

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA ENSAIOS EM
EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA ENSAIOS EM
EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ELSON MIRANDA SILVA

RECIFE, NOVEMBRO DE 2005.

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA ENSAIOS EM
EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS**

ELSON MIRANDA SILVA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MATERIAIS E FABRICAÇÃO

ORIENTADOR: PROF. DR. SEVERINO LEOPOLDINO URTIGA FILHO

RECIFE, NOVEMBRO DE 2005.

A Deus.

“ É nas conseqüências dos erros que aprendemos a seqüência de fazer certo”

Walter Grando.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

À minha querida esposa Miriam Silva Torres, pela força, confiança e cooperação.

Aos meus amados filhos Samuel e Ester Miranda, por entenderem as muitas ausências; e a Gabriel, que ao nascer nos trouxe novos ânimos.

À minha Mãe, Lourdes Miranda, pelo começo.

Ao meu inesquecível pai, Raimundo Silva, cuja simples lembrança me encoraja a continuar sempre.

A todos os meus irmãos.

Ao meu orientador, Severino Leopoldino Urtiga Filho, pela paciência, colaboração e dedicação; e demais professores do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE.

Aos colegas do laboratório de Materiais Compósitos e de Mobilidade (Projeto Mini Baja) da UFPE, especialmente Paulo, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE pela oportunidade de cursar o mestrado.

À Cooperativa CML, especialmente Luciano, pelo apoio na construção do equipamento.

A Eliane Alves, pelo incentivo.

A Miriam Campos e seus filhos, meus irmãos.

José Raimundo e Jussara Coelho, sem palavras.

A Josias Horácio, pelos conselhos guiados por Deus, sem os quais não teria sido possível chegar até aqui.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um equipamento para ensaios de verificação de desempenho mecânico de embalagens plásticas flexíveis, na forma de sacos plásticos, segundo os requisitos da norma NBR 9191. O uso do equipamento pode contribuir para a adequação metrológica dessas embalagens, que têm apresentado desempenho mecânico aquém do mínimo recomendável para o uso seguro pela população. O INMETRO, através do seu Programa de Avaliação de Produtos, tem buscado chamar atenção dos setores envolvidos sobre a tendência generalizada de não conformidade desses produtos e suas conseqüências para a saúde da população. Embalagens com falhas podem permitir o contato dos usuários com conteúdos infecto-contagiosos nocivos à saúde humana. Ao longo de quase uma década realizou ensaios de verificação das embalagens (1996, 2003 e 2005) e os resultados foram todos não conformes.

Um dos principais fatores responsáveis por esses resultados é a ausência no mercado de um equipamento capaz de realizar os ensaios previstos na norma, que possa ser usado nas indústrias de transformação como controle de qualidade das embalagens. O equipamento proposto constitui uma alternativa para solução desse problema; uma vez que reúne em uma única unidade os dispositivos capazes de realizar os ensaios de verificação de desempenho mecânico previstos na norma. Sua estrutura compacta permite sua utilização tanto em plantas industriais como em laboratórios de certificação, pesquisa e desenvolvimento de produtos.

As influências das variáveis de processo de fabricação nas propriedades finais das embalagens flexíveis foram estudadas. A complexidade do processo mostra que pode ser extremamente difícil estabelecer um controle de qualidade eficaz sem haver a realização de ensaios mecânicos atrelados ao processo.

Ensaio realizados com embalagens de 30 e 50l evidenciaram a sensibilidade do equipamento no teste dessas embalagens, sendo possível detectar, principalmente, a influência de defeitos físicos superficiais sobre o desempenho mecânico das mesmas.

Foi possível prever que, com o uso do equipamento, os transformadores podem investigar, durante a produção, as causas de falhas decorrentes do processo e corrigi-las antes da liberação de lotes não conformes para o mercado.

Palavras-chave: 1. Engenharia Mecânica. 2. Embalagens Plásticas.
3. Metrologia.

ABSTRACT

This work had as objective the development of an equipment for testing of verification of mechanical performance of the flexible polymeric packaging, in the form of plastics bags, according to requisite of norm NBR 9191; in order to contribute with the measure adequacy of these packaging, that have presented unsatisfactory performances in the analyses made for the INMETRO (1996, 2003 and 2005) through its Program of Evaluation of Products. The equipment is endowed with the devices necessary to carry through all the tests foreseen in the norm and can in such a way be used in the industrial plants, in the permanent control of the quality of the packing, as in laboratories to searches, certification and development of products, contributing for inquiry and solution of the responsible causes for not conformity presented for the same ones.

The influences of the variable of process of manufacture in the final properties of the flexible packing and its consequences in the results presented for plastic bags when tested according to requisite of NBR 9191 had been studied and considered in the conception of the equipment.

Tests carried through with plastic bags of 30 and 50l had evidenced the sensitivity of the equipment in the test of these packing, having had been detected the influence of some physical defects, presented for some units, in the results obtained in performance verification.

With this it was possible to foresee that, from the results gotten through the equipment, in lease, the transforming ones of the industry of flexible plastic packing can more easily investigate the causes of decurrently imperfections of the process and adjust them before the release of not in agreement lots for the market.

It was possible to still foresee the possibility of implantation of an efficiently quality control system and certification of packaging, a time that manufacturers can use equipment with the same characteristics of those used for the laboratories of certification of products.

Key-words: 1. Mechanical Engineer. 2. Plastics Packaging.
3. Measurement.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Temperatura de transição dos polietilenos utilizados em embalagens plásticas.	9
Tabela 2.2 - Principais influências do grau de cristalinidade nas propriedades dos polímeros.	15
Tabela 2.3 – Efeitos de alterações nas propriedades dos polímeros.	16
Tabela 4.1- Problemas e causas em filmes de PEBD e PEBDL.	38
Tabela 4.2 - Problemas e Causas em Filmes PEAD.	41
Tabela 5.1- Requisitos e objetivos do equipamento de ensaios segundo a NBR 9191.	50
Tabela 5.2- Características técnico-construtivas do sistema de levantamento de cargas.	51
Tabela 5.3 - Características técnico-construtivas do sistema de verificação de resistência à queda livre.	52
Tabela 5.4 - Características técnico-construtivas do sistema de verificação de resistência à perfuração estática.	52
Tabela 5.5 - Características técnico-construtivas do sistema de verificação da estanqueidade.	52
Tabela 5.5 - Características técnico-construtivas do sistema de verificação de	

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1- Estrutura em camadas de cadeias dobradas de um polímero cristalino - esferulito. (Calister, W.D. Jr, 2001). 8
- Figura 2.2- Representação esquemática do detalhe da estrutura de um esferulito. (Calister, W.D.Jr, 2001). 11
- Figura 2.3- Estágios de deformação de um polímero semicristalino. (Schultz, 1974). 13
- Figura 3.1- Fluxo dos principais estágios da obtenção das embalagens plásticas flexíveis. (IMAGES GOOGLE, 2005). 18
- Figura 3.2- Elementos do processo de extrusão por balão. 19
- Figura 4.2- Fase inicial do processo polimerização do PE. 27
- Figura 4.3- Fase de crescimento da cadeia polimérica do PE. 27
- Figura 4.4- Representação da molécula de polietileno: (a) Representação linear; (b) Representação tridimensional.(BRENT, 2000). 28
- Figura 4.5- Aspecto do polietileno comercial – resina sólida (IMAGE GOOGLE,2005). 28
- Figura 4.6- Esquema da degradação térmica de uma cadeia de polietileno durante o processo de extrusão da resina. 30
- Figura 4.7- Sistema de balança mostrando as relações existentes entre as propriedades do PE e a variação da densidade. 31
- Figura 4.8- Sistema de balança mostrando as relações existentes entre as propriedades do PE e a variação do peso molecular. 31
- Figura 4.9- Sistema de balança mostrando as relações existentes entre as propriedades do PE e a variação do peso molecular. 32
- Figura 4.10- Regiões de tipos de fluxos no processo de extrusão por balão. (Adaptado de Guerrini et al., 2004). 35
- Figura 4.11- (a) Filme com elevado nível de orientação: apresenta basicamente uma única direção de maior resistência à tração – DF (direção transversal – direção da espessura do filme); (b) Filme com baixo nível de orientação: maior número de direções com maiores níveis de resistência à tração. (Adaptada de Godshall & Wilkes, 2003). 36
- Figura 4.12- Detalhe das lamelas com indicação da direção de maior resistência à tração. 37
- Figura 5.1- Fotografia do equipamento para ensaios em embalagens plásticas flexíveis segundo a NBR 9191. 48
- Figura 5.2- Desenho esquemático do equipamento para ensaios em embalagens plásticas flexíveis segundo a NBR 9191. 49
- Figura 5.3- Motor elétrico de indução trifásico. 53
- Figura 5.4- Quadro de comando elétrico. 53

- Figura 5.5- Redutor mecânico de velocidades. 53

x

- Figura 5.6- Dispositivo padronizado para levantamento disparo de embalagens. 53
- Figura 5.7- Garra mecânica para levantamento e disparo de embalagens. 54
- Figura 5.8- Plataforma para sustentação e lançamento de embalagens. 54
- Figura 5.9- Dispositivo padronizado de perfuração estática de filmes. 54
- Figura 5.10- Câmara de Inspeção visual de transparência de filmes plásticos. 54
- Figura 5.11- Figura de referência para Inspeção visual da transparência de filmes. 54
- Figura 5.12- Seqüência das principais etapas do ensaio de verificação da resistência à queda realizado no equipamento com fotografia de uma embalagem imediatamente após a queda. 55
- Figura 5.13- Seqüência das principais etapas do ensaio de verificação da estanqueidade realizado no equipamento com fotografia de uma embalagem durante o teste. 56
- Figura 5.14- Seqüência das principais etapas do ensaio de verificação da estanqueidade realizado no equipamento com fotografia de uma embalagem durante o teste. 57
- Figura 5.15- Seqüência das principais etapas do ensaio de verificação da resistência à perfuração estática realizado no equipamento com fotografia de uma embalagem durante o teste. 58
- Figura 5.16- Embalagem durante ensaio de verificação transparência. 60
- Figura 5.17- Rompimento na direção de fabricação - Embalagem estourada no ensaio de queda. 61
- Figura 5.18- Rompimento em ponto localizado - Embalagem estourada no ensaio de queda. 61
- Figura 5.19- Embalagem sob esforço de tração durante ensaio de levantamento. 62
- Figura 5.20- Embalagem estourada no ensaio de queda. 62
- Figura 5.21- Embalagem durante ensaio de verificação da estanqueidade. 63
- Figura 5.22- Embalagem durante ensaio de verificação da resistência à perfuração estática. 63

ABREVIATURAS

INMETRO	- Instituto Nacional de metrologia.
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANVISA	- Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
DPDC	- Departamento de Proteção e Defesa do Consumidor.
RSS	- Resíduos de serviços de saúde.
T_g	- Temperatura de transição vítrea de polímeros.
T_m	- Temperatura de fusão de polímeros.
NBR	- Norma brasileira.
μm	- Micrômetro.
mm	- Milímetro.
PM	- Peso molecular.
DPM	- Distribuição de peso molecular.
UV	- Ultravioleta.
PE	- Polietileno.
PEAD	- Polietileno de alta densidade.
PEAD-APM	- Polietileno de alta densidade alto peso molecular.
PEBD	- Polietileno de baixa densidade.
PELBD	- Polietileno linear de baixa densidade.
PELUBD	- Polietileno linear de ultra baixa densidade.
PEUAPM	- Polietileno de ultra alto peso molecular.
BUR	- Razão de sopro.
Dr	- Razão de estiramento.
Z	- Linha de congelamento.
DF	- Direção de fabricação.
DT	- Direção transversal.
MIG	- Melt inert gas.
IPT - SP	- Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo.
COMLURB-RJ	- Companhia de Limpeza Urbana - Rio de Janeiro.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Apresentação do Problema e Motivação	2
1.2 Objetivos	4
1.3 Apresentação	5
2. EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS DE POLIETILENO	6
2.1 Introdução	7
2.2 Conceitos Fundamentais relacionados às Propriedades Mecânicas das Embalagens Plásticas Flexíveis	7
3. EXTRUSÃO POR SOPRO DE FILMES DE POLIETILENO	17
3.1 Introdução	18
3.2 Processo de Extrusão por Balão de Filmes de Polietileno	19
4. PRINCIPAIS INFLUÊNCIAS NAS PROPRIEDADES FINAIS DAS EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS	25
4.1 Introdução	26
4.2 Influências da Matéria-prima	26
4.3 Influência das Variáveis de Processo	33
4.4 Influência de Falhas e Defeito nos Equipamentos de Processamento	38
5. CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO DE ENSAIOS SEGUNDO A NBR 9191	46
5.1 Introdução	47
5.2 Apresentação do Equipamento	48
5.3 Elementos de Concepção e Construção	49
5.4 Características Técnico-construtivas	50
5.5 Princípios de Funcionamento dos Dispositivos na Realização dos Ensaios	55
5.6 Características Gerais do Equipamento	59
5.7 Testes dos Dispositivos e Resultados Finais	59
6. CONCLUSÕES	67
7. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	70
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
9. ANEXOS	

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Problema e Motivação

A valorização de produtos seguros e as leis de proteção ao consumidor são responsáveis pela exigência de controles de qualidade mais rigorosos por parte de fabricantes de embalagens plásticas flexíveis. Sem esses controles, podem sofrer prejuízos financeiros além de expor a população a riscos de contaminação pelo uso de embalagens não conformes. A queda nas vendas de embalagens identificadas como de baixa qualidade podem exercer significativos impactos comerciais pela desvalorização da marca. Por outro lado, usuários podem mover ações junto aos órgãos de defesa ao consumidor ao se sentirem prejudicados, de alguma forma, pelo mau desempenho das mesmas. Os órgãos de fiscalização de produtos, por sua vez, podem punir fabricantes que produzam unidades que não atendam aos requisitos mínimos estabelecidos para o uso seguro pela população.

O INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia – analisa desde 1996 a qualidade das embalagens na forma de sacos plásticos para acondicionamento de lixo por serem utilizados em larga escala pela população, estando assim diretamente relacionadas com a saúde, segurança do usuário e com a proteção do meio ambiente. As embalagens apresentaram resultados não conformes de desempenho em todas as ocasiões em que foram avaliadas: 1996, 2003 e 2005 (INMETRO 1, 2005).

Os resultados das análises foram divulgados através da mídia (revistas especializadas, jornais e pelo programa Fantástico da Rede Globo de televisão) propiciando aos consumidores o conhecimento das marcas de desempenhos insatisfatórios.

Em outubro de 1996, na primeira análise, foram testadas 10 marcas de 07 fabricantes; sendo 05 marcas com capacidade de 30 litros e 05 marcas com capacidade de 100 litros. Nesta análise foram selecionadas apenas marcas presentes nos estabelecimentos comerciais do Rio de Janeiro e foram ensaiados segundo a norma da ABNT NBR 9191 - Sacos plásticos para acondicionamento de lixo – Requisitos e métodos de ensaio. Os resultados foram insatisfatórios para maioria das marcas analisadas (INMETRO 2, 2003).

Houve uma grande reação por parte dos fabricantes após a divulgação dos resultados no “Fantástico”, que criticaram a norma julgando-a demasiadamente rigorosa e impossível de ser cumprida. Iniciou-se um longo período de revisão da mesma culminando com a publicação da edição revisada em setembro de 2002.

Logo após edição da norma revisada, a ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - adotou a NBR 9191 como referência para a análise de embalagens destinadas ao acondicionamento de lixo infectante através de uma portaria publicada no Diário Oficial da União, em março de 2003 (ANVISA, 2003). A portaria estabeleceu que todas as embalagens plásticas destinadas ao uso em hospitais, clínicas, consultórios, laboratórios, necrotérios, frigoríficos e outros estabelecimentos que geram os chamados RSS (Resíduos de Serviços de Saúde) têm que atender rigorosamente aos critérios da norma.

A portaria da ANVISA foi publicada objetivando minimizar os riscos aos quais são submetidos os profissionais de serviços de coleta ao manusearem embalagens sem as garantias mínimas necessárias ao manuseio seguro - no Brasil são geradas cerca de 120 mil toneladas de lixo urbano diariamente, um a três por cento deste total é originado em estabelecimentos de saúde, e destes, 10 a 25 % representam risco de contaminação (ANVISA, 2003).

Embalagens foram analisadas pelo INMETRO em Julho de 2003, logo após a publicação da portaria da ANVISA. Nessa análise todas as marcas foram reprovadas. Foram 18 marcas de sacos de lixo de 11 fabricantes, sendo 10 marcas com capacidade de 30 litros e 08 marcas com capacidade de 100 litros.

Os resultados das análises foram enviados para o Departamento de Proteção e Defesa do Consumidor – DPDC, do Ministério da Justiça, e para os Ministérios Públicos dos Estados onde estão localizados os fabricantes analisados, para que fossem promovidas as ações judiciais pertinentes ao mau desempenho dos produtos (INMETRO 3, 2003).

O INMETRO realizou uma terceira análise dos sacos plásticos em setembro de 2005. As embalagens comercialmente conhecidas como “marcas próprias de supermercados”, foram selecionadas e todas as marcas foram reprovadas (INMETRO 4, 2005).

Os relatórios do INMETRO apontam para uma tendência de não conformidade generalizada no setor, atribuindo esse mau desempenho à resistência dos transformadores na aceitação dos critérios da norma. Os fabricantes, por sua vez, atribuem ao rigor dos critérios da norma a principal dificuldade de adequação normativa dos seus produtos.

A influência da matéria-prima, equipamentos e variáveis de processo nas propriedades finais das embalagens plásticas flexíveis podem apontar para um fator que difere das posições apresentadas: possivelmente a alta susceptibilidade dessas embalagens aos efeitos térmicos, de cisalhamento e de outras naturezas, durante seu processamento, e a ausência de um controle contínuo de qualidade nas plantas industriais, sejam os principais responsáveis por esses resultados.

Os sacos plásticos são obtidos por meio das operações de corte e termosoldagem de filmes plásticos em forma de tubos. Estes, por sua vez, são obtidos por processo de extrusão por balão de resinas poliméricas. A natureza estritamente agressiva das solicitações mecânicas sofridas pela resina durante esse processamento pode induzir falhas nos filmes obtidos e, conseqüentemente, nas embalagens acabadas. Assim, possivelmente os fatores apontados abaixo exercem papel mais expressivo na deficiência apresentada pelas embalagens:

- 1) Inexistência no mercado de um equipamento de ensaios capaz de realizar as verificações requeridas na NBR 9191 e que possa ser utilizado nas plantas industriais para controle de qualidade das embalagens;
- 2) Elevado tempo na resposta de ensaios, devido à dificuldade de acesso a laboratórios especializados (apenas o IPT - Instituto de Pesquisa do Estado de São Paulo – e o Laboratório de Pesquisas Aplicadas da COMLURB – RJ, têm realizado os ensaios em sacos plásticos segundo a NBR 9191) (INMETRO 1, 2005);
- 3) Dificuldade em implementar metodologias de verificação de desempenhos das embalagens, de modo que as correções necessárias possam ser implementadas antes da liberação de lotes não conformes para o mercado.

As principais conseqüências desses fatos são:

- As variáveis ideais de fabricação não podem ser estabelecidas e monitoradas uma vez que não há a devida retroalimentação do processo de fabricação.

- O não uso de equipamentos de ensaio leva os transformadores a dependerem de análises feitas por laboratórios muitas vezes distantes. Grandes quantidades de embalagens com defeitos podem ser produzidas e liberadas para o mercados até o retorno dos resultados de lotes não conformes.

- Pode ser extremamente difícil controlar a qualidade das embalagens plásticas flexíveis sem que sejam avaliadas sistematicamente as propriedades de desempenho mecânico. Já que uma pequena alteração em uma das variáveis de processo pode influenciar diretamente as propriedades finais das mesmas.

Metodologias validadas de ensaios aplicadas a unidades representativas de lotes de produção podem garantir, com elevados níveis de segurança, a liberação para comercialização de produtos em conformidade com os requisitos da norma.

Desse modo, a construção de um equipamento capaz de ensaiar as embalagens plásticas segundo a NBR 9191, pode constituir-se um primeiro passo na direção da melhoria contínua desses produtos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um equipamento de ensaios para verificação de desempenho mecânico de embalagens plásticas flexíveis segundo os critérios da norma NBR 9191.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar a teoria do comportamento das embalagens plásticas flexíveis segundo a influência das características da matéria-prima, em particular do polietileno, dos equipamentos e das variáveis de processo de fabricação;

- Construir equipamento para ensaios de verificação de desempenho mecânico de embalagens plásticas, conforme os requisitos da NBR 9191, para verificação da conformidade no atendimento dos requisitos referentes a:
 - Resistência ao levantamento de cargas com velocidade controlada;
 - Resistência à queda das embalagens com carga padronizada;
 - Resistência à perfuração estática através de dispositivo padronizado;
 - Estanqueidade das embalagens;
 - Verificação da transparência dos filmes plásticos;

1.3 Apresentação

Este trabalho apresenta como principais tópicos:

- *Um estudo da matéria-prima (resinas de polietileno, aditivos e outros componentes), processo de fabricação (extrusão de filmes soprados) e dos equipamentos (extrusoras e equipamentos auxiliares), apontado suas influências nas propriedades finais das embalagens plásticas flexíveis.*
- *Um estudo do desempenho mecânico das embalagens obtidas a partir de filmes soprados de polietileno, por serem as desse tipo as mais difundidas no mercado.*
- Um equipamento, de forma construtiva compacta, de fácil instalação e operação, capaz de realizar todos os ensaios de verificação de desempenho mecânico previstos na NBR 9191.

2. EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS DE POLIETILENO

2.1 Introdução

Embalagens plásticas flexíveis são as embalagens obtidas a partir de filmes plásticos flexíveis de espessura inferior a 250 µm que tomam, normalmente a forma do conteúdo acondicionado na mesma. Esta classificação engloba os sacos ou sacarias plásticas, embalagens auto-sustentáveis (*stand up pouches*), bandejas flexíveis, filmes flexíveis, encolhíveis (*shrink*) e esticáveis (*stretch*), etc. (Sarantopoulos *et al.*, 2002). Já as embalagens flexíveis obtidas a partir de filmes soprados de polietileno são os filmes flexíveis em forma de bobinas, e as embalagens na forma acabada de sacos ou sacolas plásticas (ver ANEXO II – Embalagens plásticas flexíveis – Caracterização física e dimensional).

A realização de ensaios mecânicos atrelados ao processo produtivo de embalagens pode fornecer informações importantes sobre o desempenho real de embalagens em aplicações práticas. Isto é necessário uma vez que as propriedades dessas embalagens são extremamente susceptíveis à influência das variáveis de processamento como temperatura e pressão.

Fatores externos como tempo e velocidade de carregamento, níveis e tipos de solicitações mecânicas, variáveis ambientais como a umidade e temperatura, induzem diferentes comportamentos nas embalagens. No entanto, resultados confiáveis de ensaios podem fornecer informações para estabelecimento de fatores de segurança para fabricação que assegurem o desempenho real requerido.

Esse capítulo apresenta a teoria da principais propriedades mecânicas das embalagens plásticas flexíveis e os fundamentos das metodologias dos ensaios mecânicos aplicados nas suas avaliações.

2.2 Conceitos Fundamentais Relacionados às Propriedades Mecânicas das Embalagens Plásticas Flexíveis

Os conceitos apresentados a seguir são de fundamental importância para o estudo das propriedades mecânicas das embalagens plásticas.

Estrutura molecular dos Polímeros

As propriedades mecânicas das embalagens plásticas flexíveis são diretamente relacionadas com a estrutura molecular do polímero base. A forma como as moléculas se arrumam para formarem as cadeias poliméricas e da maneira como essas cadeias interagem entre si respondem por propriedades como resistência à tração, rasgo e perfuração. Em função disto, essas propriedades são altamente sensíveis à natureza química e física das cadeias que compõem o polímero.

Peso Molecular

Nos processos industriais de polimerização há uma variação entre os pesos moleculares das moléculas. Além disso, podem ocorrer degradações da resina pela quebra das cadeias que afetam diretamente o peso molecular do polímero base. Desse modo, a distribuição de peso molecular pode sofrer um alargamento pelo aumento da dispersão de pesos moleculares devido o surgimento de cadeias

com novos tamanhos. O alargamento dessa distribuição pode provocar também alterações nas propriedades mecânicas das embalagens plásticas flexíveis.

Densidade

A densidade de um polímero é a medida da quantidade de massa de material polimérico por unidade de volume desse material. É usualmente dada em g/cm^3 e é um importante indicativo das condições de compactação das moléculas dentro da estrutura do polímero.

A densidade é diretamente afetada pela degradação da resina polimérica. Uma maior compactação de cadeias é possível durante o resfriamento da resina fundida caso ocorra a diminuição dos tamanhos das moléculas pela quebra das cadeias principais e ou ramificações em processos de degradação.

Cristalinidade

Uma grande parte das propriedades finais de um polímero é influenciada pela sua cristalinidade. Esta por sua vez, é determinada por vários fatores de natureza química e estrutural do polímero base. Parte das moléculas poliméricas não consegue se alinhar, durante o resfriamento, por possuírem cadeias muito longas evitando a completa cristalização do polímero.

Nos plásticos, a cristalinidade consiste em milhares de microrregiões cristalinas rodeadas por regiões desordenadas e amorfas. As áreas ordenadas são denominadas cristalitos e as desordenadas de amorfas. Quando o polímero é resfriado lentamente, pode ocorrer a formação de agregados de cristalitos esféricamente simétricos denominados esferulitos (figura 2.1)

Alguns fatores favorecem a cristalinidade nos polímeros (Calister, 2001): alto peso molecular; distribuição de peso molecular estreita; linearidade da cadeia polimérica; baixa velocidade de resfriamento; presença de cargas, pigmentos e impurezas.

A cristalinidade também é reduzida nos polímeros que apresentam elevado grau de ramificações nas suas cadeias principais porque reduzem a possibilidade de alinhamento entre as cadeias. Além disso, a presença dessa ramificações determina o grau de cristalização, as temperaturas de transição e afeta parâmetros cristalográficos tais como tamanho dos cristalitos (Pereira *et al.*, 1997; Bilmeyer, 1984), cujos conceitos serão abordados adiante.

