e prontas para serem utilizadas e manuseadas, conforme mostra a Figura 4.2. As medidas foram feitas no microscópio NEOPHLOT do Laboratório de Materiais da UFU, aplicando-se uma carga de 100 gramas e utilizando canhão próprio com ponta de diamante piramidal de base quadrada para microdureza Vickers [62].

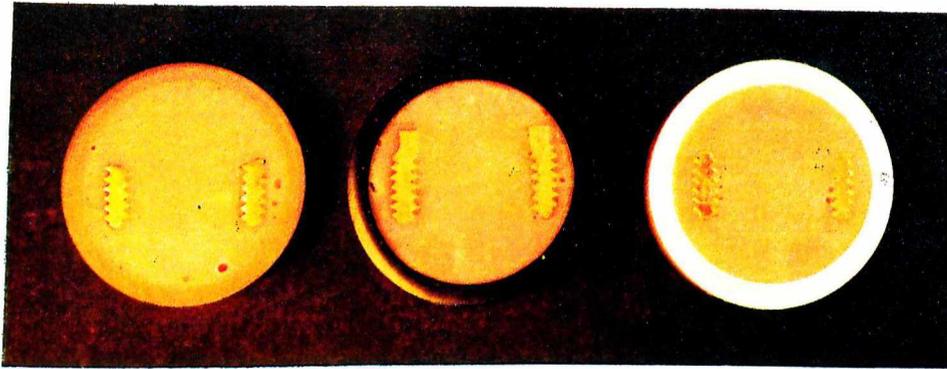


Figura 4.2: Foto das amostras embutidas

4.2.2 . Valores da Microdureza

Foram feitas diversas medidas no interior da seção transversal e próximo da região de ruptura para as duas válvulas novas e a válvula acidentada. O valor médio encontrado para as válvulas novas foi de 120 Vickers, sendo que uma delas sofreu esforço de tração até o rompimento na máquina de ensaio MTS. Já a válvula sinistrada apresentou uma dureza Vickers de 159, bem superior as duas outras amostras. O gráfico da Figura 4.3 mostra os resultados obtidos.

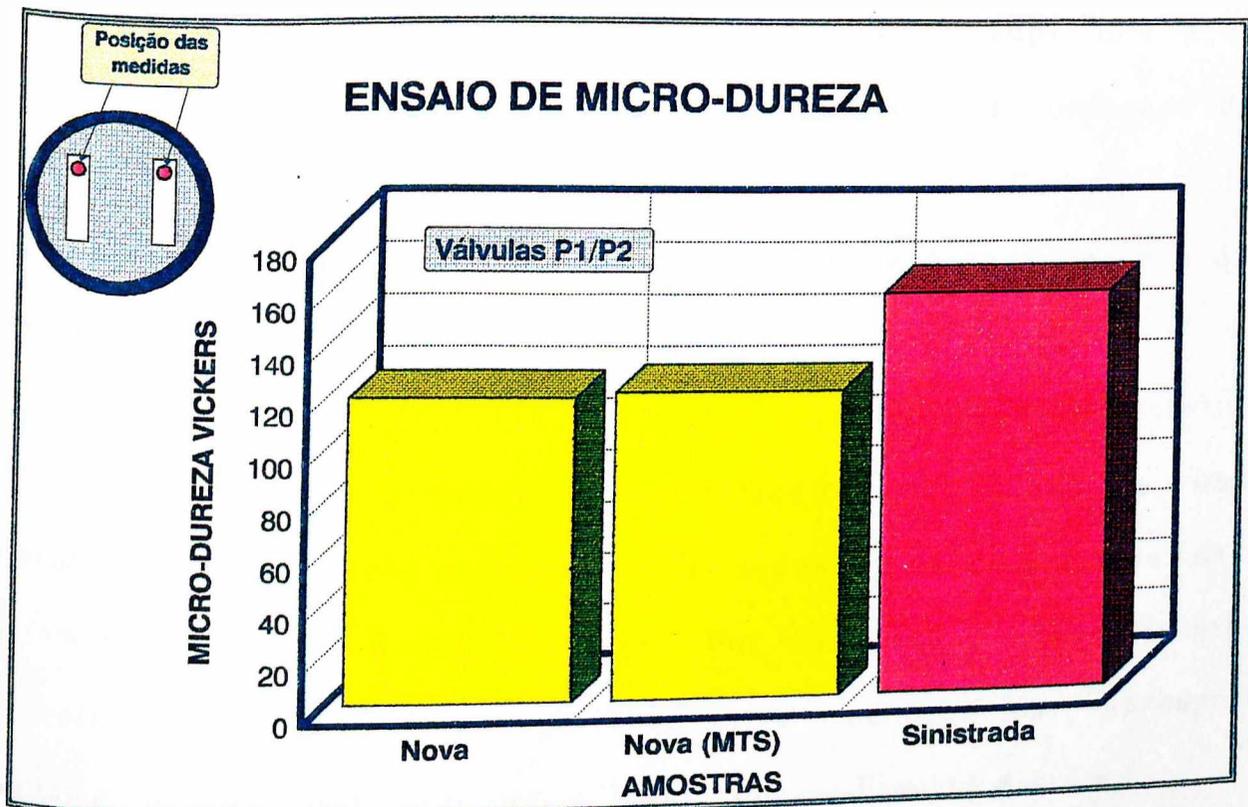


Figura 4.3: Gráfico com as medidas de micro dureza

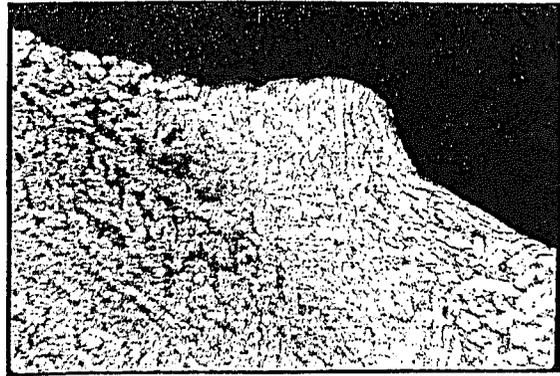
4.3 . Análise da Micro-Estrutura do Material

Para se verificar a estrutura granular do material da válvula acidentada, afim de relacioná-la com os demais resultados dos ensaios efetuados, foram utilizadas as amostras embutidas descritas no item 4.2.1. As amostras foram novamente preparadas com lixamento e polimento. O polimento convencional, com pasta de diamante ou alumínio não é indicado para metais "macios". Assim, optou-se pelo polimento eletrolítico na máquina Electropol Mark 5 da Strues. O eletrólito utilizado, indicado para o Cobre e suas ligas é o D2 composto de :

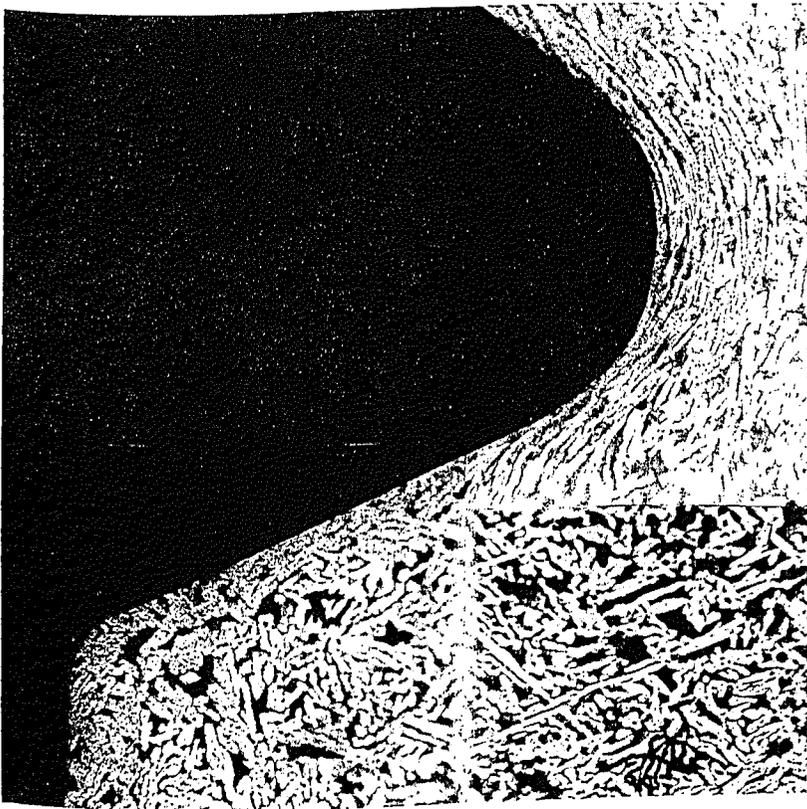
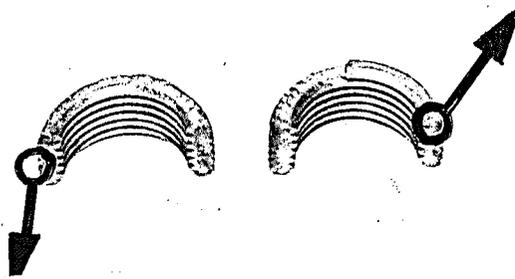
- ácido fosfórico 250 ml.
- água destilada 500 ml.
- etanol 250 ml.
- propanol 50 ml.
- uréia 5 g.

O polimento foi feito em dois períodos consecutivos de 15 segundos cada. Finalmente vem o ataque químico da superfície a ser analisada, para se obter uma imagem com contraste nos contornos dos grãos. Para o latão, utilizou-se o cloreto férrico aquoso. Foram testados vários períodos de tempo de ataque, sendo que o de 5 segundos é o que apresentou a melhor imagem ao microscópio.

As fotos da Figura 4.4 mostram a configuração da estrutura granular das amostras estudadas, demonstrando que o fundo da rosca externa (Figura 4.4 c) teve seus grãos deformados indicando que esta rosca foi laminada, tornando-a mais resistente. Por outro lado, a rosca interna foi obtida por usinagem convencional, uma vez que não apresenta encruamento na estrutura granular, evidenciado nas Figuras 4.4 a e b.



(a) Aumento de 85 X



(b) aumento de 85 X

Figura 4.4: Fotos da micro-estrutura do latão: a) fundo da rosca interna e b) fundo da rosca externa;

4.4 . Composição Química do Material

Como existe uma ampla gama de tipos de latão, foi feita uma análise da composição química dos materiais das amostras estudadas. Estas análises foram feitas no Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Engenharia Metalúrgica da Escola de Engenharia da UFMG. Utilizou-se dois tipos de ensaios para se comparar seus resultados, através da microsonda eletrônica ORTEC (modelo EEDS2) e análise quantitativa por via úmida. Este último, embora demande maior tempo, é mais preciso que o primeiro. As amostras selecionadas para esta análise estão descritas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Amostras selecionadas para análise química

AMOSTRAS		ANÁLISE EXECUTADA	
Nº amostra	Especificação	Análise por microsonda	Análise por via úmida
1	Válvula nova	sim	não
2	Válvula ensaiada na MTS	sim	sim
3	Válvula acidentada	sim	sim

Na análise da composição química na Microsonda eletrônica ORTEC foram feitas 3 medidas em cada amostra cujos resultados médios são mostrados na Tabela 4.3. A Tabela 4.4 mostra os resultados por análise de via úmida.

Tabela 4.3: Resultado pela microsonda ORTEC

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Fe	0,994 %	1,344 %	0,906 %
Cu	68,823 %	65,707 %	63,999 %
Zn	30,140 %	28,610 %	34,909 %
Pb	X	4,187 %	X

Tabela 4.4: Resultados por análise de via úmida

	Amostra 2	Amostra 3
Fe	0,228 %	0,239 %
Cu	50,80 %	50,88 %
Zn	40,74 %	45,86 %
Pb	1,29 %	1,99 %
Sn	0,204 %	0,267 %

4.5 . Ensaio Dimensionais

Este ensaio visa a identificação de eventuais erros geométricos de fabricação nas válvulas. Para a realização do ensaio dimensional, foi utilizado o microscópio-ferramenta, sendo efetuadas medidas na válvula acidentada e em 3 válvulas novas. As dimensões constantes da tabela do gráfico da Figura 4.6 , para as válvulas novas, são a média apurada das dimensões medidas em três exemplares.. Para verificação dos parâmetros dimensionais, foram medidas as dimensões do diâmetro externo (d), espessura da parede em dois pontos opostos diametralmente e de máxima discrepância, tanto do núcleo resistente (do fundo da rosca interna ao fundo da rosca externa, b e b') quanto da espessura total da parede (do

topo da rosca interna ao topo da rosca externa, a e a'). Outra dimensão medida, de extrema relevância para este estudo, foi o comprimento da rosca interna (l_{int}) e da rosca externa (l_{ext}), onde se verificou uma variação, entre a dimensão medida na válvula acidentada em relação à média das válvulas novas, de 13,8% e 16,3% respectivamente.

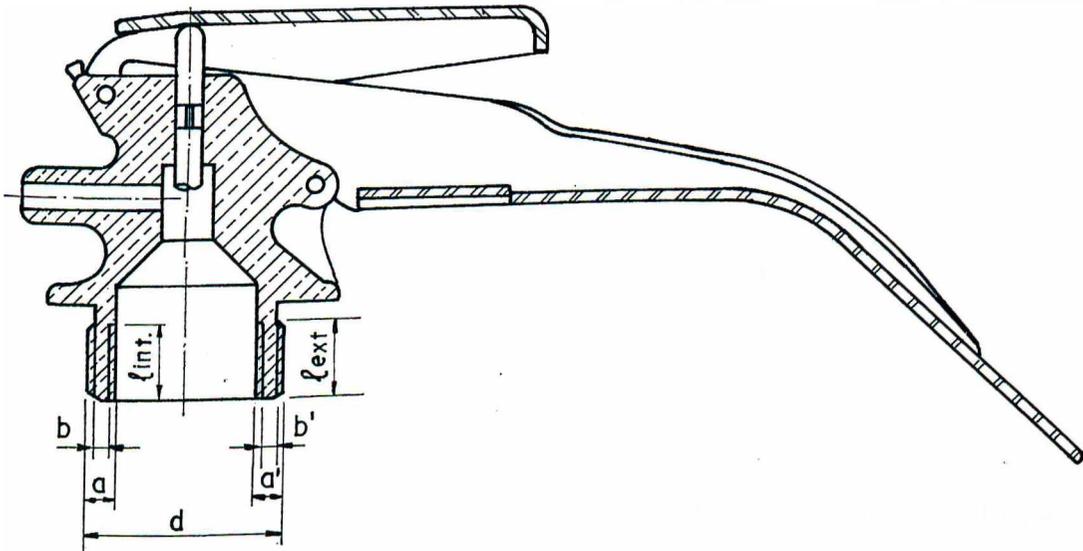


Figura 4.5: Posição das medidas efetuadas

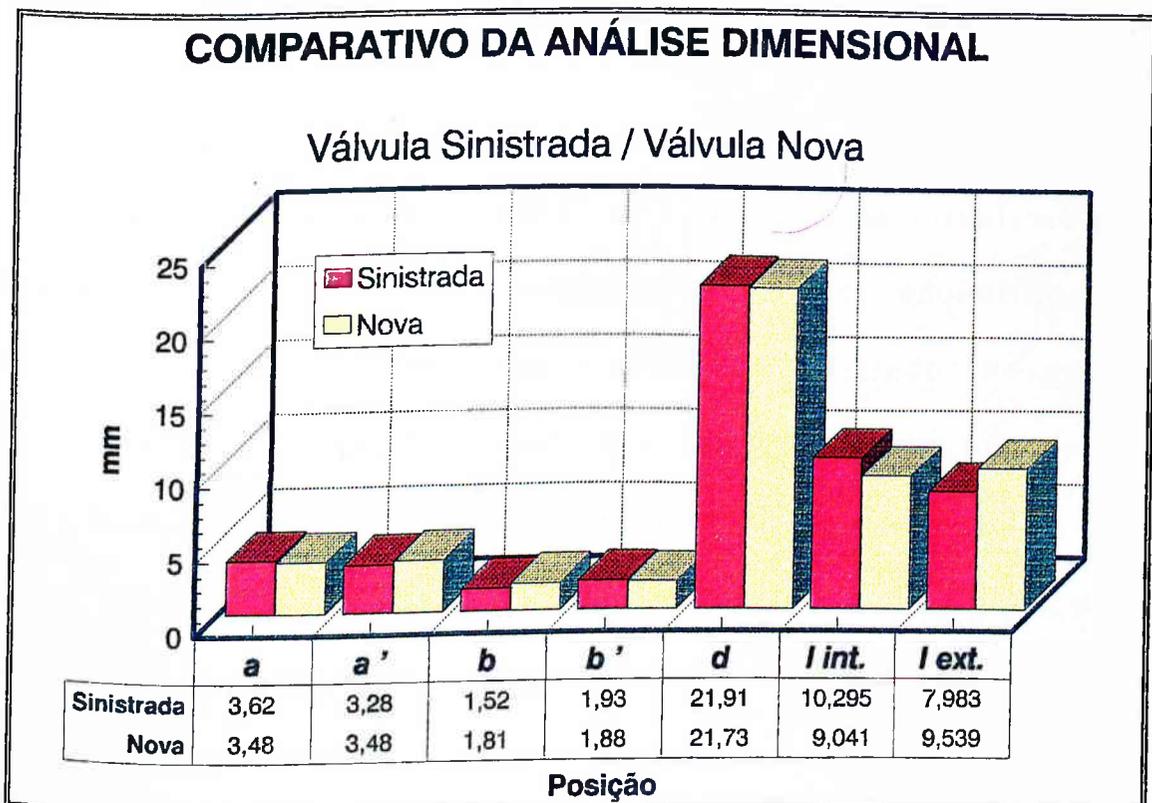


Figura 4.6: Resultado dos ensaios dimensionais

4.6 . Medida das Forças Atuantes

Com o objetivo de determinar a grandeza das forças que atuam na válvula, para avaliação dos níveis de tensões e para simulação das mesmas nos modelos fotoelásticos, foram efetuadas as medidas descritas a seguir. As forças atuantes foram identificadas como sendo provocadas pela pressão interna, pela compressão do anel de vedação e da mola de fechamento do gatilho.

4.6.1 . **Força Devido ao Anel de Vedação**

Para se medir a força atuante no anel de vedação, foi elaborado um sistema de carga para adaptar na MTS. Utilizou-se a parte superior de um cilindro de extintor e uma válvula em que foi retirada por usinagem sua rosca externa, para que pudesse se movimentar livremente dentro de seu alojamento. Com este sistema de carga, que é mostrado na Figura 4.8, foi mensurada a força necessária para se comprimir o anel de borracha até a deformação média encontrada em diversos extintores montados. Esta deformação média foi apurada medindo-se a distância da válvula ao topo do cilindro em diversos extintores montados e o valor encontrado foi de 1,75mm. O resultado dos testes em 4 anéis são mostrados no gráfico da Figura 4.7. Uma das medidas (anel 1) foi desprezada por apresentar resultado muito diferente das demais. Pelas medidas dos anéis 2, 3 e 4 a força necessária para deformar o anel de vedação em 1,75mm varia de 1.450 N à 2050 N o que implica em uma força média de 1.750 N .

MEDIDA DA FORÇA ATUANTE NO ANEL de VEDAÇÃO

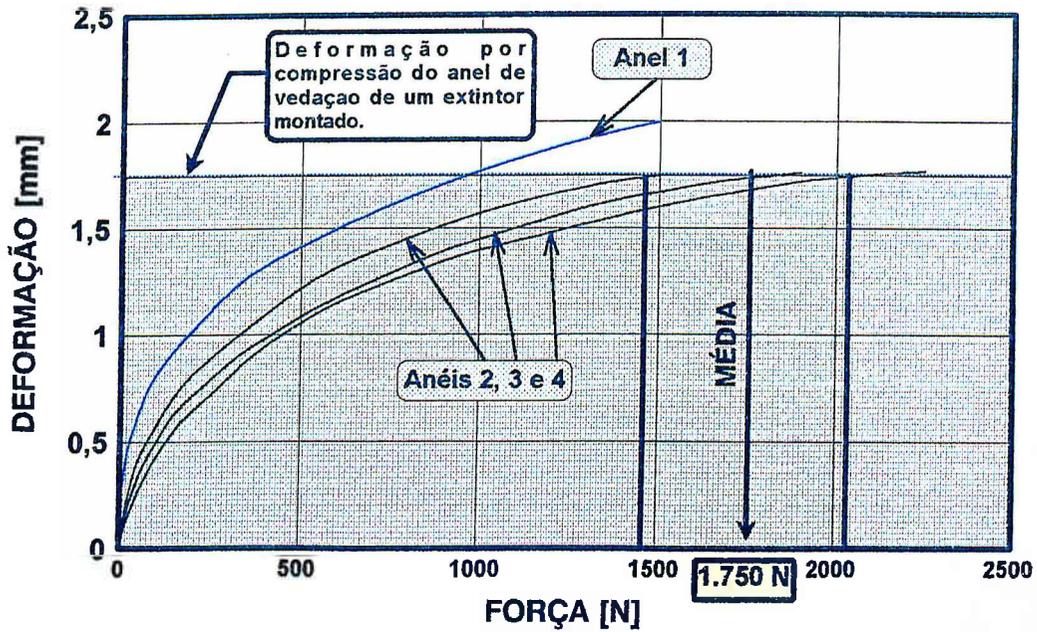


Figura 4.7: Resultados das medidas para a determinação da força atuante no anel de vedação em um extintor montado.



Figura 4.8: Sistema de carga para determinação da força no anel de vedação.

4.6.2 . Força da Mola

Como mostrado na Figura 2.1, a válvula possui uma mola interna com a finalidade de pressionar o gatilho e manter a válvula fechada. Esta mola é apoiada em um suporte de polipropileno que é fixado na rosca interna. Para medir a força que a mola produz quando comprimida em seu alojamento dentro da válvula, foram realizados testes de compressão, usando o sistema MTS, em 4 molas simultaneamente. Sendo a altura livre das molas de 28 mm e a altura de seu alojamento dentro da válvula de 19 mm, o resultado médio obtido para a compressão de 9 mm foi de 400 N ou 100 N por mola.

4.6.3 . Força Devido à Pressão

A pressão interna do extintor de pó químico para uso automotivo, tem sua faixa de operação entre 0,8 à 1,4 MPa. A área da seção transversal onde esta pressão atua sobre a válvula é de 216,4 mm². Considerando que a pressão pode chegar à 2 Mpa (Figura 2.3), a força atuante na válvula no sentido de dentro para fora do cilindro, na situação mais crítica é de 432,8 N.

Tendo em vista a atuação das forças em conjunto, constata-se que a pressão interna, em condição máxima, contribui com 20% do esforço total nas roscas da válvula, sendo 5% devido à mola e 75% atribuído à compressão do anel de borracha devido ao torque de aperto.

CAPÍTULO 5

ESTUDO FOTOELÁSTICO TRIDIMENSIONAL - RESULTADOS

5.1 . Fotoelasticidade Tridimensional

A fotoelasticidade é uma técnica experimental para análise de tensões/deformações muito adequada para aplicação em peças com formato complicado e distribuições complexas de tensões. Por ser uma técnica ótica, fornece informações de campo contínuo através de uma imagem geral da distribuição das tensões, ao invés de informação ponto a ponto. É utilizada tanto na análise do conjunto de um sistema mecânico como também em peças isoladas. Este método é freqüentemente usado para localizar áreas com níveis altos de tensões e para otimizar formas geométricas.

Sua aplicação em problemas planos, denominada Fotoelasticidade Plana, é feita usando modelos planos confeccionados em material transparente, homogêneo, isotrópico, linear, possuindo certas propriedades óticas. A partir da década de 40, com o desenvolvimento da técnica de congelamento de tensões, a fotoelasticidade passou a ser aplicada, também em problemas tridimensionais, denominada de Fotoelasticidade Tridimensional.

Utilizando-se o método de congelamento das tensões/deformações no material e o corte em fatias do modelo, pode-se determinar a posição e o valor das tensões, assim como o fator de

concentração de tensão. O congelamento das tensões ocorre devido ao comportamento bifásico de vários polímeros, quando são aquecidos. Estes polímeros são materiais compostos de longas cadeias de moléculas de hidrocarboneto. Algumas destas cadeias moleculares são interligadas por uma malha de ligações primárias, enquanto grande parte desta estrutura tem ligações mais fracas através de ligações secundárias. Quando o polímero está na temperatura ambiente, as duas cadeias atuam para resistir às deformações devido às cargas aplicadas. Quando a temperatura aumenta e atinge um determinado valor, conhecido como temperatura crítica do polímero, as cadeias secundárias se rompem e as ligações primárias suportam, sozinhas, as cargas aplicadas. Uma vez que as ligações secundárias constituem a maior parte das ligações do polímero, as deformações sofridas à temperatura crítica são bastante grandes, mas elásticas. Se o polímero é resfriado para a temperatura ambiente, com a carga aplicada no modelo, as ligações secundárias são recuperadas entre as cadeias primárias deformadas, mantendo-as nesta posição. Quando a carga é removida, as ligações secundárias relaxam modestamente, de tal forma que a maior porção da deformação não é restabelecida. Assim, as deformações ficam "congeladas" em uma escala molecular, possibilitando a retirada de fatias do modelo tridimensional, em regiões de interesse, que possuirão uma resposta ótica fixa em qualquer seção, por menor que seja [63].

As fatias retiradas do modelo congelado são analisadas no polariscópio, possibilitando a leitura dos efeitos óticos fixados. Estes efeitos se manifestam através de franjas que se relacionam com o estado de

tensões no modelo, de acordo com a “Lei Ótica das Tensões”. Assim, no plano xy do modelo, tem-se:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{N}{t} \cdot k_\sigma = 2 \cdot \tau_{\max} \quad (5.1)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cdot \text{sen}2\phi = \frac{N}{2t} k_\sigma \cdot \text{sen}2\phi \quad (5.2)$$

De acordo com estas equações, a franja isocromática é o lugar geométrico dos pontos de tensão cisalhante máxima constante. Contando o número de franjas e multiplicando sua ordem pela constante ótica, a distribuição da tensão cisalhante máxima é igual a metade das diferenças de tensões principais não nulas. Uma vez que o estado de tensões crítico em um modelo plano ocorre, frequentemente, no contorno livre (furos, entalhes ou filetes) o método fotoelástico torna-se um excelente meio para determinar a distribuição das tensões ou fator de concentração de tensões, associadas à estas superfícies. Em pontos no interior do modelo, valores individuais para as tensões principais não podem ser obtidos diretamente das observações óticas, sem a utilização de dados suplementares ou emprego de métodos numéricos [63].