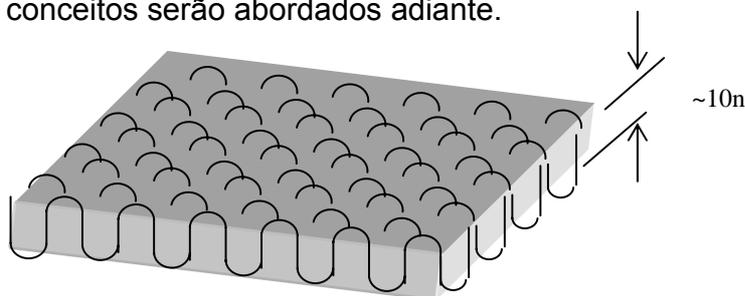


Figura 2.1 – Estrutura em camadas de cadeias dobradas de um polímero cristalino - esferulito. (Calister,2001).

Transições Físicas

As temperaturas de processamento podem afetar as características térmicas e termodinâmicas dos polímeros plásticos, influenciando as propriedades das embalagens plásticas flexíveis.

Temperaturas suficientemente elevadas podem promover a decomposição térmica do material. Além disto, as regiões cristalinas e não cristalinas apresentam comportamentos diferentes quanto a transições físicas o que leva a maioria dos polímeros apresentarem transições complexas associadas a estas regiões. Neste sentido é importante considerar o comportamento dos polímeros quando submetidos aos processos de cristalização, fusão e fenômeno de transição vítrea, que são fenômenos comuns às resinas poliméricas durante o processo de obtenção das embalagens.

Cristalização é o processo no qual se dá a produção de uma fase polimérica sólida ordenada, ou seja, cristalina, pelo resfriamento de uma matriz polimérica de estrutura molecular altamente desordenada, na forma de fundido. A fusão cristalina é o processo inverso que ocorre quando o polímero é aquecido.

O fenômeno de transformação vítrea ocorre na porção amorfa do polímero semicristalino, que quando resfriada torna-se uma região sólida rígida, mantendo sua estrutura molecular desordenada que é característica do estado líquido; podendo ser considerado como líquido congelado (ou sólidos amorfos).

As temperaturas nas quais ocorrem a fusão e transformação vítrea são denominadas de temperatura de fusão (T_m) e de transição vítrea (T_g) respectivamente.

As mudanças estruturais são acompanhadas de alterações das propriedades físicas e mecânicas dos polímeros. Essas alterações se refletem diretamente nas propriedades finais dos filmes e das embalagens na forma sacos e sacolas.

A tabela 2.1 apresenta temperaturas de transição dos polietilenos de maior uso na fabricação de embalagens plásticas.

Tabela 2.1 - Temperatura de transição dos polietilenos utilizados em embalagens plásticas.

Polímero	Temperaturas de transição*	
	$T_g(^{\circ}\text{C})^*$	$T_m(^{\circ}\text{C})$
Polietileno de alta densidade – PEAD	- 90	137
Polietileno de baixa densidade – PEBD	- 25	98

(*) (Sarantopoulos *et al*, 2002; Calister, 2001).

Propriedades de Resistência à Tração nos Polímeros

As propriedades mecânicas dos polímeros plásticos são especificadas usando muitas das mesmas especificações usadas nos metais. Módulo de elasticidade, resistência à tração e ao impacto, por exemplo, podem ser avaliadas por meio de curvas tensão–deformação como nos metais, com algumas adaptações nas técnicas e configurações das amostras.

A NBR 9191 utiliza o método de inspeção por atributos. Assim, as propriedades mecânicas de resistência à tração são avaliadas, indiretamente, pela verificação da resistência das embalagens em ensaios de levantamento e queda (ANEXO 1 – NBR 9191 Comentada).

A metodologia descrita na norma estabelece o levantamento de cargas de prova padronizadas com velocidade controlada para verificação dos esforços de tração na direção de fabricação. O ensaio de queda, a partir de alturas padronizadas, é utilizado para se analisar a resistência da embalagem aos esforços de tração na direção transversal.

Nos dois ensaios a massa da carga de prova é proporcional à capacidade volumétrica das embalagens. A inspeção através do método “passa-não-passa” verifica o atendimento das embalagens aos requisitos mínimos previstos na norma.

As propriedades mecânicas são altamente sensíveis às temperaturas e às condições químicas de processamento. A presença de água, oxigênio, solventes orgânicos e outros elementos nos processos de polimerização da resina ou nos processos de transformação dos produtos plásticos provocam modificações nas características dos processos e alteram, sensivelmente, as propriedades mecânicas da resina ou do produto final (Carswell & Nason, 1944).

Mecanismos de Deformação dos Polímeros Semicristalinos

As embalagens plásticas são obtidas a partir da fusão de resinas poliméricas, de estrutura semicristalina, contendo esferulitos, que são numerosas cadeias poliméricas na forma de fitas dobradas, ou lamelar, que se irradiam a partir de um ponto central para o exterior. A área lamelar se encontra separada por um material amorfo; lamelas adjacentes são interligadas por cadeias em forma de tiras que passam através da região amorfa. Esta estrutura está representada na figura 2.2.

O mecanismo de deformação plástica desses materiais pode ser descrito pela interação entre as lamelas e região amorfa em resposta a uma tensão aplicada. Este processo ocorre em diversos estágios, que são esquematicamente representados na figura 2.3.

A deformação se dá a partir de duas lamelas adjacentes e o material interlamelar amorfo (figura 2.3.a). Durante o estágio inicial de deformação (figura 2.3.b), as lamelas simplesmente deslizam uma sobre as outras ao passo que as cadeias, em forma de tiras, vão se distendendo no interior da região amorfa. A deformação continua no segundo estágio onde ocorre uma inclinação das cadeias dobradas (lamelas) de modo a se alinharem com a direção do eixo da tensão aplicada (figura 2.3.c).

A partir daí, as lamelas são segmentadas em blocos cristalinos, porém permanecendo interligados, umas às outras, pelas cadeias em forma de tiras (figura 2.3.d). No estágio final (figura 2.3.e), os blocos e as cadeias em tiras tornam-se orientadas na direção do eixo de aplicação da tensão. A deformação de polímeros por aplicação de tensão produz estruturas altamente orientadas. Os esferulitos, durante estes processos, também sofrem mudanças na sua forma.

As características das embalagens plásticas estão sujeitas a modificações. Um aumento de resistência pode resultar de algum tipo de restrição ao processo descrito na figura 2.3. Por exemplo, o aumento do grau de ligações cruzadas (*crosslinking*) entre cadeias inibirá o deslocamento relativo entre as mesmas, aumentando a rigidez do polímero, tornando-o mais frágil.

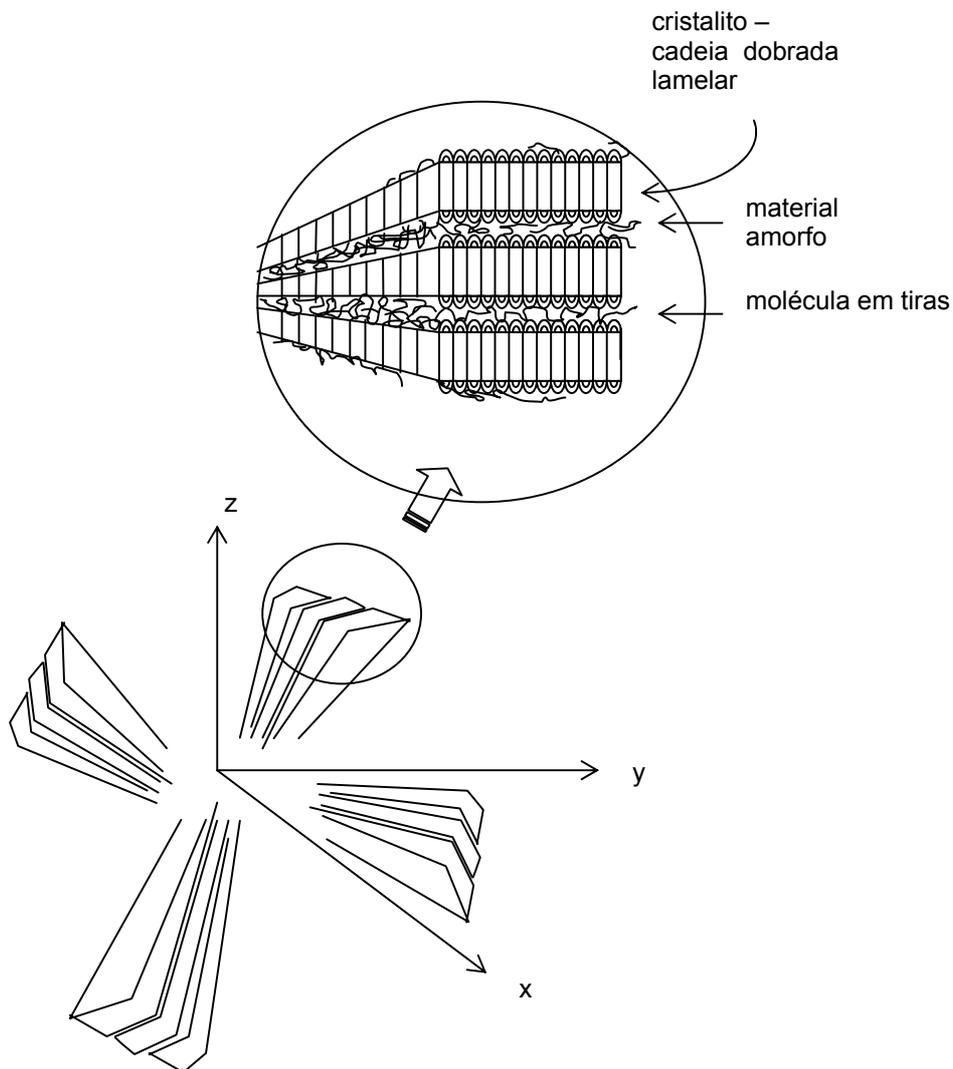


Figura 2.2 – Representação esquemática do detalhe da estrutura de um esferulito. (Calister, 2001).

Ligações cruzadas podem ser promovidas por degradações da resina polimérica provocadas pelo efeito indesejado de algumas variáveis de processo como temperaturas, pressões elevadas e elevados níveis de cisalhamento. As cadeias e ou ramificações laterais podem ser quebradas e tornando-se potencialmente ativas para servirem de elos de ligação entre cadeias adjacentes através de ligações covalentes.

Embora as ligações intermoleculares secundárias (exemplo, Van der Waals) sejam muito mais fracas que as ligações primárias covalentes, elas podem ser efetivas para inibir o deslocamento relativo de cadeias poliméricas. De fato, as propriedades mecânicas dos polímeros são altamente dependentes da magnitude dessas forças intermoleculares.

Para um polímero específico, o grau de cristalinidade pode ter uma influência significativa nas propriedades mecânicas dependendo do nível de forças secundárias existentes. Em regiões cristalinas onde moléculas são empacotadas em arranjos paralelos e ordenados, as ligações secundárias exercem forte influência entre os segmentos de cadeias adjacentes. Esta influência é menos significativa em regiões amorfas, em virtude do desalinhamento das cadeias.

Peso Molecular

O peso molecular influencia as propriedades mecânicas dos filmes plásticos. Para polímeros de peso molecular relativamente baixo a resistência mecânica aumenta com o peso molecular (Calister, 2001).

Cristalização

O entendimento do mecanismo e cinética da cristalização dos polímeros plásticos é importante uma vez que o grau de cristalinidade influencia as propriedades térmicas e mecânicas das embalagens plásticas flexíveis. A cristalização de um polímero a partir do estado de fundido (mole) ocorre por nucleação e processo de crescimento. No resfriamento, há a formação de núcleos a partir de pequenas regiões, onde as moléculas, que inicialmente dispostas randomicamente em forma de emaranhado, vão se tornando ordenadas e alinhadas em forma de camadas de cadeias dobradas conforme mostrado na figura 2.2. Temperaturas superiores à temperatura de fusão tornam os núcleos instáveis devido a vibração térmica dos átomos e o arranjo ordenado das moléculas tende a se desfazer.

Após o início da nucleação e durante o estágio de crescimento das regiões de cristalização, núcleos continuam crescendo a partir do alinhamento ordenado de segmentos de cadeias moleculares. Isto é, as camadas de cadeias dobradas crescem lateralmente, ou, formando estruturas esferulíticas (figura 2.2) havendo um aumento dos raios das estruturas.

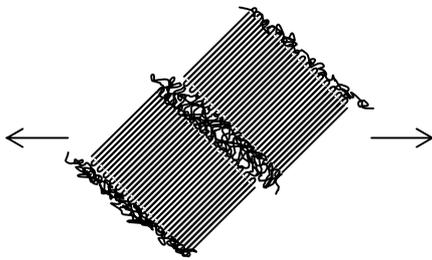
A taxa de cristalização depende da temperatura e também do peso molecular do polímero; a taxa decresce com o aumento do peso molecular (Parrini & Corrieri, 1963).

Fusão

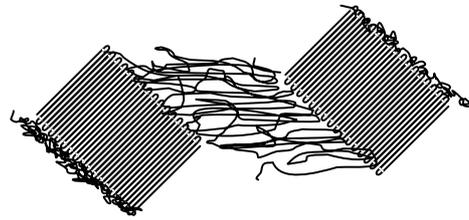
A fusão dos polímeros se dá em uma faixa de temperaturas. Adicionalmente, as propriedades de fusão dependem do histórico do material, em particular da temperatura na qual foi cristalizado; uma vez que define também a espessura da estrutura de cadeias dobradas lamelares. Finalmente, as propriedades de fusão são uma função dos níveis de aquecimento a que é submetido o material. Aumento de taxas de aquecimento, no processamento, resulta numa elevação de temperaturas de fusão do material obtido (Calister, 2001)

O grau de ramificações também afeta as temperaturas de fusão do polímero. A quebra de ramificações laterais introduz defeitos no material cristalino e aumenta a temperatura de fusão. Polietileno de alta densidade, sendo um polímero predominantemente linear, tem uma temperatura de fusão elevada (137°C, tabela

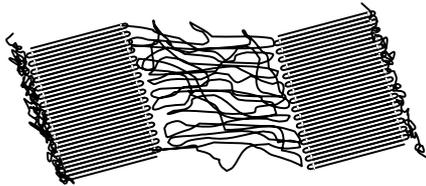
2.1), enquanto o de baixa densidade (98°C, tabela 2.1) apresenta algumas ramificações (Calister, W.D. Jr, 2001).



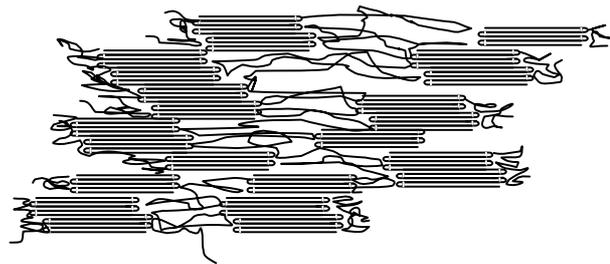
(a) Duas cadeias lamelares adjacentes com material amorfo interlamelar, antes da deformação.



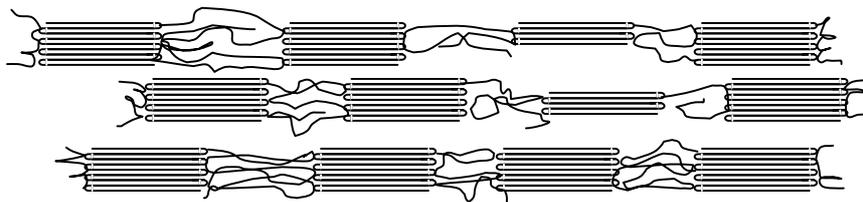
(b) Elongação das cadeias em tiras durante o primeiro estágio de deformação



(c) Inclinação das cadeias lamelares durante o segundo estágio.



(d) Segmentação das cadeias lamelares em blocos cristalinos durante o terceiro estágio.



(e) Orientação dos blocos e das cadeias em tiras com a direção do eixo de aplicação da tensão no estágio final.

Figura 2.3 - Estágios de deformação de um polímero semicristalino. (Schultz, 1974).

Polímeros Termoplásticos

As embalagens plásticas flexíveis são consideradas como “termoplásticas”, por serem obtidas a partir de polímeros termoplásticos, que são materiais normalmente processados por aplicação simultânea de calor e pressão que amolecem quando aquecidos e endurecem quando resfriados – processos que são totalmente reversíveis e podem ser repetidos.

Os termoplásticos são relativamente moles e dúcteis. A maioria dos polímeros lineares e aqueles que têm estrutura pouco ramificada com cadeias flexíveis são termoplásticos.

Pode ocorrer uma degradação térmica irreversível quando a temperatura de um termoplástico amolecido é aumentada, tornando a vibração molecular demasiadamente elevada a ponto de quebrar as ligações covalentes primárias. (Callister, 2001).

Resistência à Fratura e ao Rasgo

Os processos de fraturas que ocorrem nas embalagens plásticas flexíveis são acompanhados da formação de rasgos nas regiões de concentrações de tensão como arranhões, entalhes e defeitos na forma de marcas e falta de homogeneidade molecular que podem ter diversas causas durante o processamento. As ligações intermoleculares entre cadeias do filme plástico são rompidas durante a fratura.

Nos polímeros termoplásticos tanto a fratura frágil como a dúctil é possível. Os fatores que favorecem a fratura frágil são: a redução da temperatura, o acréscimo na taxa de deformação, a presença de falhas na forma de entalhes e marcas, aumento da espessura do material e modificações na estrutura do polímero (química, molecular e ou microestrutural) (Callister, 2001).

Um fenômeno que freqüentemente precede uma fratura em alguns polímeros termoplásticos é a formação de pequenos microfuros, ou vazios em regiões onde ocorre fusão muito localizada. Estes furos apresentam-se mais ou menos alinhados, separados por pequenas pontes em forma de fibrilas devido ao alinhamento das cadeias quando se tornam orientadas. Quando o material é submetido a um esforço de tração uma estrutura é formada pelos microfuros e as pontes, que pode suportar alguns níveis de esforços por absorver a energia de fratura pelo crescimento dos vazios; porém quando esses esforços se tornam suficientemente elevados, os microfuros crescem até se coalescerem e as pontes se esticam até romperem-se dando origem à fratura em forma de rasgo que se propaga no interior do polímero. Este fenômeno está associado a regiões de altas concentrações de tensões e propagam-se perpendicularmente à tensão aplicada, tendo espessuras na ordem de 5µm ou menos (Callister, 2001).

A magnitude dos esforços que os polímeros podem suportar (conseqüentemente as embalagens obtidas a partir desse polímero), mesmo quando apresentam algum tipo de fratura, dependerá das características da resina polimérica (isto é, peso molecular, cristalinidade, etc.), das características do processo de transformação como temperaturas, taxas de deformação do material transformado, e das influências do ambiente externo nesse material.

A resistência ao rasgo e à fratura de filmes plásticos pode ser indiretamente avaliada através do ensaio de perfuração estática, descrito na NBR 9191. Onde um dispositivo padronizado, pêndulo metálico de peso normalizado, é posto em contato com o filme que deve suportar o esforço exercido sem se romper.

Resistência ao Impacto

Na avaliação das embalagens plásticas flexíveis segundo a NBR 9191, a resistência ao impacto é avaliada indiretamente através do ensaio de queda. As embalagens sofrem queda livre de alturas padronizadas e devem ter resistência mecânica suficiente para resistir ao impacto contra uma base rígida, sem apresentar ruptura.

Considerações adicionais sobre Grau de Cristalinidade:

A transparência de filmes sem cargas ou pigmentos é função do grau de cristalinidade. As regiões cristalinas refletem ou desviam o feixe de luz incidente comprometendo a transmissão de luz especular.

O polietileno de alta densidade possui um elevado nível de opacidade, enquanto o de baixa densidade apresenta excelente nível de transparência.

A tabela 2.2 mostra os principais influências do grau de cristalinidade nas propriedades dos polímeros, enquanto a tabela 2.3 mostra a influência de outras propriedades.

Tabela 2.2 - Principais influências do grau de cristalinidade nas propriedades dos polímeros.

Propriedade	Ocorrência	Efeitos
Grau de Cristalinidade	Aumento do grau de cristalinidade	Diminuição da permeabilidade Diminuição do blocking Diminuição da transparência Diminuição da resistência ao rasgamento Diminuição da resistência ao impacto Diminuição do alongamento Diminuição da faixa de selagem Aumento da densidade Aumento da rigidez Aumento da resistência à tração Aumento da resistência à compressão Aumento da opacidade Aumento da temperatura de selagem

*(Adaptado de Sarantopoulos *et al.*, 2002)

Tabela 2.3 – Efeitos de alterações nas propriedades dos polímeros.

Propriedades	Ocorrência	Efeitos
Estrutura Molecular	Linearidade das cadeias Ramificações curtas	Maior interação entre as cadeias Aumento do grau de cristalinidade Aumento da densidade
	Ramificações volumosas	Afastamento das cadeias Redução da cristalinidade Redução da densidade
Peso Molecular Médio (PM)	Aumento do PM	Aumento da cristalinidade Aumento da resistência ao stress cracking Aumento da resistência à abrasão Aumento da resistência do fundido Aumento da viscosidade do fundido Aumento da resistência à tração Diminuição do índice de fluidez Diminuição da processabilidade
Distribuição do peso Molecular (DPM)	Aumento da DPM (Alargamento da curva de distribuição)	Redução da cristalinidade Redução da resistência ao stress cracking Redução da resistência ao impacto Redução da resistência à tração Redução da viscosidade do fundido Aumento da processabilidade
Composição Química	Presença de átomos pesados	Aumento da densidade
	Presença apenas de carbono e hidrogênio	Densidade reduzida
Arranjo Molecular	Conformações planares	Maiores densidades
	Conformações helicoidais	Menores densidades

*(Adaptado de Sarantopoulos *et al.*, 2002)

3. EXTRUSÃO POR BALÃO DE FILMES POLIETILENO

3.1 Introdução

O presente capítulo traz um estudo dos parâmetros envolvidos na fabricação das embalagens plásticas flexíveis a partir de filmes soprados de polietileno. Esse conhecimento é fundamental para a compreensão das contribuições da matéria-prima, variáveis de processo e características dos equipamentos nas propriedades finais das embalagens. Os reflexos dessas correlações no desempenho mecânico das mesmas podem também ser avaliados pelo devido conhecimento do processo de fabricação atrelado à investigação através de ensaios de avaliação de desempenho. A figura 3.1 mostra o fluxo de obtenção das embalagens plásticas flexíveis.

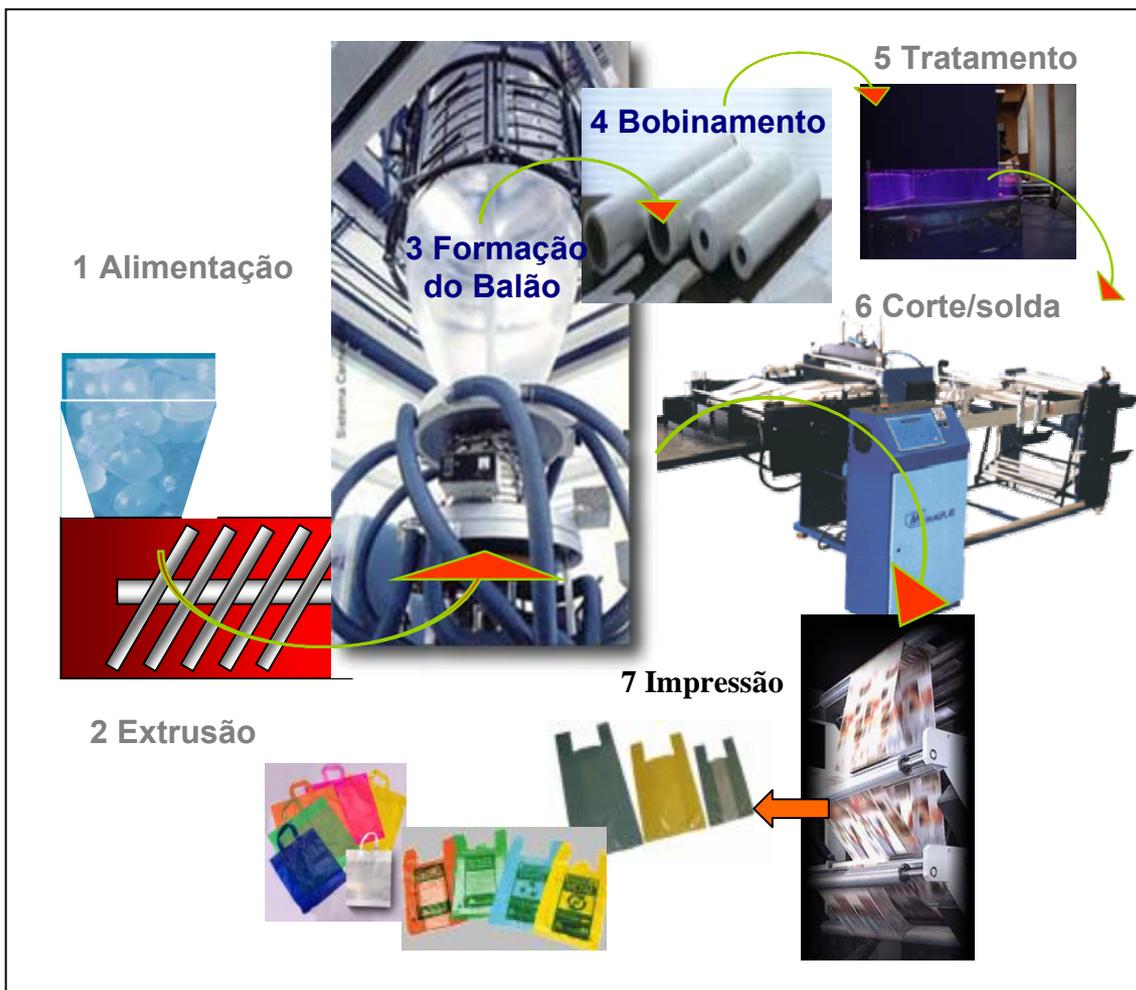


Figura 3.1 - Fluxo dos principais estágios da obtenção das embalagens plásticas flexíveis. (IMAGES GOOGLE, 2005).

3.2 Processo de Extrusão por Balão de Filmes de Polietileno

O processo de extrusão por balão é o processo pelo qual se dá a fabricação de filmes soprados de polietileno. É um dos principais processos de fabricação de filmes plásticos. As principais fases desse processo são mostradas na figura 3.1.

Através desses processos são produzidos filmes que têm, geralmente, menos de 0,254 mm de espessura, podendo chegar até 0,5mm (Dow, 2003). É possível a obtenção de filmes monocamadas até estruturas complexas multicamadas. Na extrusão por sopro o processamento à temperaturas mais baixas conferem uma razoável rigidez ao balão recém formado, permitindo que o mesmo seja insuflado suave e uniformemente. De maneira geral, o processo possui os elementos mostrados na figura 3.2 que são: sistema de alimentação do material; extrusora/rosca; matriz anelar; anel de ar para resfriamento; estabilização e esmagamento; bobinamento.

As etapas do processo de fabricação das embalagens acabadas – sacos e sacolas – são tidas como operações auxiliares. Normalmente são: tratamento superficial; corte; selagem; impressão e bobinamento.

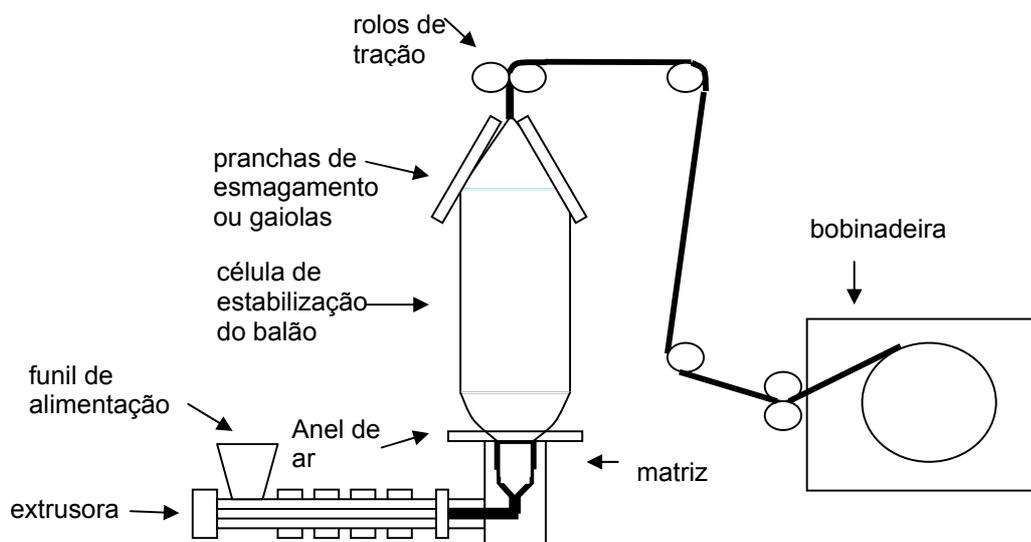


Figura 3.2 – Elementos do processo de extrusão por balão.

3.2.1 – Elementos do Processo de Extrusão por Balão e suas Influências nas Propriedades das Embalagens

Sistema de alimentação do material (Etapa 1 da figura 3.1):

A alimentação do material na extrusora se dá através dos funis de alimentação que podem ter alimentação manual ou automática. No primeiro tipo, a resina é colocada manualmente. Já nos alimentadores automáticos, dispositivos

automáticos de sucção alimentam o funil a partir de reservatórios pré-alimentados, como silos, sem a necessidade da presença contínua do operador. Os funis, nesses casos, normalmente são equipados com células de carga gravimétricas que fornecem informações para sistemas de controle que acionam os dispositivos de sucção de maneira a manter o volume de alimentação constante no funil.

A alimentação do material pode ser feita usando-se material virgem ou uma combinação com material reciclado, podendo ser filmes cortados, material compactado ou repeletizado (triturado), ou mesmo recortes das bordas dos filmes recortadas durante o processo de ajuste dimensional. Já o material virgem pode ser uma única resina ou uma combinação de vários polímeros. Entre os materiais de alimentação estão também os aditivos, as cargas e outros materiais como os pigmentos. Através de células de carga gravimétricas (nos sistemas mais modernos), é possível a obtenção de informações da produção pelo consumo do material de alimentação, e ainda o controle da velocidade da rosca da extrusora ou a velocidade de puxamento para que o filme tenha uma espessura constante.

Extrusão (Etapa 2 da figura 3.1):

A extrusora é o principal elemento do processo de extrusão dos filmes de sopro. É um equipamento robusto que tem como funções principais a fusão dos materiais introduzidos no funil de alimentação e o transporte deste material até a matriz anelar.

Esse transporte se dá através de uma rosca giratória que conduz o material através da extrusora, fazendo com que o mesmo passe por um processo gradativo de aquecimento donde o material passa da forma de mistura física sólida (na maneira que foi introduzido no funil de alimentação) até a forma de fundido no final do percurso. Depois a rosca exerce a pressão necessária para empurrar o polímero derretido através da matriz anelar.

As resinas são fundidas gradativamente pelo contato com a parede aquecida do cilindro, sendo o calor necessário ao processo gerado, normalmente, por resistências elétricas distribuídas ao longo do cilindro e pelo cisalhamento da massa do material entre a rosca e o cilindro.

Na parte dianteira do cilindro, a rosca comprime o material através da matriz, que molda o fundido na sua forma final.

O controle da temperatura do processo é dado através de um sistema composto, geralmente, de termopares ou termoelementos inseridos em poços perfurados ao longo do cilindro, monitorando o “liga-desliga” das resistências.

A resina plastificada é forçada a atravessar uma placa perfurada, instalada na parte dianteira do cilindro, com um conjunto de telas, objetivando filtrar ou impedir a passagem de contaminantes da resina para a matriz e ao mesmo tempo criar uma contrapressão no fluxo em direção à matriz. Esta contrapressão favorece a plastificação e homogeneização do polímero. A matriz por sua vez é o elemento responsável por dar a forma, ou moldar o termoplástico fundido.

As características da extrusão, ou seja, o volume de massa plástica bombeada no interior da extrusora bem como a qualidade do material fundido, são determinadas pela velocidade da rosca e por suas características físicas. A alteração dessas características por desgaste é presumida ao longo do tempo de

utilização e podem alterar sensivelmente as condições de escoamento do material caso não sejam devidamente controladas.

Mecanismos formados por motor elétrico e variadores de velocidade normalmente são utilizados para assegurar uma taxa de bombeamento constante. Para um ajuste adequado da velocidade de extrusão é necessário que sejam conhecidas as características físicas da resina e a potência final transmitida à rosca pelo sistema motor-variador de velocidade. Para que o transporte seja eficiente, o material deve possuir alto grau de deslizamento com a superfície da rosca e um baixo nível de cisalhamento com a parede do cilindro.

Na zona de compressão, transição ou plastificação, é onde ocorre a fusão do material. Isto se dá devido o efeito combinado da temperatura e pressão, provocados pelo aquecimento do cilindro e pelo aumento do cisalhamento da resina provocado pela redução gradativa do filete ao longo da rosca. A temperatura e aumento gradual da pressão nesta zona são suficientes para provocarem a compactação e a fusão do material.

A extrusora permite a homogeneização do polímero, já completamente fundido, ao mesmo tempo em que mantém o fluxo com pressão e vazão uniformes em direção à matriz.

Os elementos abaixo são componentes do processo de extrusão:

Cilindro

O cilindro, também chamado de barril ou canhão, é construídos em aço especial de alta resistência ao cisalhamento devido as forças de arraste do fluxo pela rosca contra as paredes internas, tendo que apresentar alta estabilidade dimensional a altas temperaturas, além de alta resistência química e à abrasão.

O cilindro de extrusão não deve oferecer dificuldades de resfriamento para que o controle da temperatura interna seja eficiente, impedindo a degradação da resina por efeito térmico.

Sistema de aquecimento e resfriamento do cilindro

Os sistemas resfriamento dos cilindros têm que ser eficientes a ponto de manterem sua temperatura uniforme durante o processamento da resina retirando o calor excessivo gerado pelo trabalho mecânico internamente à sua parede.

O sistema mais comum é o resfriamento por ar onde o deslocamento forçado do ar por ventoinhas. É usado para resfriamento das zonas de aquecimento da rosca. Um outro tipo menos usual é o resfriamento por água.

Na zona de alimentação da rosca a temperatura deve se manter sempre abaixo da temperatura de fusão da resina para que o processamento possa ocorrer satisfatoriamente.

Matriz

A matriz é o elemento responsável por receber o polímero derretido vindo da extrusora e dá-lhe a forma anelar que garante a formação do balão de sopro. O seu projeto tem que garantir a uniformidade da velocidade de distribuição do material em torno de toda a circunferência na saída da matriz.

A velocidade do fundido na saída da matriz precisa estar sincronizada com a velocidade na saída da rosca de modo que o fluxo de material seja constante.

Esta relação é fator determinante da espessura do filme e quaisquer diferenças entre elas implicam alterações nas espessuras do material.

Os equipamentos de tecnologia mais antigos possuem tacômetro para visualização e correção rápida da velocidade pelo operador. Os de tecnologias mais recentes possuem dispositivos automáticos de correção da relação entre as velocidades de modo a mantê-la constante.

Placa-filtro e conjunto de telas

A placa-filtro é uma peça robusta em forma de disco, feita de aço de elevada resistência à compressão, com orifícios, geralmente, de diâmetros que variam de 3 a 5 mm, instalada num rebaixo da parede interna do cilindro entre o final da rosca e o adaptador ou matriz. Tem como funções básicas contribuir com o aumento de contrapressão da massa polimérica, transformar o fluxo turbulento do extrudado em fluxo laminar e reter impurezas.

Para que a placa apresente bom desempenho nas suas funções os orifícios devem ser aerodinâmicos para garantir a livre fluidez de resina através da placa. Normalmente, quanto menor o diâmetro dos orifícios, melhor a funcionalidade da placa.

As placas requerem grande precisão na elaboração e execução dos seus projetos bem como elevada estabilidade dimensional para manter as dimensões originais. Alterações devido desgaste ou erros de projeto podem criar os chamados “pontos mortos”, que são regiões que retêm o plástico fundido degradando-o e contaminando o processo.

A placa serve de elemento de suporte para telas de malhas utilizadas para filtragem. Há uma variedade de tipos de malhas que são usadas de acordo com as características do extrudado. Porém é comum o uso de malhas mais abertas que são usadas simplesmente como elemento de apoio de malhas mais fechadas que efetivamente filtram o material.

Com o decorrer dos ciclos de processamento naturalmente as telas se saturam de resíduos que ao se impregnarem nas mesmas provocam aumento de pressão no cilindro e redução de velocidade do extrudado, alterando assim a taxa de bombeamento do fluxo podendo provocar a degradação do material.

Formação do Balão (Etapa 3 da figura 3.1):

O polímero derretido ao sair da matriz passa por um processo de resfriamento onde adquire suas dimensões finais. Na altura da matriz, normalmente é introduzido ar comprimido no interior do balão recém formado para possibilitar o seu insuflamento. Assim o polímero derretido se estica pela expansão da bolha devido a pressão do ar no seu interior, ao mesmo tempo em que passa a sofrer um esforço de tração por ser puxado pelos rolos de tração (*nip rolls*). Nessa relação de esforços transversal (pela expansão do balão) e longitudinal (pelos puxamento dos rolos) é definida a espessura desejada para o filme. Externamente, ocorre o resfriamento da bolha por uma corrente de ar forçada que sai através de um anel de ar que está em contato com a superfície externa da bolha, propiciando o resfriamento do tecido de polímero derretido.

A razão entre as pressões de ar interna e externa nesta fase do processo é conhecida como razão de sopro do balão e é um importante parâmetro na determinação das características finais dos filmes.

Alguns sistemas utilizam água gelada para resfriamento dos filmes sendo produzindo filmes com algumas características diferentes dos resfriados a ar, devido ao fato de sofrerem velocidades de resfriamento diferentes.

Os elementos abaixo são componentes do processo de formação do balão:

Estabilização e Esmagamento

Com o resfriamento do polímero ocorre a solidificação do material, após o que o balão se estabiliza e é puxado pelos rolos de tração, passando antes por uma prancha de esmagamento, normalmente em forma de cunha, fazendo com que o filme em forma de balão insuflado seja fechado, tomando a forma de um grande tubo plástico flexível dobrado.

Enrolamento/Bobinamento (Etapa 4 da figura 3.1):

O filme acabado pode ser bobinado utilizando uma bobinadeira conectada na saída dos rolos de tração para obtenção de bobinas para posterior processamento. As velocidades de bobinamento e de puxamento dos rolos de tração têm que estar devidamente ajustadas. Caso a velocidade de bobinamento seja maior que a velocidade na saída dos rolos de tração, pode haver tensões adicionais no filme. O inverso pode provocar problemas como o enrugamento do filme durante o bobinamento que pode trazer problemas de produtividade em processos posteriores.

Há processos onde máquinas de transformação de sacos e sacolas são conectadas em linha na saída dos rolos de tração dispensando a fase de bobinamento.

Operações Auxiliares

Tratamento Superficial (Etapa 5 da figura 3.1):

Os filmes de polietileno por possuírem moléculas apolares na sua estrutura apresentam uma dificuldade adicional em reter as tintas e vernizes, que são à base de componentes polares, normalmente utilizados nos processos de impressão das embalagens. Por isso, é comum um processo de tratamento superficial visando a preparação da superfície de modo que possam interagir com esses componentes e assim propiciar melhores condições de impressão. O tratamento mais comum utilizado nas embalagens de polietileno é o tratamento por efeito corona, onde o filme é submetido a um processo de polarização das suas moléculas por ação de uma descarga elétrica na sua superfície.

Corte e Selagem (Etapa 6da figura 3.1):

Normalmente os processos de corte e soldagem das embalagens são efetuados numa mesma unidade comercialmente conhecida como equipamentos de corte-solda. A maioria funciona através do efeito térmico gerado pela passagem da corrente elétrica através de duas resistências elétricas planas montadas em paralelo que, quando colocadas em contato, fecham um circuito

elétrico permitindo o aquecimento das lâminas que cortam e soldam, simultaneamente o filme que passa entre elas.

Impressão (Etapa 7da figura 3.1):

Existem várias técnicas de impressão de embalagens. Um dos processos mais utilizados para impressão de embalagens flexíveis é o Off Set descrito abaixo.

Off Set

O processo de impressão Off Set consiste na reprodução de imagens e textos na superfície das embalagens plásticas.

O processo começa com a elaboração dos clichês (chapas metálicas com desenho em relevo) a partir duma imagem. Os clichês são produzidos de acordo com o número de cores componentes da imagem. Cada clichê tem em relevo a parte da imagem correspondente à sua cor. Depois, cada clichê é montado em cilindros porta-clichês da máquina que em movimento de rotação tocam em um tinteiro que contem todas as tintas que comporão a imagem. A tinta recolhida pelos clichês são transmitidas a uma borracha montada num outro tambor que, também em movimento de rotação, toca tangencialmente todos os tambores porta-clichês. Esta borracha, por sua vez, toca a superfície da embalagem, depositando nesta todas as tintas adquiridas, produzindo assim a impressão. As embalagens são submetidas depois a um processo de secagem das tintas (por radiação UV - ultravioleta, por exemplo).

A susceptibilidade das propriedades mecânicas das embalagens plásticas flexíveis às variações das diversas variáveis de processo e parâmetros dos equipamentos representa um elemento de complexidade para o controle de qualidade dessas embalagens. Exige assim, sistemas de controle eficazes, rápidos e seguros no fornecimento de resultados de análises de conformidade; de modo a impedir que grandes quantidades de embalagens sejam processadas a partir de ajustes inadequados no processo ou equipamentos.

4. PRINCIPAIS INFLUÊNCIAS NAS PROPRIEDADES FINAIS DAS EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS

4.1. Introdução

As embalagens plásticas flexíveis de polietileno são extremamente sensíveis às alterações das características da matéria-prima, variáveis de processo e falhas induzidas por defeitos nos equipamentos de processamento. A combinação de características provenientes da estrutura química e molecular da resina, grade, aditivos, etc., somada à influência das variáveis de processo como temperatura, pressão e cisalhamento, podem conferir propriedades bem particulares às embalagens obtidas segundo cada combinação. Essas propriedades tanto podem ser adequadas como inadequadas a certas aplicações.

A contribuição dessas variáveis é tão significativa que certas propriedades mudam completamente de comportamento de acordo com as características conferidas por essas variáveis. São exemplos as propriedades de resistência à tração e ao rasgamento, que dependem da orientação das moléculas conferidas durante a obtenção do filme. Essas propriedades apresentam comportamento diferente quanto às direções de fabricação e transversal.

A capacidade de retenção de conteúdos líquidos é um outro exemplo. A estanqueidade da embalagem está relacionada ao grau de cristalinidade e da espessura do filme. No entanto, caso a embalagem apresente falhas na termosoldagem, a estanqueidade pode ser comprometida independentemente daquelas propriedades. A resistência da termosoldagem, por sua vez, está relacionada com as características da resina e dos níveis de soldabilidade conferidos pela tecnologia do equipamento de termosoldagem.

Este capítulo apresenta um estudo das contribuições da matéria-prima, principais variáveis do processo e características dos equipamentos nas propriedades finais das embalagens plásticas flexíveis.

4.2. Influências da Matéria-prima

4.2.1 A Química das Cadeias do Polietileno

O polietileno é um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina (Coutinho *et al.*, 2003). O polietileno tem como estrutura básica o grupo funcional $(-CH_2)_n$, com ramificações ou cadeias laterais, em maior ou menor quantidade, e é obtido pela polimerização do hidrocarboneto etileno (C_2H_4). Assim, de maneira geral, os polietilenos podem ser lineares ou ramificados, homo ou copolímeros.

O etileno é um gás a temperatura e pressão ambiente, cuja estrutura molecular é e apresentada na figura 4.1.

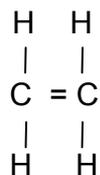


Figura 4.1 – Estrutura molecular do etileno (C_2H_4).

Se o gás etileno é sujeito cataliticamente a condições apropriadas de temperatura e pressão, ele se transformará em polietileno (PE) que é um polímero sólido. Este processo inicia-se quando um monômero ativo é formado pela reação entre um iniciador ou um catalisador (R ·) e um mero (ou molécula) de etileno formando um centro ativo formado pelo iniciador + mero (com um elétron desemparelhado num dos lados – o lado ativo como mostra a figura 4.2).

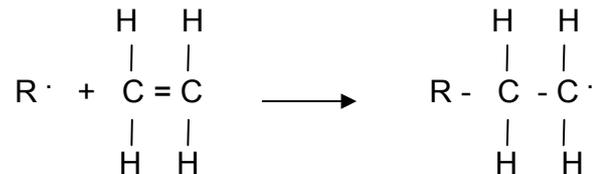


Figura 4.2 – Fase inicial do processo polimerização do PE.

A cadeia polimérica continua sua formação pela adição de nova molécula de etileno a esse centro ativo sempre ficando um elétron desemparelhado em um dos lados permitindo nova junção com mais moléculas de etileno. Esquemáticamente, isto é representado na figura 4.3.

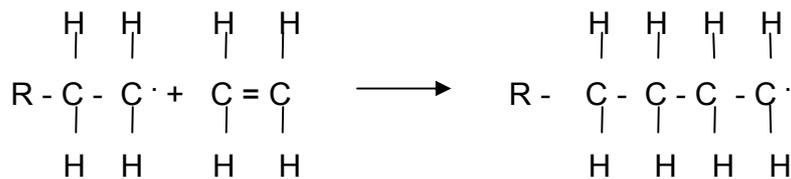


Figura 4.3 – Fase de crescimento da cadeia polimérica do PE.

Como resultado final, após a adição de muitas unidades do monômero etileno, têm-se as moléculas de polietileno. Assim, observa-se a formação de uma estrutura parcialmente cristalina com ocorrência de regiões de material amorfo. As menores unidades cristalinas, em forma de lamelas (ver figura 2.2), são planares e consistem de cadeias perpendiculares ao plano da cadeia principal; e dobradas em zig-zag (Doak,1986). A figura 4.4 mostra duas representações clássicas do polietileno enquanto a 4.5 mostra o aspecto do polietileno comercial. A figura 4.4a não é estritamente correta uma vez que o ângulo de ligação mostrado entre os carbonos de 180° é maior que o real de 109°. O modelo tridimensional, mostrado na figura 4.4b aproxima-se mais da estrutura real, onde os átomos de carbono são representados mantendo a forma padrão de zig-zag da molécula do polietileno. O modelo linear da cadeia, no entanto, é freqüentemente usado por questões de simplificação.

As ramificações ou cadeias laterais podem ocorrer em número e comprimentos variáveis exercendo considerável influência nas características finais do material (Doak,1986; Miles & Briston, 1965; Hadjichristidis, 2000). As ramificações dificultam a formação de cristais; de maneira que quanto menor a

ocorrência dessas ramificações, maior a cristalinidade e, conseqüentemente, maior a densidade. O comprimento, e a quantidade de ramificações dependem do comonômero utilizado e do processo de polimerização.

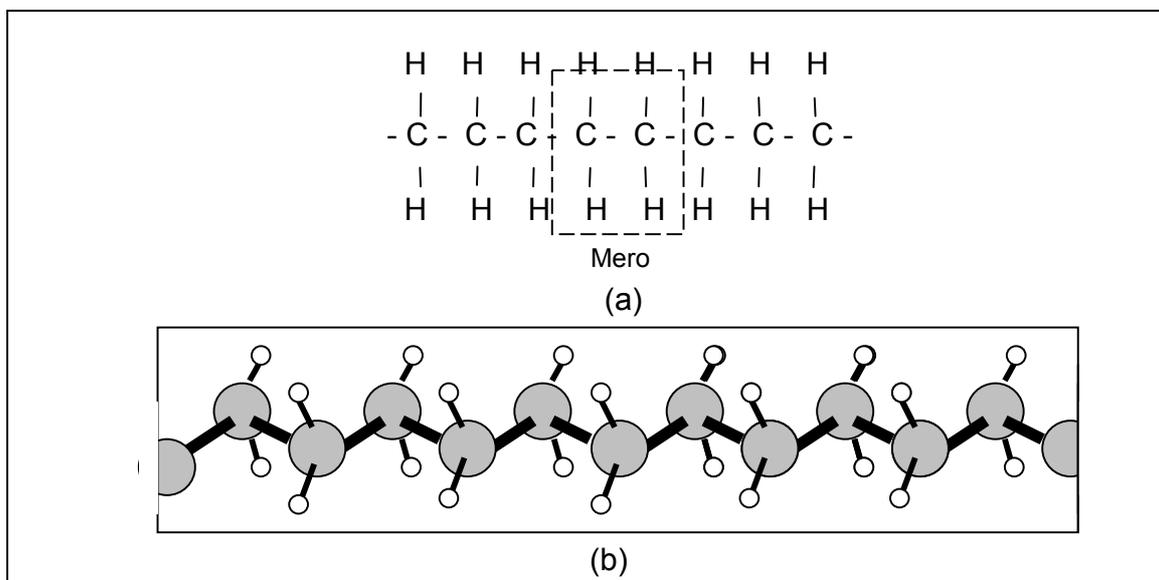


Figura 4.4 – Representação da molécula de polietileno: (a) Representação linear; (b) Representação tridimensional. Os átomos maiores representam o carbono, os menores os hidrogênios. (BRENT, 2000)



Figura 4.5 – Aspecto do polietileno comercial – resina sólida (IMAGE GOOGLE,2005).

4.2.2 Propriedades dos Polietilenos

Durante o resfriamento, o polietileno tende a se cristalizar. No entanto, esta cristalização não é completa, havendo a formação de cristais imperfeitos rodeados de material no estado amorfo. A parte cristalizada é responsável pela resistência do material apresentado maior densidade. Já a elasticidade e flexibilidade são determinadas pela parte amorfa. Assim, é possível obter polietilenos com características para aplicações específicas pelo controle do processo de polimerização.

Dependendo das condições do processo de polimerização e do sistema catalítico empregado, vários tipos diferentes de polietileno podem ser produzidos:

- Polietileno de baixa densidade (PEBD); de alta densidade (PEAD); de alta densidade e alto peso molecular (PEAD-APM); linear de baixa densidade (PELBD); de ultra alto peso molecular (PEUAPM); de ultra baixa densidade (PELUBD).

O polietileno de baixa densidade - PEBD é obtido por um processo de polimerização utilizando radicais livres, sob alta temperatura e pressão. Nesta condição, o polietileno obtido é ramificado devido a polimerização aleatória do etileno; apresentando menores percentuais de cristalinidade (40 a 60%) e densidades na faixa de 0,910 a 0,940 g/cm³. O peso molecular pode ser controlado pelo uso de comonômeros como propileno e hexeno. O PEAD apresenta estrutura altamente linear, devido a alta regularidade da forma das cadeias e o pequeno tamanho das ramificações, possibilitando uma maior compactação e, conseqüentemente, maior cristalinidade (70 a 90%) (Sarantopoulos *et al*, 2002). As resinas de PEAD são usadas em aplicações, onde são requeridos filmes finos de elevada resistência à atração, como por exemplo, sacolas plásticas de supermercado.

Os Polietilenos lineares de baixa densidade- PELBD's são copolímeros lineares que têm o etileno com uma α - oleofina (1-octeno, 1-hexeno ou 1-buteno) na sua estrutura. São menos cristalinos que os PEAD's, porém apresentam melhor resistência ao fissuramento sob tensão (*environmental stress crack resistance*) e resistência ao impacto. As resistências ao rasgamento e à perfuração são determinadas pelo maior ou menor entrelaçamento entre as ramificações laterais. Assim, os PELBDs de octeno e hexeno apresentam maiores resistências ao rasgamento e à perfuração que os copolímeros de buteno, por apresentarem ramificações laterais mais longas que propiciam um maior entrelaçamento entre as cadeias. A densidade do polímero linear é afetada pela presença dos comonômeros, que normalmente variam de 1 a 10% da massa molar do copolímero. Quanto maior participação percentual e o comprimento das ramificações, menor a densidade do polímero linear; deste modo pode-se ser obtido o PELUBD (densidade – 0,89 a 0,915 g/cm³) (Sarantopoulos *et al*, 2002).