5.1.1. Relação Modelo-Protótipo - Similitude

A fotoelasticidade plana e tridimensional necessita de modelos para sua aplicação. Desta forma, a transição dos resultados obtidos ou transição modelo/protótipo pode ser feita através da “Teoria dos Modelos”

[63, 64] . Assim, os resultados obtidos em um modelo (m) fotoelástico similar estão relacionados com o protótipo (p) através da relação:

$$\left(\frac{\sigma \cdot l \cdot h}{P}\right)_{\text{modelo}} = \left(\frac{\sigma \cdot l \cdot h}{P}\right)_{\text{protótipo}} \quad (5.3)$$

ou

$$\sigma_p = \sigma_m \cdot \left(\frac{l_m}{l_p}\right) \cdot \left(\frac{h_m}{h_p}\right) \cdot \left(\frac{P_p}{P_m}\right) \quad (5.4)$$

onde:

σ = tensão em um ponto qualquer

l = típica dimensão de comprimento

P = carga aplicada

h = típica dimensão de altura

5.1.2. Considerações Complementares

Para se utilizar a fotoelasticidade, são necessários equipamentos e materiais fotoelásticos próprios . O equipamento usado para análise fotoelástica plana e tridimensional é o polariscópio de transmissão que consiste de uma fonte de luz, uma placa polarizadora (P), duas placas retardadoras de $\frac{1}{4}$ de onda (Q_1 e Q_2) e um analisador (A) . Quando estas placas são arranjadas convenientemente com escalas calibradas e movimento sincronizado das placas, pode-se obter os parâmetros fotoelásticos para a determinação do estado de tensões no modelo plano ou nas fatias retiradas do modelo tridimensional. A Figura

5.1 mostra um esquema de um polariscópio de transmissão, onde a luz atravessa o modelo ou fatia de material fotoelástico.

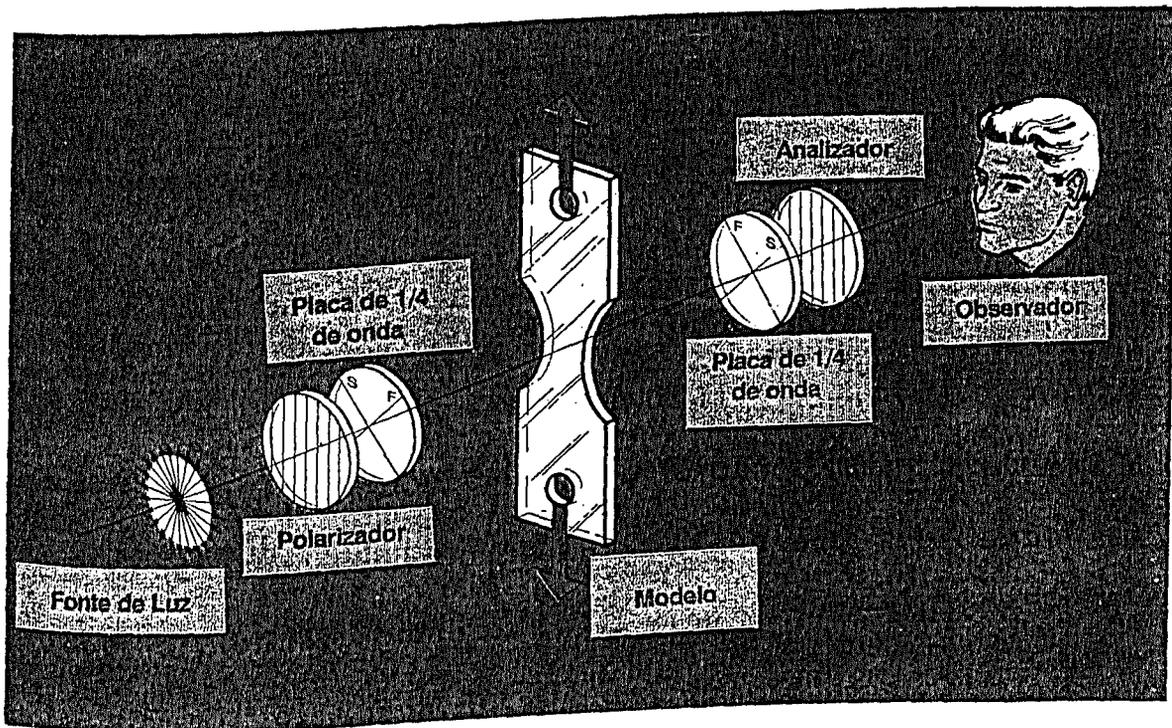


Figura 5.1 : Esquema de um polariscópio de transmissão

A seleção do material fotoelástico é um fator importante na análise fotoelástica. Já existem no mercado nacional materiais específicos para esta finalidade, tornando seu uso mais fácil e econômico [6, 9, 10]. As principais vantagens que a técnica fotoelástica apresenta é o fato de ser uma técnica de campo contínuo e a facilidade de determinação de tensões e otimizações de formas complicadas. A principal desvantagem do método fotoelástico é a necessidade de se construir um modelo do protótipo da estrutura.

5.2 . Formulação Fotoelástica

O presente estudo visa separar as tensões distribuídas ao longo do contorno do fundo do filete das roscas interna e externa, uma vez que foi nesta região onde ocorreram a maioria das rupturas das válvulas testadas (Tabela 4.1) inclusive da válvula acidentada, objeto do estudo de caso, descrito no Capítulo 2, item 2.2. A figura 5.2 mostra o esquema do modelo da válvula P1/P2 e a região de interesse.

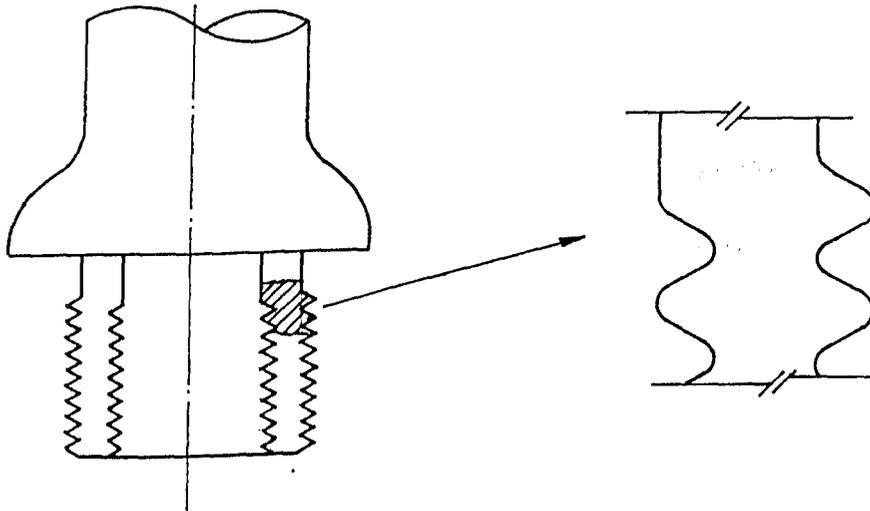


Figura 5.2: Esquema do perfil da válvula mostrando a região dos últimos filetes das roscas.

5.2.1 .Identificação do sistema de eixos coordenados

Para a separação das tensões, foi necessário estabelecer um sistema de eixos ortogonais. Definiu-se como eixo **X** o eixo que passa pelo centro do cilindro, formado pela hélice da rosca interna/externa da válvula.

Os eixos Y e Z tem direções radiais, sendo ortogonais entre si. A Figura 5.3 mostra a posição adotada dos eixos coordenados no modelo.

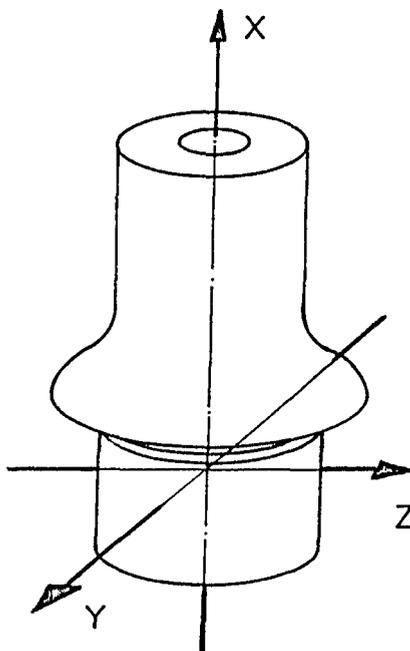


Figura 5.3: Posição do sistema de eixos referencial

Para se determinar o completo estado de tensões de um ponto no interior de um modelo tridimensional, é necessário remover um pequeno cubo ou fatia do meio anisotrópico fixado, contendo o ponto de interesse e analisar o mesmo no polariscópio. Com as condições de contorno e as equações básicas da fotoelasticidade, é possível a separação dessas tensões no contorno. Para isto, retirou-se de cada modelo, com as tensões previamente “congeladas”, tres tipos de fatias sendo as meridionais (M) pertencentes a um plano do eixo X , as transversais (T) no plano YZ e as sub-fatias (sub-T) das fatias transversais. A Figura 5.4 mostra as fatias mencionadas.

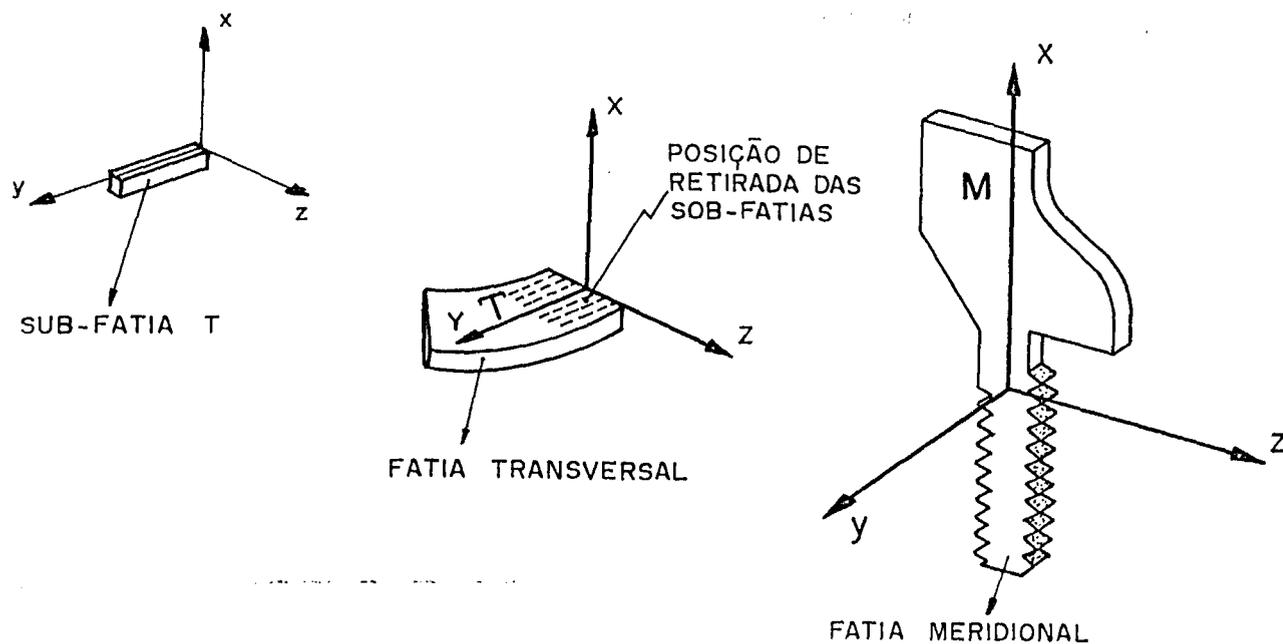


Figura 5.4: Esquema das fatias e sub-fatias com o sistema de eixos auxiliares

O estado de tensão em um cubo elementar situado na região de interesse (Figura 5.2) pode ser determinado, baseado na análise dos planos meridional e transversal definido pelas fatias meridional e transversal retiradas do modelo fotoelástico.

5.2.2 . Fatia Meridional

Para a separação das tensões foi adotado um sistema de eixos auxiliares x, y, z , paralelos ao sistema de coordenadas adotado. A Figura 5.4 mostra um esquema da fatia meridional e a posição dos eixos coordenados.

Na fatia do modelo fotoelástico, com a luz incidindo segundo a direção y , ortogonal ao plano da fatia (x, z), determina-se os parâmetros das isoclínicas e isocromáticas. Para esta fatia tem-se as seguintes equações básicas da fotoelasticidade :

$$\tau_{xz} = \frac{kN_y}{2t_y} \operatorname{sen} 2\phi_y \quad (5.5)$$

$$\sigma_x - \sigma_z = \frac{kN_y}{t_y} \operatorname{cos} 2\phi_y \quad (5.6)$$

onde:

$N_y \Rightarrow$ ordem de franja no ponto considerando a luz incidindo
segundo a direção y (isocromáticas)

$\phi_y \Rightarrow$ parâmetro das isoclínicas com a luz incidindo na direção y

$t_y \Rightarrow$ espessura da fatia com a luz incidindo segundo a direção y

$k \Rightarrow$ Constante ótica do material fotoelástico

Devido ao perfil curvo do fundo da rosca, foi necessário estabelecer um sistema móvel auxiliar de eixos ortogonais x' , y' , z' de tal forma que o eixo z' fosse normal à curvatura em qualquer ponto do contorno, sendo o ângulo formado entre o eixo z' e o eixo z denominado de α . A Figura 5.5 mostra a posição do sistema x , y , z , do sistema x' , y' , z' e o ângulo α

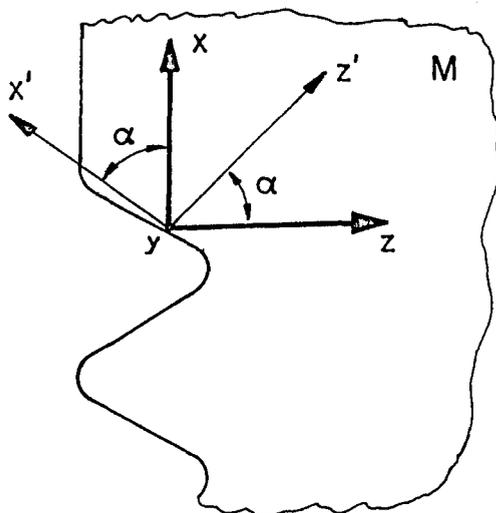


Figura 5.5: Posição do sistema x , y , z , do sistema x' , y' , z' e ângulo α na fatia meridional.

Fazendo uma transformação de coordenadas do sistema x, y, z para o sistema x', y', z' , tem-se:

$$\sigma_{x'} = \sigma_x \cos^2 \alpha - 2\tau_{xz} \sin \alpha \cos \alpha + \sigma_z \sin^2 \alpha \quad (5.7)$$

$$\sigma_{y'} = \sigma_y \quad (5.8)$$

$$\sigma_{z'} = \sigma_x \sin^2 \alpha + 2\tau_{xz} \sin \alpha \cos \alpha + \sigma_z \cos^2 \alpha \quad (5.9)$$

$$\tau_{x'y'} = \tau_{xy} \cos \alpha - \tau_{yz} \sin \alpha \quad (5.10)$$

$$\tau_{x'z'} = \sigma_x \sin \alpha \cos \alpha + (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \tau_{xz} - \sigma_z \sin \alpha \cos \alpha \quad (5.11)$$

$$\tau_{y'z'} = \tau_{xy} \sin \alpha + \tau_{yz} \cos \alpha \quad (5.12)$$

Considerando o cubo elementar em estudo na superfície do perfil da rosca, por condição de contorno tem-se nula e principal a tensão normal à uma superfície livre. Assim:

$$\sigma_{z'} = 0 \quad (5.13)$$

Com as equações básicas da fotoelasticidade (5.5 e 5.6) tem-se também que:

$$\tau_{x'z'} = \frac{kN_{y'}}{2t_{y'}} \sin 2\phi_{y'} \quad (5.14)$$

$$\sigma_{x'} - \sigma_{z'} = \frac{kN_{y'}}{t_{y'}} \cos 2\phi_{y'} \quad (5.15)$$

5.2.3 . Fatia Transversal

Para a completa separação das tensões nos pontos de interesse, foi necessário recorrer, também, às informações contidas na fatia transversal. Para isto é importante identificar na fatia meridional o ponto de máxima tensão e retirar a fatia transversal nesta posição, perpendicular à fatia meridional, de tal forma que esta contenha a região próxima ao ponto de interesse.

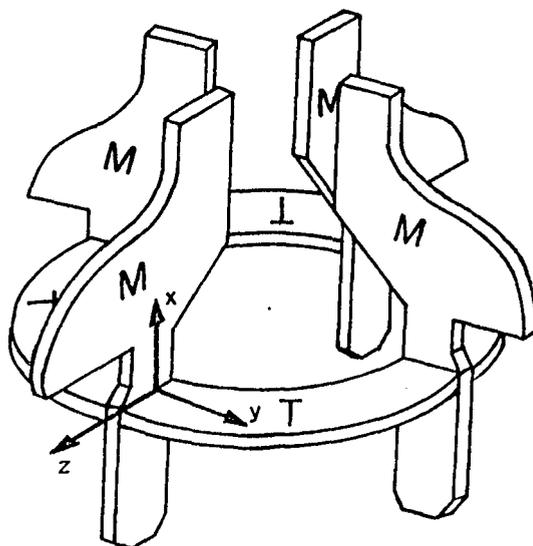


Figura 5.6: Posição relativa das fatias M e T

Uma vez retirada a fatia transversal, pode-se medir nesta os parâmetros fotoelásticos em pontos bem próximos daquele identificado como crítico na fatia meridional. Este procedimento, repetido em várias

posições meridionais do modelo, como ilustrado na Figura 5.6, permite a determinação das máximas tensões, levando-se em consideração as diferentes posições da rosca. Desta forma, é possível compensar a inclinação de $3,3^\circ$ da rosca, quando o valor médio dos parâmetros fotoelásticos de cada conjunto de fatias são usados para a obtenção das máximas tensões.

Com a luz incidindo na direção x (Figura 5.6) tem-se as seguintes equações da fotoelasticidade:

$$\sigma_y - \sigma_z = \frac{kN_x}{t_x} \cos 2\phi_x \quad (5.16)$$

$$\tau_{yz} = \frac{kN_x}{2t_x} \sen 2\phi_x \quad (5.17)$$

5.2.4 . Sub-Fatia da Fatia Transversal

A tensão cisalhante no plano xy (τ_{xy}) pode ser determinada utilizando sub-fatias da fatia transversal, com a luz incidindo na direção z . A posição de retirada destas sub-fatias está mostrada na Figura 5.4. Para estas sub-fatias, tem-se a seguinte equação básica da fotoelasticidade:

$$\tau_{xy} = \frac{kN_z}{2t_z} \sen 2\phi_z \quad (5.18)$$

5.2.5 . Separação das Tensões

Com as informações obtidas das fatias meridionais e transversais, pode-se separar as tensões mediante a combinação das equações encontradas. Assim, as equações 5.7 e 5.9, podem ser resolvidas para σ_x e σ_z , como sendo:

$$\sigma_x = \frac{1}{\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha} \left(-\sigma_x' \cos^2 \alpha - 2\tau_{xz} \sin \alpha \cos \alpha + \sigma_z' \sin^2 \alpha \right) \quad (5.19)$$

$$\sigma_z = \frac{1}{\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha} \left(\sigma_x' \sin^2 \alpha + 2\tau_{xz} \sin \alpha \cos \alpha - \sigma_z' \cos^2 \alpha \right) \quad (5.20)$$

Substituindo o valor de σ_z na equação 5.16, determina-se o valor de σ_y , que é dado por:

$$\sigma_y = \frac{kN_x}{t_x} \cos 2\phi_x + \frac{1}{\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha} \left(\sigma_x' \sin^2 \alpha + 2\tau_{xz} \sin \alpha \cos \alpha - \sigma_z' \cos^2 \alpha \right) \quad (5.21)$$

Os valores das tensões cisalhantes τ_{xz} e τ_{yz} ficam determinados pelas equações 5.5 e 5.17, dados por:

$$\tau_{xz} = \frac{kN_y}{2t_y} \sin 2\phi_y \quad (5.22)$$

$$\tau_{yz} = \frac{kN_x}{2t_x} \sin 2\phi_x \quad (5.23)$$

As equações 5.18 a 5.23, após a substituição dos parâmetros fotoelásticos obtidos das fatias transversal, meridional e da sub-fatia da fatia transversal, no ponto de interesse ao longo do contorno do dente da rosca (Fig. 5.5), onde $\sigma_z = 0$, $N_y = N_y$, $t_y = t_y$ e $\phi_y = \phi_y$, permitem determinar completamente o estado de tensões, através das equações:

$$\sigma_x = \frac{-kN_y \cos \alpha}{t_y (\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha)} (\cos 2\phi_y \cos \alpha + \sin 2\phi_y \sin \alpha) \quad (5.24)$$

$$\sigma_y = k \left[\frac{N_x}{t_x} \cos 2\phi_x + \frac{N_y \sin \alpha}{t_y (\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha)} (\cos 2\phi_y \sin \alpha + \sin 2\phi_y \cos \alpha) \right] \quad (5.25)$$

$$\sigma_z = \frac{kN_y \sin \alpha}{t_y (\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha)} (\cos 2\phi_y \sin \alpha + \sin 2\phi_y \cos \alpha) \quad (5.26)$$

$$\tau_{xz} = \frac{kN_y}{2t_y} \sin 2\phi_y \quad (5.27)$$

$$\tau_{xy} = \frac{kN_z}{2t_z} \sin 2\phi_z \quad (5.28)$$

$$\tau_{yz} = \frac{kN_x}{2t_x} \sin 2\phi_x \quad (5.29)$$

onde:

$k \Rightarrow$ constante ótica do material

$N_x, N_y, N_z \Rightarrow$ ordem de franja com a luz incidindo nas direções x, y, z .

$t_x, t_y, t_z \Rightarrow$ espessura da fatia em *mm* nas direções *x, y, z*.

$\alpha \Rightarrow$ ângulo de inclinação do eixo *z* com *z'*

$\phi \Rightarrow$ ângulo da isoclínica

5.3 . Procedimentos e Resultados

Com o objetivo de determinar a distribuição das tensões, utilizando as equações em função dos parâmetros fotoelásticos, desenvolvidas no item 5.2, é apresentado aqui os procedimentos experimentais usados nesta análise tridimensional. Como é sabido, a aplicação da técnica de fotoelasticidade tridimensional precede de procedimentos importantes para a obtenção de resultados confiáveis, que vão desde a seleção do material, a reprodução de modelos similares, simulação das cargas que atuam no protótipo, corte de planos ou fatias até a determinação dos parâmetros fotoelásticos.

5.3.1 . O Material Fotoelástico

Para a confecção dos modelos, a escolha do material fotoelástico a ser usado, é bastante importante. O material escolhido deve ter as propriedades consideradas básicas, para a análise pretendida, sendo necessário e indispensável as características como a boa transparência, ausência de manchas, elevada figura de mérito, fácil usinagem, livre do efeito do tempo nas faces, baixo efeito de borda e outras.

Em pesquisas feitas a este respeito [6], usando matéria prima nacional foram desenvolvidos materiais que atendem quase que totalmente

aos requisitos acima mencionados, tendo como componentes principais, a resina epoxi e a combinação de anidridos. Para este trabalho, foi escolhido o material que consta das seguintes proporções em peso:

- - 100 partes de araldite (CY-205)
- - 30 partes de anidrido maleico (MA)
- - 20 partes de anidrido ftálico (PA)

5.3.2 . Preparação do Material Fotoelástico

O procedimento da preparação do material fotoelástico, importante etapa do processo, segue as seguintes fases:

- a) Os componentes são preparados e pesados na proporção desejada;
- b) O Araldite CY-205 é aquecido a 180 °C e mantido nesta temperatura durante um período de 30 minutos; esta operação tem por finalidade eliminar todas as substâncias voláteis eventualmente presentes na resina;
- c) O Araldite é resfriado até 150 °C, quando é adicionado o anidrido ftálico em estado sólido, previamente moído e seco em estufa à 50°C.; a reação decorrente é exotérmica, havendo a necessidade de constante agitação;
- d) A mistura assim obtida é resfriada sob constante agitação, até a temperatura de 80 °C ; nesta temperatura, o anidrido maleico, aquecido previamente à também 80 °C, é adicionado em estado líquido; cuidados especiais devem ser observados no manuseio deste componente uma vez que o mesmo é bastante tóxico e

e) Após estas operações, a mistura deve ser continuamente agitada para uma total homogeneização e resfriada à 70 °C, sendo então, colocada em um forno à 70°C, durante pelo menos 30 minutos, para decantar eventuais impurezas existentes na mistura preparada.

A fundição deve ser feita logo após o repouso completo da mistura. Os moldes devem, também, estar previamente aquecidos à 70 °C para assegurar a uniformização de sua temperatura. O material líquido é vagarosamente derramado sobre um canto do molde inclinado. Assim, o material escoar para o interior do molde sem fazer bolhas. Uma vez cheio, o mesmo é colocado cuidadosamente no forno, para o início da cura.

5.3.3 . Os Moldes

Devido ao processo adotado de obtenção do modelo por usinagem, os moldes para fundir o material fotoelástico foram construídos a partir de uma seção cilíndrica de um tubo de aço de diâmetro interno de 42 *mm* e comprimento de 110 *mm.*, para os modelos na mesma escala, e 85 *mm* de diâmetro interno e 140 *mm* de comprimento para os modelos com o dobro da escala. Estes cilindros foram revestidos internamente com borracha de silicone (RTV - 3112), que deve ser preparada adicionando-se um catalisador na proporção de 10% em peso. A base do cilindro é fechada usando a borracha sobre uma placa de vidro.. Estes procedimentos devem ser feitos com pelo menos 24 horas de antecedência, antes de se utilizar os moldes, para a completa secagem da borracha. Da mesma forma, foram feitos os moldes para a confecção do sistema de carga fotoelástico.

Estes moldes permitem a obtenção de tarugos cilíndricos de material fotoelástico, a serem usinados para obtenção dos modelos de válvula e sistema de carga.

5.3.4 . Tratamento Térmico

As etapas de cura da mistura resina/endurecedores foram feitas em dois períodos distintos, denominados primeiro e segundo período de cura.

A) PRIMEIRO PERÍODO DO TRATAMENTO TÉRMICO - Este período é iniciado logo após a fundição da mistura nos moldes e consiste na permanência dos mesmos no forno à 70 °C, por 48 horas. Decorrido este tempo, o material já se encontra com sua forma bem definida e com uma consistência que possibilita sua retirada do molde. Cuidados devem ser tomados para não danificar o molde e o modelo. O tarugo cilíndrico obtido nesta fase não tem ainda suas propriedades físicas definidas, estando portanto parcialmente curado.

B) SEGUNDO PERÍODO DE TRATAMENTO TÉRMICO - Neste período ocorre a cura total do material, definindo suas propriedades físicas, como módulo de elasticidade, temperatura crítica e valor da franja. Esta parte do tratamento térmico consiste em elevar a temperatura à partir da ambiente para 160 °C, com uma variação de 5°C/h. Em seguida, o material é mantido nesta temperatura durante 48 horas. Após este período, é feito o resfriamento até a temperatura de 100°C, com variação de 1,5°C/h.

Imediatamente, segue-se um resfriamento até a temperatura ambiente com variação de $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$. Terminado este período de tratamento térmico, os modelos assim obtidos se encontram em condições de serem usinados. Os dois períodos de tratamento térmico são representados graficamente pela Figura 5.7.

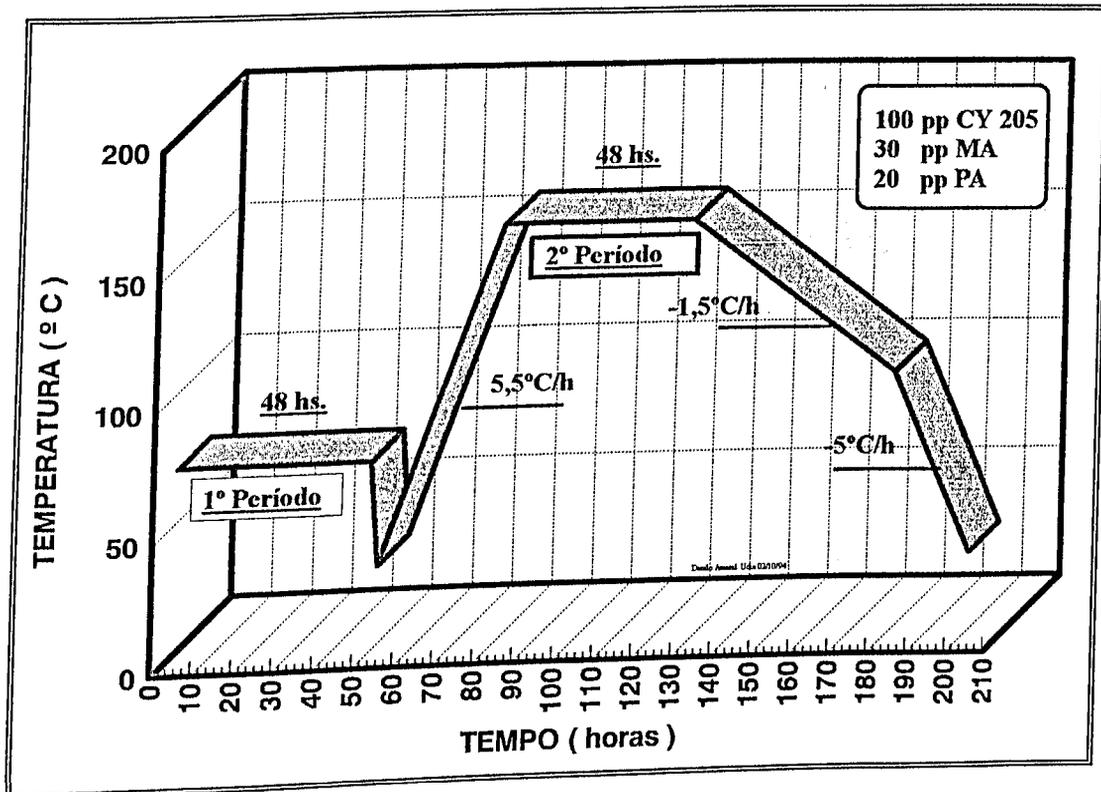


Figura 5.7: Gráfico do primeiro e segundo período de cura

5.3.5 . Propriedades do Material Fotoelástico

Para se fazer a análise fotoelástica, é indispensável o conhecimento das propriedades do material utilizado na temperatura em que ocorre o congelamento das tensões, chamada de temperatura crítica. Nesta temperatura, as propriedades físicas sofrem uma sensível variação, provocando no material comportamento diferente daquele apresentado em temperatura abaixo da temperatura crítica.

VALOR DA FRANJA - (K) - O valor da franja pode ser definido como a carga que provoca uma franja por unidade de comprimento, segundo a direção de propagação da luz através do modelo. A variação do valor da franja em função da temperatura, para o material usado, está representado na figura 5.8 .

TEMPERATURA CRÍTICA - (T_c) - A temperatura crítica é definida como sendo a temperatura correspondente ao ponto de interseção das tangentes à curva do valor da franja em função da temperatura. Foi também determinado, analogamente, a temperatura T_b , definindo uma faixa de temperatura (T_c-T_b), denominada zona de transição. Nesta zona o valor da franja varia bruscamente, tendo o material propriedades viscoelásticas.

MÓDULO DE ELASTICIDADE - (E) - O módulo de elasticidade do material é importante para possibilitar uma avaliação das possíveis distorções durante o carregamento. O módulo de elasticidade à temperatura crítica é de aproximadamente 1 % do valor à temperatura ambiente.

FIGURA DE MÉRITO - (Q) - É definido como sendo a razão do módulo de elasticidade do material e seu valor de franja, ambos calculados à temperatura crítica.

A tabela 5.1. mostra as constantes físicas na calibração do material [6], como temperatura crítica (T_c), módulo de elasticidade (E) e valor da franja (k) à temperatura crítica bem como a figura de mérito.

Tabela 5.1 - Valores das constantes físicas do material utilizado, à temperatura crítica

Constantes físicas	Material fotoelástico
Temp. crítica (T_c)	155 °C
K	0,475 N/mm.f
E	578 N/mm
Q	1215

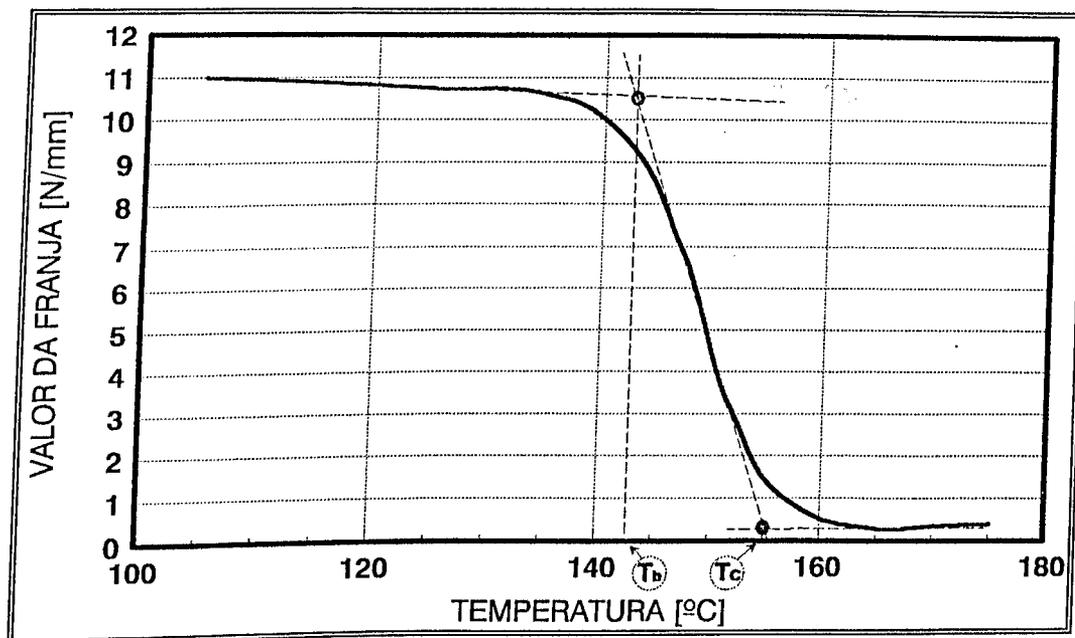


Figura 5.8: Variação do valor de franja com a temperatura

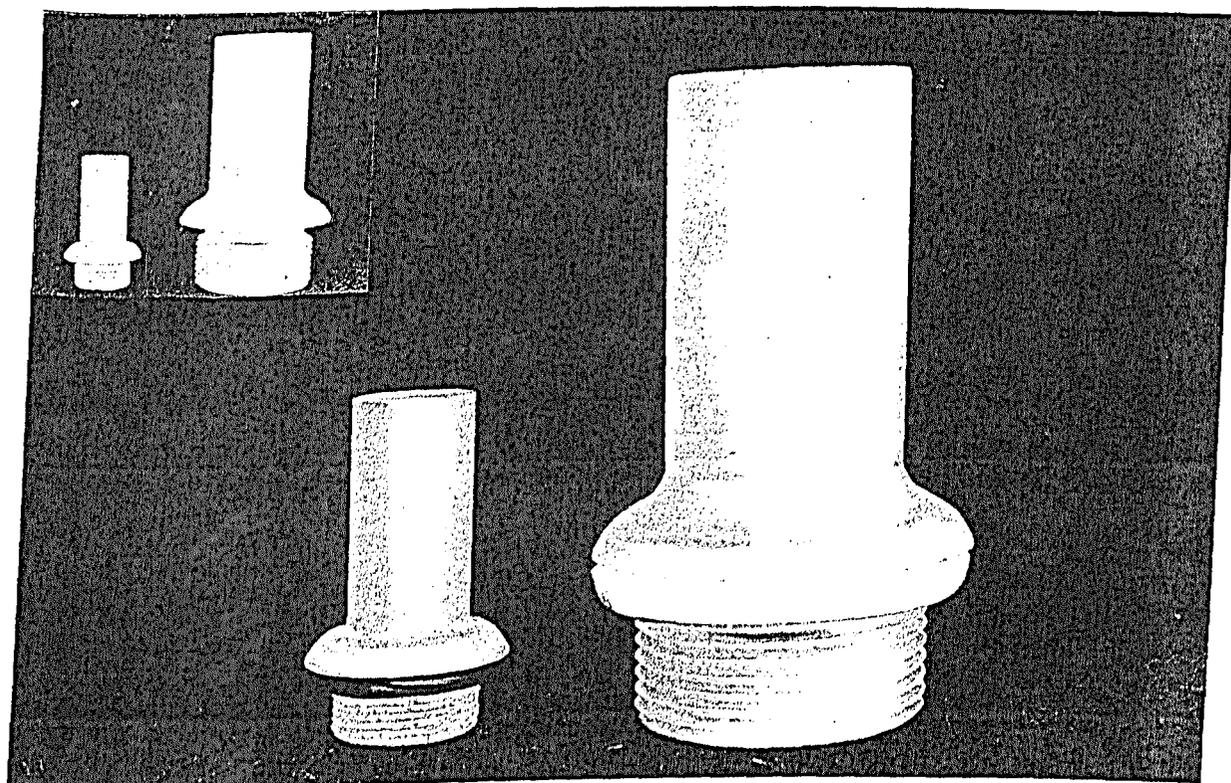
5.3.6 . Obtenção dos Modelos Fotoelásticos

Para a análise da distribuição de tensões usando o método fotoelástico, foi utilizado o processo de usinagem direta dos blocos cilíndricos do material obtido. Esta técnica, consiste em usinar os cilindros, utilizando-se um torno convencional, na mesma geometria do modelo da válvula P1/P2. Inicialmente, foram feitos modelos da mesma escala do protótipo, sendo posteriormente usinados modelos na escala 1:2.

O objetivo de se usar modelos maiores foi visando obter mais detalhes da rosca, facilitando a obtenção dos parâmetros fotoelásticos.

Uma foto dos modelos fotoelásticos pode ser visto na Figura 5.9. Nesta fase, é importante reproduzir a geometria interna e externa da válvula, particularmente a reprodução da rosca. Sua parte superior foi simplificada, para um cilindro uniforme, afim de facilitar a usinagem. Nesta parte superior sua forma e orifícios tem por finalidade apenas a adaptação da alça e do gatilho e não possuem função estrutural.

Foram confeccionados três modelos em escala 1:2 sendo dois deles com a configuração das roscas idênticas à da válvula estudada e um terceiro, com a rosca interna com a metade do número de filetes.



(a)

(b)

Figura 5.9 : Modelos fotoelásticos utilizados a) escala real b) escala 1:2

No detalhe: Modelos sem o anel de vedação

5.3.7 . Sistema de Carga

O sistema de carga foi elaborado de tal forma que reproduzisse na mesma proporção, as cargas atuantes na válvula. Os valores das forças obtidas no item 4.6 foram usados, e o sistema montado considerando a força devido à pressão e a mola e a força devido ao torque. Afim de se evitar o surgimento de forças devido a dilatação térmica, durante o processo de congelamento das tensões, foi utilizado o mesmo material fotoelástico para a confecção do sistema de carga. Este consiste em um cilindro com um furo rosqueado internamente, simulando o cilindro do extintor, onde a válvula é alojada. Completa o sistema um punção de formato externo idêntico ao formato interno da válvula, onde se aplica uma carga para simular a ação da pressão interna e da mola que atua no sentido de empurrar a válvula para fora do cilindro (Figura 5.10). A força do anel de vedação, provocada pelo torque de aperto, foi reproduzida no modelo através de um anel especial confeccionado de borracha de silicone (Figura 5.9).

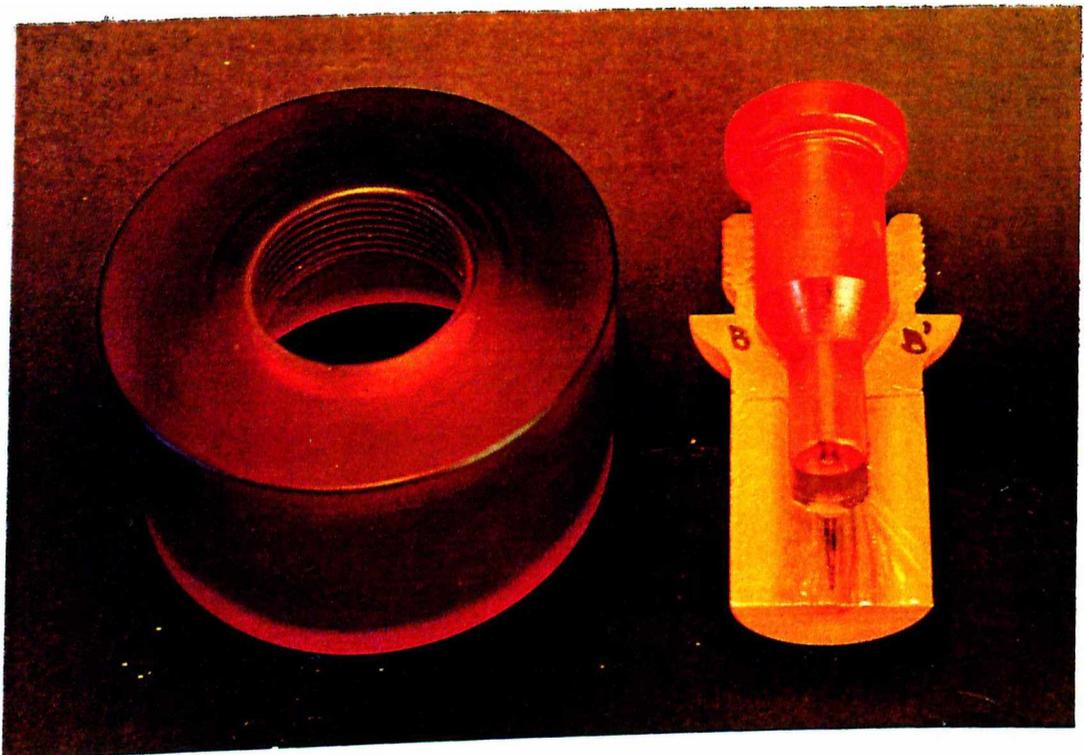
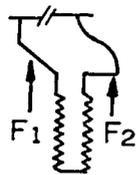
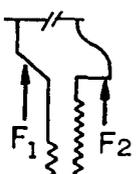
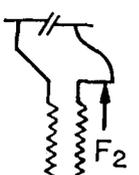


Figura 5.10: Sistema de carga fotoelástico e um modelo em corte

Para a mensuração da força atuante no modelo, após a aplicação do torque, utilizou-se a calibração das juntas de vedação mostrada no Anexo 1. Estes anéis foram preparados com borracha de silicone (RTV-3112), em dimensões adequadas para o modelo em escala ampliada. Em função da deformação sofrida pelo aperto, foi avaliada a grandeza da força devido à compressão da junta. Mantendo-se a mesma proporção das forças que atuam na válvula estudada, foi utilizado o seguinte carregamento, dos três modelos preparados, conforme mostrado na Tabela 5.2. Ressalta-se que os modelos **A** e **C** reproduzem a exata geometria das válvulas, enquanto o modelo **B** teve o número de filetes da rosca interna reduzido pela metade. A força F_1 aplicada no modelo é equivalente à soma da força devido à pressão interna e a força da mola. Por outro lado, a força F_2 simula a força devido ao efeito da compressão do anel de borracha provocado pelo torque de aperto.

Tabela 5.2: Carregamento dos modelos fotoelásticos

MODELO	CARGA APLICADA	VALOR
A		$F_1 = 108 \text{ N}$ $F_2 = 324 \text{ N}$
B		$F_1 = 118 \text{ N}$ $F_2 = 354 \text{ N}$
C		$F_2 = 324 \text{ N}$

5.3.8 . Congelamento das tensões

O método de congelamento de tensões consiste em carregar o modelo e aquecer o conjunto à uma temperatura pouco superior a sua temperatura crítica (10°C acima), mantendo esta por um período de aproximadamente 2 horas. Esta operação é executada no interior de um forno fotoelástico. Em seguida, deve-se resfriar lentamente o sistema, com uma variação de $1,5^{\circ}\text{C}/\text{h}$, mantendo a carga aplicada. Após ultrapassar a zona de transição do material, segue-se um resfriamento maior, de $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$. O resfriamento mais lento na zona de transição é para não se introduzir tensões térmicas no modelo .À temperatura ambiente a carga é removida, permanecendo fixas as deformações e conseqüentemente a anisotropia ótica do material. Desta forma, o modelo pode ser cortado, retirando do mesmo os planos de interesse, sem alterar a anisotropia fixada. Descrições mais detalhadas sobre o congelamento das tensões podem ser encontradas nas referências [63, 65, 66].

A Figura 5.11 mostra o sistema de carga montado dentro do forno fotoelástico e um esquema da montagem elaborada, necessário para manter o sistema na posição vertical durante o congelamento.

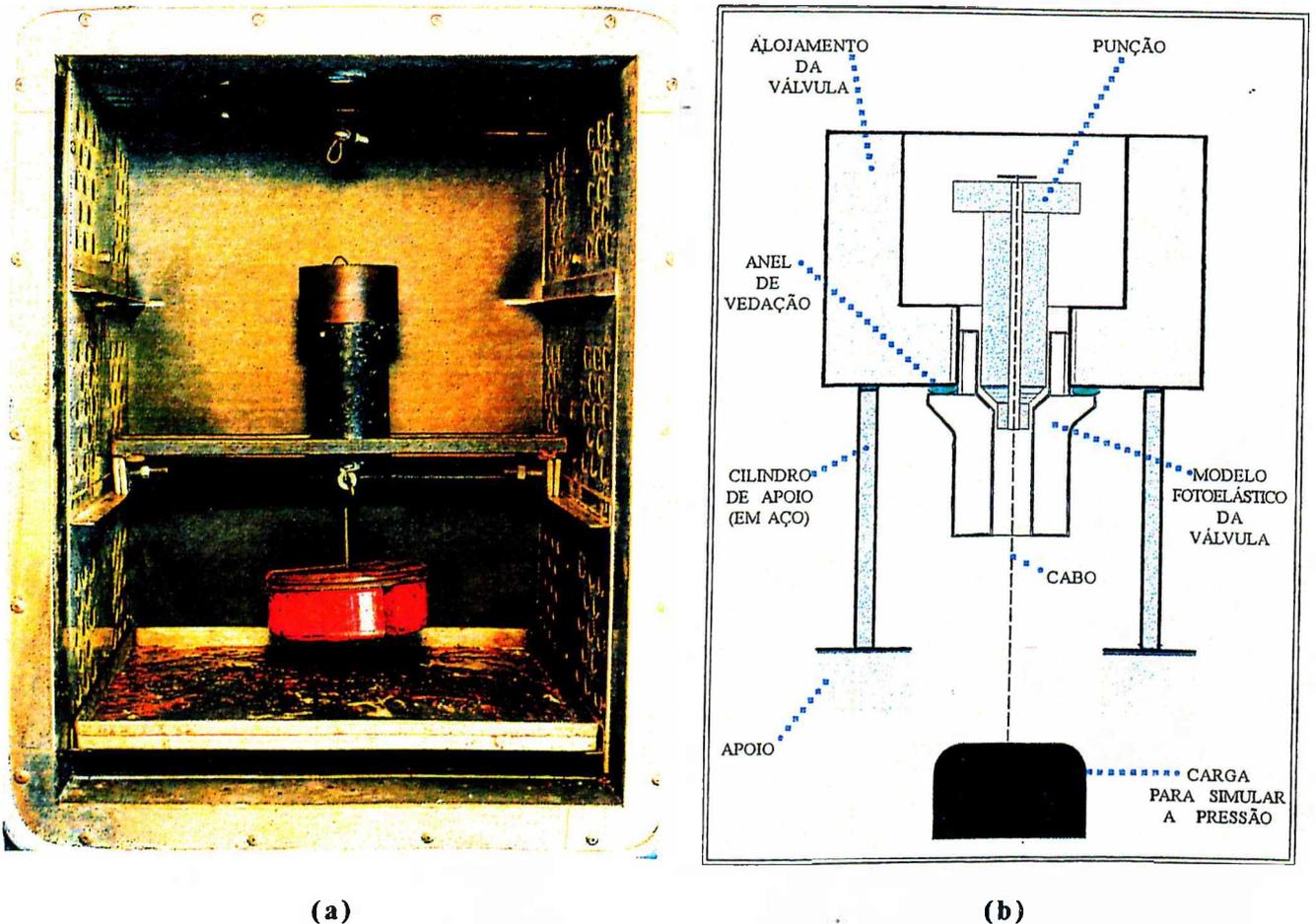


Figura 5.11: Vista do sistema de carga (a) montado dentro do forno fotoelástico e (b) esquema da montagem

5.3.9 . O Corte do Modelo em Fatias

Após o congelamento das tensões ou da anisotropia ótica, foram retiradas fatias do modelo em estudo, em planos de interesse, para serem analisadas no polariscópio. Estas fatias ou planos contêm informações do estado de tensões no interior do modelo tridimensional. No caso em estudo, foram retiradas 4 fatias meridionais de cada modelo, (Figura 5.6) em posições ortogonais entre si, de tal forma a se obter o estado de tensões ao redor da rosca visando compensar a inclinação de $3,3^\circ$. As fatias transversais foram retiradas em posições definidas pela máxima tensão ou ordem de franja, indicadas nas respectivas fatias

meridionais. Foram, também, retiradas sub-fatias das fatias transversais, na extremidade desta, de tal forma a obter-se os parâmetros fotoelásticos com a luz incidindo na direção z . Em função das reduzidas dimensões destas sub-fatias, utilizou-se a mesma técnica de embutimento descrita no item 4.2.1. A Figura 5.12 mostra o modelo fotoelástico, as fatias meridionais, transversais e sub-fatias.

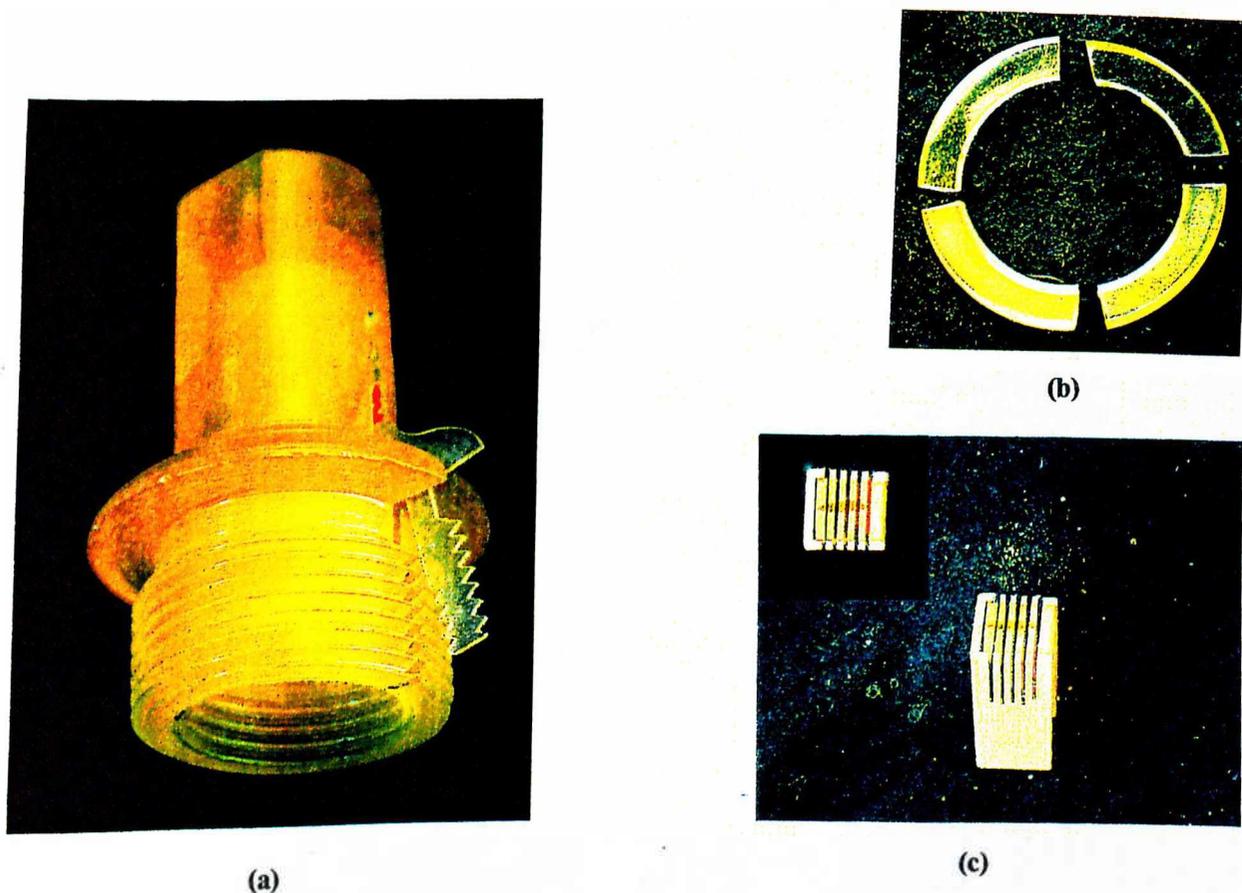
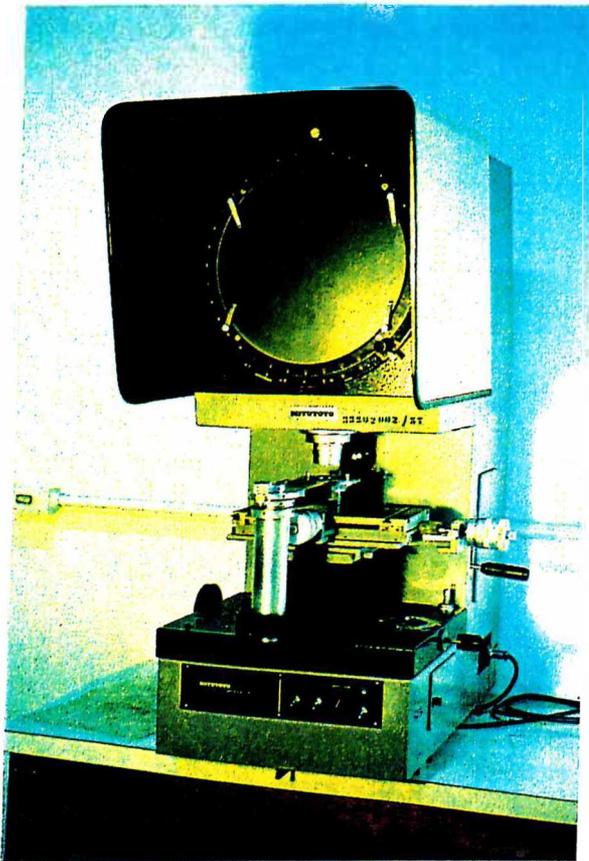


Figura 5.12: O modelo e as fatias a) Modelo e fatia meridional b) Fatias transversais c) Procedimento de retirada das sub-fatias das fatias transversais

Os cortes das fatias foram feitos em uma frezadora, utilizando-se uma serra circular de 100 mm de diâmetro por 0,5 mm de espessura refrigerada com óleo solúvel com o objetivo de não alterar o estado de tensões na fatia. A rotação utilizada foi de 130 rpm com avanço automático de 6,5 mm/min.