Os polietilenos lineares podem ser divididos, de maneira geral, nos seguintes grupos:

PELUBD – polietileno linear de ultra baixa densidade (0,89 a 0,915 g/cm³).

PELBD - polietileno linear de baixa densidade (0,916 a 0,940 g/cm³).

PEAD - polietileno linear de alta densidade (0,940 a 0,965 g/cm³).

PEAD – APM – PEAD de alto peso molecular (0,940 a 0,965 g/cm³).

Atualmente, os polietilenos são mais apropriadamente descritos como polietilenos ramificados e polietilenos lineares (Martins, 1999; Silva, 1999).

Durante o processamento de embalagens de polietileno as propriedades da resina podem ser seriamente modificadas pelas variáveis de processamento.

A extrusão das resinas se dá pelo efeito combinado de temperatura, pressão e cisalhamento, que podem sofrer naturalmente alterações devido a vários fatores como desgaste de partes de equipamentos e outras falhas de processo. Caso essas variáveis não sejam devidamente controladas, podem provocar a degradação da resina base pela quebra das ligações entre os carbonos da cadeia principal e ou das ramificações. O peso molecular e a densidade do polietileno podem ser diretamente afetados constituindo um sistema polimérico de características completamente diferentes do polietileno original. Assim, as embalagens obtidas a partir desse novo sistema polimérico podem não apresentar as propriedades de desempenho mecânico esperadas. A figura 4.6 esquematiza o efeito da degradação térmica de uma cadeia de polietileno.

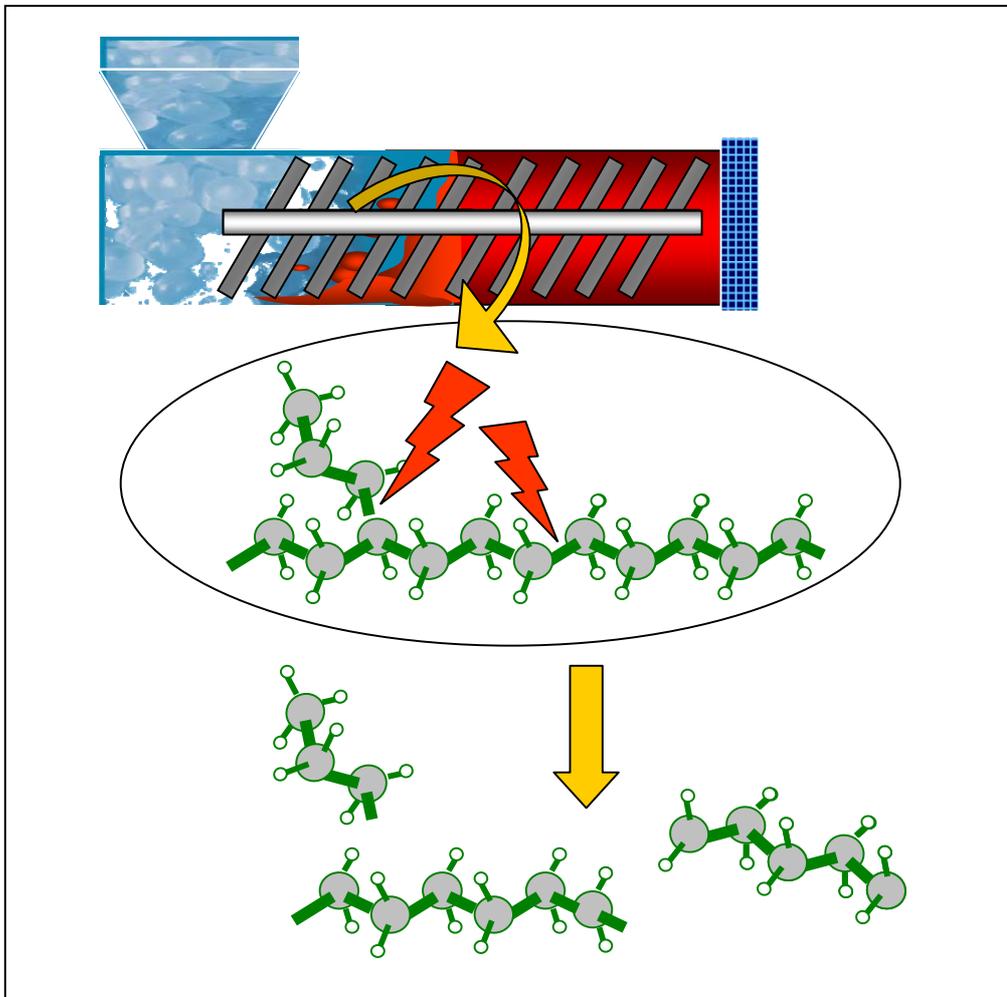


Figura 4.6 – Esquema da degradação térmica de uma cadeia de polietileno durante o processo de extrusão da resina.

Os níveis de temperatura e pressão ideais durante o processo de extrusão devem ser aqueles suficientemente adequados para vencerem as forças intermoleculares (forças de Van der Waals, pontes de hidrogênio, etc.) e assim permitir a livre movimentação e ou deslizamento entre as cadeias, permitindo a deformação do material e a moldagem nas formas desejadas. No entanto, as ligações primárias entre carbonos e hidrogênios (ligações covalentes) devem ser preservadas durante o processo, pois respondem pelas características iniciais da resina base.

O sistema de balança representado na figura 4.7 mostra as relações existentes entre a densidade e os efeitos da sua variação nas propriedades do polietileno. O aumento da densidade faz com que as características do lado esquerdo da balança diminuam e as do lado direito aumentem. A sua diminuição provoca o efeito inverso. O sistema de balança representado na figura 4.8, por sua vez, relaciona os efeitos do peso molecular. O raciocínio é o mesmo que o sistema anterior.

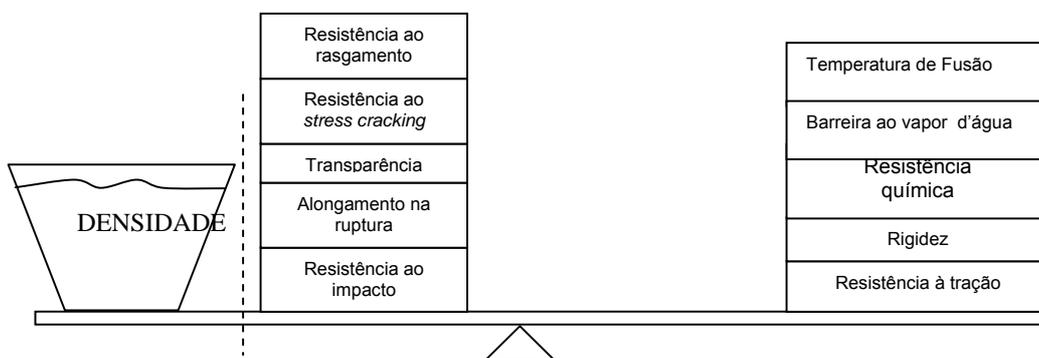


Figura 4.7 – Sistema de balança mostrando as relações existentes entre as propriedades do PE e a variação da densidade.



Figura 4.8 - Sistema de balança mostrando as relações existentes entre as propriedades do PE e a variação do peso molecular.

O sistema de tesoura da figura 4.9 é usado para mostrar as relações existentes entre a distribuição de peso molecular e os efeitos da sua variação nas propriedades do polietileno. O alargamento da distribuição faz com que as características do lado superior da tesoura diminuam e as do lado inferior aumentem. O seu estreitamento provoca o efeito inverso.

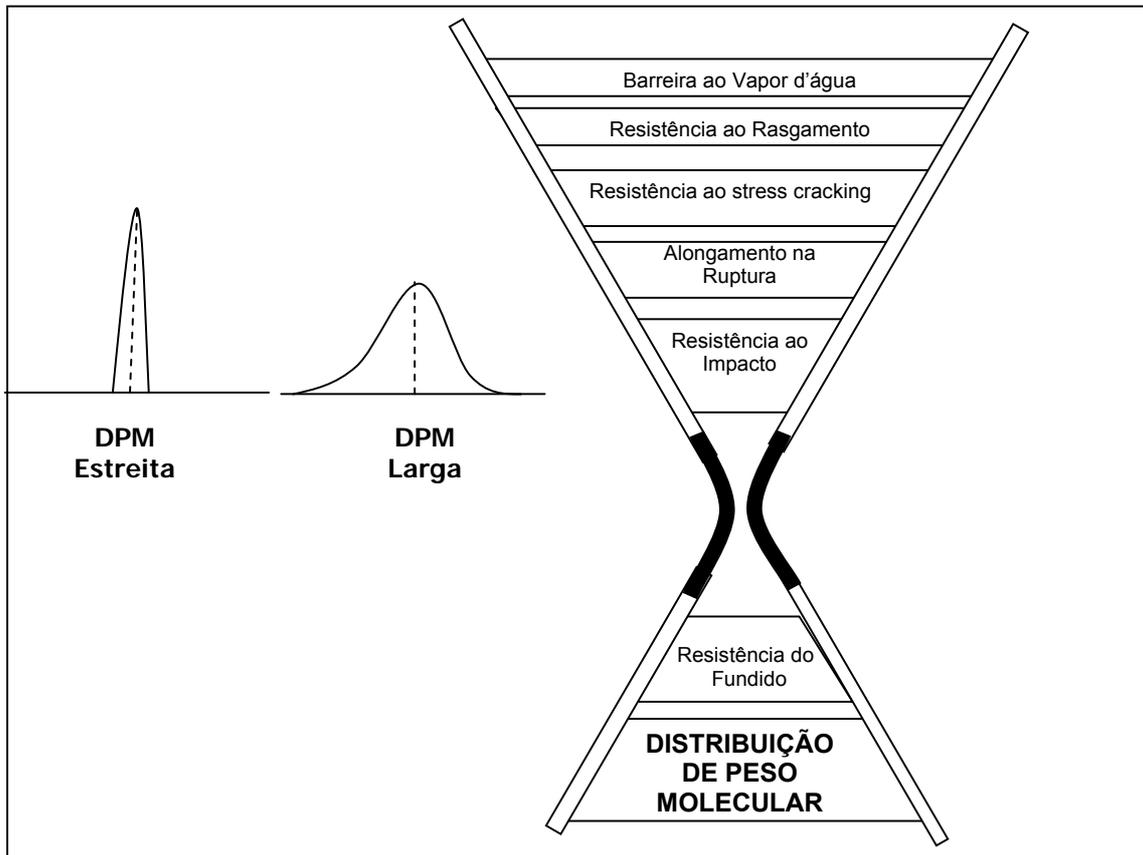


Figura 4.9 - Sistema de balança mostrando as relações existentes entre as propriedades do PE e a variação da distribuição de peso molecular.

Quanto à resistência química, os polietilenos são resistentes à maioria dos produtos químicos, exceto ácidos oxidantes, halogênios livres como cloro, bromo, etc., e certas cetonas. À temperatura ambiente, o polietileno é insolúvel em todos os solventes; porém em temperaturas elevadas a sua solubilidade aumenta rapidamente em hidrocarbonetos e hidrocarbonetos clorados (Sarantopoulos, 2002). Embora esses mesmos solventes não cheguem a dissolver o polietileno à temperatura ambiente, eles são absorvidos provocando o seu entumescimento comprometendo suas propriedades (Neves, 1999). A solubilidade em um solvente particular é inversamente proporcional à densidade do polímero, assim o PEAD tem menor solubilidade e apresenta menor tendência ao entumescimento que o PEBD.

Quanto às propriedades de barreira, o PEAD e PEBD são, ambos, muito resistentes à água e ao vapor d'água. Embora possuam diferenças de barreira em relação ao vapor (d'água) quase não apresentam diferença em relação à água. A menor taxa de permeabilidade, neste caso, é apresentada pelo PEAD por ser mais cristalino; a menor, pelo PEBD. O PELBD apresenta valores intermediários.

Adicionalmente, os polietilenos oferecem boas propriedades de selagem, bom equilíbrio nas propriedades mecânicas e baixo custo. Embora sejam permeáveis a óleos e gorduras, suas aplicações são inúmeras, tanto em filmes simples como compondo sistemas multicamadas. (Sarantopoulos *et al*, 2000).

O PELBD apresenta uma distribuição de peso molecular (DPM) mais estreita que o PEBD, provocando diferenças nas propriedades reológicas (maior viscosidade e baixa resistência do fundido) o que leva a maiores dificuldades na extrusão dos filmes. Devido seu maior nível de cristalinidade, apresenta ainda maior rigidez, temperatura de fusão e menor transparência que os polietilenos ramificados. Por outro lado, apresenta maiores resistências à tração, impacto, perfuração e ao rasgamento, maior alongamento e melhores resistências a baixas temperaturas e da termosoldagem a quente (*hot tack*) (Sarantopoulos *et al*, 2000). Em aplicações onde se desejam as boas propriedades mecânicas dos polietilenos lineares aliadas às boas características de processamento e transparência do PEBD convencional é comum a produção de filmes a base de blendas de PEBD e PELBD, em diferentes proporções.

4.3 Influências das Variáveis de Processo

As principais propriedades das embalagens flexíveis estão relacionadas às características dos filmes plásticos. Estas, por sua vez, estão relacionadas à estrutura cristalina apresentada pelo filme. As propriedades de tração e transparência são exemplos de propriedades altamente dependentes da cristalinidade.

Nos filmes soprados de polietileno de alta densidade (PEAD) é mostrado que há a ocorrência de dois tipos de regiões estruturais nesses filmes: as regiões cristalinas e as regiões amorfas (Todd, 2003),

A densidade da resina base do filme determina a proporção de regiões cristalinas no filme. Problemas de regulagem nos equipamentos, como velocidades irregulares dos cilindros de puxamento do filme, razão de sopro inadequada, entre outros, podem influenciar a uniformidade de distribuição do material ao longo do filme. Por melhores características de cristalinidade que possua a resina base, pode haver o comprometimento dessas propriedades caso a espessura final do filme sofra reduções excessivas. Conseqüentemente, os embalagens obtidas deste filme levarão essa deficiência.

As embalagens flexíveis da forma acabada, os sacos e sacolas, são obtidas, normalmente, pelo processo de termosoldagem de partes laterais e ou transversais dos filmes. Assim, é possível que nesse processo não haja alterações significativas nas características de cristalinidade dos filmes. A não ser nas regiões próximas da termosolda onde pode haver alguma transformação estrutural devido à influência dos efeitos térmicos provenientes da mesma. De maneira geral os sacos e as sacolas apresentam as mesmas propriedades do

filme, exceto resistência à tração na região da termossolda. Por isso é comum haver uma avaliação da resistência à tração específica nessa região. Assim, é de se esperar que os sacos e sacolas apresentem as mesmas propriedades de barreira que os filmes.

Morfologia

Como visto no capítulo 3, os filmes soprados são obtidos pela extrusão de uma resina polimérica através de uma matriz anelar, onde se dá a formação de um tubo flexível que ao sofrer uma pressão interna por ar introduzido no seu interior toma a forma de um balão. O material é resfriado formando o filme flexível (Middleman, 1977). As principais etapas e elementos da extrusão por balão foram mostrados nas figura 3.1 e 3.2.

Os parâmetros mais importantes do processo apresentado são:

- Razão de sopro - BUR

A razão de sopro é tomada como a relação entre o raio final do filme soprado em forma de balão e o raio inicial do filme na saída da matriz e é calculada pela Equação (4.1):

$$BUR = \frac{R_f}{R_0} \quad (4.1)$$

- Razão de Estiramento - Dr

Definida pela razão entre a velocidade de puxamento do filme pelos rolos de puxamento e a velocidade na saída da matriz. Calculada pela Equação (4.2):

$$D_r = \frac{V}{V_0} \quad (4.2)$$

- Linha de Congelamento - Z

Tomada como a linha acima da qual o polímero já está solidificado, com sua orientação e estrutura cristalinas definidas ou congeladas.

Tanto a razão de puxamento quanto a linha de congelamento depende das propriedades reológicas do polímero, uma vez que dessas propriedades dependerão as condições do fluxo. Durante o sopro podem ser verificados dois fluxos distintos: na saída do material da matriz o fluxo é predominantemente de cisalhamento. Logo após a saída da matriz até a o início da formação da bolha o fluxo é misto de esforços cisalhantes e de alongação. Daí até a linha de congelamento o fluxo é predominantemente alongacional (Guerrini et al., 2004) A figura 4.10 mostra a identificação das regiões dos diferentes fluxos. As características morfológicas do filme são definidas principalmente nessas regiões.

Opacidade e Brilho

Nos filmes utilizados para fabricação de embalagens destinadas ao acondicionamento de lixo, principalmente os destinados para contenção e proteção dos resíduos de serviços de saúde – RSS -(ver capítulo 1), as propriedades de opacidade e brilho são extremamente importantes, uma vez que embalagens são submetidas a ensaio de verificação de transparência (ABNT-NBR

13056, 2002). Durante o processamento é de fundamental importância otimizar os resultados referentes às propriedades óticas como o brilho e o nível de opacidade interna e externa dos filmes.

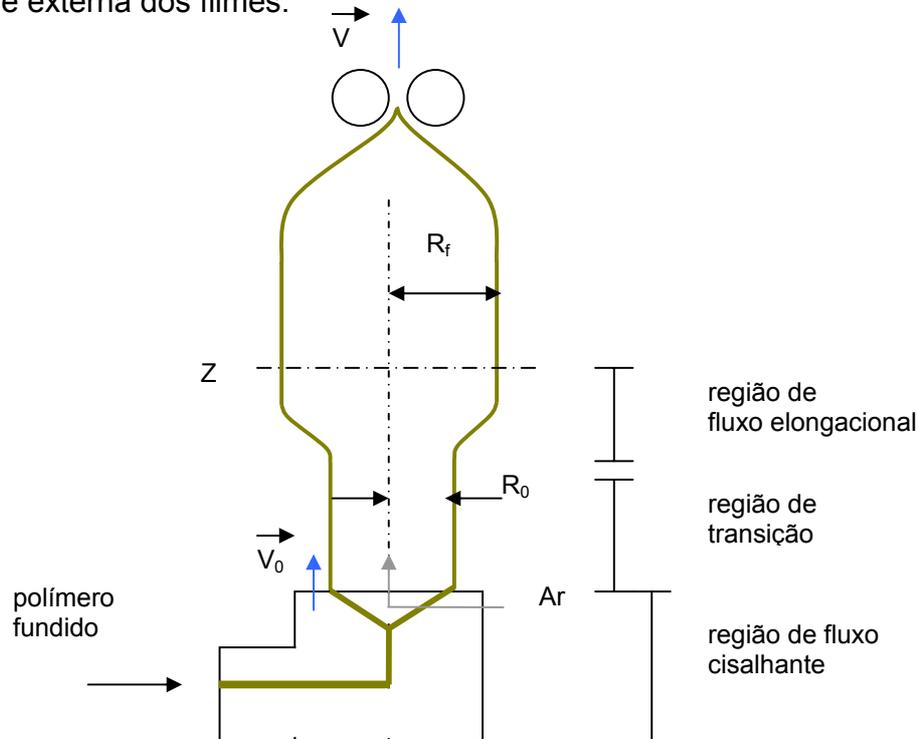


Figura 4.10 – Regiões de tipos de fluxos no processo de extrusão por balão. (Adaptado de Guerrini et al., 2004).

O brilho está associado aos níveis de reflexibilidade, que por sua vez estão associados às características de acabamento superficial do filme. De modo geral, quanto mais lisa a superfície do filme, maior o brilho desta.

A opacidade superficial depende do nível de rugosidade superficial apresentada que são relacionadas às condições de processamento do filme, BUR, Dr, Z e as propriedades reológicas. Já a opacidade interna está relacionada com a morfologia dos arranjos das fases cristalinas (Guerrini, 2004).

Os sacos plásticos para acondicionamento de lixo para coleta são feitos na sua maioria usando o polietileno de alta densidade - PEAD como resina base, por conferirem ao filme opacidade elevada e boa resistência à tração. Alguns transformadores adicionam um pequeno percentual de polietileno linear de baixa densidade PELBD para melhorar suas características como resistência ao rasgamento e à perfuração (ver item 4.2.2).

Propriedades de Tração

As propriedades de tração dos filmes soprados de polietileno são definidas pela morfologia adotada pela estrutura molecular do filme. A morfologia, por sua vez, é altamente dependente da combinação das propriedades da resina e das condições de processamento do filme. Nos filmes feitos de PEAD de alto peso molecular, por exemplo, os filmes geralmente apresentam estrutura lamelar em

núcleos enfileirados (Peacock, 2000; Prasad et al., 2001) (ver figura 2.2). A morfologia consiste de pacotes de lamelas preferencialmente orientadas com suas superfícies normais paralelas a direção primária de estiramento do filme. Portanto em processos de filmes soprados com modestas razões de sopro (BUR) essas lamelas geralmente apresentam-se empacotadas perpendicularmente à direção de máquina ou fabricação (DF), apresentando, portanto, nessa direção a menor resistência à tração e, portanto, as maiores deformações; o inverso ocorre na direção transversal (DT) que apresenta maior resistência à tração.(Godshall & Wilkes, 2003).

A morfologia desses arranjos depende dos níveis de tensão e orientação das moléculas do fundido durante o tempo de cristalização. Quanto menor o nível de tensão durante a cristalização, menor o nível de orientação das lamelas e, portanto uma maior distribuição de resistência à tração em outras direções.

A figura 4.11 é uma adaptação de uma figura que foi usada para mostrar a diferença de comportamento referente à resistência à passagem do vapor d'água e do oxigênio por filmes com níveis de orientações diferentes (Godshall & Wilkes, 2003). Ela serve para observar a melhor distribuição da resistência à tração em arranjos com menores níveis de orientação. A figura 4.12 mostra uma associação entre a figura 4.11 e a figura 2.3 mostrada no capítulo 2. Serve para dá uma melhor idéia da influência das direções de maior resistência à tração nas direções preferenciais de deformação dos filmes.

Taxa de Relaxação do Polímero Fundido

Ao sair da matriz, o polímero fundido experimenta elevado nível de tensão na direção de fabricação (DF), devido aos esforços de tração exercidos pelos rolos de puxamento.

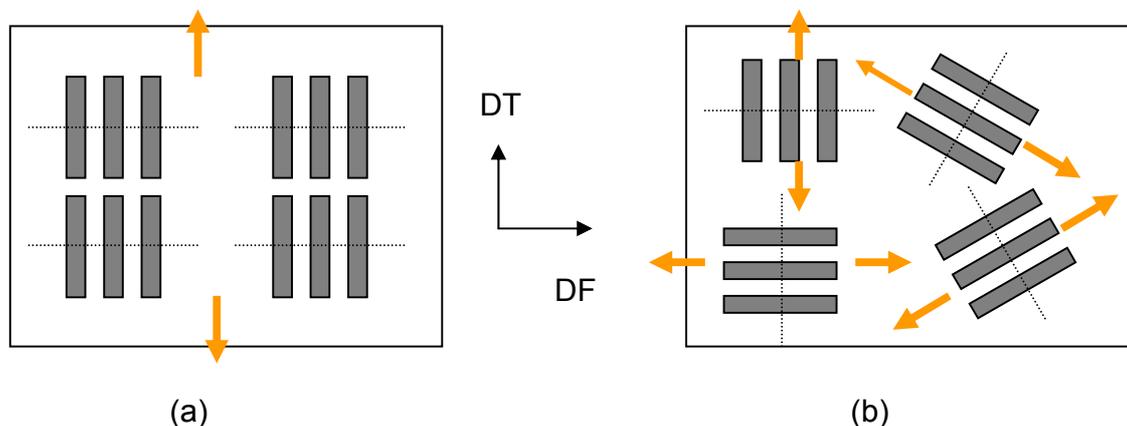


Figura 4.11 – (a) Filme com elevado nível de orientação: apresenta basicamente uma única direção de maior resistência à tração – DF (direção transversal – direção da espessura do filme); (b) Filme com baixo nível de orientação: maior número de direções com maiores níveis de resistência à tração. (Adaptada de Godshall & Wilkes, 2003).

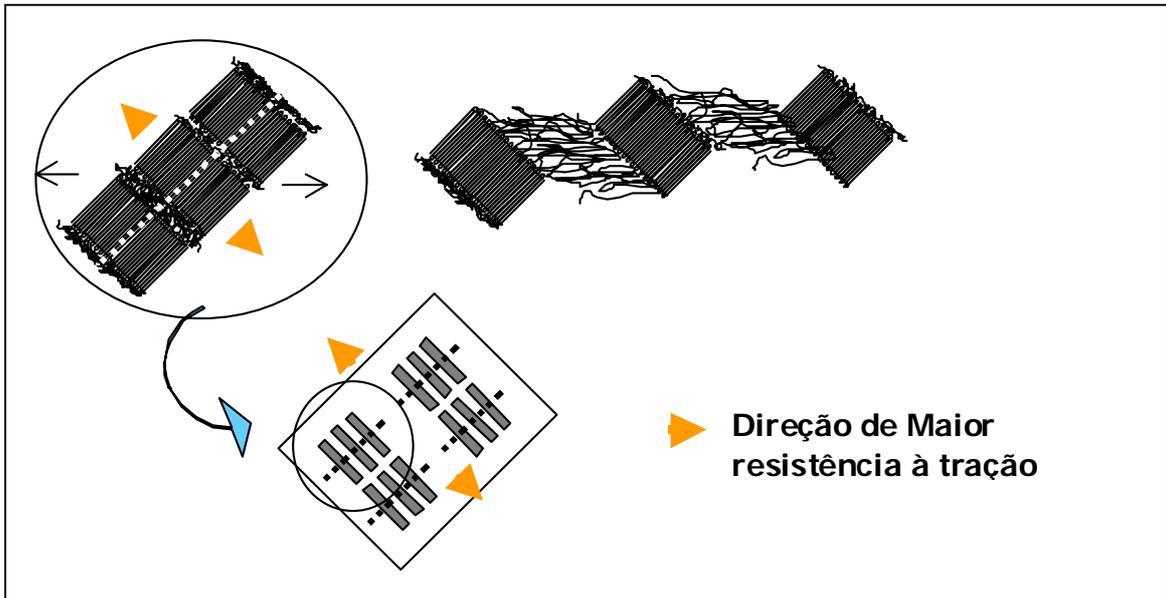


Figura 4.12 – Detalhe das lamelas com indicação da direção de maior resistência à tração.