O Polariscópio utilizado foi o de transmissão vertical com ampliação de 10X, mostrado na Figura 5.13. Este equipamento permite obter, em cada ponto desejado, os parâmetros fotoelásticos para a separação das tensões, ou seja, o parâmetro das isoclínicas (ϕ) e o parâmetro das isocromáticas (N) ou ordem da franja. O parâmetro das isoclínicas indica o ângulo de inclinação entre o eixo de polarização do polarizador (ou analisador) e a direção das tensões principais no ponto considerado. Isocromática é o lugar geométrico dos pontos de mesma diferença de tensões principais ou de mesma fase relativa que a luz é submetida ao atravessar o modelo ou fatia.



(a)



(b)

Figura 5.13: O equipamento utilizado a) Vista do polariscópio vertical e b) típica ordem de franja na fatia meridional

5.3.10 . Obtenção das Tensões

Foram medidos os parâmetros fotoelásticos (ordem de franja e o ângulo da isoclínica) nas fatias meridionais, nas transversais e nas sub-fatias na região de maior concentração de tensões.

O ponto crítico foi localizado na fatia meridional, como sendo no fundo do primeiro filete da rosca interna. Nesta fatia, a partir de uma reta normal à superfície e no ponto de máxima ordem de franja, foram feitas leituras das isocromáticas ao longo desta reta, e extrapoladas para o contorno. Estes gráficos, para os modelos **A**, **B** e **C**, (Tabela 5.2), estão mostrados no Anexo III, com os respectivos valores das isoclínicas no contorno (ponto crítico). Da mesma forma, foram obtidos nas fatias transversais, ao longo de uma linha radial, próxima à intersecção desta com a fatia meridional, os valores das isocromáticas e respectivas isoclínicas. Estes valores, extrapolados para o contorno, para os modelos estudados, estão mostrados no Anexo III. Nas sub-fatias retiradas das fatias transversais foram lidos os parâmetros fotoelásticos (N_z e ϕ_z) ao longo da direção y e extrapolados para suas extremidades ou linha de intersecção da fatia transversal e meridional. Estes valores obtidos foram extrapolados para o contorno ou ponto crítico e estão também mostrados no Anexo III.

Tabela 5.3: Valores dos parâmetros fotoelásticos no contorno

MODELO	FATIA	ISOCLÍNICA					ISOCROMÁTICA				
		1	2	3	4	MÉDIA	1	2	3	4	MÉDIA
A	M	28°	25°	40°	—	$\phi_y=31^\circ$	1,92	2,13	1,87	—	$N_y=1,97$
	T	0°	0°	0°	—	$\phi_x=0^\circ$	0,65	0,67	0,55	—	$N_x=0,62$
	sub-T	0°	0°	3°	—	$\phi_z=1^\circ$	2,29	1,76	2,13	—	$N_z=2,06$
B	M	23°	20°	25°	21°	$\phi_y=22^\circ$	1,83	1,78	1,86	1,70	$N_y=1,80$
	T	0°	0°	4°	0°	$\phi_x=1^\circ$	0	0,26	0,16	0,10	$N_x=0,13$
	sub-T	0°	0°	0°	0°	$\phi_z=0^\circ$	2,18	2,35	2,04	2,20	$N_z=2,19$
C	M	28°	33°	34°	29°	$\phi_y=31^\circ$	0,59	0,68	0,91	1,15	$N_y=0,83$
	T	10°	3°	9°	—	$\phi_x=7^\circ$	0,18	0,15	0,15	—	$N_x=0,16$
	sub-T	0°	21°	0°	—	$\phi_z=7^\circ$	1,95	1,70	1,70	—	$N_z=1,78$

Devido à imperfeições no processo de usinagem nas roscas, não foi possível obter os parâmetros fotoelásticos da quarta fatia M, T e sub-T do modelo A, assim como da quarta fatia T e sub-T do modelo C. A média dos valores obtidos, mostrados na Tabela 5.3, foram substituídos nas equações 5.24 à 5.29 para a determinação do estado de tensões nos 3 modelos. Nestas equações, as tensões foram determinadas no contorno, onde $\alpha = \phi_y$. O resultado das tensões nos modelos A, B e C estão mostrados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4* : Valor das tensões em cada modelo

TENSÃO	MODELO A	MODELO B	MODELO C
σ_x	1,47	1,02	0,62
σ_y	-0,73	-0,47	-0,36
σ_z	-1,03	-0,41	-0,43
τ_{xz}	0,41	0,30	0,17
τ_{xy}	0	0	0
τ_{yz}	0	0	0

*Unidade: MPa

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS / DISCUSSÃO

O extintor de incêndio é um equipamento de segurança fundamental no combate e prevenção de incêndios, contribuindo para a segurança das pessoas e do patrimônio. Há diversos tipos de extintores que são utilizados em função do tipo de fogo que se deseja combater. Dentre estes diversos tipos, o que possui o maior número de unidades é o portátil para uso automotivo. Sua população é de mais de 20 milhões de unidades, equivalente à frota nacional de veículos. A cada mês, são produzidos mais de 150.000 destes extintores, somente para atender à indústria automobilística. A necessidade de uso de combustível inflamável nos veículos, os torna uma fonte potencial de risco de incêndio e conseqüentemente risco de vida para seus usuários, fazendo com que este extintor seja um item de presença obrigatória por lei. Assim, o estudo de um dos componentes deste importante equipamento de segurança, resultará em benefício para dezenas de milhões de pessoas que utilizam todos os tipos de veículos diariamente. Neste estudo, foi feito tanto uma análise do aspecto legal como uma análise técnica do projeto da válvula P1/P2 que equipa o extintor de pó químico seco para uso automotivo.

A análise técnica ou dos resultados experimentais enfocou a identificação do ponto frágil da válvula, do material utilizado, do processo de fabricação, das forças atuantes e dos fatores de segurança adotados, utilizando-se de ensaios específicos e da técnica fotoelástica. Esta técnica é apropriada para geometrias irregulares, como é o caso da válvula em estudo, e tem como objetivo determinar o estado real das tensões no ponto crítico identificado .

A análise legal tem como um dos objetivos identificar, com base na legislação vigente, qual é o profissional qualificado e capacitado para projetar, executar ou fabricar a válvula de um extintor, de tal forma que a sociedade possa ter garantias da qualidade, confiabilidade e segurança deste produto. Esta é uma crescente preocupação de tendência mundial, da avaliação da responsabilidade sobre produtos ou serviços. Além disso, estudou-se também a legislação sob o aspecto técnico como normas e regulamentos específicos.

6.1 - Análise dos Resultados Experimentais:

Neste trabalho, buscou-se a determinação do ponto crítico da válvula e das características mecânicas de seu material. Em função destas informações, foi possível simular um carregamento proporcional em modelos fotoelásticos e posteriormente fazer uma transição do estado de tensão para o protótipo, possibilitando a comparação do estado real de tensões no ponto crítico com o limite de resistência do material.

6.1.1 - Análise dos Ensaios

A identificação do ponto crítico da válvula em estudo foi determinado a partir do ensaio destrutivo descrito no item 4.1., onde a força atuante é no mesmo sentido da pressão interna do extintor, ou seja, de dentro para fora. A identificação do local de rompimento das válvulas testadas, foi feita interrompendo os testes assim que ocorria o alívio da carga, mostrados nos gráficos do Anexo II. Em seguida, a válvula testada era retirada da base do sistema de carga e seccionada ao meio para a visualização do ponto de ruptura. Observou-se, com base nos resultados mostrados na Tabela 4.1, que em 67% dos ensaios a válvula rompeu na altura do primeiro filete da rosca interna no sentido de dentro para fora. Nos demais 33% dos ensaios, as válvulas romperam em

diferentes posições como na junção com a base, na cabeça e por falha dos filetes da rosca. Isto mostra que o ponto estrutural mais fraco da válvula P1/P2 é na altura do primeiro filete da rosca interna no sentido de dentro para fora.

Com relação às características do material da válvula e suas eventuais variações de uma amostra para outra, foram feitos ensaios da composição química, da micro-estrutura e microdureza na região de interesse, como já descrito. Na análise química, verifica-se que os percentuais para um mesmo componente da liga de latão, (Tab.4.3) variam bastante de uma amostra para outra, quando o ensaio de microsonda Ortec é usado, não sendo este portanto recomendado. Já os resultados por análise de via úmida tem uma variação menor e acusam também, a presença de chumbo e estanho nas duas amostras analisadas. Estes resultados da Tabela 4.4, mostram uma pequena distorção no percentual de seus componentes, caracterizando que o material da válvula sinistrada é semelhante aos materiais utilizados em válvulas similares. Contudo, para a válvula sinistrada, o percentual de zinco é elevado, sendo constatado níveis de 46% deste elemento. Com este percentual de zinco o latão tem uma estrutura beta e se caracteriza por uma maior resistência e menor ductibilidade. Este fato evidencia a utilização de um latão fora das características recomendadas, sendo que as ligas de cobre-zinco adequadas são as ASTM 377 [67, 68]., cujas composições e propriedades estão resumidamente mostradas na Tabela 6.1 Estas ligas tem a presença de chumbo, que contribui para melhorar a usinabilidade e são largamente utilizadas para a fabricação de peças forjadas, como metais sanitários, válvulas, engrenagens, porcas e outros elementos de máquinas.

Tabela 6.1: Características do latão ASTM 377

Nº ASTM	Composição	Limite de resist. à tração	Limite de escoamento	Alongamento	Dureza Vickers
377	Cu: 54 à 60% Pb: 0,8 à 2,5% Zn: 35 à 43%	380 a 650 MPa	180 à 500 MPa	18 à 35 %	90 à 145

Outro fato a ser observado é o baixo teor de cobre encontrado nas ligas analisadas, mostrando que apesar dos fabricantes declararem estar usando a liga ASTM 377, pouco ou nenhum controle de qualidade é feito pelo receptor ou fabricante de válvulas. Observa-se também, na Tabela 6.1, que as propriedades mecânicas do latão ASTM 377 tem um grande intervalo de variação em função de sua composição. Assim, tornou-se necessário fazer um ensaio de tração em corpos de prova do mesmo material das válvulas estudadas. No Anexo IV são mostrados os resultados destes ensaios que definiram uma tensão de ruptura do material usado, latão, de 393 MPa e uma tensão de escoamento de 149 MPa.

A análise da micro-estrutura do material permitiu avaliar a disposição dos grãos em seu interior e o aspecto da região de ruptura. Pela Figura 4.4.c, é possível verificar que a disposição dos grãos no fundo do filete da rosca externa, acompanha seu formato, indicando que a rosca foi laminada. Tal fato foi confirmado no processo de fabricação da válvula. Já na rosca interna, (Figura 4.4.b) somente os grãos bem próximos à superfície acompanham o formato externo do perfil da rosca, indicando que ela foi usinada por processo convencional. Esta diferença do processo de obtenção das roscas resulta em uma rosca externa mais resistente que a rosca interna. Este resultado está de acordo com a identificação da posição do ponto crítico nos ensaios destrutivos. Outro fato a ser mencionado é o tipo de fratura observado na Figura 4.4a, podendo ser interpretada como uma ruptura frágil. Esta observação, reforçada pelo alto teor de zinco no latão da válvula sinistrada, retrata a forma súbita da ruptura observada no acidente (Figura 2.6). Segundo SOUZA [62] mesmo um material dúctil com entalhe rompe-se de forma frágil com pequenas deformações.

O ensaio de microdureza serviu como parâmetro adicional aos demais, para a identificação de variações das grandezas físicas do material, tanto de válvulas novas

(amostras 1 e 2) como da válvula objeto do estudo de caso (amostra 3). Os resultados mostram novamente a evidência de um material fora das especificações para a válvula sinistrada, com valores de microdureza Vickers 32% acima das medidas nas duas outras amostras e acima dos limites do latão ASTM 377 conforme mostrado na Tabela 6.1. Isto indica uma maior fragilidade do material, conforme concluído da análise química e de acordo com o tipo de ruptura da Figura 2.8.

Com relação à análise dimensional descrita no item 4.5 cujos parâmetros são apresentados na Figura 4.6, pode-se identificar erros grosseiros na espessura da parede das roscas ou erro de excentricidade do furo interno da válvula em relação ao cilindro da rosca externa. O centro do furo interno da válvula sinistrada apresenta uma excentricidade de $0,205 \text{ mm}$ em relação ao eixo do cilindro da rosca externa, constatando de um lado uma parede mais fina ($b=1,52 \text{ mm}$) e do lado oposto, uma parede mais grossa ($b'=1,93 \text{ mm}$). Porém, o desvio mais significativo identificado foi o comprimento excessivo da rosca interna, que superou o comprimento da rosca externa na válvula sinistrada, ao contrário das dimensões encontradas nas válvulas novas. Considerando que a rosca interna tem por função apenas a fixação do conector de polipropileno para apoiar a mola do gatilho e a fixação do pescador, não se justifica seu comprimento igual ou superior ao da rosca externa. O fato da extremidade das duas roscas coincidirem em uma mesma posição ou mesmo bastante próximas, resulta em uma interferência das concentrações de tensões de uma sobre a outra. A rosca interna poderia ter a metade do número de filetes sem prejuízo de sua finalidade. O próprio conector de polipropileno, utilizado nestas válvulas, possuem um comprimento de rosca de apenas 50% do comprimento da rosca da válvula acidentada. Os 50% restantes de rosca que não foi utilizada representavam a região mais crítica, onde ocorreu o rompimento. Este fato ficou evidenciado no estudo fotoelástico que será discutido no item seguinte.

Outro importante aspecto a ser observado na análise da válvula do extintor, é a determinação das forças atuantes. À primeira vista, a força mais significativa é devido à pressão interna. Nos procedimentos do item 4.6, constatou-se que a pressão contribui com apenas 20% da força total. A força preponderante é, na verdade, a produzida devido à compressão do anel de vedação após o torque de aperto na montagem da válvula no cilindro. Esta força contribui com 75% de todo o esforço suportado pela válvula e, apesar disto, não há nenhuma referência nas normas, relativo ao torque máximo a ser aplicado para sua fixação. Este assunto será novamente tratado na análise legal do item 6.2. Uma questão agravante é que em cada ocasião em que o extintor é desmontado para recarga ou vistoria, durante sua vida útil, a válvula sofre novos reapertos nestas montagens. Finalmente, cabe à força da mola contribuir com os 5% do restante do esforço total, que mesmo pequena foi considerada neste estudo.

6.1.2 - Análise Fotoelástica

A escolha da técnica da fotoelasticidade tridimensional pode ser considerada como insubstituível neste tipo de estudo, pois permitiu a identificação do ponto exato onde se localiza a maior concentração de tensões no perfil do dente da rosca interna, visualizado na Figura 5.13. Este ponto ou região de máximas tensões coincide com a região de ruptura observada nos testes destrutivos das válvulas. Outra vantagem desta técnica foi a utilização de modelos em escala ampliada, favorecendo a reprodução mais exata do formato da válvula em estudo e facilitando a obtenção dos parâmetros fotoelásticos. Entretanto, não se trata de um problema trivial, pois a formulação para a separação das tensões envolveu a retirada de três tipos de fatias dos modelos, como mostrado na Figura 5.4. Particularmente, a retirada das sub-fatias exigiu um cuidado maior e a utilização da técnica de embutimento, uma vez que são de dimensões

reduzidas. Cada modelo gerou uma grande quantidade de informações que resultaram em mais de 60 gráficos, mostrados no Anexo 3. A fotoelasticidade, portanto, requer um trabalho artesanal mas necessário para o tipo de estudo pretendido. Apesar da boa precisão dos resultados, ressalta-se que esta técnica depende da reprodução exata dos modelos, principalmente do formato da rosca. Assim, um grande cuidado deve ser tomado na usinagem dos modelos. Erros nesta fase podem provocar resultados que não correspondem exatamente à real situação da distribuição de tensões do protótipo. Uma vez tomadas todas estas precauções e seguindo todos os procedimentos, os resultados obtidos são extremamente confiáveis.

Desta forma, nos modelos **A** e **B** estudados (Tabela 5.2) aplicou-se um carregamento semelhante. No modelo **B** a rosca interna possuía a metade do comprimento da rosca interna do modelo **A**. A carga maior aplicada no modelo **B**, foi para garantir uma deformação capaz de gerar parâmetros fotoelásticos significativos na região de interesse, agora em posição mais distante da zona crítica já identificada anteriormente. Assim, foi possível a comparação do comportamento da distribuição de tensões nestas duas geometrias. No modelo **C**, de formato de rosca igual ao do modelo **A**, aplicou-se somente a carga devido à compressão do anel de vedação igual à aplicada no modelo **A**. Por se tratar do esforço de maior magnitude, este modelo serviu para indicar como esta força, sozinha, atua na região de interesse. Como pode ser observado na Tabela 5.4 os valores das tensões para o modelo **C** foram menores que do modelo **A**, mas com módulos bem menores que o esperado. Este fato permite concluir que o ponto crítico é mais afetado pela solicitação da pressão interna e força da mola.

Com os resultados obtidos para as tensões nos modelos **A** e **B** (Tabela 5.4), foram calculadas as tensões de Von-Mises e feito a transição modelo/protótipo. Este

procedimento foi feito calculando as tensões principais dos modelos e respectiva tensão de Von-Mises tridimensional. Com estes valores e utilizando a Equação 5.4, respeitando-se a relação de escala e forças aplicadas, obteve-se as tensões de Von-Mises nos protótipos, sendo respectivamente $\sigma_{VM} = 51,9 \text{ N/mm}^2$ (modelo **A**) e $\sigma_{VM} = 29,9 \text{ N/mm}^2$ (modelo **B**). Estes resultados mostram uma redução de 42% da tensão global no ponto crítico, quando a rosca interna é reduzida à metade. Por outro lado, comparando a máxima tensão no ponto crítico da rosca interna obtida no modelo **A** ($\sigma_{VM} = 51,9 \text{ N/mm}^2$) com os limites do material usado (Anexo IV), tem-se uma segurança igual à 8, quando comparado com o limite de resistência, e igual à 2,8 quando comparado com o limite de escoamento.

Uma análise simplificada do problema, permite estimar a segurança utilizada no projeto de válvulas deste tipo. Assim, considerando o limite de resistência à ruptura de $S_u=393 \text{ Mpa}$ (Anexo IV) e a área útil da seção crítica de $67,1 \text{ mm}^2$, a força estimada para romper a seção é de 26.370 N. Este valor comparado com a força total que atua na válvula, calculado no item 4.6 como sendo 2.282 N, resulta em uma segurança de 11,6. Comparando com os resultados da fotoelasticidade é possível identificar um fator de concentração de tensões de $k_t=1,44$, devido ao entalhe da rosca.

Outra análise que merece destaque é a comparação do limite de resistência da válvula (Tabela 4.1) com a força total atuante na válvula. Assim, pela Tabela 4.1 tem-se a força média que provoca o rompimento da válvula no primeiro filete é de 34,1 kN, que comparada com a força total fornece uma segurança de 14,9. Neste caso, pode-se identificar, como anteriormente, um fator de concentração de tensões de $k_t=1,87$, no ponto crítico.

6.1.3 - Análise da Válvula Sinistrada

Após a análise do sistema mecânico em estudo, seja através da inspeção visual e atendimento às normas previstas pela legislação vigente, seja através dos testes destrutivos, dimensionais e simulação fotoelástica, alguns pontos importantes merecem, também, destaque. Com relação às exigências da norma pertinente ao caso [13], pode-se considerar que a mesma foi atendida. Desta forma, tem-se que a haste em posição de descanso permite um bom sistema de lacre, que a haste em posição de uso permite um pronto acionamento da válvula, que o formato da válvula não acarreta depósito de condensados em sua superfície, que o material não está sujeito à corrosão, que a rosca externa possui um rasgo para alívio da pressão em caso de retirada da válvula com o cilindro pressurizado e que sua construção atende também a facilidade de operação, permitindo ao operador acionar e interromper o uso do extintor na melhor posição para extinguir o fogo.

Não obstante o atendimento dos requisitos mencionados, houve o rompimento da válvula no sentido de dentro para fora, como pode ser observado na Figura 2.8a. A falha iniciou no fundo da rosca interna, prosseguindo num ângulo ascendente até a parede externa onde não havia mais a rosca externa usinada, terminando na superfície lisa mostrada na Figura 2.8b. É possível notar que a trinca acompanhou a inclinação da rosca ao redor da válvula. De fato, os ensaios realizados neste trabalho demonstraram que as maiores tensões ocorrem no fundo deste primeiro filete da rosca interna, de dentro para fora. O próprio processo de fabricação da válvula, como já discutido, resulta numa rosca interna menos resistente que a rosca externa. Estes fatos caracterizam a existência de um ponto crítico, ou provável ponto de falha, falha esta que não deveria ocorrer, tendo em vista o alto coeficiente de segurança adotado.

Com relação ao material com que estas válvulas são fabricadas, verificou-se que não há um controle de qualidade efetivo, sendo que os próprios fabricantes, desconheciam muitas vezes a especificação do tipo de latão usado. Este metal, possui uma grande variedade de composições químicas, cujas características mecânicas variam bastante em função dos percentuais da liga. Não foi encontrado na literatura, um tipo de latão que combinasse com a análise química efetuada no material da válvula sinistrada. Certamente, um efetivo controle de qualidade, na forma de testes destrutivos e análise química poderia garantir uma maior confiabilidade deste produto. O ensaio de microdureza também demonstra este aspecto. O latão da válvula acidentada possuía uma microdureza superior às demais amostras analisadas.

Porém, o que de fato se destaca na válvula sinistrada, foram os erros de usinagem identificados na análise dimensional. O excessivo comprimento da rosca interna ultrapassou a altura da rosca externa, atingindo uma região com parede mais fina. Outro agravante observado, foi a excentricidade do furo interno da válvula que, enfraqueceu sensivelmente sua estrutura. Portanto, a origem de uma das causas da ruptura desta válvula se deu durante a fabricação. Entretanto, somente o erro de fabricação, por si só, não seria suficiente para causar o acidente, em função do elevado fator de segurança adotado. Uma outra causa adicional que contribuiu com o sinistro foi a montagem da válvula no cilindro, ocorrida 4 meses antes do acidente. O esforço gerado na montagem, como já discutido, corresponde à maior força atuante na válvula e um aperto excessivo pode ter resultado em um aumento significativo da tensão, dando início à falha no ponto crítico na válvula já defeituosa. Como esta região fica abaixo do anel de vedação, não houve vazamento do gás nem do pó químico, exceto no momento da ruptura.

Portanto, a responsabilidade legal de eventuais conseqüências deste acidente ocorrido, deve ser creditada ao fabricante. Com relação ao agente recarregador,

este contribuiu com o acidente e tem participação na responsabilidade legal, uma vez que, apesar da norma ser omissa quanto à aplicação de um torque limite e nenhuma orientação é prestada à este respeito, a trinca se iniciou em função do torque inicialmente aplicado. Com relação à válvula, verifica-se que é superdimensionada. Porém, como mostra a Figura 3.3, se cuidados maiores fossem tomados durante o projeto, evitando esta região crítica identificada neste trabalho, o acidente poderia não ter ocorrido, à despeito dos erros ocorridos durante a fabricação. Fica evidenciado que o esforço despendido na fase do projeto, conforme observado por Klikar [40], deve ser maior que nas outras fases do processo. O modelo fotoelástico **B**, reproduz esta configuração alternativa do perfil da rosca interna, e cujos resultados obtidos, confirmam esta melhoria da qualidade do projeto.

Outro fato que merece destaque, foi que a ruptura ocorreu no mês de janeiro, durante o verão, quando o veículo estava estacionado em um pátio descoberto, sob o sol. A Figura 2.6 mostra uma foto tirada no mesmo local e logo após o acidente. Assim, a elevação da temperatura deve ter aumentado a pressão interna, que foi suficiente para terminar de romper a seção que provavelmente já estava comprometida, pois, como foi visto na análise fotoelástica, a pressão interna significa um esforço quantitativamente menor mas com grande influência sobre a região do ponto crítico.

6.2 - Análise Legal

Com o objetivo final de garantir a segurança das pessoas e do patrimônio, é importante a identificação de quem é o responsável por danos resultantes de produtos defeituosos. Com isto, é possível garantir uma proteção jurídica adequada aos que sofreram danos desta natureza como também, reforçar o dever geral de todo fabricante de lançar no mercado produtos dotados de razoável segurança. O excepcional avanço da

indústria após a segunda guerra mundial, resultou em uma enorme produção dos mais diversos tipos de produtos. Assim, aumentou-se proporcionalmente a abrangência das conseqüências de um produto defeituoso eventualmente colocado no mercado. Portanto, é importante estudos e definições de terminologias próprias, no sentido de se caracterizar as possíveis fontes que podem resultar em uma falha ou defeito em um produto. Esta origem pode estar em uma das diversas fases que caminha o produto até o consumidor final: o projeto, a fabricação, a manutenção, o transporte, etc. A análise de uma falha ocorrida é de fundamental importância para se estabelecer parâmetros de prevenção. Isto envolve especialistas técnicos que devem divulgar seus trabalhos tanto para sua comunidade, como também para os profissionais do ensino superior para que estas informações sejam incorporadas nos cursos de engenharia possibilitando uma melhor qualificação dos futuros profissionais. É a compatibilização entre a Ciência/Tecnologia, Legislação e Seguro. Assim, fruto desta tendência mundial, surge em 1990 no Brasil, a lei 8.078 [61] intitulada “Código de defesa do Consumidor” e toda uma legislação da área profissional que indica o Engenheiro Mecânico como um dos profissionais habilitados legalmente a se responsabilizar tecnicamente pelo projeto de uma válvula de extintor.

Com relação às normas técnicas, a ABNT lançou a EB-148 [13], específica para este tipo de extintor. Somente em um único item (4.4.8.2) a norma trata da questão da rosca especificando um mínimo de 6 fios completos para a fixação da válvula no cilindro. Não faz nenhuma referência ao torque a ser utilizado na montagem e nem como este deve-se relacionar com a pressão interna. A questão de possíveis vazamentos tratados exaustivamente na norma, pode induzir ao agente responsável pela montagem da válvula no cilindro à torques excessivos. A função do anel de vedação de borracha é justamente propiciar um contato efetivo dos corpos com um menor aperto. Assim, a

incorporação de valores máximos de torque a serem aplicados poderiam contribuir para a segurança final deste produto que é o extintor de incêndio.

A “Declaração de Conformidade” que alguns fabricantes de válvulas fornecem, também deveria representar uma garantia de fato e de direito aos agentes recarregadores e demais clientes. Como é feita atualmente, pouco ou nada significa. É preciso que seja apresentada em papel timbrado, identificando precisamente a empresa fabricante e com assinatura de um profissional que realmente possua atribuições para fazer tal declaração. Assim, a institucionalização de um documento próprio pode ser uma providência eficaz a ser tomada pelo INMETRO, que garantiria a identificação da responsabilidade sobre a produção deste componente.

Com relação ao CREA e sua legislação pertinente, é explícito que as empresas que atuam com a produção e manutenção de extintores de incêndio devem se registrar e apresentar um profissional da área da engenharia para se responsabilizar tecnicamente. Entretanto, a fiscalização ainda pode melhorar significativamente, devendo o CREA ampliar sua atuação no sentido de cobrir todas as empresas deste setor atuantes no mercado, garantindo assim, uma maior segurança à sociedade.

Outro fato que merece registro é a falta de identificação precisa, do tipo de latão, nas respectivas notas fiscais dos fornecedores de matéria prima aos fabricantes das válvulas. Tal procedimento, contribui para erros decorrentes da troca do material especificado. Com a correta especificação no documento fiscal, o fabricante da válvula pode introduzir um controle de qualidade eficiente e exigir do fornecedor uma qualidade absolutamente necessária para a produção de equipamentos e acessórios de segurança.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSÕES

Dentro da proposta deste trabalho, estudo experimental de válvulas de extintores de incêndio e seus aspectos legais, pode-se constatar importantes observações que devem ser incorporadas na literatura sobre o assunto. Em especial, as válvulas estudadas merecem atenção maior, por serem componentes de um equipamento de segurança de prevenção e combate de incêndio e que protege milhões de pessoas.

Como principais conclusões, pode-se destacar:

- os ensaios realizados nas válvulas tipo P1/P2 associados ao estudo fotoelástico, permitiram concluir que para a geometria adotada, existe um ponto crítico na região do primeiro filete da rosca interna, de dentro para fora.
- De maneira geral, este estudo permitiu identificar falhas de qualidade do produto, seja quanto ao controle do material usado, projeto do produto, fabricação, manutenção e prática de trabalho.
- Em especial, o estudo de caso de uma válvula rompida, permitiu identificar defeitos dimensionais graves e utilização de material incorreto; a causa da ruptura foi a propagação de trincas na região de máximas tensões, sob força constante, associadas a erros geométricos e material inadequado.

Como recomendações, destaca-se que:

- o número de filetes da rosca interna deve ser reduzido à metade do número de filetes da rosca externa;
- seja incorporado na norma, EB-148, a especificação de torques padrões em função da pressão interna, bem como um número de filetes da rosca interna igual à metade do número de filetes da rosca externa;

- seja feito um controle de qualidade do latão, como matéria prima, comumente utilizado na fabricação destes componentes;
- o projeto e acompanhamento da fabricação do extintor de incêndio seja feito por profissionais da área de Engenharia Mecânica devidamente qualificados e habilitados e que a empresa seja registrada no CREA.

Finalmente, sugere-se que:

- a metodologia usada neste trabalho seja utilizada no estudo de outros tipos de componentes, visando a incorporação dos resultados em normas técnicas e consequentemente a melhoria da qualidade e segurança dos mesmos.

CAPÍTULO 8

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PERES, I.U. & SILVEIRA, T.L., "Avaliação de Integridade de equipamentos de caldearia e seu aspecto legal", 9ª Jornada de Manutenimento da ECOPETROL, Cartagena, Colombia, 1993.
- [2] DUTRA, A.C., "A Situação Atual da Inspeção de equipamentos no Brasil", 2º Seminário Regional de Inspeção de Equipamentos - Maceió, Alagoas, 1993.
- [3] FROCHT, M.M., "Factors of Stress Concentration Photoelastically determined" ASME, vol 57, p. A67, 1935
- [4] PETERSON, R.E. "Stress Concentration Design Factors" John Wiley and Sons Inc., New York, 1953
- [5] ALLISON, I.M. "The Elastic Stress Concentration Factors in Shouldered Shafts" Part I and II. Aeronautical Quarterly. Vol. XII, p. 149 e 219, 1961
- [6] GOMIDE, H.A., "Desenvolvimento de um Material para Fotoelasticidade Tridimensional", Tese de Mestrado, PUC-RJ, 1972.
- [7] ROSA, C.A., "Estudo da Distribuição de Tensões no Colo do Fêmur Humano Usando o Método Fotoelástico Tridimensional", Dissertação de Mestrado, Eng. Mecânica, PUC-RJ, 1973.
- [8] FREIRE, J. L. F., "Concentração de Tensões em placas e eixos com entalhes em U submetidos a esforços utilizando técnicas fotoelásticas", Dissertação de Mestrado, PUC-RJ, fevereiro 1975. 88 p.
- [9] GOMIDE, H.A e P. SMITH NETO, "Material de Rápida Obtenção para Fotoelasticidade Tridimensional", VI CBECIMAT, T-66, pp. 303-306, 1984

- [10] OLIVEIRA, S.A.G. e H.A. GOMIDE, "Materiais para Fotoelasticidade de Reflexão", RBCM, Vol I, II (1), pp. 87-100, 1989.
- [11] KENNY, B. & PATTERSON, E.A., "Load and Stress Distribution in Screw threads" Experimental Mechanics, p. 208, 1985
- [12] TANAKA. M. & MIYAZAWA. H., "Aplication of the finite element Method to bolt-Nut Joints" JSME, vol. 24, p. 1064 - 1071, 1981
- [13] ABNT / EB-148, "Extintores de Incêndio para cargas de pó químico" maio de 1989
- [14] PROVENZA, F. "Materiais para Construções Mecânicas" Pró-Tec, 1985
- [15] MINISTÉRIO DA JUSTIÇA - INMETRO/DINQP/DICEP, "Regulamento para Obtenção do Certificado de Capacitação Técnica para os Serviços de Manutenção de Extintores de Incêndio", 1992.
- [16] BISANZ, H. , "Trends on Product Liability in the EC, US and JAPAN - Integrity Evaluation questions", Anais do IEV-93, pp. 21-23, Pouso Alto, MG, 1993.
- [17] ROCHE,J.G., Product Liability, IFS Publications, UK, 1989.
- [18] HEATON,H., Economic History of Europe, Harper and Row, New York, 1963.
- [19] BARROS LEÃES, L.G.P., A Responsabilidade do Fabricante pelo Fato do Produto, Editora Saraiva, São Paulo-SP, 1987.
- [20] SAAD,E.G., Comentários ao Código de Defesa do Consumidor, Editora Ltr, São Paulo, 1991.
- [21] CASTRO DO NASCIMENTO,T.M., Comentários ao Código do Consumidor, Editora AIDE, Rio de Janeiro, 1991.
- [22] COELHO,F.V., O Empresário e os Direitos do Consumidor, Editora Saraiva, São Paulo, 1994.
- [23] NICHOLSON,C.E., HEYES,P.F. and WILSON,C. "Common Lessons to be Learned from the Investigation of Failures in a Broad Range of Industries" Proc. of X

International Conference on Structural Failure, Product Liability and Technical Insurance / SPT-4, Elsevier, pp. 268-275, Vienna, 1992.

- [24] TICHY, M., "From Flaws to Fault", Structural Safety, (9), pp. 243-246, 1991.
- [25] ROSS, B., "What is a Design Defect ?", Proc. of SPT-1, Elsevier, pp. 23-71, Vienna, 1983.
- [26] NOEL, D. W., and PHILLIPS, J. J., Products Liability in a Nut Shell, West Publishing Company, 3^a Ed., 1992.
- [27] HAEKKINEN, K., "Are the Safety Measures Taken by Design Adequate ?", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 1-8, 1992.
- [28] SMITH, C. O., "Maintenance Related Failures", Proc. of ASM Conference, pp. 333-339, Salt Lake City - USA, 1985.
- [29] SMITH, C. O., "How much Safety ? Who is Decides ?", Proc. of ASM Conference, pp. 325-331, Salt Lake City - USA, 1985.
- [30] IIDA, I., Ergonomia - Projeto e Produção, Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1990.
- [31] De MORAES, A. e SOARES, M. M., Ergonomia - No Brasil e no Mundo, ESDI/UERJ, Rio de Janeiro, 1989
- [32] RAO, S. J. K., PUTCHA, C. H. and KREINER, J. H., "Legal Liability and Technical Insurance Aspects of Stochastic Prospect Evaluation of Engineering Structures", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 170-178, Vienna, 1992.
- [33] MELCHERS, R. E., "Human Error in Structural Design Tasks", J. Struct Engg, 7(115), pp. 1795-1807, 1989.
- [34] GOMIDE, H. A., MANNHEIMER, S. N. and SILVEIRA, T. L., "The Brazilian Experience in Integrity Evaluation", Proc. of Founding Symposium of

International Society for Technology, Law and Insurance, To be Publish, Vienna, November/ 1993.

- [35] PENNY,R.K., "Some Aspects of Life Assessment, Inspection and Monitoring of Plants", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 487-494, Vienna, 1993.
- [36] "Anais da Conferência Internacional sobre Avaliação de Integridade e Extensão de Vida de Equipamentos Industriais IEV-93", 272 páginas, Promoção ABCM, Pouso Alto, MG, 1993.
- [37] MOHAMMADI,J. Et al, "Evaluation of Systems Deliability Using Expert Opinions", J. of Structural Safety, (9) , pp. 227-241, 1991.
- [38] JUECHTER,J.W., "The Expert Witness and the Attorney: VS or VIS-A-VIS", Proc. of ASM Conference, pp. 99-107, Salt Lake City, 1985.
- [39] SUPRENANT,B.A., "Forensic Engineering - The Good, the Bad and the Ugly", Proc. of SPT-3, Vienna, Forensic Engg. 2, 1/2, Pergaman Press - Elsevier, pp. 239-244, 1991.
- [40] KLIKAR,B., "Risk Engineering", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 170-178, Vienna, 1992.
- [41] BUNNI,N.G., "When Construction Risk Eventuate", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 161-169, Vienna, 1992.
- [42] GREEN,E.W. and PACKMAN,P.F., "The Technical-Legal Interface in Presenting Technical Information in Trials of Fact in Product Liability Cases" , Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 130-136, Vienna, 1992.
- [43] PURI,A., "Finite Element Methods - A black Box Aproach to Structural Clearance", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 260-267, Vienna, 1992.
- [44] DETTE,W., "Software Quality", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 227-236, Vienna, 1992.

- [45] KELLERMANN, T., "Defect Prevention in Software Development", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 245-248, Vienna, 1992.
- [46] YAMADA, T., "On International Patent Law", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 34-38, Vienna, 1992.
- [47] REVY von BELVARD, P., "Patent Infringements Manufacture of Spare Parts in Construction Engineering", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 193-198, Vienna, 1992.
- [48] LAND, F.P., "The State of the Art Defense in Product Liability - A Positive Concept or an Abomination", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 137-144, Vienna, 1992.
- [49] KIRKWOOD, J.S., "Product Liability - and the Search for New and Deeper Pockets", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 145-152, Vienna, 1992.
- [50] POSCH, W., "Product Safety and Product Liability Law in the Single Market and the European Economic Area", Proc. of SPT-4, Elsevier, pp. 9-27, Vienna, 1992.
- [51] MANNHEIMER, S.N., "Responsabilidade Civil e a Avaliação de Integridade de Equipamentos", Anais do IEV-93, ABCM, pp. 47-50, Pouso Alto - MG, 1993.
- [52] BIZANZ, H., "Comparison of Product Liability Law in Cases in EC, US and Japan: Status Quo and Beyond", SPT-4, Elsevier, pp. 28-33, Vienna, 1992.
- [53] AMARAL, D. e GOMIDE, H.A., "Válvulas de Extintores de Incêndio - Aspectos Legais", Anais do 8º SIBRAT/ABCM, pp. 714-723, Gramado, RS, 1994.
- [54] Decreto Federal nº 23.569 de 11/12/33, publicado no Diário Oficial da União em 15 de dezembro de 1933.
- [55] Lei nº 5.194 de 24/12/66, publicada no Diário Oficial da União em 27 de dezembro de 1966.

- [56] Lei 6.496 de 07/12/77, publicada no Diário Oficial da União em 09 de dezembro de 1977.
- [57] Lei nº 6.839 de 30/10/80, publicada no Diário Oficial da União em 03 de novembro de 1980.
- [58] Resolução nº 218 do CONFEA - Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, de 29/06/73, publicada no Diário Oficial da União em 31 de julho de 1973.
- [59] Lei 8.666 de 21/06/93, publicada no Diário Oficial da União em 25 de junho de 1993
- [60] Decisão Normalizadora nº 02/94, publicada no Diário Oficial do Estado de Minas Gerais em 16 de julho de 1994.
- [61] Lei nº 8078 de 11/09/90, publicada no Diário Oficial da União em 12 de setembro de 1990.
- [62] SOUZA, S.A., Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1982
- [63] DALLY, J.W. & W.F. RILEY, Experimental Stress Analysis, 2nd ed., McGraw-Hill, 1978
- [64] MURPHY, G., Similitude in Engineering, The Ronald Press Comp., N.Y., 1950
- [65] FROCHT, M.M., Photoelasticity, Vol. I, II, John Wiley & Sons Inc., 1941
- [66] DURELLI, A.J. & RILEY, W.F., Introduction to Photomechanics, Prentice-Hall, 1965
- [67] GOMES, M.R. & E. BRESCIANI., Propriedades e Usos de Metais não Ferrosos, ABCM, 1976
- [68] CUBBERLY, W.H. et al, Metals Handbook, Vol. 2, 9ª ed., ASM, 1979.

ANEXOS

Anexo I

“CALIBRAÇÃO DAS JUNTAS DE VEDAÇÃO DO
MODELO FOTOELÁSTICO”

Anexo II

“VALORES DAS CARGAS DOS ENSAIOS
DESTRUTIVOS DAS VÁLVULAS”

Anexo III

“VALORES DAS ISOCROMÁTICAS”

Anexo IV

“ENSAIOS DE TRAÇÃO DO LATÃO”

ANEXO I

CALIBRAÇÃO DAS JUNTAS DE VEDAÇÃO
DO MODELO FOTOELÁSTICO

Para a reprodução fiel dos esforços nos modelos fotoelásticos, foi necessário aplicar as cargas proporcionalmente relacionadas com as forças que de fato atuam em uma válvula P1/P2. Assim, a determinação da força gerada pela compressão do anel de borracha, após o rosqueamento do modelo da válvula na base do sistema de carga fotoelástico foi feito por calibração na máquina de ensaios MTS. Um sistema de carga próprio foi idealizado, mostrado na figura 9.1. Foram preparadas 3 juntas com borracha de silicone (RTV - 3112), com o dobro das dimensões do anel utilizado na montagem do extintor. A calibração destas juntas, denominadas de A, B e C, foi feita medindo-se seu deslocamento à compressão e a força correspondente, como mostrado na Figura 9.2. Estas juntas foram usadas respectivamente, nos modelos fotoelásticos **A**, **B** e **C**. Assim, para a aplicação da carga desejada, determina-se pelas respectivas curvas o valor da compressão do anel de borracha produzida pelo rosqueamento do modelo na base. A tabela 9.1 mostra as cargas aplicadas para o congelamento das tensões nos tres modelos estudados.

Tabela 9.1: Forças aplicadas nos modelos devido ao anel de vedação

MODELO FOTOELÁSTICO	JUNTA	FORÇA ATUANTE NA JUNTA	DEFORMAÇÃO DA JUNTA
A	A	324 N	1,27 mm
B	B	354 N	1,60 mm
C	C	324 N	0,97 mm

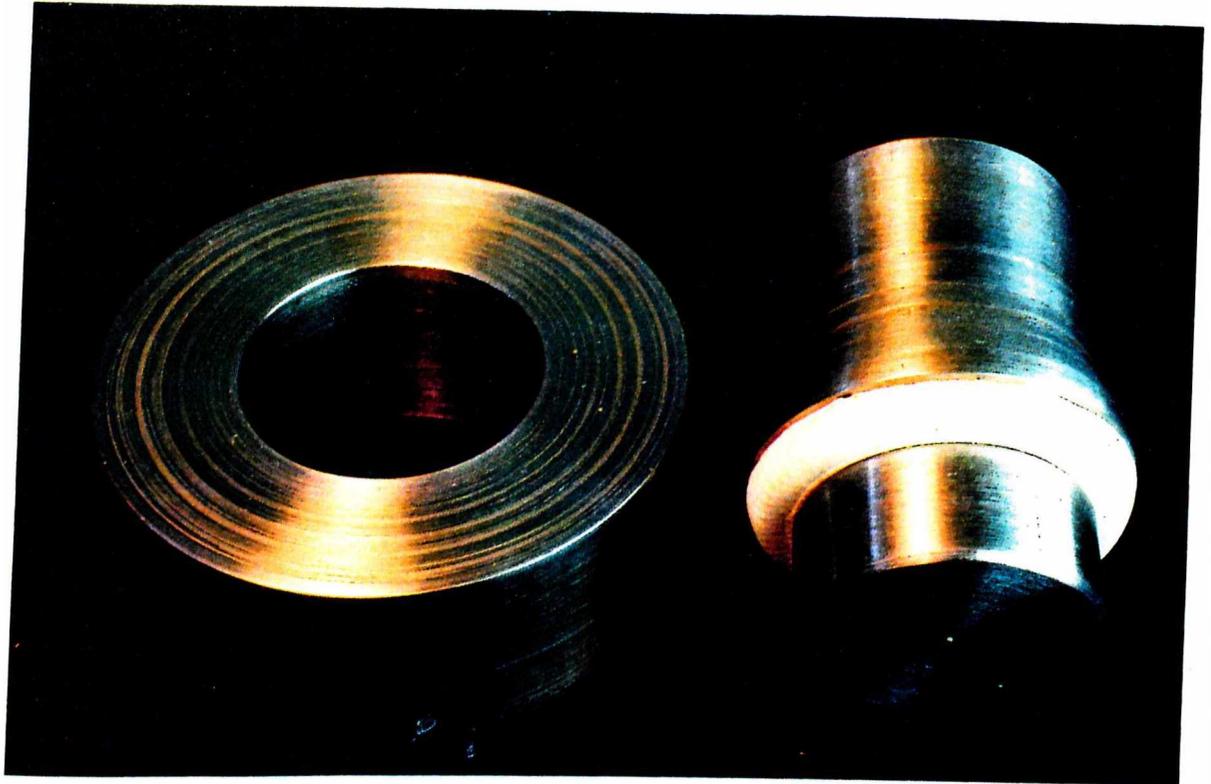


Figura 9.1: Sistema de carga para ensaio do anel de vedação do modelo em escala 1:2.

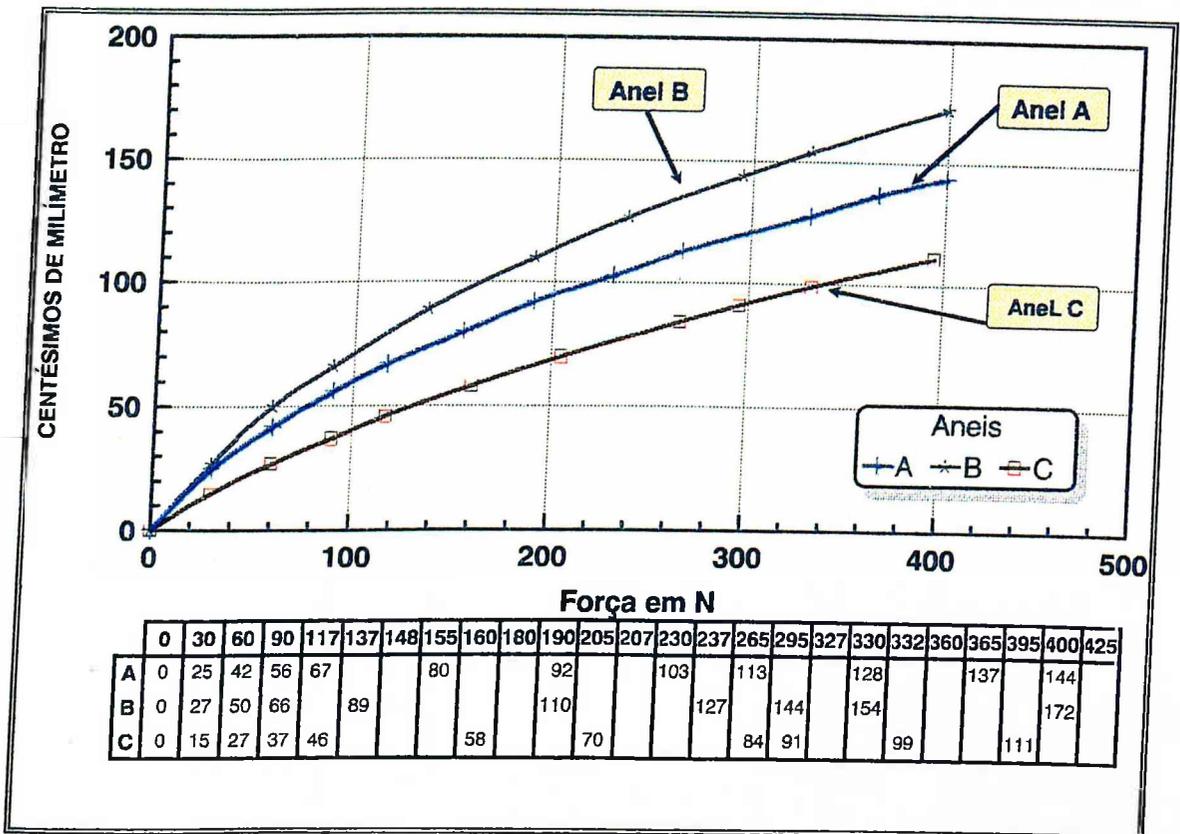
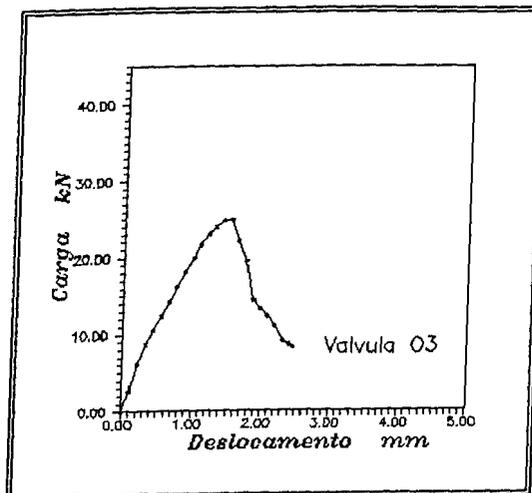
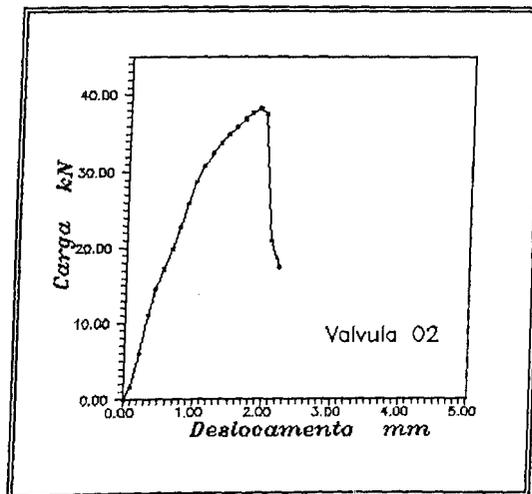
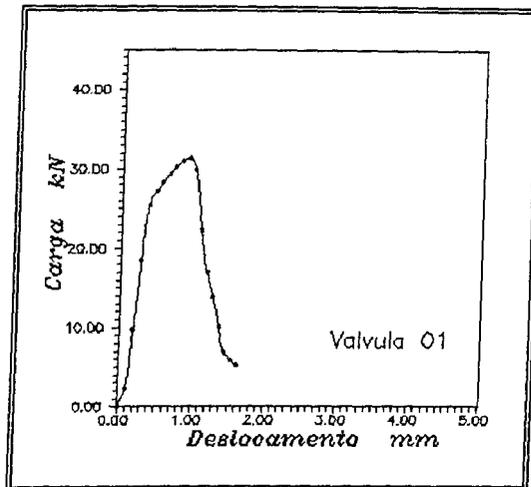


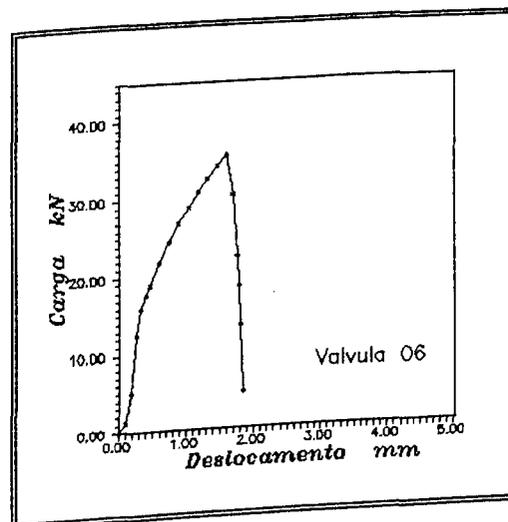
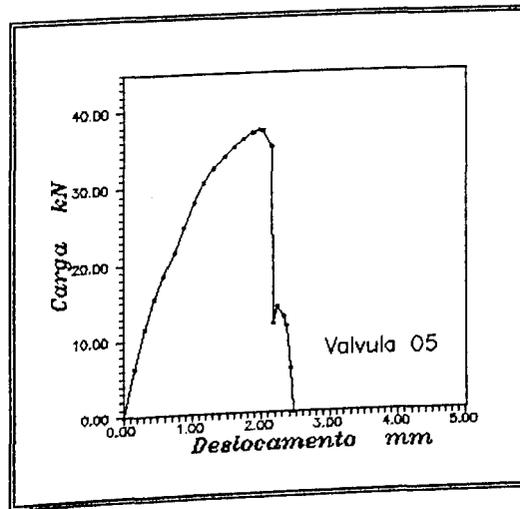
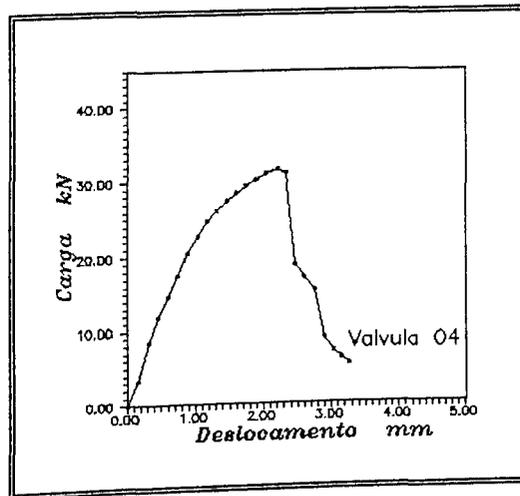
Figura 9.2: Gráfico da deformação X força do anel de borracha de silicone