Quanto maior o tempo disponível para relaxação destas tensões mais as regiões cristalinas assumirão uma orientação randômica (Schroff & Mavridis, 1995). Como visto na figura 4.11b, esta configuração favorece a obtenção de filmes com maior distribuição de resistência à tração.

As principais variáveis que afetam essa propriedade são o processo de polimerização da resina de PEAD, a tecnologia e as condições de fabricação do filme.

Linha de congelamento

A altura da linha de congelamento Z tem importante efeito nas características de orientação das moléculas do filme. O aumento de Z favorece a estrutura de orientação randômica, devido o polímero permanecer mais tempo no estado fundido, possibilitando um maior nível de relaxação das tensões induzidas na matriz e devido as relação de sopro (BUR). O acréscimo de BUR aumenta o nível de tensão na direção transversal (DT) que ajuda a equilibrar as tensões naturalmente induzidas na direção de fabricação ou máquina (DF) com as vantagens de melhoria das propriedades de resistência à tração.

Propriedades de Adesão

Os filmes de polietileno são amplamente utilizados no mercado das embalagens flexíveis devido apresentarem boas propriedades mecânicas, baixo custo de processamento, com a vantagem adicional de apresentam baixo nível de toxicidade e elevada estabilidade química. Porém, apresentam como principal desvantagem, baixas características de adesão de substratos ou tintas sobre sua superfície,

devido sua baixa polaridade. Assim para se conferir melhores propriedades tecnológicas de adesão e impressão é necessário tratamento superficial do filme. Um dos tratamentos mais utilizados em escala industrial para esse fim é tratamento por plasma ou por efeito corona (Inagaki, 1995). Nesse tratamento a superfície do filme é polarizada eletricamente ficando apta a reagir com outras substâncias polares componentes das tintas ou outros substratos.

4.4 Influência de Falhas e Defeitos nos Equipamentos de Processamento

Abaixo são mostrados os principais problemas decorridos em função de falhas nos equipamentos ou processo de fabricação de filmes de polietileno - PEBD, PEBDL e PEAD (Planetaplástico, 2003), bem como as principais conseqüências sofridas pelas embalagens acabadas – sacos e sacolas – nas suas propriedades finais. A tabela 4.1 relaciona os principais problemas, causas e conseqüências em filmes de PEBD e PEBDL, enquanto a tabela 4.2 relaciona –se aos filmes de PEAD.

4.4.1 Problemas e Causas em Filmes PEBD e PEBDL.

Tabela 4.1- Problemas e Causas em Filmes PEBD e PEBDL.

Anormalidade	Principais Causas	Principais Conseqüências nas Embalagens
<i>Elevação da Temperatura</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidade excessiva de extrusão devido a alto cisalhamento; - Desgaste da rosca e/ou canhão; - Desenho inadequado da rosca; - Elevado nível de pressão no cabeçote ou matriz. 	Embalagens com elevado nível de degradação
<i>Riscos no Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Resíduos na matriz; - Resina degradada aderida; - Desgaste na borda da matriz 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminuição da resistência ao rasgo; - Diminuição da resistência à tração
<i>Retenção de Materiais Degradados na Matriz</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de material reciclado de baixa qualidade; - Elevado nível de aquecimento na matriz. 	<ul style="list-style-type: none"> - Riscos no filme; - Diminuição da resistência ao rasgo e à tração de sacos e sacolas.
<i>Elevação da Pressão de Trabalho</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Partida com sistema canhão/matriz frio; - Pressão muito alta na saída do cabeçote; - Conjunto de telas obstruídas; - Sistema funcionando com tensão elétrica abaixo da nominal. 	Embalagens com elevado nível de degradação.
<i>Baixa Produção</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Revestimento da rosca gasto. - Conjunto de telas entupidas. 	Aumento do custo de fabricação das embalagens.
<i>Fratura do Fundido (Casca de Laranja)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Matriz com obstruções ou muito fechada. - Instabilidade de fluxo na matriz devido a - - - Velocidade de cisalhamento excessiva e/ou baixas temperaturas. 	Dificuldades de formação do balão.

Tabela 4.1 (continuação)- Problemas e Causas em Filmes PEBD e PEBDL

Anormalidade	Principais Causas	Principais Conseqüências nas Embalagens
<i>Baixa Estabilidade do Balão</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Resfriamento insuficiente; - Alta velocidade do ar de resfriamento; - Temperatura de trabalho excessivamente alta; - Velocidade de extrusão excessivamente alta; - Falta de ajuste no anel de ar. 	Irregularidades na espessura.
<i>Pulsão no Balão</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tensão de bobinamento não uniforme; - Estrutura de fechamento do filme(saia) segurando o filme; - Alimentação não uniforme; - Elevada temperatura da massa fundida ocasionando aumento da linha de neve. 	Irregularidades na espessura.
<i>Má Homogeneização do Pigmento</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mistura inadequada; - Alimentação de aditivos com variação na dosagem; - Master batch com pigmentos de baixa resistência a temperatura. 	Coloração não uniforme.
<i>Marcas Transversais No Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - “Gaiola” muito fechada pressionando o filme; - Balão em contato com anel de ar. 	Baixa resistência à tração na direção de fabricação (DF).
<i>Rugas No Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Desalinhamento dos rolos puxadores; - Resíduos na estrutura de fechamento do balão; - Abertura inadequada da estrutura de fechamento do balão (saia); - Filme com elevado nível de tensão; - Retenção de ar no interior do balão após a passagem pelos rolos puxadores. 	Comprometimento da produtividade de processos posteriores (bobinamento, tratamento, corte, solda, impressão).
<i>Pouca Uniformidade do Filme na Direção de Fabricação (DF)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Perfil inadequado de temperatura de extrusão; - Aquecimento excessivo na zona de alimentação (funil) provocando a fusão da resina naquela zona; - Variações na velocidade de bobinamento; - Variações na altura da linha de neve; - Tensão muito elevada nos rolos puxadores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Irregularidade de espessura do filme; - Diminuição das resistências ao rasgo e à tração na direção de fabricação (DF).
<i>Baixa Uniformidade na Direção Transversal (DT)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Saída da matriz não uniforme; - Resfriamento não uniforme; - Matriz e/ou anel de ar desnivelado; - Desalinhamento dos cilindros puxadores, anel de ar e matriz possíveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Irregularidade de espessura do filme; - Diminuição das resistências ao rasgo e à tração na direção transversal.
<i>Trepidação no Refile do Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Lâminas sem corte/mau alinhada. 	Irregularidade dimensional do filme.
<i>Variação de Espessura na Direção Transversal (DT)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Pressão não uniforme dos rolos puxadores; - Matriz e/ou anel de ar inclinados. 	Diminuição das resistências ao rasgo e à tração na direção de fabricação.

Tabela 4.1 (continuação)- Problemas e Causas em Filmes PEBD e PEBDL

Anormalidade	Principais Causas	Principais Conseqüências nas Embalagens
<i>Variação de Espessura (Filme Convexo)</i>	- Baixa uniformidade devido a correntes de ar no balão; - Saída da matriz não uniforme.	- Irregularidade na espessura do filme; - Diminuição das resistências ao rasgo, tração e perfuração
<i>Variação de Espessura (Filme Côncavo)</i>	- Matriz descentralizada.	- Irregularidade na espessura do filme; - Diminuição das resistências ao rasgo, tração e perfuração.
<i>Bloqueio Nos Rolos Puxadores</i>	- Resfriamento inadequado; - Altura da torre baixa; - Excesso de pressão dos rolos; - Resina inadequada para aplicação (ausência de <i>anti-block</i>); - Excesso de tensão de bobinamento; - Linha de neve/temperatura alta.	Embalagens com dificuldade de abertura.
<i>Alto Coeficiente de Atrito</i>	- Baixo nível de aditivo deslizante; - Espessura do filme muito grande para o nível de aditivo deslizante existente; - Temperatura de processo excessiva.	Embalagens com dificuldade de abertura e manuseio.
<i>Baixo Coeficiente de Atrito</i>	- Nível de aditivo deslizante alto; - Espessura do filme muito pequena para a quantidade de aditivo deslizante utilizada.	- Dificuldade adicional de bobinamento e empilhamento; - Dificuldade de impressão.
<i>Baixo Nível de Tratamento</i>	- Sistema de tratamento corona subdimensionado; - Mau ajuste do eletrodo; - Velocidade excessiva do filme para potencial disponível; - Interferência do teor de deslizante no filme; - Filme enrugado ou rolos de tratamento enrugado; - Tratamento inadequado.	Comprometimento do processo de impressão.
<i>Má adesão da Tinta</i>	- Filme sem tratamento; Interferência de aditivos; - Tinta de má qualidade	Má qualidade de impressão.
<i>Bloqueio Durante Armazenagem</i>	- Alta temperatura durante a armazenagem. - Resina mal formulada; - Tratamento excessivo do filme; - Tensão no filme excessiva; - Tinta inadequada ou secagem incompleta; - Linha de neve muito alta.	Embalagens com dificuldade de abertura e manuseio.
<i>Baixa Resistência ao Rasgamento na DF</i>	- Orientação na DF muito alta; - Riscos no filme; - Resina inadequada; - Excesso de pressão dos rolos puxadores (fragilizando as dobras do filme); - Resina com densidade muito alta; - Linha de neve inadequada; - Excesso de PEAD na composição.	Diminuição da capacidade nominal de carga da embalagem.

4.4.2 Problemas e Causas em Filmes de PEAD

Tabela 4.2- Problemas e Causas em Filmes PEAD.

Anormalidade	Principais Causas	Principais Conseqüências nas Embalagens
<i>Instabilidade do Balão</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Relação de insuflamento inadequada; - Espessura do filme não uniforme; - Altura da linha de neve muito baixa; - Ambiente com corrente de ar; - Rolos puxadores/torre muito alta; - Velocidade da extrusora muito baixa; - Resfriamento do balão inadequado; - Linha de neve muito alta; - Vazão não uniforme da resina (pulsção no fluxo da extrusora); - Velocidade de puxamento irregular; - Temperatura da resina muito alta; - Abertura da saia da torre inadequada. 	Dificuldade na formação do balão.
<i>Filme com Variação de Espessura</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura da matriz não uniforme; - Vazão não uniforme (extrusora pulsando); - Matriz descentralizada; - Velocidade de puxamento irregular. 	Diminuição das resistências à tração, rasgo e perfuração.
<i>Enrugamento ou Dobras</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Variação da espessura do filme; - Balão instável; - Linha de neve inadequada; - Desalinhamento entre a matriz e os rolos puxadores; - Rolos de puxamento desnivelados; - Tensão inadequada de bobinamento; - Rolos presos; - Matriz fora de nível; - Força de fechamento dos rolos puxadores desuniforme; - Rolo de puxamento frio. 	Comprometimento da produtividade de processos posteriores (bobinamento, tratamento, corte, solda, impressão).
<i>Riscos de Matriz no Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura da resina muito baixa; - Existência de cantos vivos na matriz; - Elevado nível de pressão na matriz; - Resina carbonizada; - Matriz suja; - Baixa linha de neve. 	Baixa resistência ao rasgo.
<i>Resina Queimada/Géis (Olho de Peixe)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Resina degradada; - Conjunto de telas rompido; - Resina contaminada; - Matriz/rosca sujos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Embalagens com elevado nível de degradação. - Baixa resistência à perfuração
<i>Rompimento do Balão</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Formação de géis/resina carbonizada; - Temperatura da resina muito alta; - Espessura do filme não uniforme; - Alta velocidade de puxamento; - Resina não adequada; - Má dispersão de pigmentos; - Porcentagem alta da resina recuperada; - Alta razão de sopro. 	Baixa produtividade.

Tabela 4.2 (Continuação)- Problemas e Causas em Filmes PEAD.

Anormalidade	Principais Causas	Principais Conseqüências nas Embalagens
<i>Abertura da Matriz com Variação</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura não uniforme na matriz; - Projeto da matriz inadequado; - Mandril descentralizado. 	Filme com irregularidade de espessura.
<i>Linhas de Junção Frias no Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura da resina baixa; - Material degradado na linha de junção do material; - Resina contaminada; - Suporte da matriz frio. 	Baixa resistência à tração
<i>Filme com Rugosidade Superficial</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Saída da matriz danificada; - Temperatura da resina muito baixa; - Fratura do fundido (<i>melt fracture</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa resistência ao rasgo; - Baixa resistência na termosolda; - Baixa estanqueidade; - Dificuldades de impressão.
<i>Solda com Baixa Resistência</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Condições de soldagem inadequadas; - Espessura do filme não uniforme; - Filmes com vincos ou rugas; - Altura excessiva da linha de neve; - Elevada razão de sopro; - Verniz decalcando no verso do filme no bobinamento. 	Baixa estanqueidade.
<i>Impressão do Filme com má Qualidade</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Espessura do filme não uniforme; - Filme com rugosidade superficial; - Excesso de aditivo deslizante no filme; - Armazenamento inadequado do filme (sujeira na superfície); - Rugas e vincos no filme; - Tratamento corona insuficiente; - Filme com excesso de géis ou má dispersão dos pigmentos; - Tinta inadequada. 	Erros nos dados impressos.
<i>Riscos no Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Resíduos na matriz; - Resina degradada aderida; - Desgaste na borda da matriz. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminuição da resistência ao rasgo; - Diminuição da resistência à tração.
<i>Retenção de Materiais Degradados na Matriz</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de material reciclado de baixa qualidade; - Elevado nível de aquecimento na matriz. 	<ul style="list-style-type: none"> - Riscos no filme; - Diminuição da resistência ao rasgo e à tração de sacos e sacolas.
<i>Elevação da Pressão de Trabalho</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Partida com sistema canhão/matriz frio; - Pressão muito alta na saída do cabeçote; - Conjunto de telas obstruídas; - Sistema funcionando com tensão elétrica abaixo da nominal. 	Embalagens com elevado nível de degradação.
<i>Baixa Produção</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Revestimento da rosca gasto; - Conjunto de telas entupidas. 	Aumento do custo de fabricação

Tabela 4.2 (Continuação)- Problemas e Causas em Filmes PEAD.

Anormalidade	Principais Causas	Principais Conseqüências nas Embalagens
<i>Géis Oxidados / Resina Carbonizada</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilização inadequada da resina; - Decomposição da resina devido a temperaturas de trabalho excessivas; - Excesso de temperatura com a máquina parada; - Resina contaminada; - Incompatibilidade do concentrado (pigmento ou aditivos); - Baixo cisalhamento da resina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Embalagens com elevado nível de degradação; - Baixa resistência ao rasgo; - Baixa resistência à tração; - Baixa resistência à perfuração
<i>Fratura do Fundido (Casca de Laranja)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Instabilidade de fluxo na matriz devido a velocidade de cisalhamento excessiva e/ou baixas temperaturas; - Matriz com obstruções ou muito fechada. 	Dificuldades de formação do balão.
<i>Baixa Estabilidade do Balão</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Resfriamento insuficiente; - Alta velocidade do ar de resfriamento; - Temperatura de trabalho excessivamente alta; - Velocidade de extrusão excessivamente alta; - Falta de ajuste no anel de ar. 	Irregularidade na espessura.
<i>Pulsão no Balão</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tensão de bobinamento não uniforme; - Estrutura de fechamento do filme (saia) segurando o filme; - Alimentação não uniforme; - Elevada temperatura da massa fundida ocasionando aumento da linha de neve. 	Irregularidade na espessura.
<i>Má Homogeneização do Pigmento</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mistura inadequada; - Alimentação de aditivos com variação na dosagem; - <i>Master batch</i> com pigmentos de baixa resistência a temperatura. 	Coloração não uniforme.
<i>Marcas Transversais no Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - "Gaiola" muito fechada pressionando o filme; - Balão em contato com anel de ar; 	Baixa resistência à tração na direção de fabricação (DF).
<i>Rugas No Filme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Desalinhamento dos rolos puxadores; - Resíduos na estrutura de fechamento do balão; - Abertura inadequada da estrutura de fechamento do balão (saia); - Filme com elevado nível de tensão; - Retenção de ar no interior do balão após a passagem pelos rolos puxadores; 	Comprometimento da produtividade de processos posteriores (bobinamento, tratamento, corte, solda, impressão).
<i>Pouca Uniformidade do Filme na Direção de Fabricação (DF)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Perfil inadequado de temperatura de extrusão; - Aquecimento excessivo na zona de alimentação (funil) provocando a fusão da resina naquela zona; - Variações na velocidade de bobinamento; - Variações na altura da linha de neve; - Tensão muito elevada nos rolos puxadores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Irregularidade de espessura do filme; - Diminuição das resistências ao rasgo e à tração na direção de fabricação (DF);

Tabela 4.2 (Continuação)- Problemas e Causas em Filmes PEAD.

Anormalidade	Principais Causas	Principais Conseqüências nas Embalagens
<i>Baixa Uniformidade na Direção Transversal (DT)</i>	- Saída da matriz não uniforme; - Resfriamento não uniforme; - Matriz e/ou anel de ar desnivelado; - Desalinhamento dos cilindros puxadores, anel de ar e matriz possíveis.	- Irregularidade de espessura do filme; - Diminuição das resistências ao rasgo e à tração na direção transversal.
<i>Trepidação no Refile do Filme</i>	- Lâminas sem corte / mal alinhadas.	Irregularidade dimensional do filme.
<i>Variação de Espessura na Direção Transversal (DT)</i>	- Pressão não uniforme dos rolos puxadores; - Matriz e / ou anel de ar inclinados.	Diminuição das resistências ao rasgo e à tração na direção de fabricação.
<i>Variação de Espessura (Filme Convexo)</i>	- Baixa uniformidade devido a correntes de ar no balão; - Saída da matriz não uniforme.	- Irregularidade na espessura do filme; - Diminuição das resistências ao rasgo, tração e perfuração.
<i>Variação de Espessura (Filme Côncavo)</i>	- Matriz descentralizada.	- Irregularidade na espessura do filme; - Diminuição das resistências ao rasgo, tração e perfuração.
<i>Bloqueio nos Rolos Puxadores</i>	- Resfriamento inadequado; - Altura da torre baixa; - Excesso de pressão dos rolos; - Resina inadequada para aplicação (ausência de <i>anti-block</i>); - Excesso de tensão de bobinamento; - Linha de neve/temperatura alta.	- Embalagens com dificuldade de abertura.
<i>Alto Coeficiente de Atrito</i>	- Baixo nível de aditivo deslizante; - Espessura do filme muito grande para o nível de aditivo deslizante existente; - Temperatura de processo excessiva.	Embalagens com dificuldade de abertura e manuseio.
<i>Baixo Coeficiente de Atrito</i>	- Nível de aditivo deslizante alto; - Espessura do filme muito pequena para a quantidade de aditivo deslizante utilizada.	- Dificuldade adicional de bobinamento e empilhamento; - Dificuldade de impressão.
<i>Baixo Nível de Tratamento</i>	- Sistema de tratamento corona subdimensionado; - Mau ajuste do eletrodo; - Velocidade excessiva do filme para potencial disponível; - Interferência do teor de deslizante no filme; - Filme enrugado ou rolos de tratamento enrugado; - Tratamento inadequado.	Comprometimento do processo de impressão.
<i>Má adesão da Tinta</i>	- Filme sem tratamento; - Interferência de aditivos; - Tinta de má qualidade	Principal conseqüência nas embalagens: Má qualidade de impressão.

Tabela 4.2 (Continuação)- Problemas e Causas em Filmes PEAD.

Anormalidade	Principais Causas	Principais Conseqüências nas Embalagens
<i>Bloqueio Durante Armazenagem</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Alta temperatura durante a armazenagem. - Resina mal formulada; - Tratamento excessivo do filme; - Tensão no filme excessiva; - Tinta inadequada ou secagem incompleta; - Linha de neve muito alta. 	Embalagens com dificuldade de abertura e manuseio.
<i>Baixa Resistência ao Rasgamento na DF</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Orientação na DF muito alta; - Riscos no filme; - Resina inadequada; - Excesso de pressão dos rolos puxadores (fragilizando as dobras do filme); - Resina com densidade muito alta; - Linha de neve inadequada; - Excesso de PEAD na composição. 	Diminuição da capacidade nominal de carga da embalagem.

A ocorrência de falhas nas embalagens plásticas flexíveis, devido o comprometimento das suas propriedades mecânicas, a partir de variáveis inadequadas de processamento ou defeitos nos equipamentos de fabricação exigem uma avaliação contínua dos produtos obtidos, já que o desgaste de elementos das máquinas é esperado e variações nas variáveis de processo podem ocorrer sem que possam ser percebidas.

**5. CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO DE ENSAIOS EM
EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS SEGUNDO A NBR 9191**

5.1 Introdução

As embalagens plásticas flexíveis de polietileno são obtidas, na sua grande maioria, por processo de transformação de resinas de polietileno (PE) em filmes plásticos (esse processo se dá por meio de extrusão por sopro ou balão), e subsequente transformação do filme em embalagens acabadas - sacos e sacolas - por processo de corte e termosoldagem.

Durante esses processos o material polimérico sofre significativas alterações estruturais. Essas modificações se refletem diretamente no desempenho mecânico dos embalagens podendo comprometer definitivamente sua funcionalidade.

Como visto no capítulo 4, a resina transfere as características de acordo com sua estrutura química e arranjo molecular, características das blendas, aditivos, propriedades de densidade, peso molecular, grau de cristalinidade, características de temperaturas de fusão e transição vítrea dos polietilenos utilizados. O processo de fabricação dos filmes, por sua vez, responde pelas propriedades associadas à orientação das moléculas, ao grau de cristalinidade após o processo de extrusão, a homogeneidade da distribuição da espessura, o nível de isenção de defeitos superficiais relacionados a pontos de concentração de tensão. Esses fatores influenciam significativamente as propriedades como resistência à tração, propagação ao rasgo, ao impacto, à perfuração e a rigidez do filme. Além das contribuições individuais de cada um desses fatores, pode haver o efeito combinado de mais de um deles. Por exemplo, as características de alongamento de um filme são determinadas, sobretudo, pelas propriedades da resina base utilizada; entretanto, o alongamento final que as embalagens podem apresentar vai depender dos níveis de alongamento sofridos pelo filme durante o processo de fabricação.

Cada etapa do processo de obtenção das embalagens plásticas não é capaz de corrigir falhas ou defeitos surgidos numa etapa anterior. Assim, as embalagens no final da linha de processamento podem trazer defeitos que podem, individualmente ou somados a outros, comprometerem as propriedades de desempenho mecânico.

As embalagens plásticas têm que responder satisfatoriamente a todas as solicitações mecânicas durante o manuseio. Os transformadores então devem conhecer os níveis de resistência necessários que garantam tais resultados. Portanto, a verificação sistemática do desempenho mecânico, antes da liberação de lotes de produtos para comercialização, tem que ser um elemento indispensável ao controle de qualidade, necessitando ser visto como parte integrante do processo.

5.2 Apresentação do Equipamento

O equipamento para realização de ensaios proposto neste trabalho visa contribuir para o estabelecimento de um sistema de controle de qualidade eficiente e de fácil implementação, à medida que resume em uma única unidade a possibilidade de execução de todos os ensaios de avaliação das propriedades mecânicas previstas na norma NBR 9191. A sua aplicação nas plantas industriais pode propiciar importantes resultados práticos, podendo destacar: a) a obtenção rápida de resultados de ensaios viabilizando o desenvolvimento de estudos sistemáticos de falhas e suas causas; b) implementação de melhorias, pela caracterização dos defeitos associados com anormalidades do processo; c) estabelecimento das variáveis ideais de processamento, pelo registro das variáveis responsáveis pela consecução de embalagens com desempenho conforme; c) o controle de qualidade das embalagens, evitando a liberação de lotes com defeitos para o mercado.

A fotografia e o desenho esquemático mostrados nas figuras figura 5.1 e 5.2 dão uma visão geral do equipamento.



Figura 5.1 – Fotografia do equipamento para ensaios em embalagens plásticas flexíveis segundo a NBR 9191.

5.3 Elementos de Concepção e Construção

O equipamento teve como principal elemento de concepção a necessidade da construção de um equipamento que fosse capaz de concentrar em uma única unidade os requisitos técnicos operacionais e de custo relacionados à garantia das facilidades práticas apresentadas na tabela 5.1.