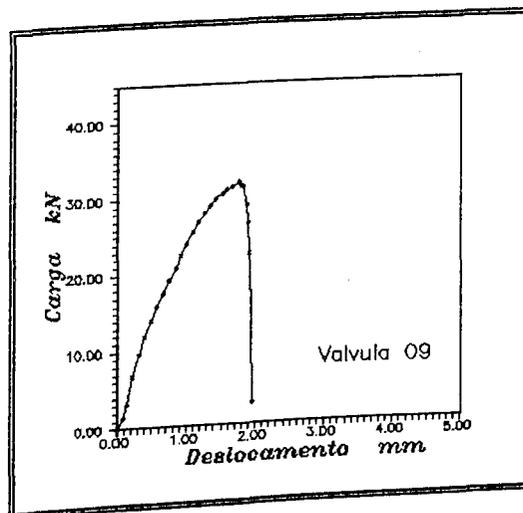
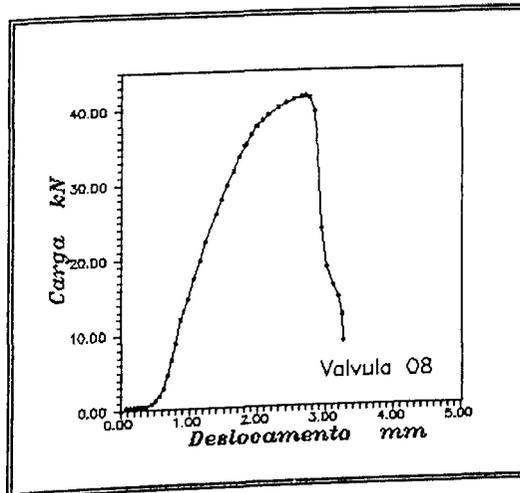
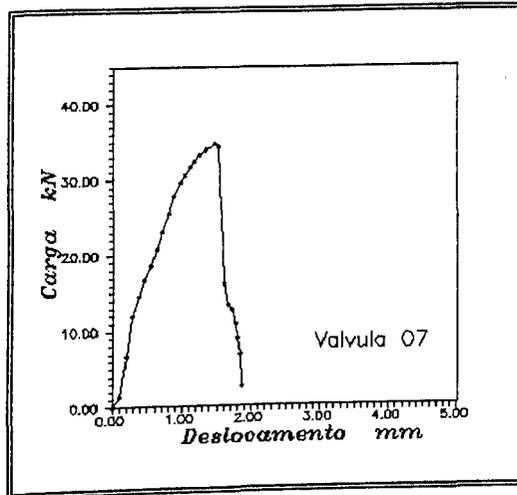
ANEXO II

“VALORES DAS CARGAS DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS DAS VÁLVULAS” (Tabela 4.1)



BRUNO M. S. SILVA



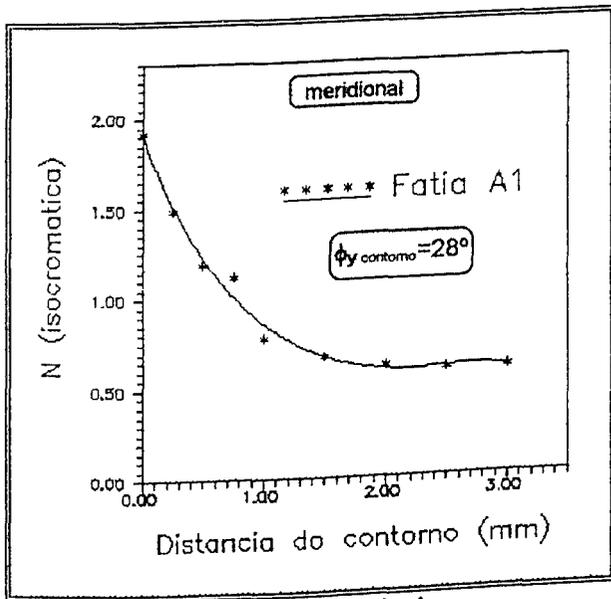


ANEXO III

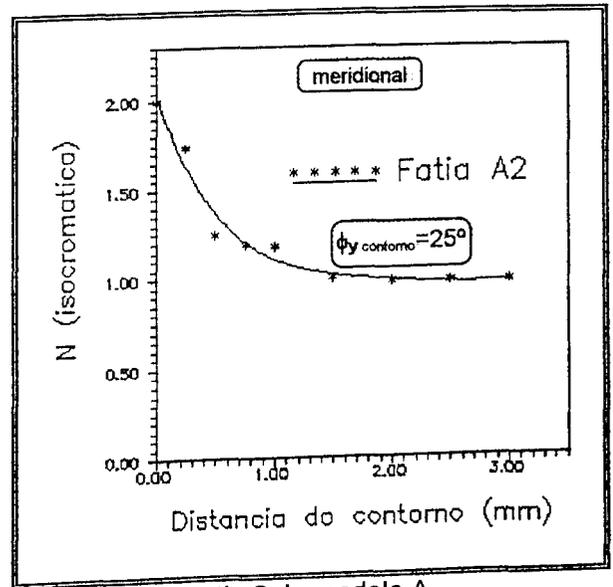
VALORES DAS ISOCROMÁTICAS

FATIAS MERIDIONAIS - Espessura: 1 mm

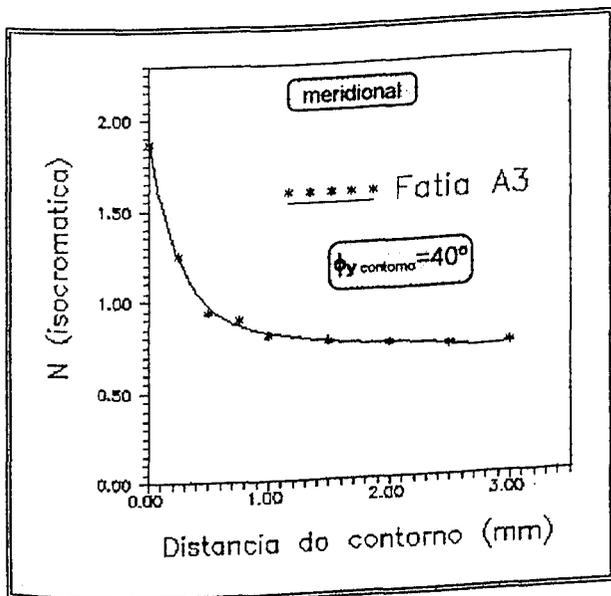
MODELO A



Fatia 1 do modelo A



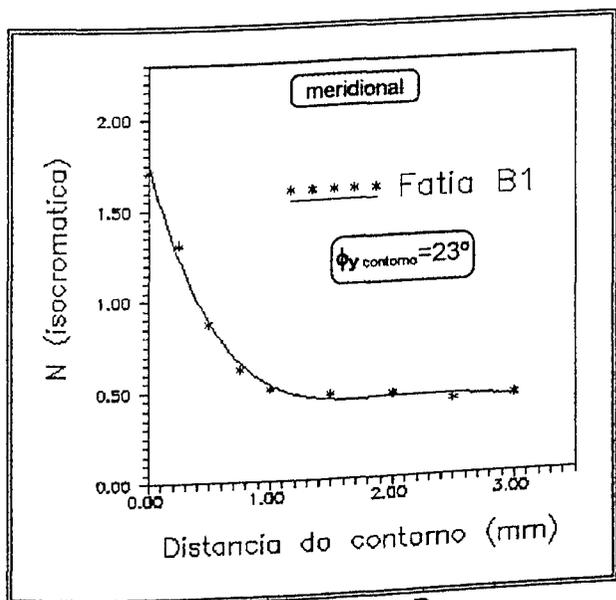
Fatia 2 do modelo A



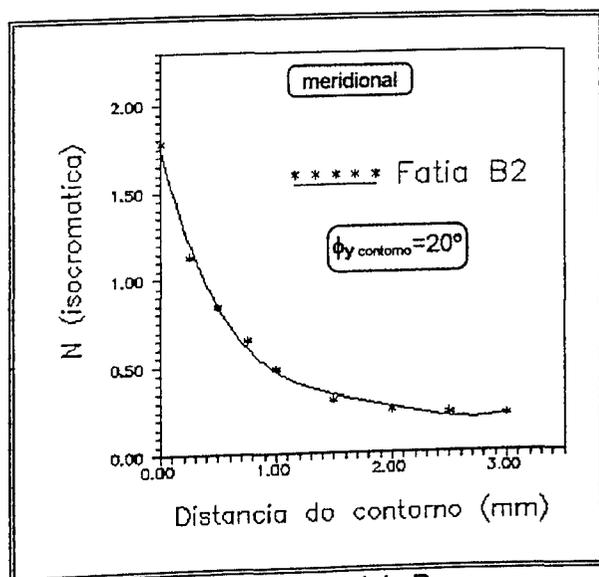
Fatia 3 do modelo A

FATIAS MERIDIONAIS - Espessura: 1 mm

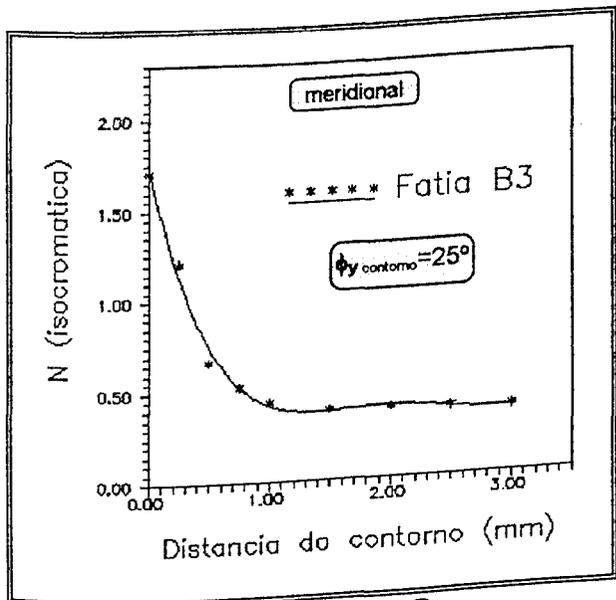
MODELO B



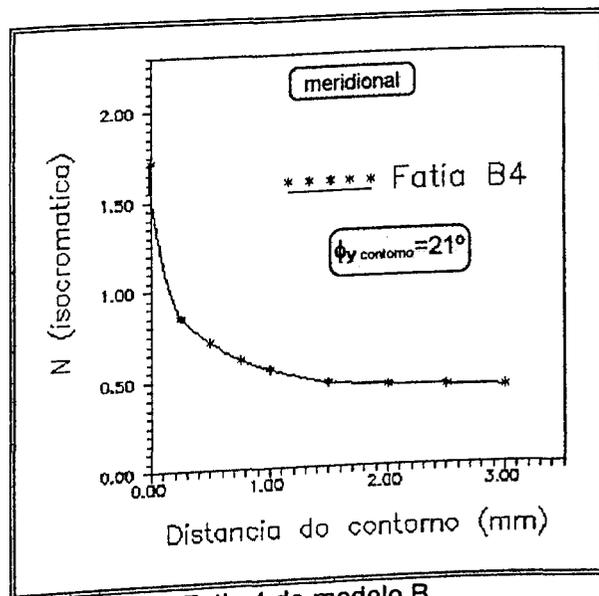
Fatia 1 do modelo B



Fatia 2 do modelo B



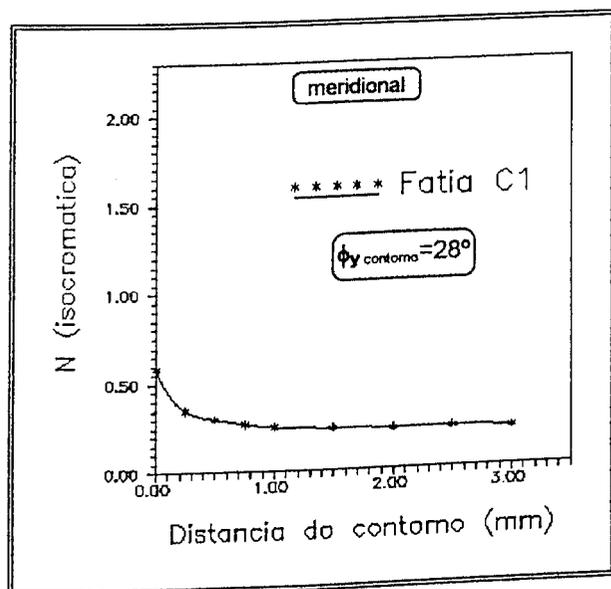
Fatia 3 do modelo B



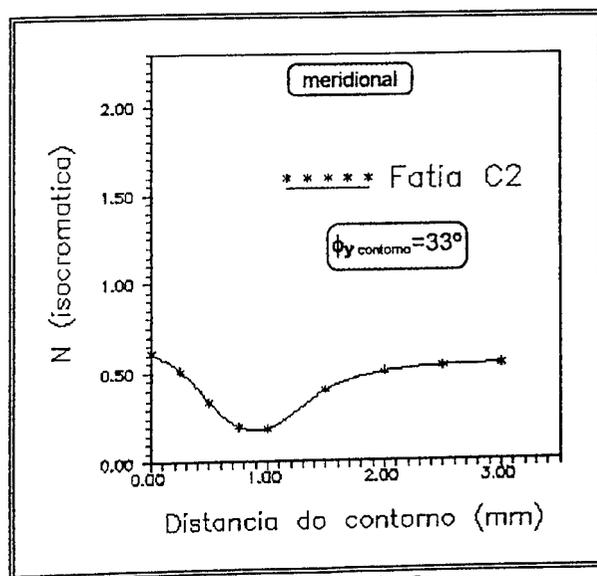
Fatia 4 do modelo B

FATIAS MERIDIONAIS - Espessura: 1 mm

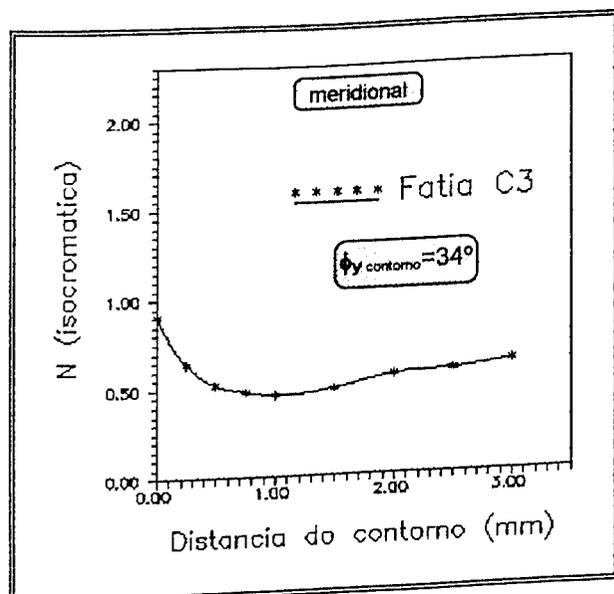
MODELO C



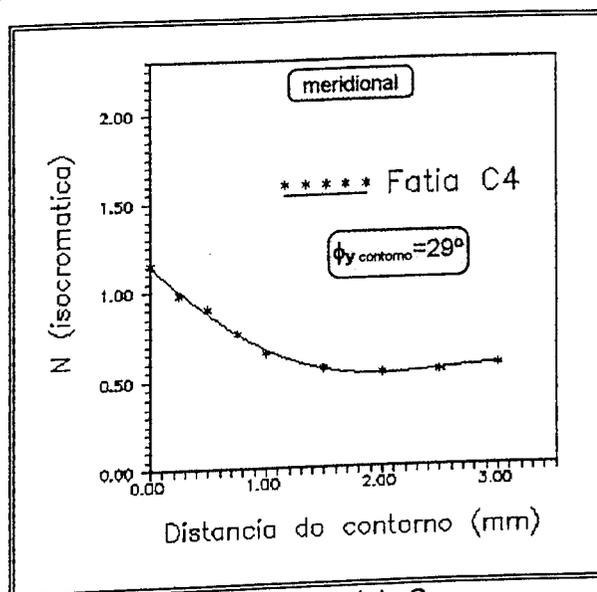
Fatia 1 do modelo C



Fatia 2 do modelo C



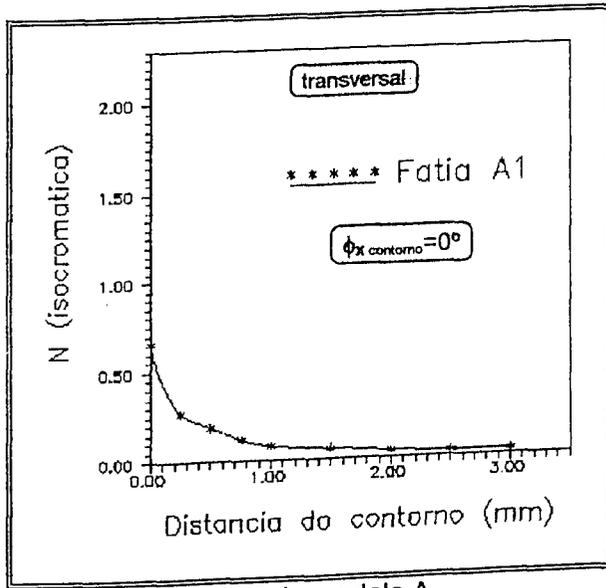
Fatia 3 do modelo C



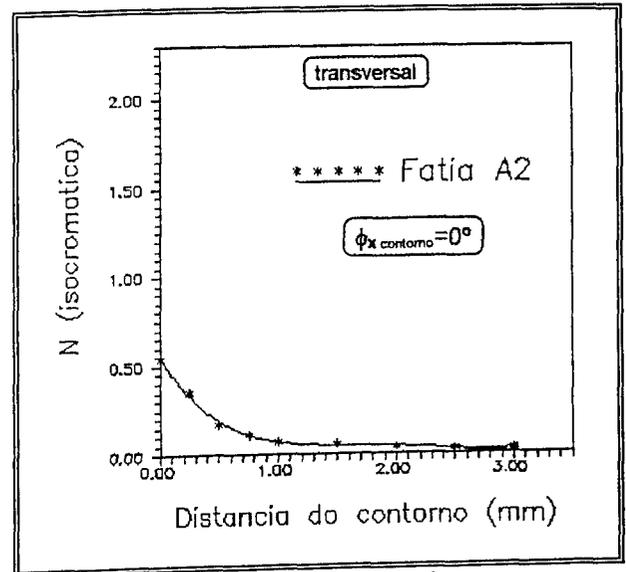
Fatia 4 do modelo C

FATIAS TRANSVERSAIS - Espessura: 1 mm

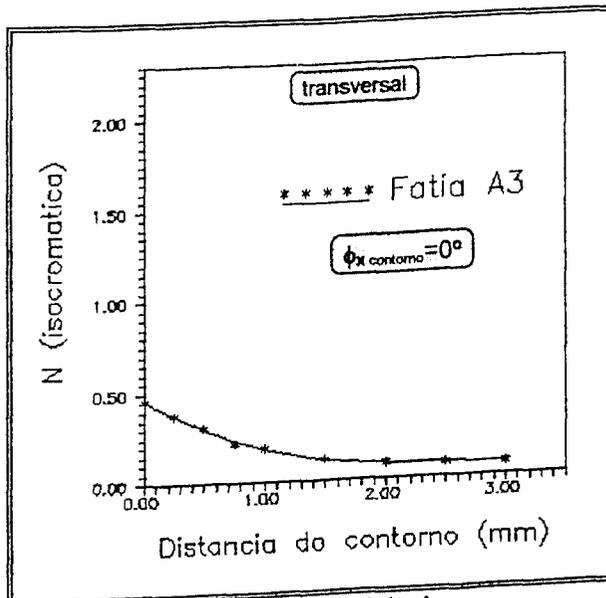
MODELO A



Fatia 1 do modelo A



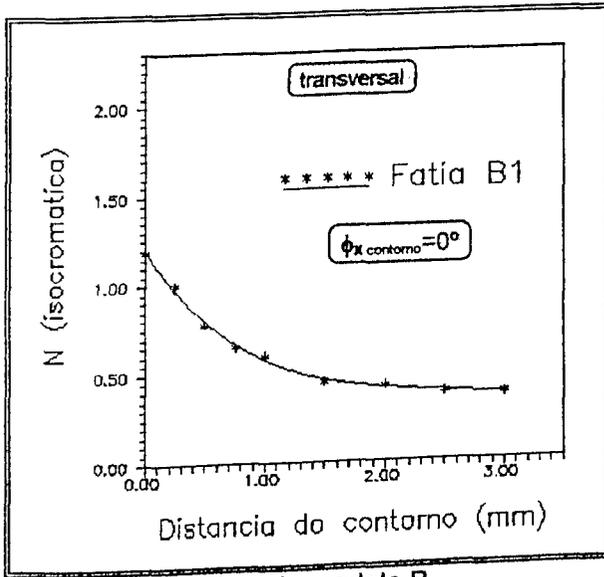
Fatia 2 do modelo A



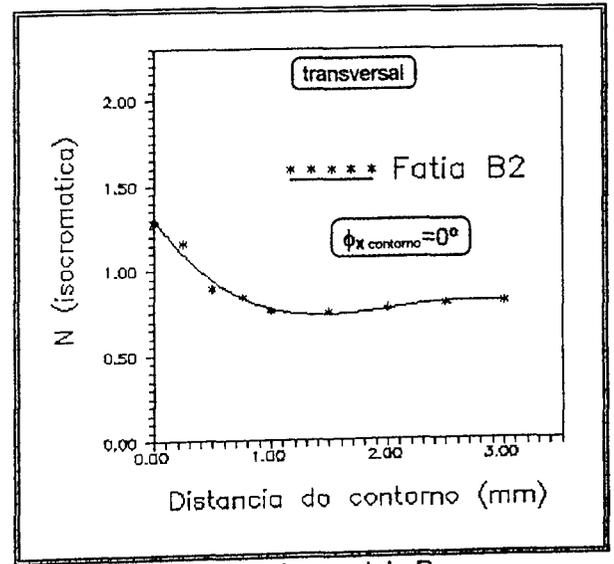
Fatia 3 do modelo A

FATIAS TRANSVERSAIS - Espessura: 1 mm

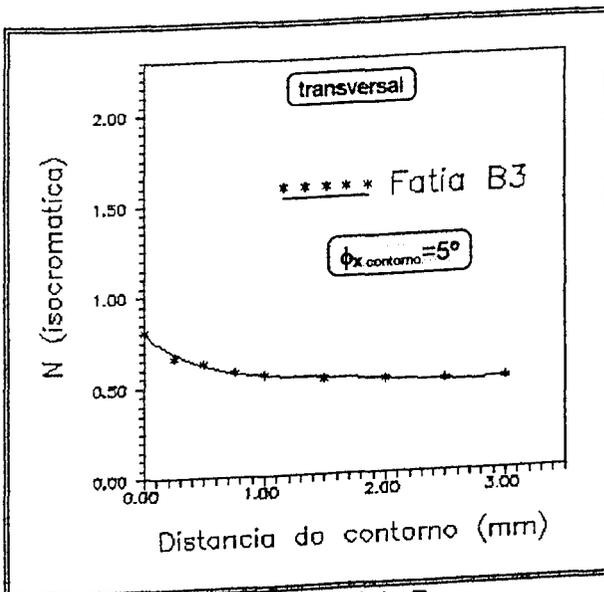
MODELO B



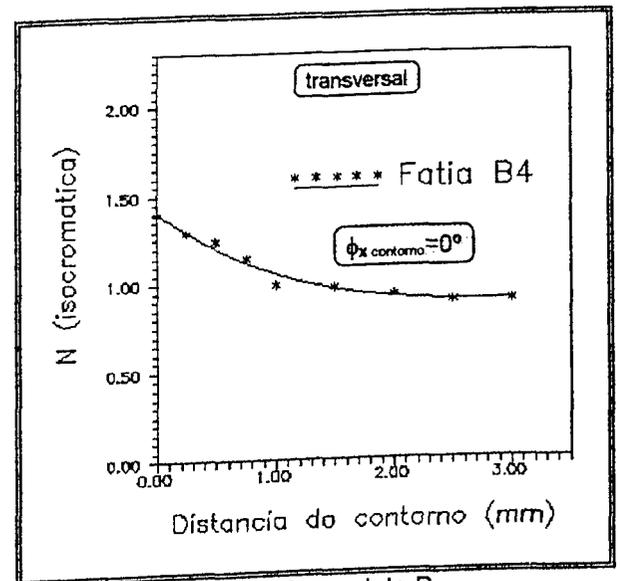
Fatia 1 do modelo B



Fatia 2 do modelo B



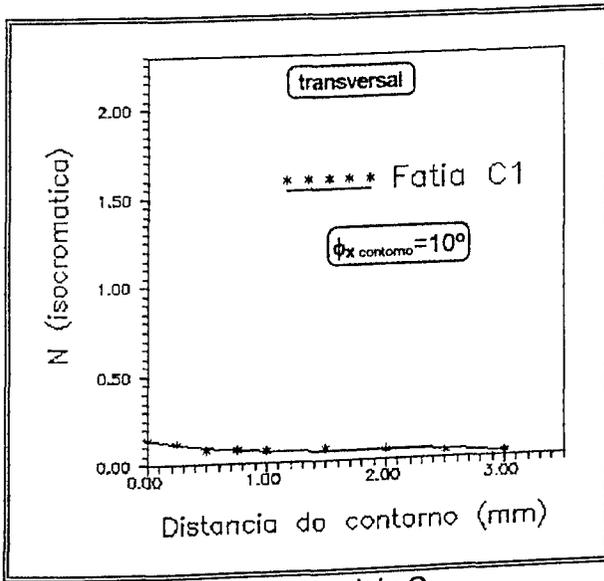
Fatia 3 do modelo B



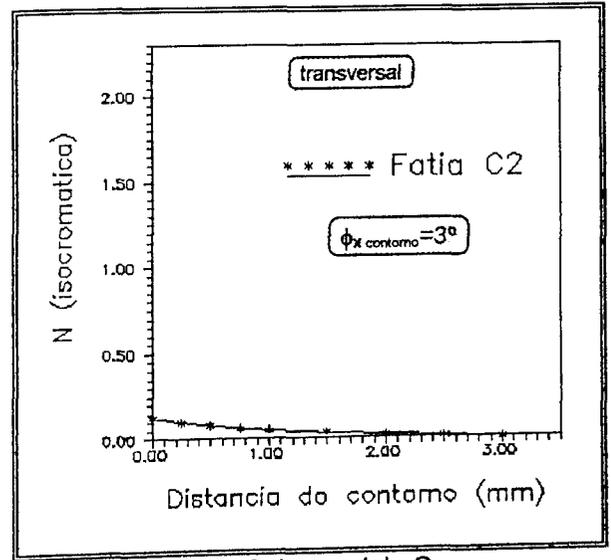
Fatia 4 do modelo B

FATIAS TRANSVERSAIS - Espessura: 1 mm

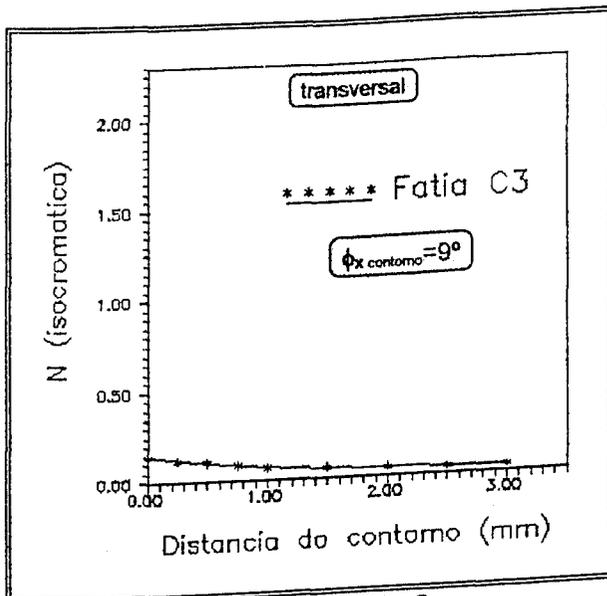
MODELO C



Fatia 1 do modelo C



Fatia 2 do modelo C



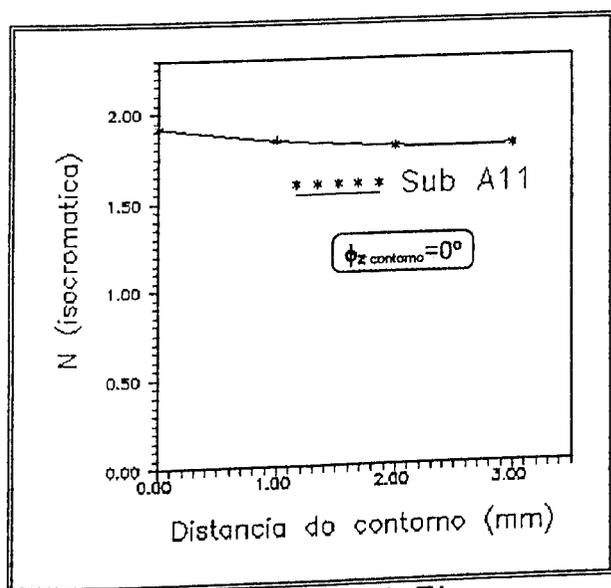
Fatia 3 do modelo C

SUB-FATIAS DAS FATIAS TRANSVERSAIS - Espessura: 1 mm

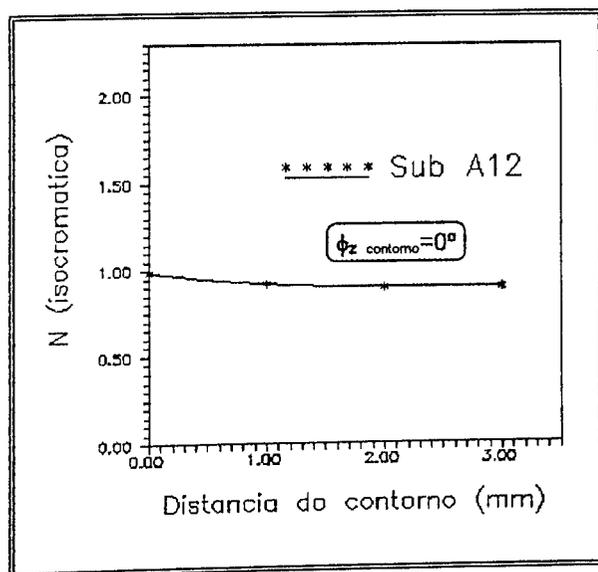
MODELO A

Fundo amarelo

EXTRAPOLAÇÃO AO LONGO DE "y" PARA O CONTORNO



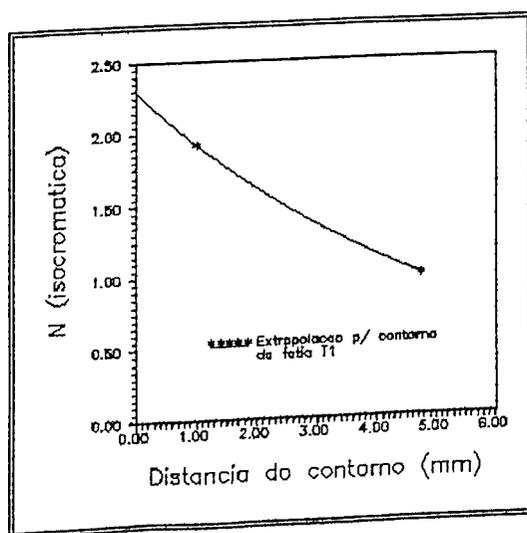
Sub-fatia 1 da fatia T1

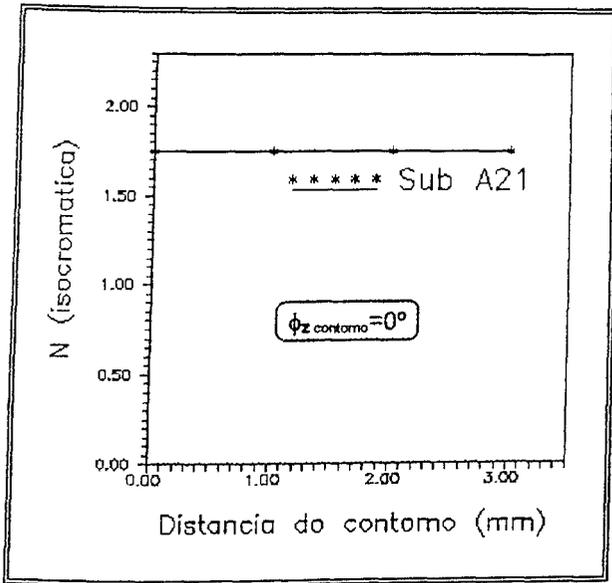


Sub-fatia 2 da fatia T1

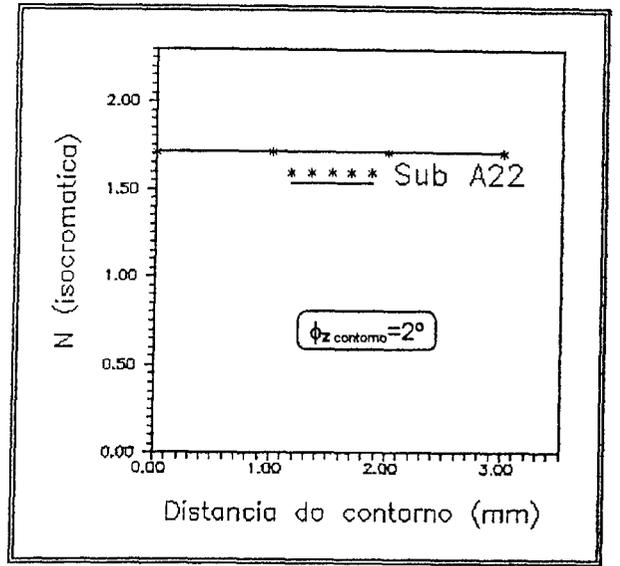
Fundo azul

EXTRAPOLAÇÃO AO LONGO DE "z" PARA O PONTO CRÍTICO

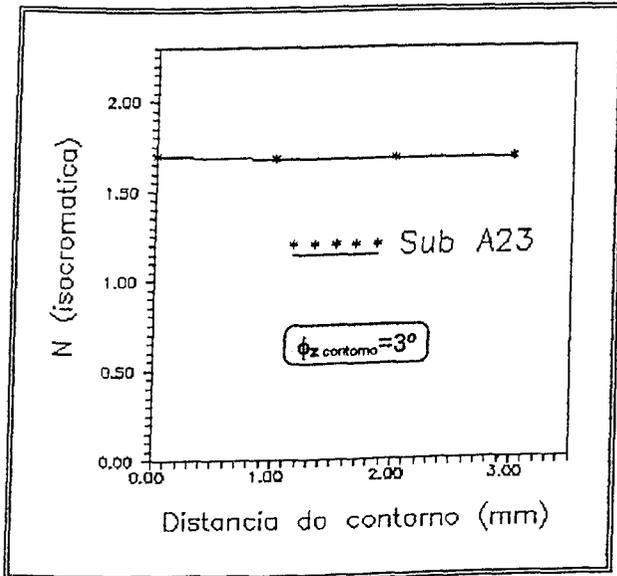




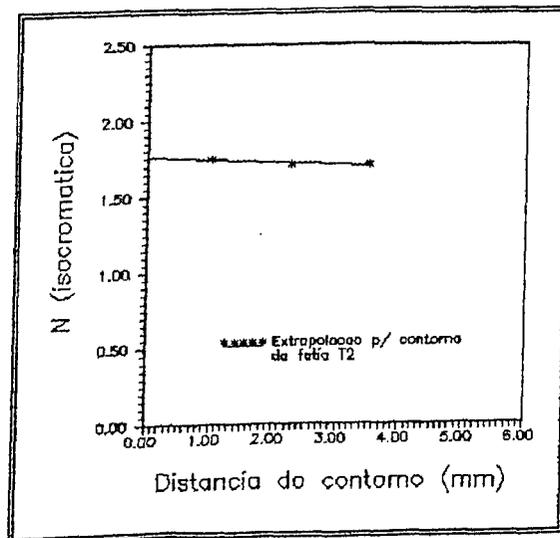
Sub-fatia 1 da fatia T2

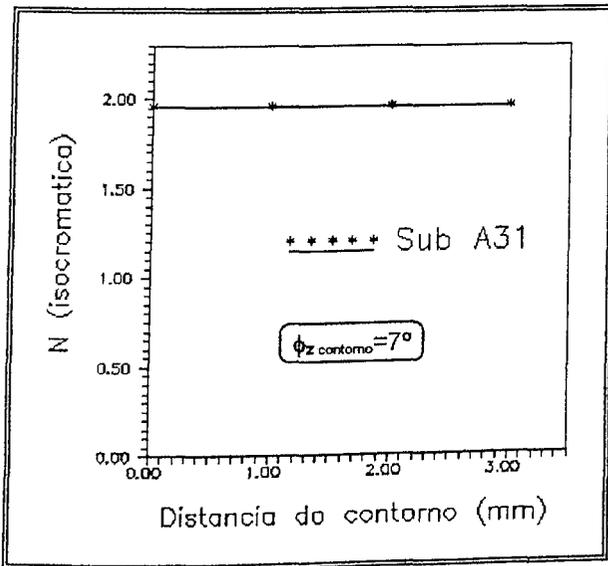


Sub-fatia 2 da fatia T2

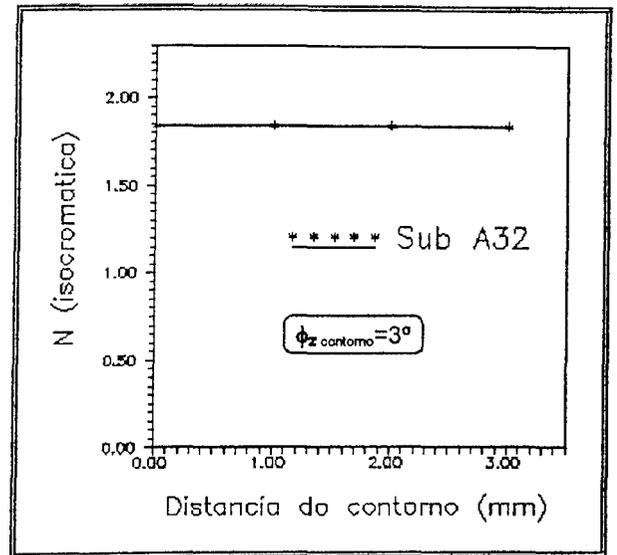


Sub-fatia 3 da fatia T2