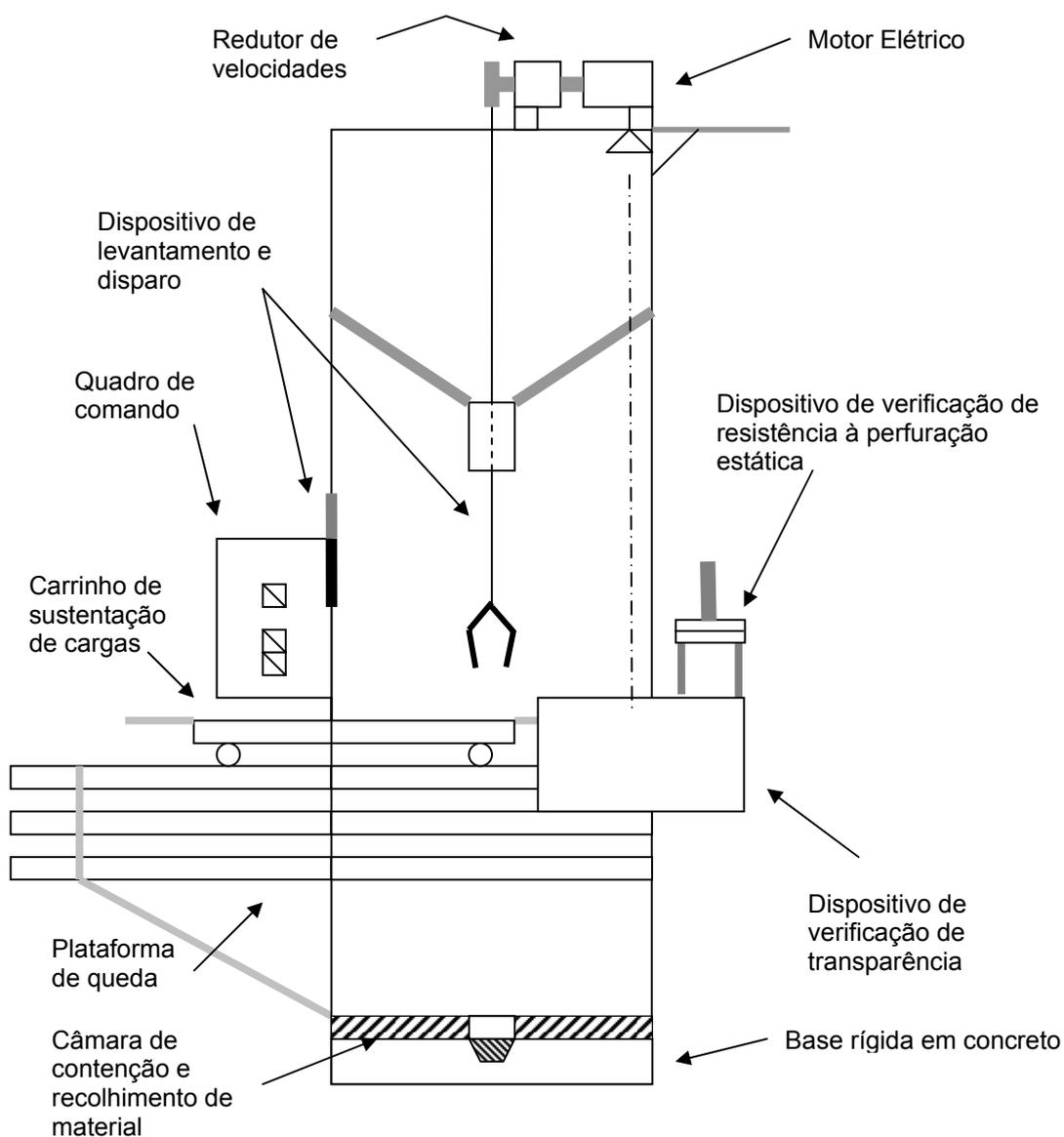


Figura 5.2 – Desenho esquemático do equipamento para ensaios em embalagens plásticas flexíveis segundo a NBR 9191.

Tabela 5.1 – Requisitos e objetivos do equipamento de ensaios segundo a NBR 9191.

Requisitos	Objetivos
1. Capacidade de realizar todos os ensaios de avaliação de desempenho mecânico dos sacos plásticos para acondicionamento de lixo previsto na NBR 9191.	Evitar que os fabricantes tenham que recorrer a outros meios para obterem os resultados dos ensaios incorrendo em demoras na conclusão das análises e implementação de melhorias.
2. Capacidade de fornecer resultados de fácil interpretação.	Propiciar que os fabricantes possam usar técnicos de nível médio possibilitando a implementação imediata do sistema de controle de qualidade.
3. Sistema simples e seguro de acionamento e operação.	Garantir a segurança do operador durante todas as fases de operação.
4. Operações de baixa complexidade de execução.	Permitir a rápida habilitação de operadores à execução dos ensaios.
5. Não requerimento de mão de obra altamente especializada para operação e manutenção do equipamento	Não ter na escassez de mão de obra especializada um impedimento à implementação do sistema de controle de qualidade e sua manutenção.
6. Requerimento, se possível, de um único operador para realizar os ensaios.	Custo reduzido com mão de obra e segurança para a execução dos ensaios – uma vez que nunca o operador pode estar ao mesmo tempo na área de acionamento dos dispositivos e na área dos ensaios.
7. Possibilidade de instalação em plantas industriais/ laboratórios com a ocupação mínima de espaço.	Otimização na ocupação de espaços de modo a dispensar investimento na criação de áreas específicas para instalação do equipamento.
8. Não requerimento de altas potências de acionamento	Baixo consumo de energia elétrica durante operação.
9. Não necessidade do uso de dispositivos de elevada tecnologia, difícil manuseio e alto custo.	Manutenção simplificada e de baixo custo – possível de ser executada por eletricitistas industriais.
10. Equipamento de custo acessível.	Evitar que o custo do equipamento represente barreira para implementação dos controles de qualidade.

5.4 Características Técnico-construtivas

5.4.1 Características específicas dos dispositivos do Equipamento

Para consecução dos objetivos segundo o atendimento dos requisitos apresentados na tabela 5.1, foram concebidas várias características técnico-construtivas para os dispositivos, visando prioritariamente prover a máquina da

capacidade de realizar todos os ensaios de avaliação de desempenho mecânico previsto na NBR 9191.

Assim, foram implementados os elementos necessários para realização dos seguintes ensaios:

- Verificação da resistência ao levantamento – com velocidade controlada;
- Verificação da resistência à queda livre – através de dispositivo padronizado de disparo, com cargas de teste e alturas controladas;
- Verificação da resistência dos filmes plásticos à perfuração estática;
- Verificação da estanqueidade – análise visual;
- *Verificação da transparência - análise visual.*

Na concepção dos dispositivos foram consideradas rigorosamente as metodologias de execução exigidas na norma para cada ensaio. Assim foram providas as características particulares para cada elemento mecânico conforme descrito nas tabelas apresentadas a seguir:

Tabela 5.2- Características técnico-construtivas do sistema de levantamento de cargas.

ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO LEVANTAMENTO (Velocidade Controlada)	
Para realização do ensaio foi concebido um sistema de levantamento de cargas formado por quatro elementos:	
Descrição	
Principais funções	
Motor elétrico de indução, trifásico de velocidade fixa. Figura 5.3	- garantir as mesmas velocidades de levantamento em todos os ensaios; - garantir velocidade constante durante o levantamento; - propiciar elevada regularidade de funcionamento; - fornecer potência mecânica necessária para o levantamento de todas as cargas de prova.
Quadro de comando elétrico metálico, com dispositivos de proteção e comando automáticos Figura 5.4	- proteção do motor elétrico contra sobrecargas, falta de fase, curtos-circuitos; - proteção do operador contra choques elétricos; - parada, partida e reversão de rotação do motor elétrico; - comandos e proteção automáticos.
Redutor mecânico de velocidade Figura 5.5	- fornecer baixa velocidade de levantamento; - garantir velocidade constante durante o levantamento; - evitar a variação da potência mecânica durante o levantamento das cargas de prova.
Dispositivo de levantamento de cargas Figura 5.6	- Permitir o levantamento dos sacos através do dispositivo padronizado da norma.

Tabela 5.3 - Características técnico-construtivas do sistema de verificação de resistência à queda livre

ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DA RESITÊNCIA À QUEDA LIVRE (Cargas de Prova e Alturas de Queda Controladas)	
O sistema de queda livre concebido possui quatro elementos distintos:	
Descrição	
Balança eletrônica	- garantir precisão na pesagem das cargas de prova previstas na norma.
Garra mecânica de disparo e sustentação de embalagens Figura 5.7	- propiciar a queda livre das embalagens nas alturas padronizadas; - permitir acionamento mecânico à distância; - não incrementar velocidade de lançamento durante os ensaios; - permitir o levantamento dos sacos, através do dispositivo padronizado de levantamento, após a queda.
Plataforma e carrinho de sustentação de embalagens Figura 5.8	- evitar solicitações mecânicas adicionais de pré-carregamento dos sacos durante o enchimento; - servir de referência para as alturas de queda padronizadas;

Tabela 5.4 - Características técnico-construtivas do sistema de verificação de resistência à perfuração estática.

ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DA RESITÊNCIA DE FILMES PLÁSTICOS À PEFURAÇÃO ESTÁTICA (Através de dispositivo padronizado segundo a NBR 14474)	
Dispositivo padronizado segundo a NBR 14474, construído sobre placa metálica anexa à máquina de ensaios, composto basicamente de dois elementos principais:	
Descrição	
Pêndulo padronizado de perfuração estática	- exercer pressão de prova constante em todos os ensaios de perfuração.
Base normalizada de sustentação e fixação de filmes Figura 5.9	- garantir a adequada disposição do filme para o ensaio de perfuração.

Tabela 5.5 - Características técnico-construtivas do sistema de verificação da estanqueidade.

ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DA ESTANQUEIDADE DE EMBALAGENS (Volume d'água normalizado como carga de prova)	
Dispositivo capaz de sustentar as embalagens quando na realização dos ensaios. Composto basicamente de dois elementos principais:	
Descrição	
Garra mecânica de sustentação de embalagens Figura 5.7	- permitir a sustentação dos sacos durante a verificação da estanqueidade;
Recipiente graduado com medidas de volumes	- garantir a precisão do volume d'água como carga de prova.

Tabela 5.6- Características técnico-construtivas do sistema de verificação da transparência de filmes plásticos.

ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DA TRANSPARÊNCIA DE FILMES PLÁSTICOS (Através de dispositivo normalizado para verificação da transparência segundo a NBR 13056)	
Dispositivo capaz de permitir a análise do nível de transparência de filmes plásticos composto basicamente de dois elementos principais:	
Descrição	
Câmara padronizada de inspeção visual Figura 5.10	- Permitir a incidência de um fluxo luminoso sobre a superfície de filmes para inspeção visual da transparência dos mesmos.
Figura de Referência Figura 5.11	- Figura de forma geométrica e dimensões normalizadas, cujo grau de definição na visualização das mesmas, através dos filmes plásticos, denotam a conformidade da transparência.

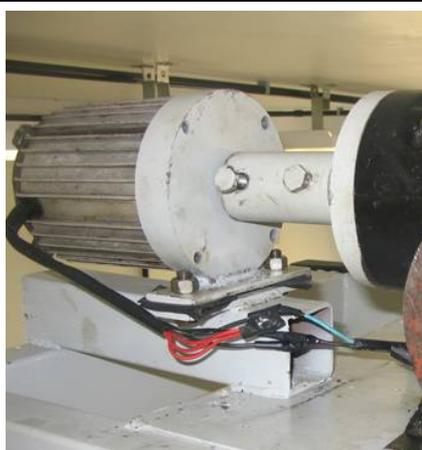


Figura 5.3- Motor elétrico de indução trifásico.



Figura 5. 4- Quadro de comando elétrico.



Figura 5. 5- Redutor mecânico de velocidades.



Figura 5. 6- Dispositivo padronizado para levantamento disparo de embalagens.



Figura 5.7- Garra mecânica para levantamento e disparo de embalagens

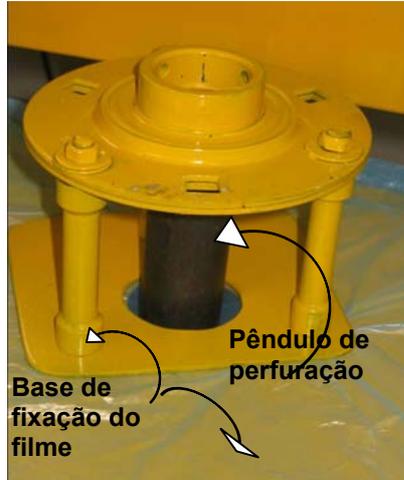


Figura 5.9- Dispositivo padronizado de perfuração estática de filmes.



Figura 5.8- Plataforma para sustentação e lançamento de embalagens.

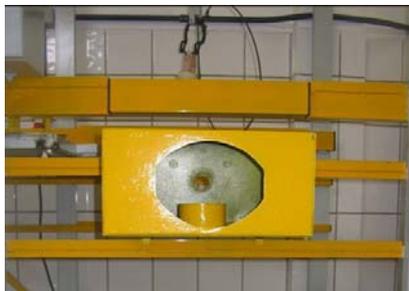


Figura 5.10- Câmara de Inspeção visual de transparência de filmes plásticos.



Figura 5.11- Figura de referência para Inspeção visual da transparência de filmes.

5.5 – Princípios de Funcionamento dos Dispositivos na Realização dos Ensaios

As metodologias de realização dos ensaios de verificação de desempenho mecânico encontram-se descritas no ANEXO I – NBR 9191 Comentada. As figuras apresentadas a seguir mostram os princípios de funcionamento do equipamento na realização desses ensaios. Algumas fotografias são utilizadas para propiciar uma visão real do ensaio durante sua execução.

ENSAIO DE QUEDA

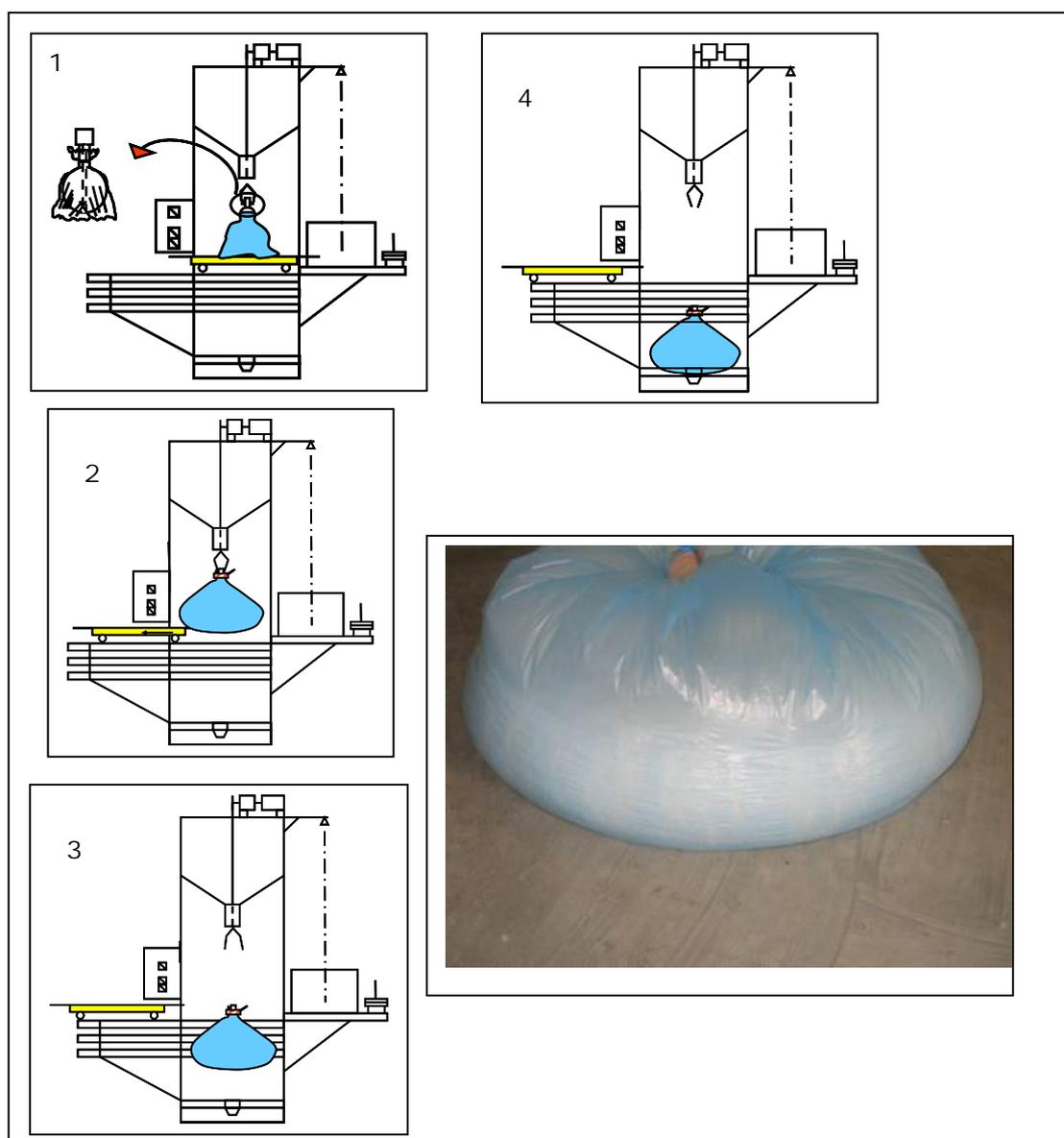


Figura 5.12 - Sequência das principais etapas do ensaio de verificação da resistência à queda realizado no equipamento com fotografia de uma embalagem imediatamente após a queda.

ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DA ESTANQUEIDADE

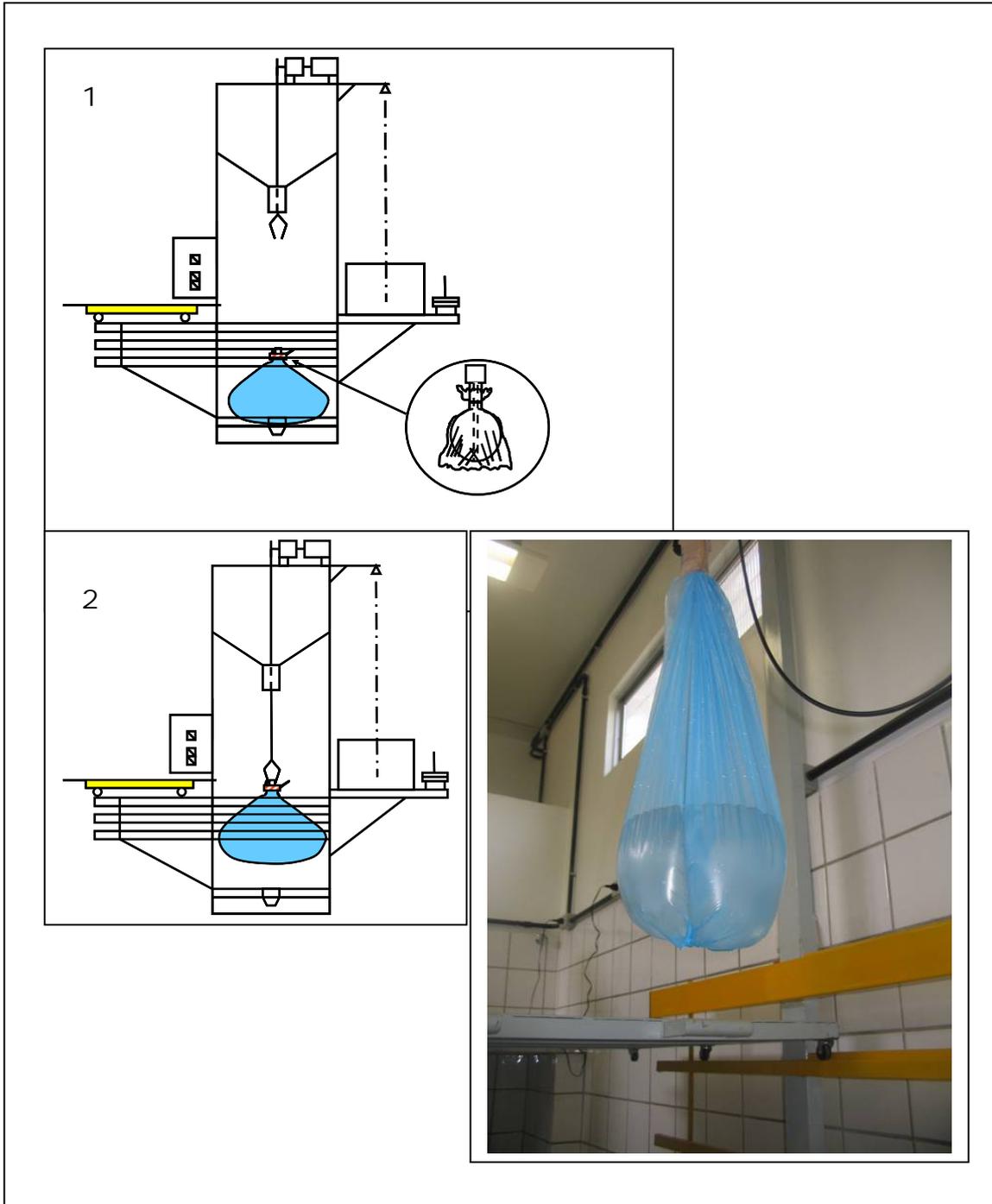


Figura 5.13 - Seqüência das principais etapas do ensaio de verificação da estanqueidade realizado no equipamento com fotografia de uma embalagem durante o teste.

ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DA TRANSPARÊNCIA

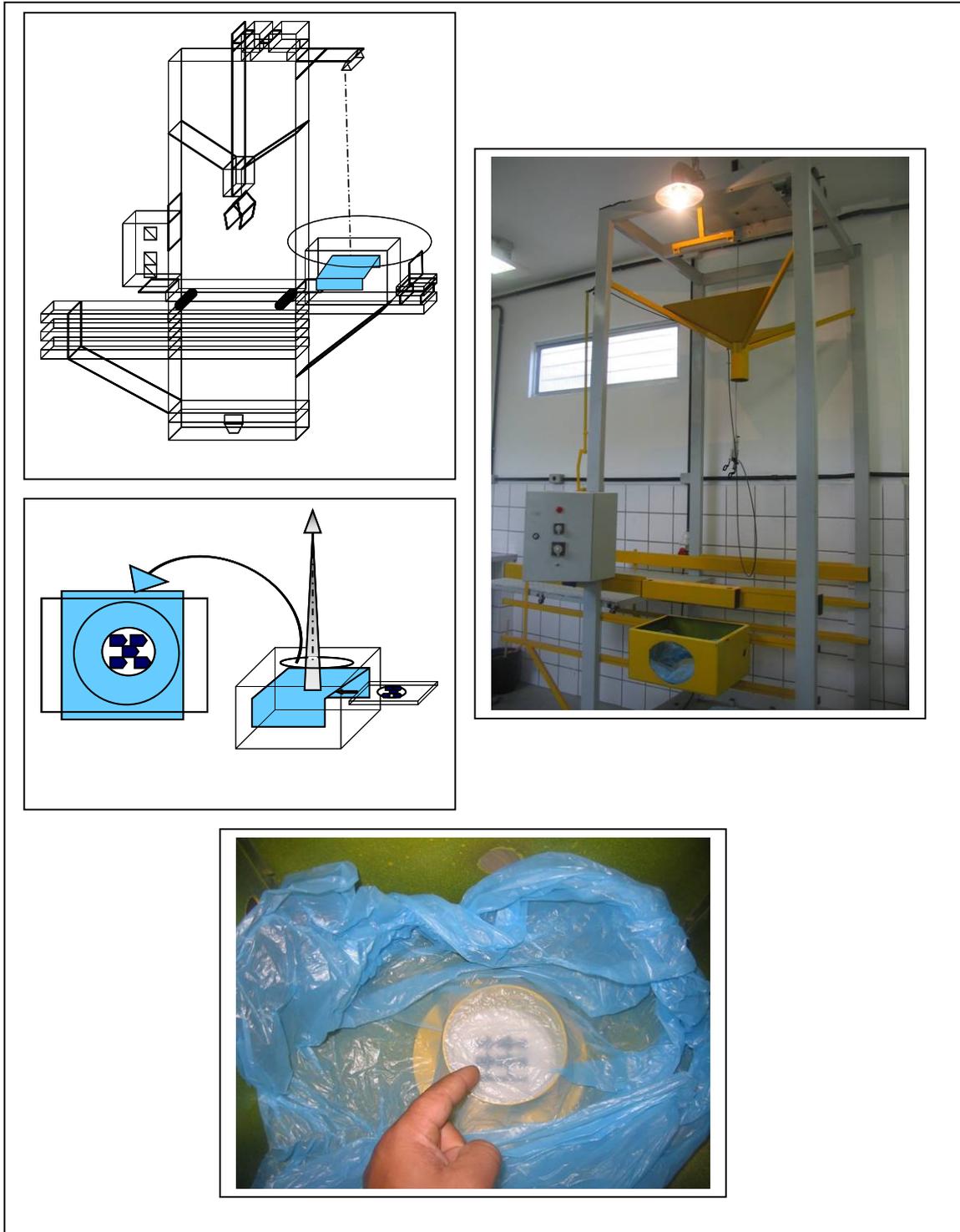


Figura 5.14 - Seqüência das principais etapas do ensaio de verificação da transparência realizado no equipamento com fotografia de uma embalagem durante o teste.

ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PERFURAÇÃO ESTÁTICA

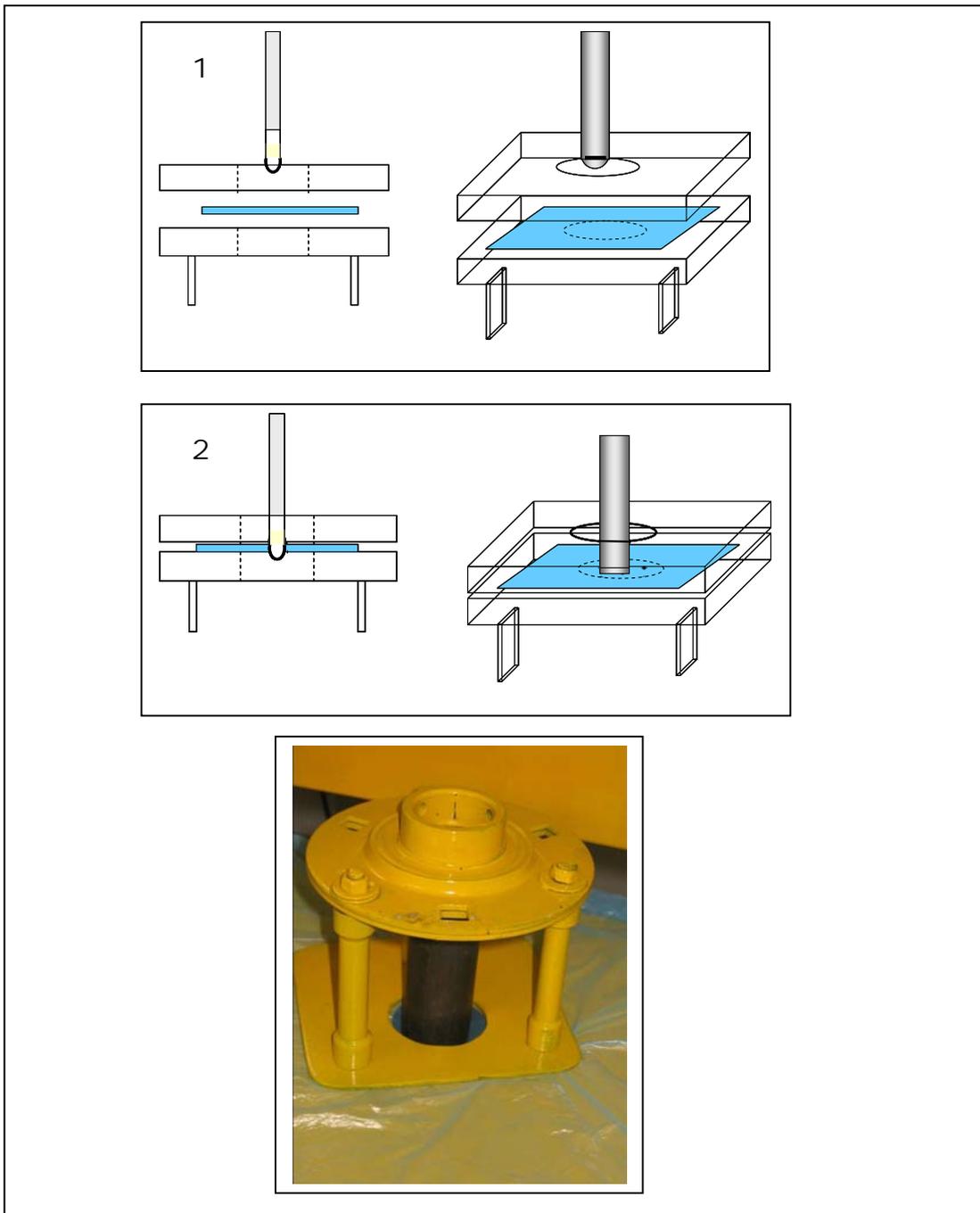


Figura 5.15 - Seqüência das principais etapas do ensaio de verificação da resistência à perfuração estática realizado no equipamento com fotografia de uma embalagem durante o teste.