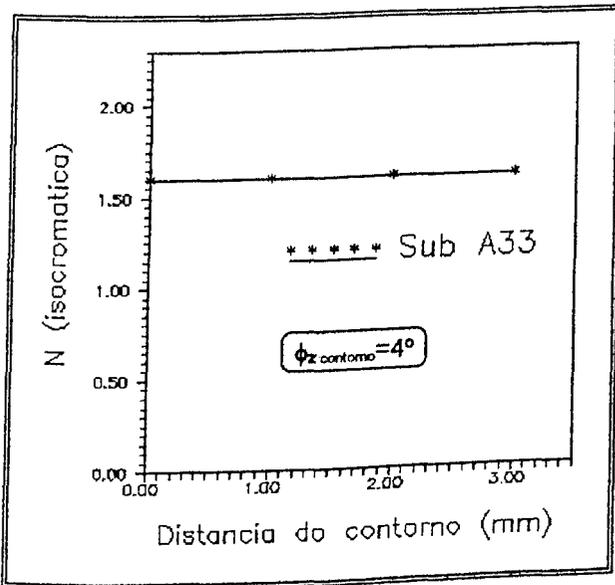




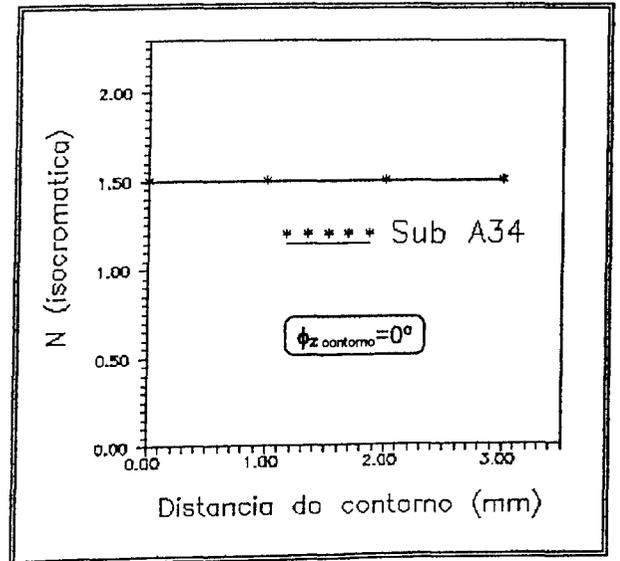
Sub-fatia 1 da fatia T3



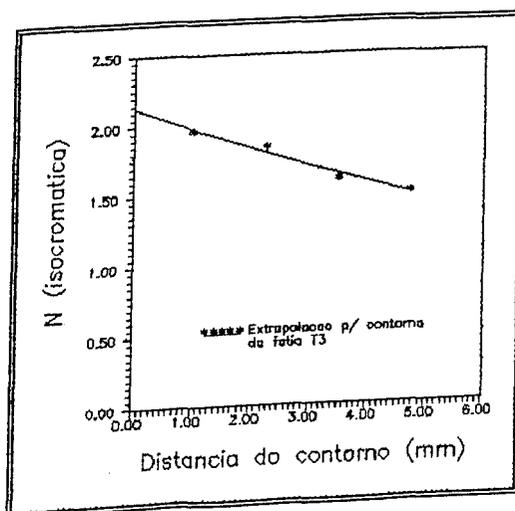
Sub-fatia 2 da fatia T3



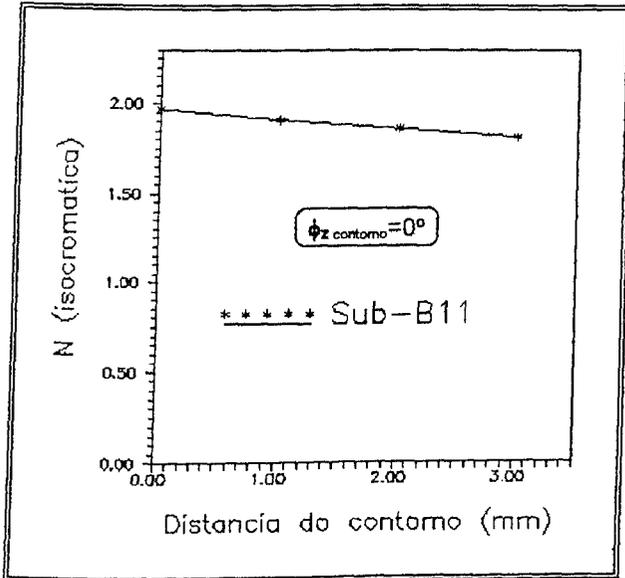
Sub-fatia 3 da fatia T3



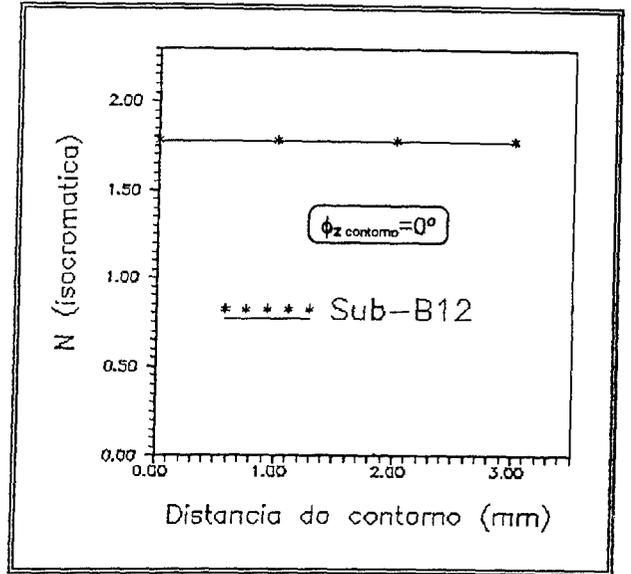
Sub-fatia 4 da fatia T3



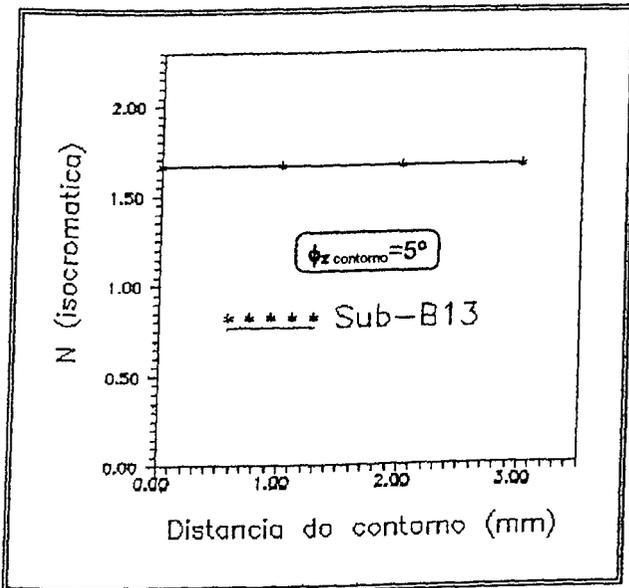
MODELO B



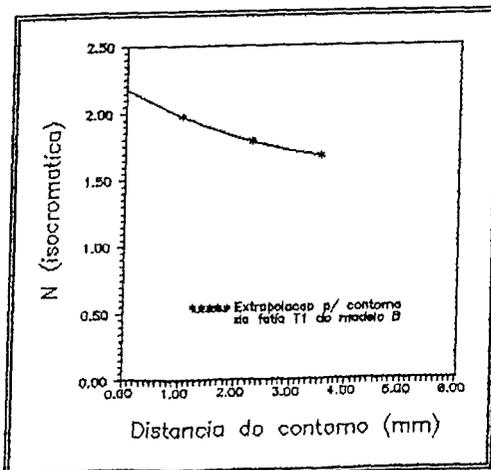
Sub-fatia 1 da fatia T1

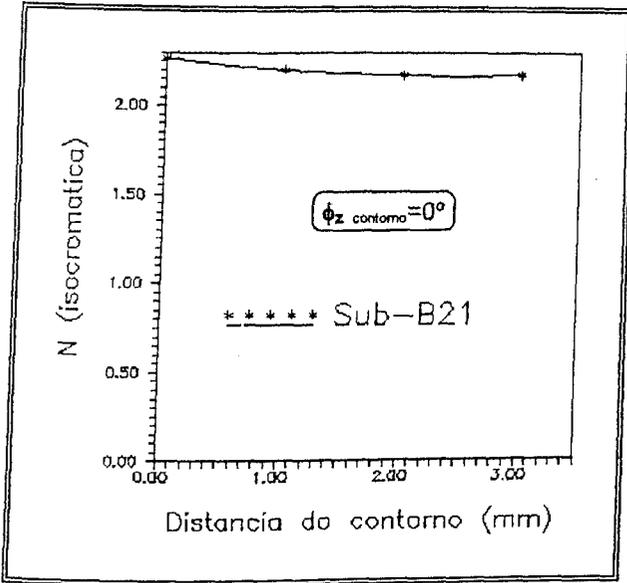


Sub-fatia 2 da fatia T1

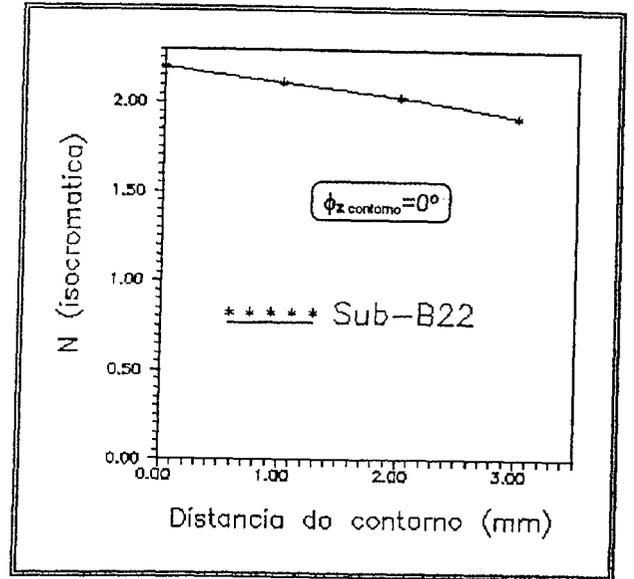


Sub-fatia 3 da fatia T1

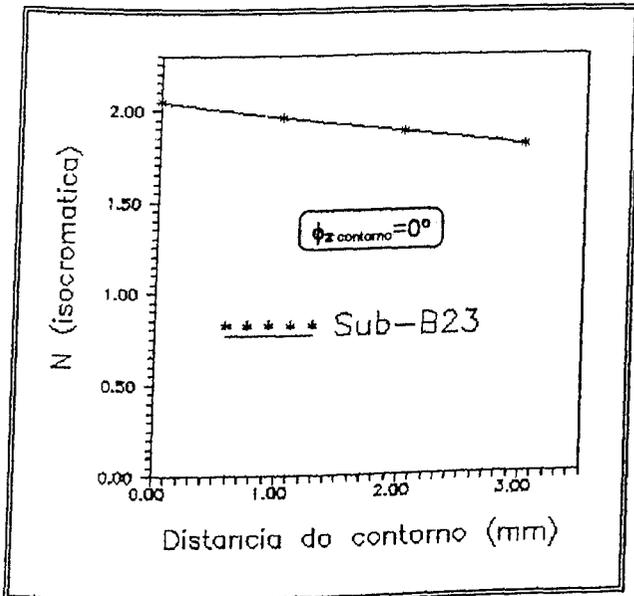




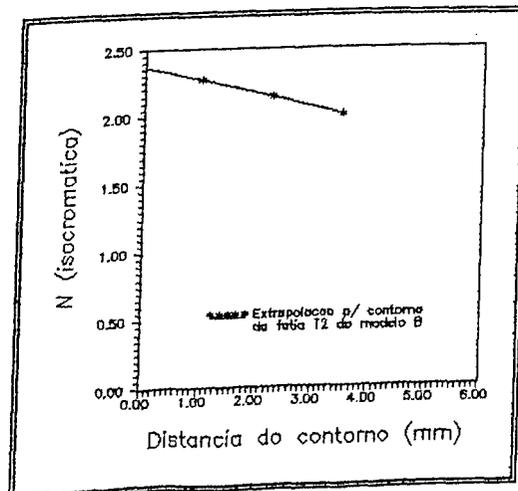
Sub-fatia 1 da fatia T2

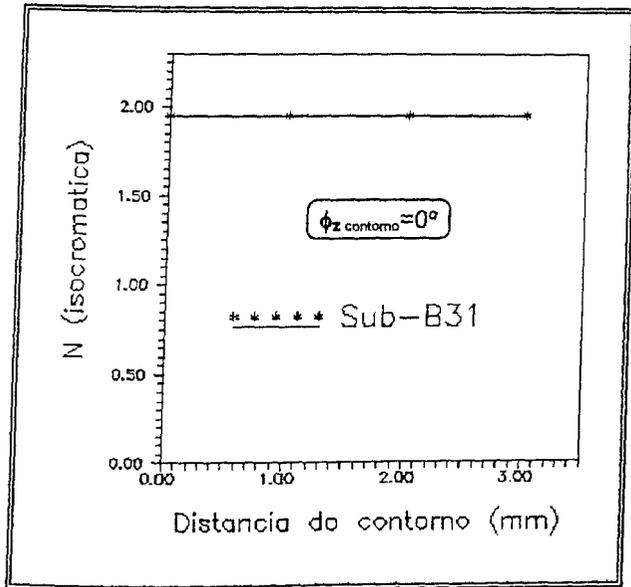


Sub-fatia 2 da fatia T2

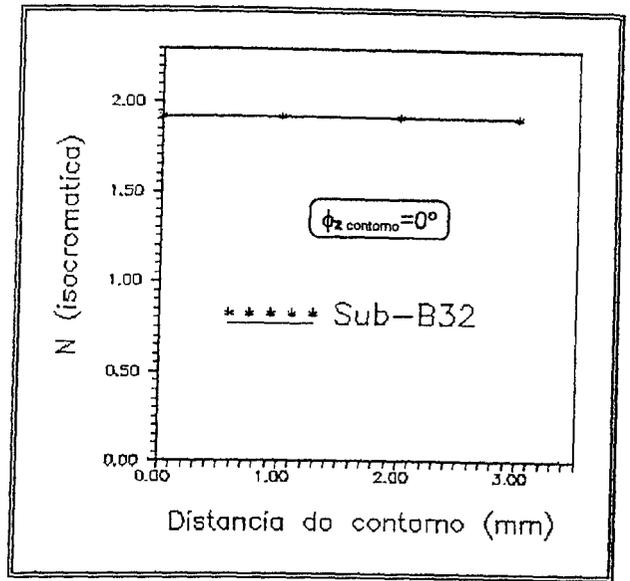


Sub-fatia 3 da fatia T2

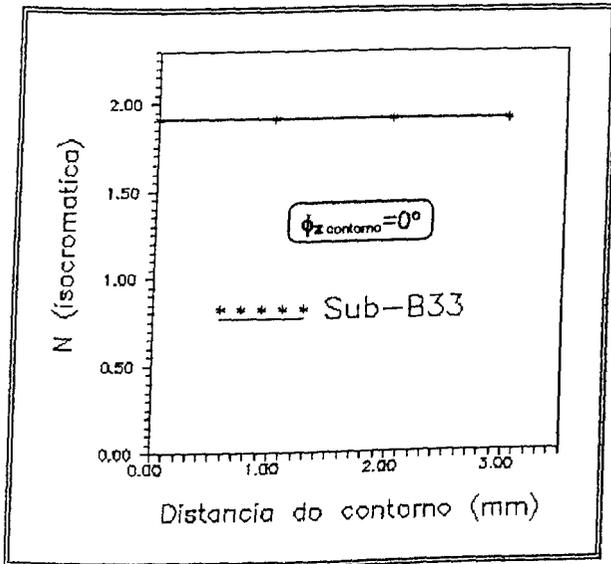




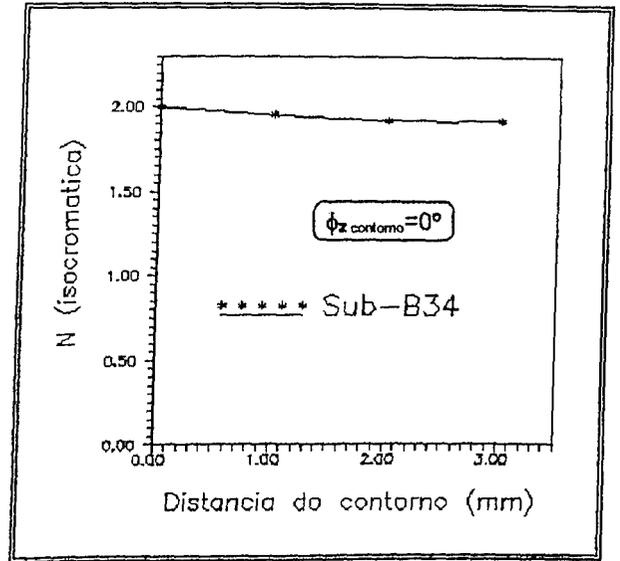
Sub-fatia 1 da fatia T3



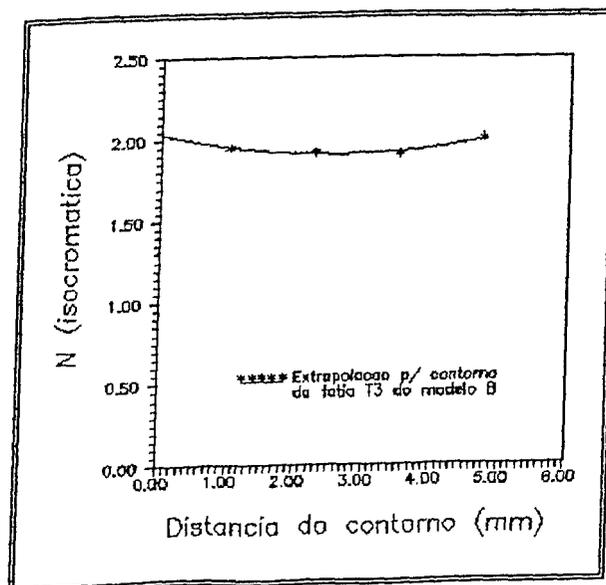
Sub-fatia 2 da fatia T3

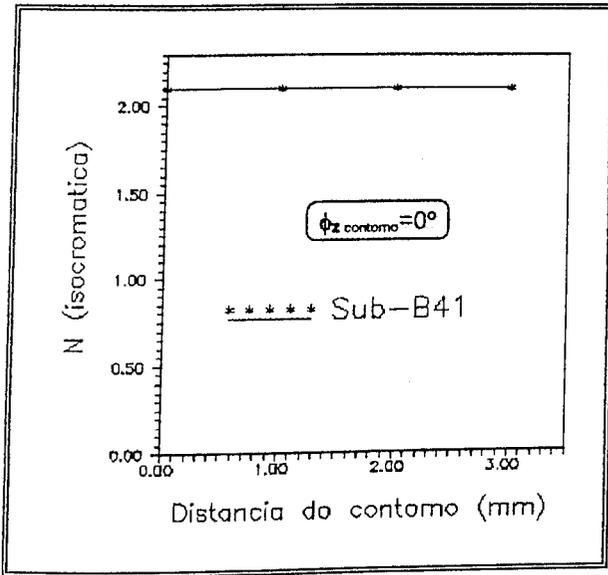


Sub-fatia 3 da fatia T3

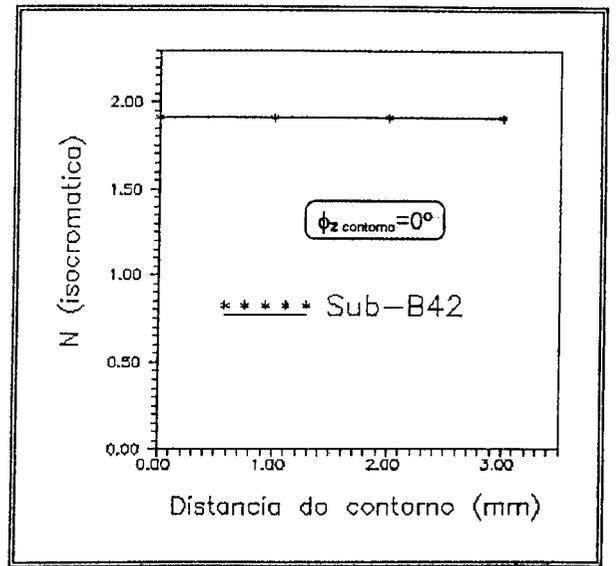


Sub-fatia 4 da fatia T3

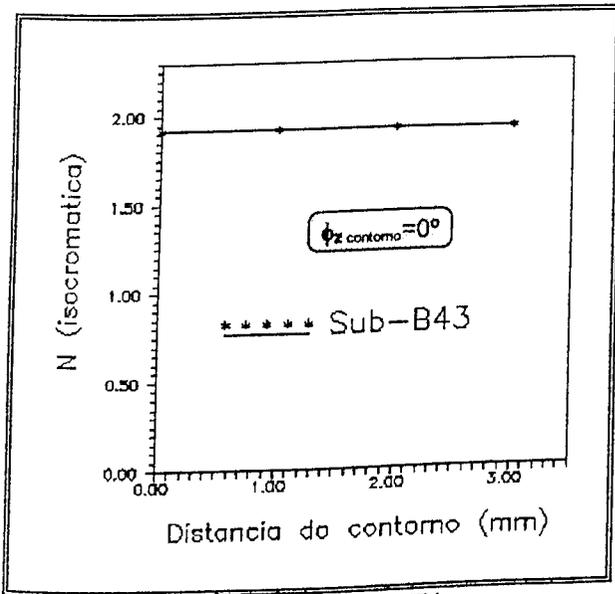




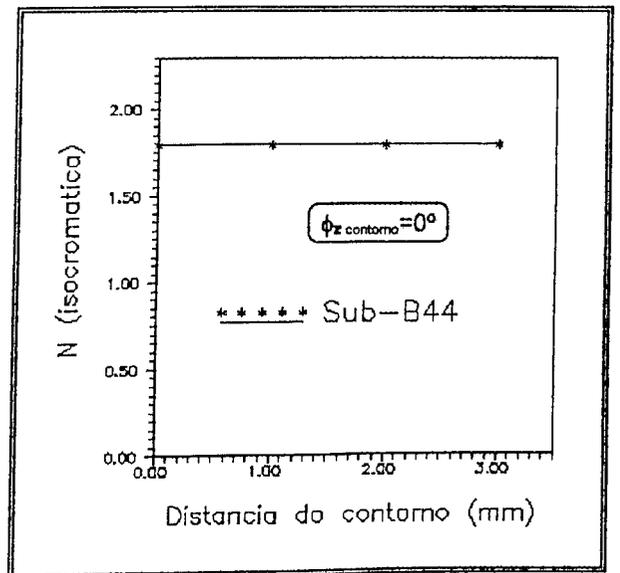
Sub-fatia 1 da fatia T4



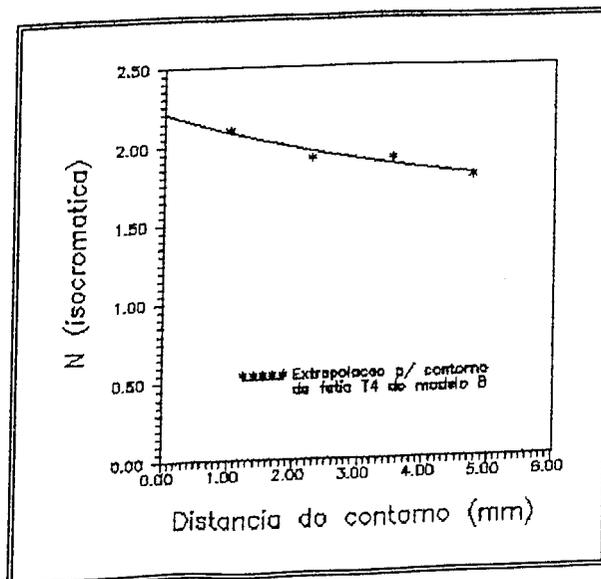
Sub-fatia 2 da fatia T4



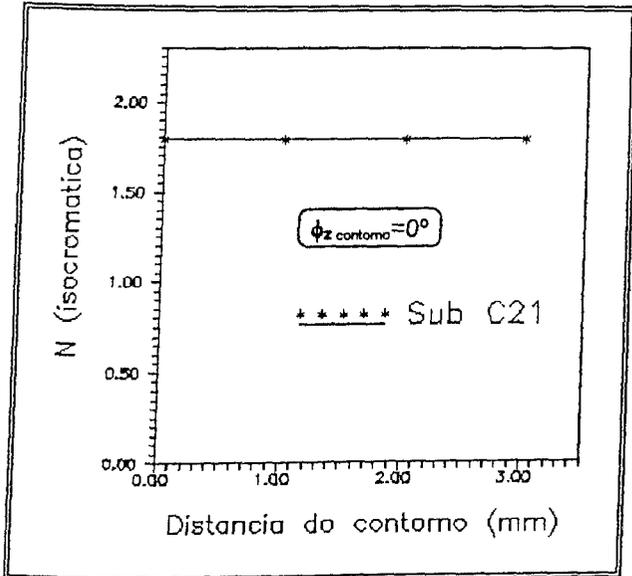
Sub-fatia 3 da fatia T4



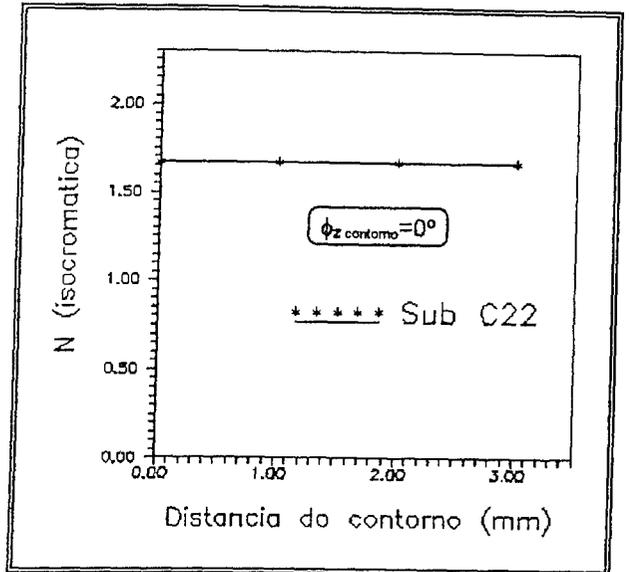
Sub-fatia 4 da fatia T4



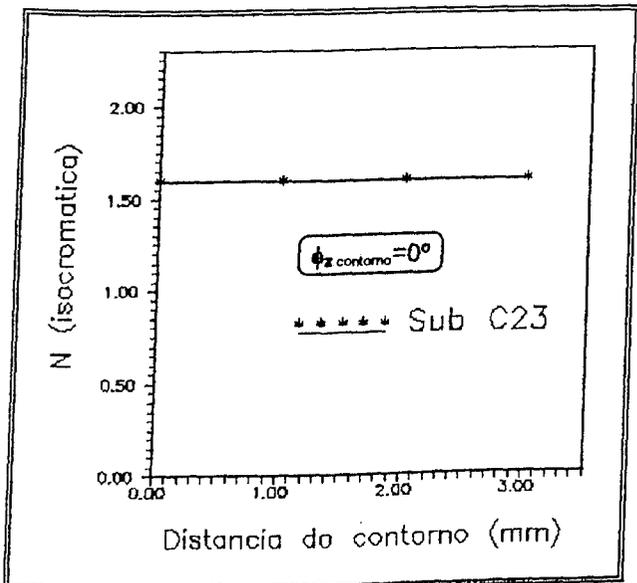
MODELO C



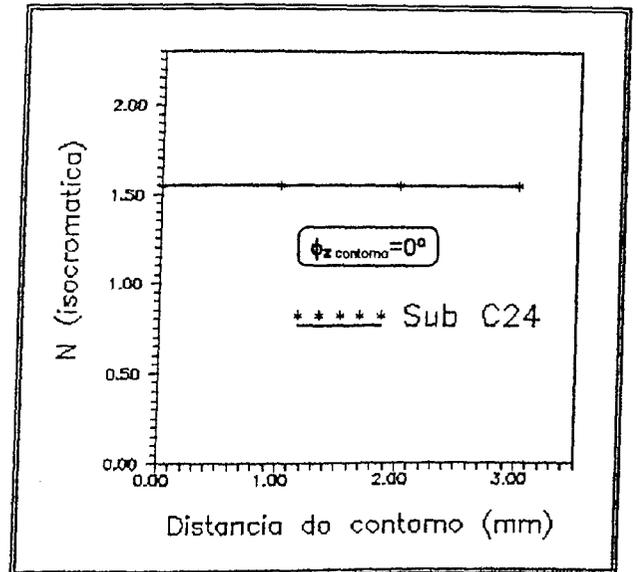
Sub-fatia 1 da fatia T1



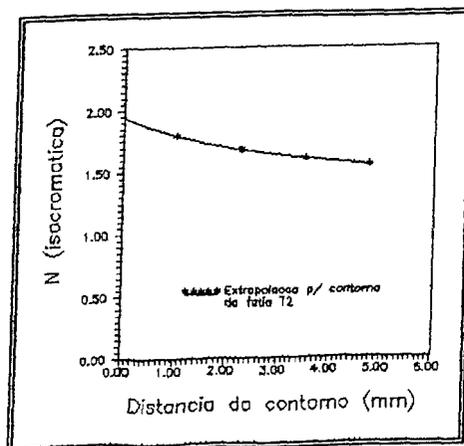
Sub-fatia 2 da fatia T1

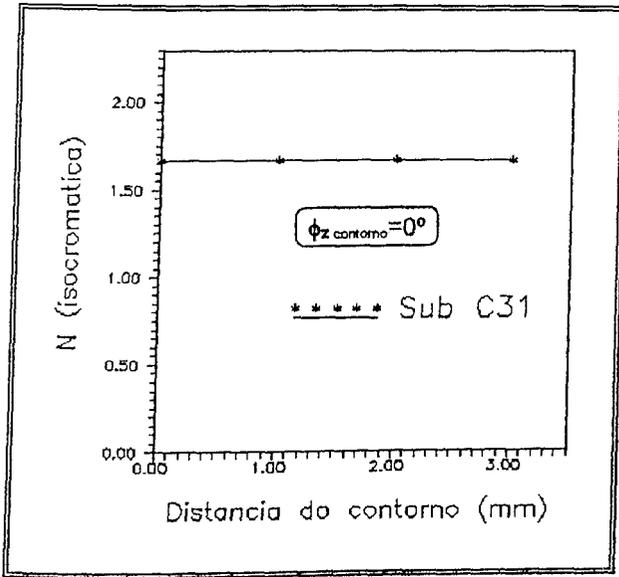


Sub-fatia 3 da fatia T1

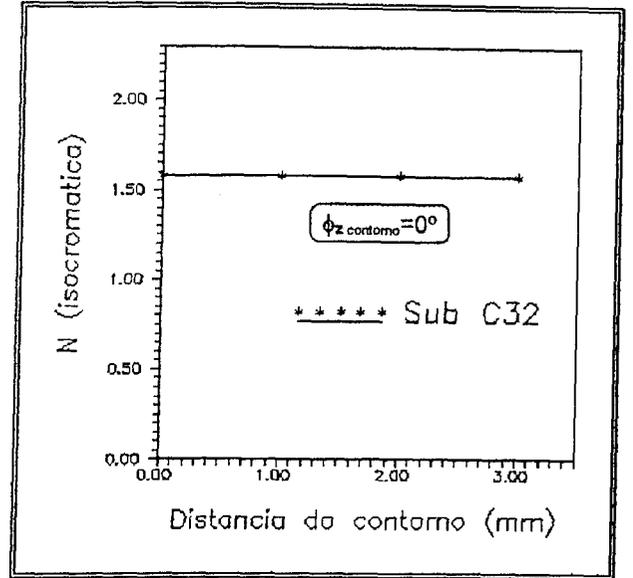


Sub-fatia 3 da fatia T1

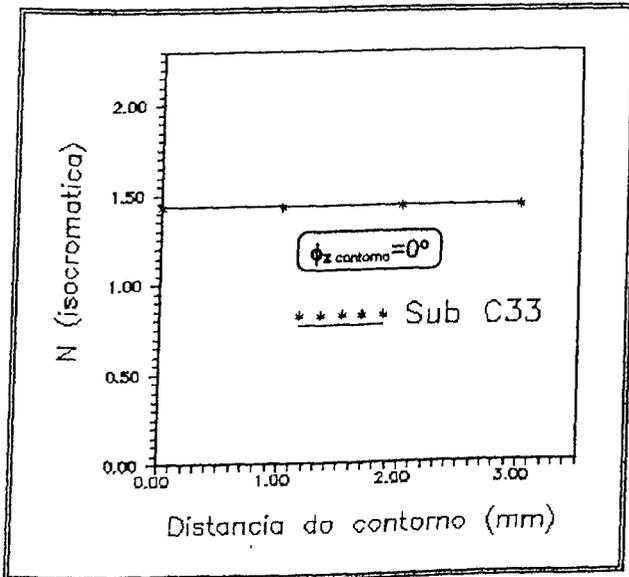




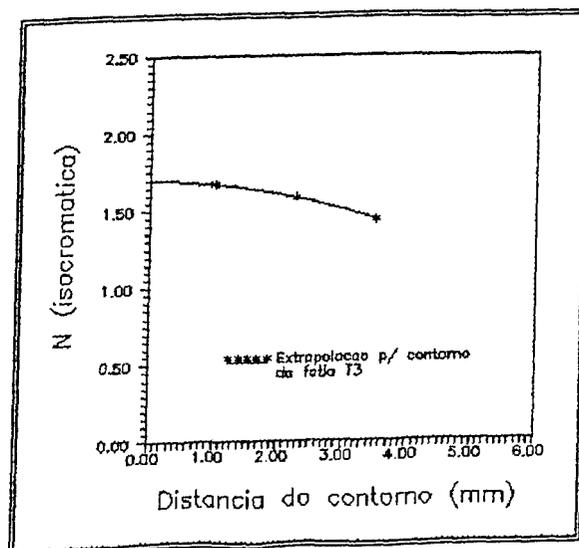
Sub-fatia 1 da fatia T3

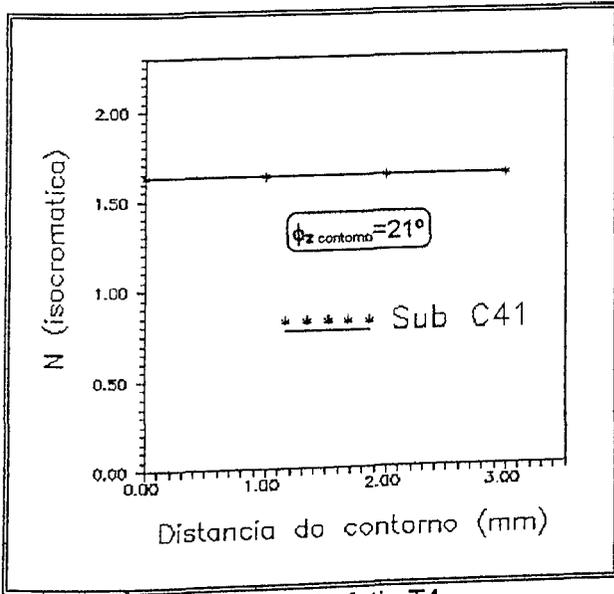


Sub-fatia 2 da fatia T3

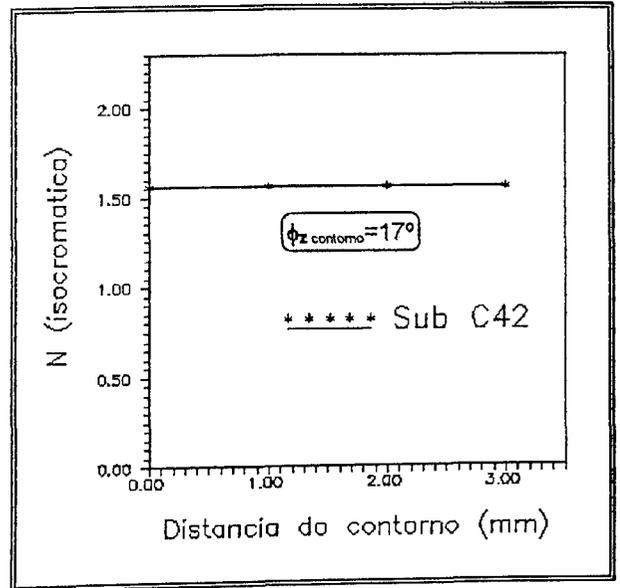


Sub-fatia 3 da fatia T3

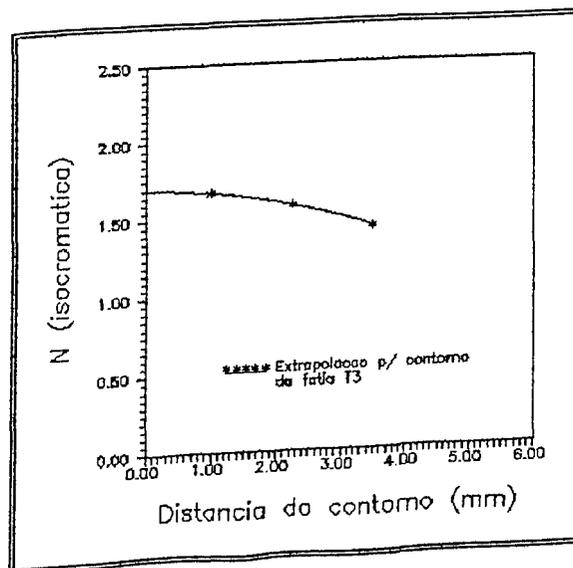




Sub-fatia da fatia T4

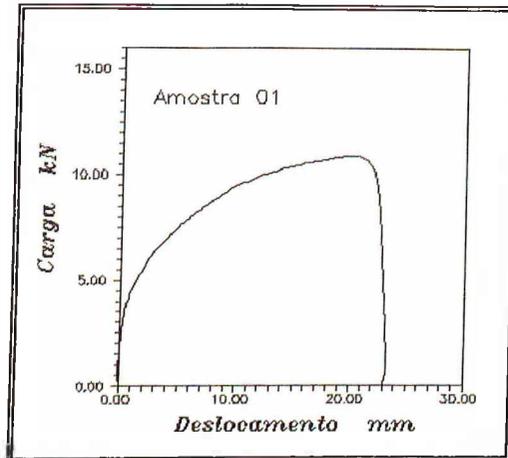


Sub-fatia 3 da fatia T1

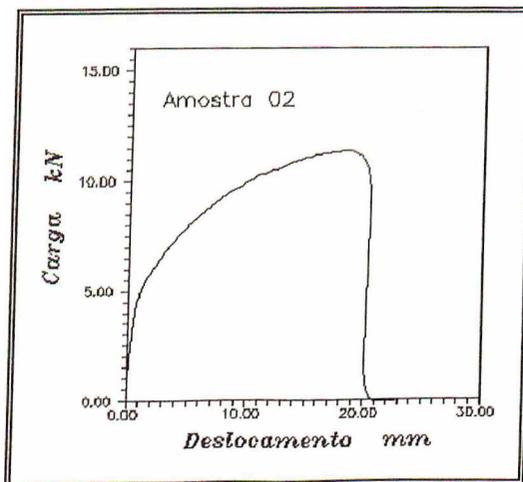


ANEXO IV

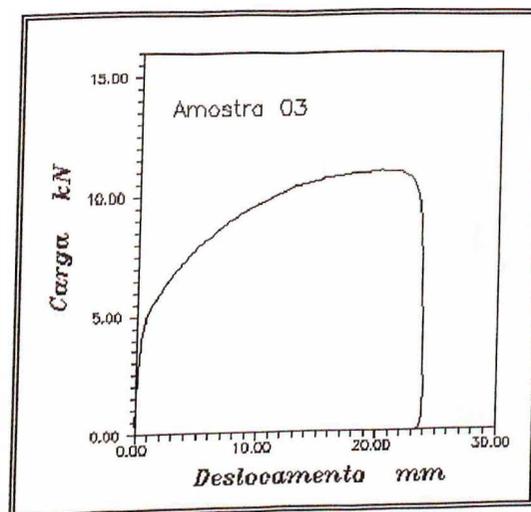
ENSAIOS DE TRAÇÃO DO LATÃO



σ_{RUPTURA} : 385 MPa



σ_{RUPTURA} : 402 MPa



σ_{RUPTURA} : 391 MPa

Média: 393 MPa