5.6 Características gerais do Equipamento

- O equipamento possui sua base de forma quadrada e ocupa uma área de 2m², requerendo que o local da sua instalação possua um pé direito de no mínimo 3.5m de altura;
- O equipamento foi construído utilizando tubos metálicos retangulares formando uma torre cúbica retangular aberta, rígida e de peso reduzido;
- O equipamento foi construído utilizando o processo MIG (melt inert gas) de soldagem para conferir melhores níveis de acabamento superficial e maior resistência da estrutura metálica;
- A pintura do equipamento foi efetuada usando duas cores distintas, dando-se destaque para as partes móveis do equipamento.
- O equipamento é provido de uma base horizontal plana em concreto para evitar a absorção de energia de choque nos ensaios de queda livre, de modo a minimizar interferências nos resultados finais desse ensaio;
- O equipamento possui um único motor elétrico, de baixa potência, podendo ser acionado diretamente da rede trifásica sem dispositivos especiais auxiliares de partida e parada;
- Todas as operações do equipamento requerem apenas um único operador, exceto a mudança da plataforma de sustentação dos sacos nos ensaios de queda (quando necessita de um auxiliar) quando for haver mudança para alturas de quedas diferentes.

5.7 Testes dos Dispositivos e Resultados Finais

O equipamento foi testado em todos os seus parâmetros de funcionamento, realizando os ensaios previstos na NBR 9191 e avaliando o grau de atendimento aos requisitos da norma para a realização dos mesmos. Os procedimentos utilizados e resultados obtidos são apresentados a seguir.

Os testes de funcionamento dos dispositivos foram realizados utilizando embalagens com capacidades nominais de 30, 50 e 100 litros, com as cargas de prova padronizadas (ver Tabela 5.7 do Anexo I). A tabela 5.7 e a 5.8 mostram os principais resultados quantitativos e qualitativos. A síntese dos principais resultados observados no funcionamento e desempenho dos elementos e dispositivos estão apresentados nas demais tabelas listadas.

Um total de 300 embalagens foram inicialmente ensaiadas apresentando os seguintes desempenhos de conformidade conforme a norma NBR 9191:

Tabela 5.7 - Principais resultados quantitativos.

Quantidade	Ensaio	% Conformidade
60	Queda	62,5
60	Levantamento	100
60	Estanqueidade	41,6*
60	Perfuração	100
60	Transparência	0

*30 Unidades - Solda triangular = 83% Conforme

30 Unidades - Solda linear = 100% Não conforme

Um importante resultado observado diz respeito ao desempenho das embalagens quanto à capacidade de retenção de líquido nos ensaios de verificação da estanqueidade. Embalagens com dois tipos de termosoldas (solda triangular e solda linear) na parte inferior foram ensaiadas. A solda triangular pareceu conferir uma maior integridade física à termosolda uma vez que as embalagens com esse tipo de solda apresentaram um índice de conformidade de 83%. Já as de solda linear, todas foram reprovadas durante os ensaios.

Tabela 5.8 - Principais resultados qualitativos do ensaio de transparência.

ENSAIO DE PERFURAÇÃO TRANSPARÊNCIA	
Principais resultados	Evidência
Mostrou que todos os filmes verificados apresentaram elevada transparência (baixo nível de opacidade), portanto, com resultado não conforme.	 <p>Figura 5.16 - Embalagem durante ensaio de verificação transparência.</p>

Tabela 5.9 - Principais resultados qualitativos do ensaio de queda.

ENSAIO DE QUEDA	
Principais resultados	Evidência
<p>Mostrou que os maiores níveis de tensão nesse ensaio são na direção transversal. As embalagens formam estrias na direção de fabricação ao se chocarem contra a base rígida de concreto. O estouro da embalagem se dá quando algumas dessas estrias se rompem permitindo o vazamento do conteúdo.</p>	 <p>Figura 5.17 - Rompimento na direção de fabricação - Embalagem estourada no ensaio de queda.</p>
<p>Mostrou que falhas de processamento como riscos e marcas superficiais são também responsáveis por pontos de estouro</p>	 <p>Figura 5.18 - Rompimento em ponto localizado - Embalagem estourada no ensaio de queda.</p>

Tabela 5.10 - Principais resultados qualitativos do ensaio de levantamento.

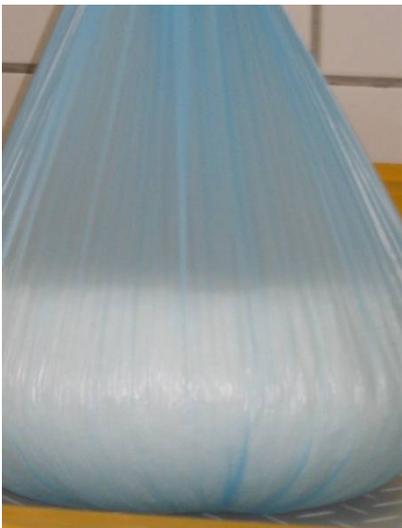
ENSAIO DE LEVANTAMENTO	
Principais resultados	Evidência
<p>Mostrou que a maioria das embalagens possuem elevada resistência na direção de fabricação.</p>	 <p>Figura 5.19 - Embalagem sob esforço de tração durante ensaio de levantamento.</p>
<p>Evidenciou a necessidade de melhor distribuição das direções de resistência à tração nos filmes (apresentaram elevada resistência à tração na direção de fabricação e baixa na direção transversal). Observa-se a formação de estrias na direção de fabricação distribuídas radialmente no corpo da embalagem após a queda, mostrando baixa resistência à tração nesta direção.</p>	 <p>Figura 5.20 - Embalagem estourada no ensaio de queda.</p>

Tabela 5.11 - Principais resultados qualitativos do ensaio de estanqueidade.

ENSAIO DE ESTANQUEIDADE	
Principais resultados	Evidência
<p>Mostrou que os principais responsáveis pelas reprovações nos ensaios estão relacionados ao processo de termosoldagem e não necessariamente às características do filme, uma vez que os vazamentos verificados não ocorreram na superfície do filme e sim, nas termosoldas.</p>	 <p>Figura 5.21 - Embalagem durante ensaio de verificação da estanqueidade.</p>

Tabela 5.12 - Principais resultados qualitativos do ensaio de perfuração estática.

ENSAIO DE PERFURAÇÃO ESTÁTICA	
Principais resultados	Evidência
<p>Mostrou que os filmes analisados apresentam boa resistência à perfuração e ao rasgo</p>	 <p>Figura 5.22 - Embalagem durante ensaio de verificação da resistência à perfuração estática.</p>

Tabela 5.13 - Principais resultados dos elementos do sistema de levantamento de cargas.

TESTE DO SISTEMA DE LEVANTAMENTO DE CARGAS	
Elemento	Resultado(s)
Motor elétrico	O motor elétrico especificado (figura 5.3), assíncrono trifásico, apresentou desempenho satisfatório uma vez que manteve constante a velocidade no levantamento das diversas cargas de prova. Esse resultado era esperado devido ser essa uma das características típicas dessa classe de motores, uma vez que apresentam sua velocidade nominal rigorosamente constante com a frequência da rede de alimentação elétrica, apresentando variações desprezíveis com funcionamento com cargas abaixo da sua capacidade nominal.
Quadro de comando (elementos de comando e proteção do motor elétrico)	Através dos botões de acionamento do quadro de comando foi possível controlar devidamente o ensaio de levantamento sendo possível efetuar com precisão as seguintes operações: <ul style="list-style-type: none"> - Partida e parada instantânea do motor; - Facilidade de posicionamento dos sacos em variadas posições (alturas); - Reversão instantânea da rotação do motor; - Controle do tempo de execução do ensaio (tempo de levantamento) - Controle do tempo de permanência do corpo de prova em repouso (na posição desejada); <p>Foi ainda testada a capacidade de desligamento automático do motor, pelos dispositivos de proteção do quadro de comando, nas seguintes simulações de anormalidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Curto circuito na rede de alimentação; - Sobrecarga; - Falta de fase; <p>Em todas as situações o sistema respondeu adequadamente.</p>
Redutor de velocidades	O principal desempenho esperado dessa unidade foi a obtenção de uma baixa velocidade de levantamento das cargas, de modo a evitar o estiramento dos filmes dos sacos devido às altas velocidades influenciando os resultados. A desvantagem da opção do motor assíncrono trifásico era a disponibilidade de uma única velocidade de operação, alta para o ensaio de levantamento. O uso do redutor mecânico mostrou-se uma excelente alternativa para alcançar a velocidade desejada. A regularidade de funcionamento, a manutenção da potência mecânica requerida e o baixo nível de vibração induzida no cabo de aço foram as principais vantagens verificadas durante os testes do elemento.
Dispositivo de levantamento de cargas	O cabo de aço, de diâmetro reduzido, usado como elemento de transmissão de força entre o redutor e a garra de sustentação dos sacos apresentou as vantagens do uso de polia com diâmetro reduzido na saída do redutor; além de propiciar a fácil conexão com a garra de disparo das embalagens. A garra atendeu perfeitamente aos requisitos esperados suportando, assim como o dispositivo padronizado de levantamento construído (figura 5.6), a todas as solicitações mecânicas oferecidas pelas cargas. Uma abraçadeira de tecido sintético com fecho rápido, de largura próxima à altura da haste de sustentação do dispositivo, foi utilizada e garantiu a pressão necessária de sustentação dos sacos durante todos os ensaios realizados.

Tabela 5.14 - Principais resultados dos elementos do sistema de verificação à queda livre.

TESTE DO SISTEMA VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À QUEDA LIVRE	
Elemento	Resultado(s)
Garra mecânica e dispositivo de levantamento	<p>A garra mecânica utilizada no teste de levantamento é o principal elemento utilizado no ensaio de queda. Foi capaz de abrir-se rapidamente, mediante comando mecânico à distância, sem induzir vibração nas embalagens no momento do disparo.</p> <p>Já o dispositivo padronizado de levantamento construído (figura 5.6) suportou a todas as solicitações mecânicas requeridas durante o levantamento, sustentação e queda das embalagens (uma vez que no ensaio de queda é lançado junto à embalagem ensaiada).</p> <p>O mesmo sistema utilizado no ensaio de levantamento é utilizado para efetuar o levantamento do saco após a queda exigindo apenas um curso maior da garra e do dispositivo de levantamento. O desempenho foi igualmente satisfatório como no ensaio de levantamento.</p>
Plataforma e carrinho de sustentação das embalagens	<p>O principal desempenho esperado pelo sistema de sustentação das embalagens para enchimento nas alturas padronizadas foi usar a plataforma de sustentação e carrinho, construídos em tubos retangulares e chapa metálica, como suporte durante o enchimento dos sacos com as cargas de prova. A retirada rápida do carrinho deixando livre o espaço necessário para passagem da embalagem em queda, sem causar danos à mesma durante essa operação, foi um resultado importante alcançado. O mecanismo elaborado de posicionamento do saco na altura padronizada de queda, com a retirada subsequente à perda de contato da parte inferior do saco com a superfície da do carrinho, foi eficaz e atendeu completamente ao que era esperado.</p>

Tabela 5.15 - Principais resultados dos elementos do sistema de verificação da resistência à perfuração estática e transparência.

TESTE DO SISTEMA VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PERFURAÇÃO ESTÁTICA E TRANSPARÊNCIA	
Elemento	Resultado(s)
Dispositivo de perfuração e verificação da transparência	<p>Os dispositivos de verificação da resistência à perfuração estática de filmes bem como da transparência dos mesmos têm suas formas construtivas definidas por normas específicas (NBR 14474 e NBR 13056 respectivamente). São dispositivos que independem completamente dos outros dispositivos da máquina. Portanto, a capacidade de atendimento aos requisitos das normas limita-se ao nível de precisão dimensional comparado com as medidas definidas nas mesmas. A instalação desses dispositivos, porém, foi concebida para ser acoplada ao corpo da máquina de ensaio em posição que não prejudica a execução de nenhum dos outros ensaios,</p>

Tabela 5.16 - Principais resultados dos elementos do sistema de verificação da estanqueidade.

TESTE DO SISTEMA VERIFICAÇÃO DA ESTANQUEIDADE	
Elemento	Resultado(s)
Garra mecânica e dispositivo de levantamento	<p>O sistema de verificação de estanqueidade usa o mesmo dispositivo de levantamento com a diferença de que aqui o dispositivo é utilizado para sustentação da embalagem durante a verificação da ocorrência de vazamentos sendo a água a carga de prova dos sacos. O dispositivo serviu perfeitamente para as análises.</p>

Através desses resultados foi possível verificar a viabilidade técnica da consecução dos objetivos propostos, ou seja, a construção de um equipamento único com a capacidade de realizar todos os ensaios de avaliação das propriedades mecânicas das embalagens plásticas previstos na NBR 9191; com a possibilidade de ter sua capacidade ampliada para atender ainda os ensaios de análise dimensional e capacidade volumétrica dessas embalagens. O equipamento pode ser utilizado como ferramenta de grande utilidade prática nos processos de controle de qualidade de embalagens plásticas flexíveis nas indústrias de transformação e laboratórios certificadores. Podendo ainda ser utilizado em estudos de melhoria e desenvolvimento de novos materiais e produtos por centros especializados e laboratórios de pesquisa.

6. CONCLUSÕES

6. Conclusões

A concepção do equipamento para ensaios de embalagens conforme os requisitos da norma NBR 9191, cuja construção permitiu a consecução dos objetivos técnicos operacionais e de custos, propostos e discutidos no capítulo 5, levou à obtenção de resultados satisfatórios após a realização dos testes de funcionamento de todos os dispositivos, conforme apresentados no item 5.7. Com isso, pode-se chegar às seguintes conclusões principais:

- É possível a utilização do equipamento proposto como ferramenta de controle de qualidade das embalagens plásticas flexíveis em plantas industriais e ou laboratórios de certificação/desenvolvimento de embalagens;

- Com o uso do equipamento é possível implementar um sistema de investigação permanente e eficaz através da pesquisa e estudos sistemáticos de causas, efeitos e soluções de problemas. Uma vez que equipamentos idênticos de ensaios podem ser utilizados tanto nos laboratórios de pesquisa e certificação, como nos de controle de qualidade nas plantas industriais. Dessa forma a condição ideal para comparação dos resultados pode ser estabelecida, já que as metodologias de análises aplicadas são exatamente as mesmas.

- O uso do equipamento por laboratórios certificadores de produtos possibilita a garantia dos mesmos níveis de exigências técnicas de desempenho das embalagens na execução dos ensaios tanto nos laboratórios como nas plantas de transformação. Com isto, podem ser dirimidos as dúvidas e questionamentos por parte dos transformadores sobre os níveis de criticidade das metodologias aplicadas pelos laboratórios.

- É tecnicamente viável agregar ao equipamento os ensaios de avaliação dimensional e capacidade volumétrica definidas na NBR 9191, sem alteração alguma na sua forma estrutural final.

- Através da realização dos ensaios para testar a capacidade do equipamento em realizar adequadamente os ensaios descritos na NBR 9191 foi possível observar a ocorrência de similaridades de falhas em embalagens diferentes quando submetidas aos mesmos ensaios. Por exemplo, as unidades que não foram aprovadas no ensaio de verificação de resistência à queda, sempre estouraram apresentando rupturas com o mesmo perfil morfológico: rasgos longos na mesma direção de fabricação dos filmes, a partir de deformações idênticas em forma de estrias, distribuídas radialmente pelo corpo das embalagens. Assim foi possível prever que as maiores solicitações mecânicas nesse ensaio são os esforços de tração transversal. As embalagens ensaiadas apresentaram resistência transversal ao rasgo inferior à requerida para suportar os esforços na queda.

Esses resultados e os demais apresentados na tabela 5.9, no capítulo 5, demonstram claramente que o equipamento pode ser uma ferramenta útil não só para realização dos ensaios como para a investigação da natureza dos esforços envolvidos durante a realização dos mesmos; constituindo-se ferramenta

importante para estudos de desenvolvimento de produtos com características técnicas adequadas.

- O uso do equipamento pode, finalmente, contribuir para o atendimento das necessidades de natureza técnica, tecnológica e de adequação metrológica requeridas para os sacos plásticos para acondicionamento de lixo; atualmente exigidas pelos órgãos legais competentes e desejado pelos transformadores industriais de embalagens plásticas; garantindo assim as condições seguras e metrologicamente corretas necessárias ao uso adequado pela população.

7. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

7. Sugestão para Estudos Futuros

- Testes de comparação interlaboratorial entre outros laboratórios que já oferecem serviços de análises em sacos para acondicionamento de lixo segundo a NBR 9191 (IPT –SP e COMLURB –RJ) para se avaliar o grau de concordância entre os resultados obtidos através do equipamento e segundo as metodologias desenvolvidas pelos mesmos para aplicação dos ensaios da norma;
- Estudos para implementação no equipamento dos ensaios de caracterização dimensional e capacidade volumétrica definidas na NBR 9191, dentro da mesma filosofia de concepção adotada na implementação dos outros ensaios.
- Estudos da viabilidade técnica para realização de ensaios em embalagens plásticas destinados a outras aplicações diferentes do acondicionamento de lixo.
- Estudos da viabilidade técnica para realização de ensaios em embalagens plásticas destinados a outras aplicações diferentes do acondicionamento de lixo.
- Estudo da natureza dos esforços mecânicos envolvidos nos ensaios realizáveis pela equipamento e da determinação dos níveis dos mesmos com o auxílio de outros recursos tecnológicos de investigação científica. Esses dados podem servir de parâmetros de referência para obtenção de embalagens tecnicamente adequadas ao uso.
- Estudo do uso alternativo de outras resinas poliméricas, diferentes do polietileno, ou blendas, para fabricação de sacos para acondicionamento de lixo, com custos de fabricação compatíveis com o PE, porém com características de resistência mecânica compatíveis ou superiores.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. *Regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde - Resolução RDC nº 33. D.O.U - 05/03/2003 - Disponível em <<http://www.anvisa.org.br/html>> Acesso em 20 de dezembro de 2003.*

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS –ASTM. *Standard practice for classifying visual defects in glass-reinforced plastic laminate parts. ASTM D2563-94.*In: ASTM Standard on Disc. Philadelphia: ASTM, 2001.v.08.02.24p. (1 CD Rom).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE EMBALGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS. ABIEF. *Nomenclatura – NT 1.00.* São Paulo: ABIEF, 2000.14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Plásticos – atmosfera padrão para condicionamento e ensaio – NBR 7452.* Rio de Janeiro: ABNT, 1982. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos – NBR 5426.* Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Filmes Plásticos – Verificação da transparência – Método de ensaio – NBR 13056.* Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Filmes Plásticos – Verificação da resistência à perfuração estática – Método de ensaio – NBR 14474.* Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Símbolos de risco e manuseio para o transporte e armazenamento de materiais – NBR 7500.* Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Sacos plásticos para acondicionamento de lixo – Requisitos e métodos de ensaio - NBR 9191,* Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 7p.

BILMEYER, F.W.J. – *Textbook of Polymer Science* – Wiley- Interscience, USA (1984).

BRENT, A. S. *Plastics: materials and processing*, 2nd ed. Prentice – Hall, Inc, p.811, 2000.

COUTINHO, MB., MELO L.I., SANTA M.C.L., *Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações*, Instituto de Química, UERJ. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.

CALISTER, ... 2001

CARSWELL, T.S.; NASON, H.K. *Effect of environmental conditions on the mechanical properties of organic plastics*. Symposium on Plastics, AMERICAN Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1944. Copyright, ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103.

DOW - *Processo de extrusão de filmes soprados*. Disponível em <http://www.dow.com.br/> > 02/08/2003. Acesso em 20 de Agosto de 2003.

DOAK, K.W. – “*Ethylene Polymers*”. Em: Mark, H.M.; Bikales, N.M.; Overberg, C.G.; Menges, G. – “*Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*”, John-Wiley & Sons, New York, Volume 6 (1986).

GODSHALL, D.; WILKES, G. *Influence of resin molecular weight on the moisture permeability of HDPE blown films*, *Journal of PLASTIC FILM & SHEETING*, v.19, p.197-208, July 2003.

GUERRINI, L.M.; PAULIN F.P.I.; BRETAS R.E.S. *Correlação entre as propriedades reológicas, óticas e a morfologia de filmes soprados de LLDPE/LDPE*. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.14, nº 1, p.36-45, 2004.

HADJICHRISTDIS, N., LOHSE, D.J. & MENDELSON, R.A – *Macromolecules*. 33, p.2424 (2000).

INMETRO 1 – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA – *Programa de Análise de Produtos* – Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/proganaliseprod.asp> > 30/09/2004. Acesso em 01 de Agosto de 2005.

INMETRO 2 – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA – *Programa de Análise de Produtos – Sacos de Lixo*. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/lixo.asp> > 01/07/2003. Acesso em 01 de Agosto de 2003.

INMETRO 3 – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA – *Programa de Análise de Produtos – Sacos de Lixo II*. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/lixoii.asp> > 01/07/2003. Acesso em 01 de Agosto de 2003.

INMETRO 4– INSTITUTO NACIONAL DE METRTOLOGIA - *Relatório sobre Análise em Produtos com Marcas Próprias - Parte V – Sacos para Lixo*. Disponível em < http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/supermercado_sacolixo.asp> 02/08/2005 .Acesso em 01 de Agosto de 2005.

IMAGES GOOGLE. Disponível em < <http://www.google.com.br/> > 02/08/2005
Acesso em 10 de Agosto de 2005.

INAGAKI, N. *Plasma Surface Modification and Plasma Polymerisation*. Technomic, Basel,1995.

MARTINS, G.A.S. – *Informações sobre Manuseio e Estocagem de Polietilenos e Polipropilenos* – Boletim Técnico nº14 – OPP Petroquímica S.A. – Agosto (1999)

MIDDLEMAN, S. *Fundamentals of Polymer Processing*, McGraw Hill, New York, 1977.

MILES D. C. & BRISTON, J.H. – *Polymer Technology*. Temple Press Book, London (1965).

NEVES, C.J.A. – *Resistência Química de PE's a Vários Reagentes Químicos* – Boletim Técnico nº 13 – OPP Petroquímica S.A. – Agosto (1999).

PARRINI, P.; CORRIERI,G. *Makromol. Chem.*, 62,83,1963. Huthing & Wepf Publishers, Zug, Switzerland.

PEACOCK, A.J. *Handbook of Polyethylene – Structure, Properties, and Applications*, Marcel Deckker Inc., New York, 2000.

PEREIRA, R.A.; MANO, E.B.; DIAS,M.L.; ACORDI,E.B. – *Polymer Bulletin*,38,p.707 (1997).

PLANETAPLÁSTICO. *Problemas e Causas em PEBD, PEBDL e PEAD*. Disponível em <<http://www.planetaplastico.com.br/novo/literatura/index.html>>
Acesso em 20 de dezembro de 2003.

PRASAD, A.; SHROFF, R.; RANE, S.; BEAUCAGE,G. *Polymer*, 42:3103, 2001.

SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; OIIVEIRA, L.M.;PADULA, M.; COLTRO, L. ALVES, R.M.V.; GARCIA, E.E.C. *Embalagens Plásticas Flexíveis: Principais polímeros e avaliação de propriedades*. CETEA/ITAL, Campinas –SP. 267p. 2002.

SCHULTZ, J.M. *Polymer Materials Science*, copyright 1974, pp.500-501. Prentice-Hall, Inc., Englewood, NJ.

SCROFF,R.; MAVRIDIS,H. *J. Applied Polym.Sci.*, 57:1605, 1995.

SILVA, AL.N. – *Preparação e Avaliação de Propriedades Térmicas, Morfológicas, Mecânicas e Reológicas de Misturas à Base de Polipropileno e Poli(etileno-co-1-octeno)* – Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil (1999).

TODD, W.G. *Variables that affect/control high-density polyethylene film oxygen-moisture barrier*. Journal of PLASTIC FILM & SHEETING, v.19, p.209-220, July 2003.

9. ANEXOS

ANEXO I - NBR 9191 Comentada

Introdução

Os termos e os conceitos apresentados a seguir são necessários a uma melhor compreensão dos utilizados na NBR 9191.

Conceitos fundamentais

- Atmosfera Padrão e Condicionamento para Realização de Ensaios

Para que o equipamento de ensaios proposto possa ser adotado como ferramenta de controle de qualidade de embalagens necessita ter os resultados de seus ensaios validados. Para isso é necessária a comparação dos resultados por diferentes laboratórios, onde a padronização das condições ambientais antes e durante os ensaios é fator indispensável.

As exigências requeridas para aplicação da NBR 9191 dizem respeito ao controle da temperatura no ambiente de realização dos ensaios. Decorre do fato das embalagens plásticas serem altamente susceptíveis à influência da temperatura, podendo levar os ensaios a apresentar resultados completamente diferentes quando realizados em condições diferentes de condicionamento.

O condicionamento dessas embalagens pode ser entendido como a preparação da amostra, sob certas condições de temperatura, durante determinado tempo para que o material apresente uma certa constância do comportamento das suas propriedades; de modo que possam ser alcançados resultados a partir de um estado definido do material.

As condições de condicionamento referem-se à condição ambiental – atmosfera padrão – e o tempo de acondicionamento da amostra para os ensaios. As tolerâncias nas variações das condições ambientais limitam-se ao ambiente laboratorial ou recinto onde são condicionadas as amostras, e referem-se às variações máximas permitidas, no tempo de execução do ensaio ou condicionamento, naquele(s) ambiente(s) (ABNT – NBR 7452,1982).

No caso da NBR 9191 somente o controle da temperatura, de 20° C, é requerido, com uma tolerância de $\pm 5^\circ$ C, com duração de 2 h.

Um cuidado requerido para as embalagens plásticas é que as mesmas devem ser ensaiadas nas mesmas condições atmosféricas de acondicionamento ou imediatamente após a retirada da amostra do recinto de acondicionamento quando este não for o mesmo de onde são realizados os ensaios. Nos relatórios de ensaios deve haver referência das condições de condicionamento.

- Procedimentos de Amostragem

Para que as características das embalagens em linha de produção possam ser tomadas como representativas das demais embalagens fabricadas, é necessário o estabelecimento de regras de retiradas das amostras, segundo critérios estatisticamente validados. Quanto mais eficiente for o método, mais representativos serão resultados. Isto é necessário, uma vez que a verificação individual de peças ou unidades de produtos em certas aplicações é inviável e

demais onerosa. Assim, o estabelecimento desses critérios torna-se peça chave nos processos de controle de qualidade.

De maneira geral pode-se dizer que existem dois tipos de inspeção ou critérios de análises de falhas: a inspeção por amostragem e a inspeção total ou 100%. A inspeção por amostragem difere da total principalmente por utilizar os resultados de uma única amostra ou uma quantidade específica de amostras, retiradas aleatoriamente do lote, como sendo o reflexo das demais unidades produzidas. A rejeição ou aceitação de um lote é tomada com base na extrapolação dos resultados apresentados na inspeção por amostragem, cuja criticidade é avaliada estatisticamente para que os riscos sejam conhecidos.

Na inspeção total ou 100% todas as unidades são inspecionadas. Esse critério é preferido nos casos onde se é necessário assegurar 100% a qualidade no controle de certas características tidas como críticas, por exemplo.

Logicamente que a inspeção por amostragem é mais rápida e econômica que a total, no entanto, oferece os resultados sempre acompanhados de uma probabilidade de aceitação de embalagens com defeito como conformes.

Dentro dos tipos de inspeção, é possível realizar a análise de ocorrência de falhas segundo dois métodos bem característicos: inspeção por atributos e inspeção por variáveis.

Na inspeção por atributo os dados obtidos são de natureza qualitativa. A inspeção é feita, em cada unidade de produto, pela verificação da ocorrência ou não de determinada característica. Termos como passa-não-passa, dentro ou fora da tolerância, defeituosa ou não-defeituosa, são comumente utilizados para expressar os resultados.

A inspeção por variáveis apresenta dados de natureza quantitativa. São obtidos através da realização de ensaios que fornecem dados numéricos representativos da característica ou propriedade avaliada. Neste caso, o tratamento estatístico é necessário; a expressão dos resultados é feita a partir de uma série de medidas por meio do cálculo de médias e da avaliação da dispersão dessas medidas. Esse método é mais criterioso uma vez que é utilizado quando se deseja quantificar a variabilidade de uma característica e não apenas sua ocorrência ou não.

É possível ainda transformar os resultado de uma inspeção por variáveis em uma inspeção por atributos, bastando para isso, que sejam estabelecidos os limites máximo e mínimo para que os valores obtidos sejam tidos como conformes. Este caso é bastante comum no controle de qualidade de embalagens.

A NBR 9191 se baseia na inspeção por atributo resumindo-se à obtenção de resultados qualitativos.

A norma estabelece no seu item 5.1 o critério de retirada de amostra, apresentando os termos lote, amostra e unidade como sendo:

Lote

Conjunto de unidades de produto de uma mesma espécie, produzidas sob as mesmas condições dentro de um período definido de produção, possuindo as mesmas características.

Amostra

Uma ou mais de uma unidade de produto retirada aleatoriamente do lote a ser inspecionado, cujas características são verificadas segundo critérios

específicos de análise de conformidade, sendo acatadas como sendo representativas de todas as unidades que compõem o lote.

Unidade

É o elemento que sofre a inspeção de modo a ser classificado como conforme ou não. Pode ser apenas um artigo, um par de unidades, dúzia ou qualquer quantidade preestabelecida.

Classificação dos Defeitos

Durante as várias fases do processo de transformação, vários defeitos podem ser induzidos nas embalagens plásticas flexíveis. Alguns afetam somente a qualidade visual, outros, podem comprometer o desempenho das mesmas. Assim é que são definidos os tipos de defeitos comuns dessas embalagens como sendo críticos, graves ou toleráveis, segundo o grau de severidade que representam nas características visuais e de desempenho mecânico das mesmas (ASTM D2563-94, 2001).

Defeitos Críticos

São os defeitos que levam as embalagens a falharem nas suas funções básicas de contenção e proteção de conteúdos.

Defeitos Graves

São os defeitos que permitem que as embalagens apresentem um desempenho adequado, sob condições normais de movimentação e armazenagem, levando-as a falhar, porém, sob *stress*.

Defeitos Toleráveis

São defeitos que comprometem somente a apresentação visual das embalagens sem, no entanto, comprometerem suas funções básicas de contenção e proteção de conteúdo.

A NBR 9191 apresenta no seu item 5.3 os critérios de aceitação e rejeição de embalagens segundo a ocorrência desses tipos de defeitos.

NBR 9191 – Apresentação da Norma.

A NBR 9191 de setembro de 2002, da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, na sua estrutura geral apresenta o seguinte escopo:

1. Objetivo
2. Referências normativas
3. Definições
4. Requisitos
5. Amostragem
6. Métodos de ensaio
7. Marcação e embalagem

A seguir são feitos comentários gerais sobre cada item da norma.

Comentários dos principais itens da NBR 9191.

1. Objetivo

Fixa os requisitos e métodos de ensaios para sacos plásticos destinados exclusivamente ao acondicionamento de lixo para coleta.

2. Referências normativas

A NBR 9191 faz referência à simbologia adotada para identificação de riscos de manuseio, transporte e armazenamento de materiais (ABNT-NBR 7500, 2001); aos métodos de ensaio para verificação da transparência de filmes plásticos (ABNT – NBR 13056, 2000) e aos métodos de ensaio para verificação da resistência à perfuração estática de filmes plásticos (ABNT – NBR 14474, 2000).

O item 3 trata das Definições

Classifica os diferentes tipos de resíduos.

3.1 define sacos para lixo.

3.2 define resíduos infectantes como sendo:

Os de serviços de saúde, que apresentam risco adicional à saúde pública devido suas características de virulência, infectividade ou concentração de patógenos;

3.3 - resíduos domiciliares:

Os gerados por unidades residenciais e comerciais, podendo ser soltos ou compactados;

3.4 - resíduo normal:

Com massa específica aparente de até 0,2 Kg/l;

3.5 - resíduo pesado:

Com massa específica entre 0,2 e 0,3 Kg/l, aplicado aos sacos para lixo compactados e para resíduos infectantes.

3.6 define as dimensões úteis dos sacos e sacolas: altura e larguras.

3.7 traz a definição de lote;

3.8 define lote de inspeção. As definições da norma são as mesmas apresentadas na introdução deste anexo.

O item 4 trata dos Requisitos

4.1 apresenta os requisitos para matéria-prima utilizada na fabricação dos sacos, sem determinar uma resina ou composições específicas, somente chama atenção quanto ao quanto à compatibilidade entre os componentes a fim de que não interfiram na resistência mecânica das embalagens finais.

4.2 traz a seguinte classificação para os sacos de lixo:

Sacos classe I – para acondicionamento de resíduos domiciliares;

Sacos classe II – para acondicionamento de resíduos infectantes.

4.2.2 define as dimensões padrão para comercialização dos sacos de acordo a classe (I e II). A tabela 5.1 e 5.2 mostram essa classificação.

Tabela 5.1 – Classificação para comercialização dos sacos classe I.

Tipo	Dimensões planas		Capacidade nominal	
	Largura cm	Altura mínima cm	L	Kg
A	39	58	15	3
B	59	62	30	6
C	63	80	50	10
D	92	90	90	18
E	75	105	100	20
F	65	100	70	21
G	92	90	90	27
H	80	100	110	33
I	115	115	240	72

NOTAS
 1 Os sacos dos tipos F,G,H e I são destinados ao acondicionamento de lixo compactado.
 2 Os sacos do tipo I exigem exclusivamente a movimentação mecânica.
 (ABNT –NBR 9191, 2000).

Tabela 5.2 – Classificação para comercialização dos sacos classe II.

Tipo	Dimensões planas		Capacidade nominal	
	Largura cm	Altura mínima cm	L	Kg
A	39	58	15	4,5
B	59	62	30	9
C	63	80	50	15
D	92	90	90	27
E	75	105	100	30

(ABNT –NBR 9191, 2002).

4.3 estabelece as unidades de compra a varejo, chamando a atenção que somente as embalagens comerciais devem conter as quantidades estabelecidas ou o dobro ou quádruplo das mesmas. A tabela 5.3 traz esses valores.

Tabela 5.3 – Unidades de compra

Tipos	Unidade de compra (número de sacos)
A	20
B	10
C	10
D	5
E	5
F	5
G	100

Nota – Os tipos H e I devem ser comercializados conforme a quantidade solicitada pelo comprador.

(ABNT – NBR 9191, 2002).

4.4 trata dos requisitos das dimensões dos sacos plásticos.

4.4.1 define a tolerância de ± 1 cm para as dimensões especificadas nas tabelas 5.1 e 5.2.

4.5 apresenta os requisitos para as soldas que são os necessários para propiciarem a perfeita vedação dos sacos evitando a perda do conteúdo durante o manuseio.

4.6 trata dos requisitos para os dispositivos de fechamento das embalagens.

4.7 chama a atenção da necessidade dos sacos plásticos permitirem fácil separação e apresentarem facilidade de abertura sem provocar danos ao saco.

4.8 são estabelecidas as cores para os sacos segundo a classe I e II

Classe I – qualquer cor exceto branca;

Classe II – somente cor branca leitosa.

O Item 5 trata da Amostragem

5.1 é estabelecida a quantidade de oito sacos para cada ensaio para verificação de modelo (*design type*) e para verificação de lotes, o número de corpos-de-prova devem ser dimensionados de acordo com a tabela 5.6.

5.2 posiciona os defeitos como sendo críticos, graves e toleráveis de acordo com a ocorrência nos sacos levando em consideração o tipo de aplicação, a classe do saco e o tipo de ensaio. A tabela 5.4 mostra essas relações.

5.3 Traz os critérios de rejeição e aceitação dos sacos segundo a ocorrência dos defeitos. Para o controle de modelo (*design type*) o critério segue os dados da tabela 5.5; para o controle de lote, a tabela 5.6.

Tabela 5.4 – Classificação dos defeitos.

Tipo de lixo	Normal ou pesado	Infectante
Ensaio	Tipo de defeito	
Dimensões	Grave	Grave
Levantamento	Grave	Crítico
Queda livre	Grave	Crítico
Estanqueidade	Grave	Crítico
Perfuração	Grave	Crítico
Transparência	Tolerável	Grave
Capacidade	Grave	Grave

(ABNT – NBR 9191, 2002).

Tabela 5.5 – Número de falhas em oito corpos-de-prova ensaiados.

Defeito	Falhas admissíveis
Tolerável	2
Grave	1
Crítico	0

(ABNT – NBR 9191, 2002).

Tabela 5.6 – Amostragem e falhas admissíveis em controle de lote.

Tamanho do lote	Corpos-de-prova por ensaio	Número de falhas admissíveis		
		Tolerável	Grave	Crítico
Até 150	3	1	0	0
Até 1200	5	1	1	0
Até 35000	8	2	1	0
Acima de 35000	13	3	2	0

(ABNT – NBR 9191, 2002)

O item 6 apresenta os métodos dos ensaios.

6.1 estabelece as condições de condicionamento dos corpos-de-prova: 20°C ± 5°C por 2 horas.

6.2 trata das medidas

6.2.1 apresenta o procedimento para as medições das alturas dos sacos, enquanto o 6.2.2 diz respeito à medição das larguras.

6.3 descreve o procedimento do ensaio de verificação da resistência ao levantamento.

6.3.1 apresenta o critério de preparação do corpo de prova:

O corpo de prova deve receber uma carga de grânulos de polietileno, com massa específica aparente de 0,65 Kg/dm³ ± 0,05Kg/dm³, com massa indicada na coluna 2 da tabela 5.7.

6.3.2 define o procedimento para realização do ensaio:

Fixar o corpo-de-prova ao dispositivo de levantamento, conforme figura 5.7 Realizar levantamento sem acelerações significativas e manter o saco suspenso durante 2 min.

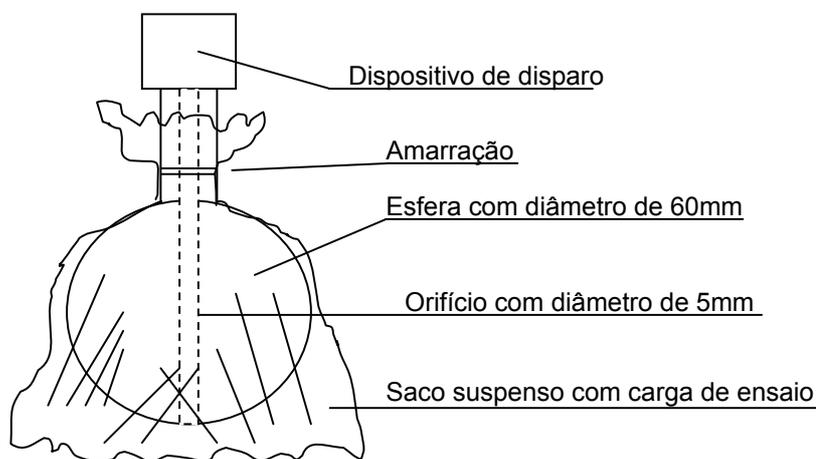


Figura 5.7 – Dispositiva de levantamento (ABNT-NBR 9191, 2002).

6.3.3 traz os critérios de aprovação.

Os corpos-de-prova não devem apresentar ruptura ou perda de conteúdo.

6.4 trata da verificação da resistência à queda livre.

6.4.1 mostra o critério de preparação do corpo-de-prova:

O corpo-de-prova deve receber uma carga de grânulos de polietileno, com massa específica aparente $0,65 \text{ Kg/dm}^3 \pm 0,05\text{Kg/dm}^3$, com massa indicada na coluna 3 da tabela 5.7.

6.4.2 apresenta o procedimento para realização do ensaio:

Fixar o corpo-de-prova ao dispositivo de levantamento, conforme figura 1. Deixar o corpo-de-prova cair livremente da altura indicada na coluna 4 da tabela 7, sobre uma base rígida, plana e horizontal, tomando-se a altura com base no fundo do saco.

Após a queda deve ser levantado novamente pelo mesmo dispositivo, sem vaziar.

6.4.3 estabelece o critério de aprovação

Os corpos-de-prova não devem apresentar rupturas ou perda de conteúdo.

6.5 traz o procedimento para verificação da estanqueidade.

6.5.1- Preparação do corpo de prova

Suspender o corpo de prova amarrado a um funil com a quantidade de água indicada na coluna 5 da tabela 5.7

6.5.2- Procedimento

Manter o corpo-de-prova suspenso por 1min.

6.5.3- Critério de aprovação

Os corpos-de-prova não devem apresentar vazamentos.

Tabela 5.7 – Parâmetros de ensaios de levantamento, queda e estanqueidade.

1 Capacidade e nominal (L)	2 Levantamento de carga (Kg)		3 Queda livre de carga (Kg)		4 Altura de Queda (cm)	5 Carga de água	
	Normal	Pesado e infectante	Normal	Pesado e infectante		Normal	Pesado e infectante
15	6	7,5	3	4,5	100	1	3
30	12	15	6	9	80	2	6
50	20	30	10	15	60	2,5	7
100	30	50	20	30	60	4	12
70	-	35	-	21	60	-	8
90	26	45	18	27	60	3,5	10
110	-	50	-	33	60	-	12

NOTA – O saco com capacidade nominal de 240L não é submetido aos ensaios por ser movimentado mecanicamente.

(ABNT – NBR 9191, 2002).

O item 6.6 traz o procedimento para verificação da resistência de filmes à perfuração estática.

6.6.1- Procedimento

Submeter o corpo-de-prova à verificação da resistência à perfuração estática de acordo com a norma NBR 14474, com peso de 10N.

6.6.2- Critério de aprovação

Os corpos-de-prova não devem apresentar rupturas.

O item 6.7 apresenta o procedimento para determinação da capacidade volumétrica dos sacos.

O item 6.8 diz respeito à verificação da transparência.

6.8.1 – Procedimento

Submeter o corpo-de-prova à verificação da transparência de acordo com a norma NBR 13056.

6.8.2 - Critério de aprovação

A parede do saco deve ser tal que não permita a visualização da figura padrão estabelecida na norma.

O item 7 trata dos requisitos quanto à marcação, rotulagem e embalagem.

Os requisitos da NBR 9191 estabelecem os desempenhos esperados para as várias propriedades mecânicas e características dimensionais dos sacos plásticos para acondicionamento de lixo para coleta. A sua metodologia cobre todas as variações de sacos destinados a esse fim, disponíveis comercialmente no mercado. Portanto, serve de uma excelente referência para o desenvolvimento de análises de estudos de adequação normativa e implementação de melhorias nessas embalagens. Por isso, foram rigorosamente considerados na concepção dos dispositivos do equipamento de ensaios.

ANEXO II - Embalagens Plásticas Flexíveis – Caracterização Física e Dimensional.

As embalagens flexíveis têm suas dimensões estabelecidas de acordo com as diferentes formas comerciais do produto: filmes, bobinas ou as embalagens na forma acabada, ou seja, sacos e sacolas; e possuem uma nomenclatura de acordo com as características dimensionais das mesmas (ABIEF NT 1.00, 2000).

A figura II.1 mostra os tipos mais comuns de filmes plásticos, enquanto II.2 a II.6 mostram os tipos mais comuns de embalagens na forma acabada.

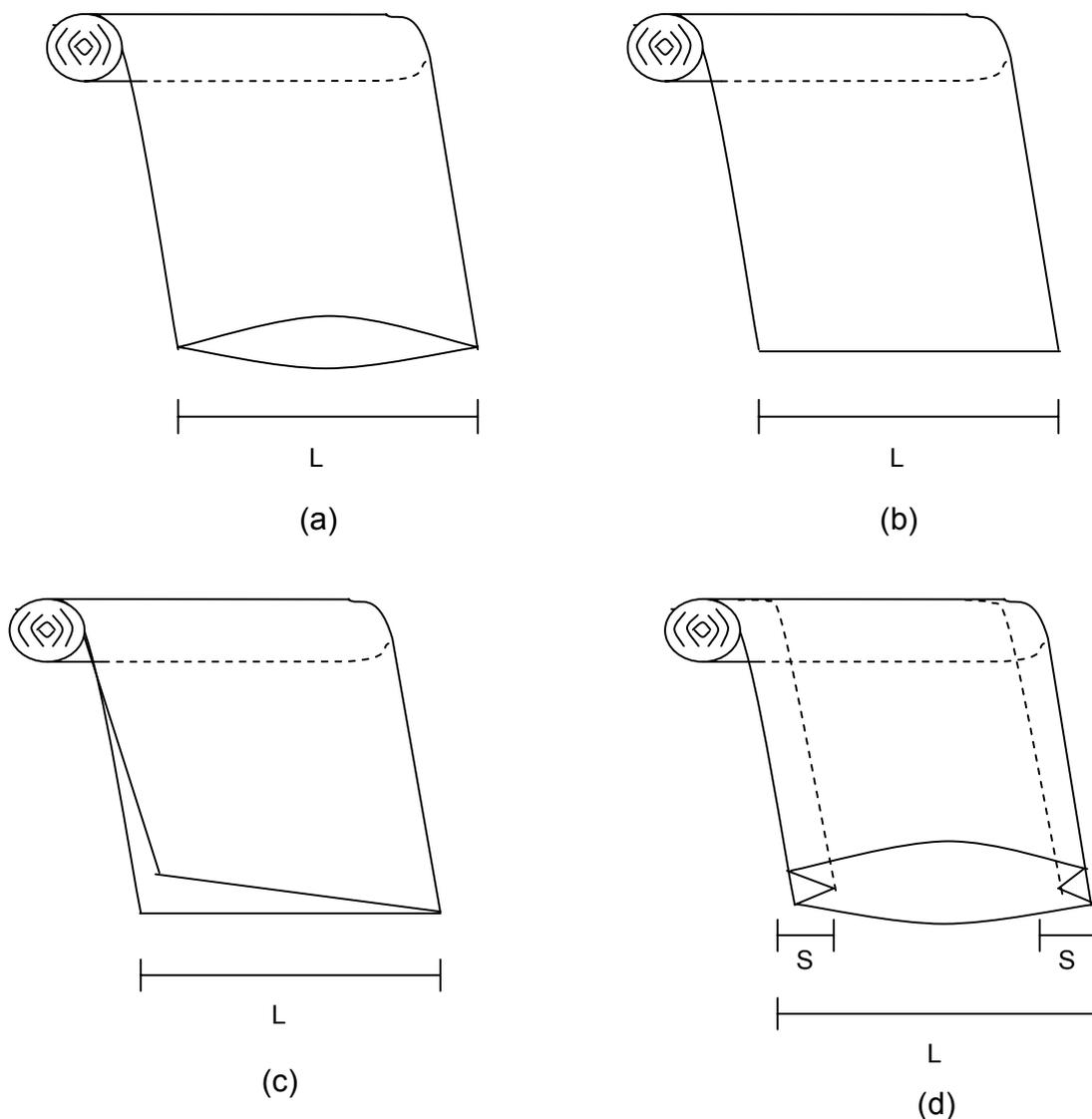
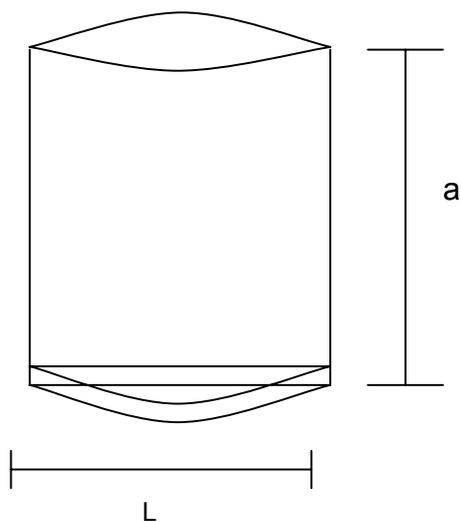
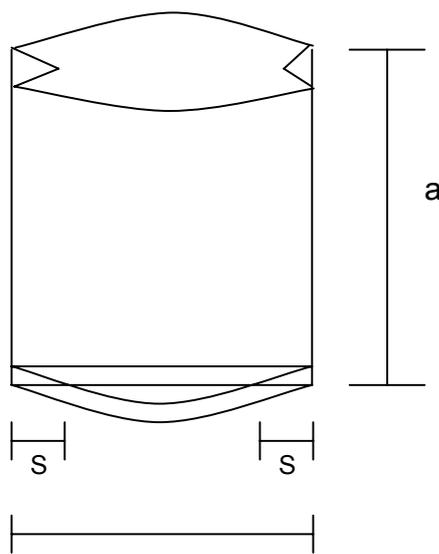


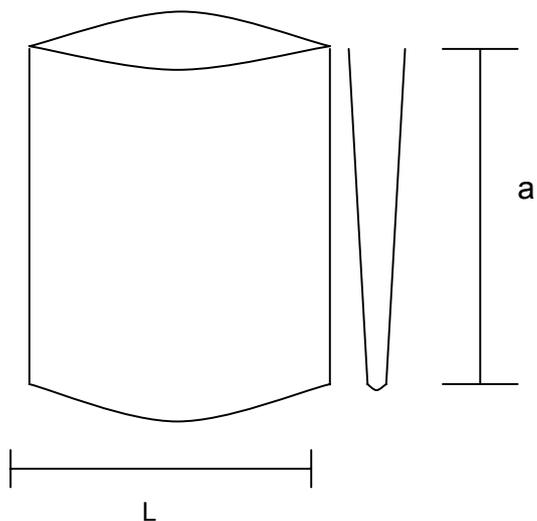
Figura II.1 – Tipos de filmes plásticos: (a) filme tubular; (b) filme simples; (c) filme vincado; (d) filme sanfonado. Dimensões (L = largura; S = profundidade da sanfona) (adaptação da ABIEF, 2000).



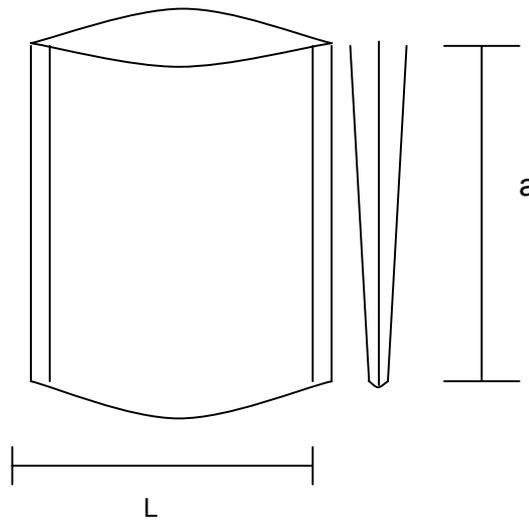
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura II.2 – Tipos de sacos plásticos: (a) saco com solda no fundo; (b) saco com solda no fundo e sanfona lateral; (c) saco com filme vincado e solda lateral coincidente com o corte; (d) saco com filme vincado com solda lateral não coincidente com o corte. Dimensões (L = largura; S = profundidade da sanfona) (adaptação da ABIEF, 2000).

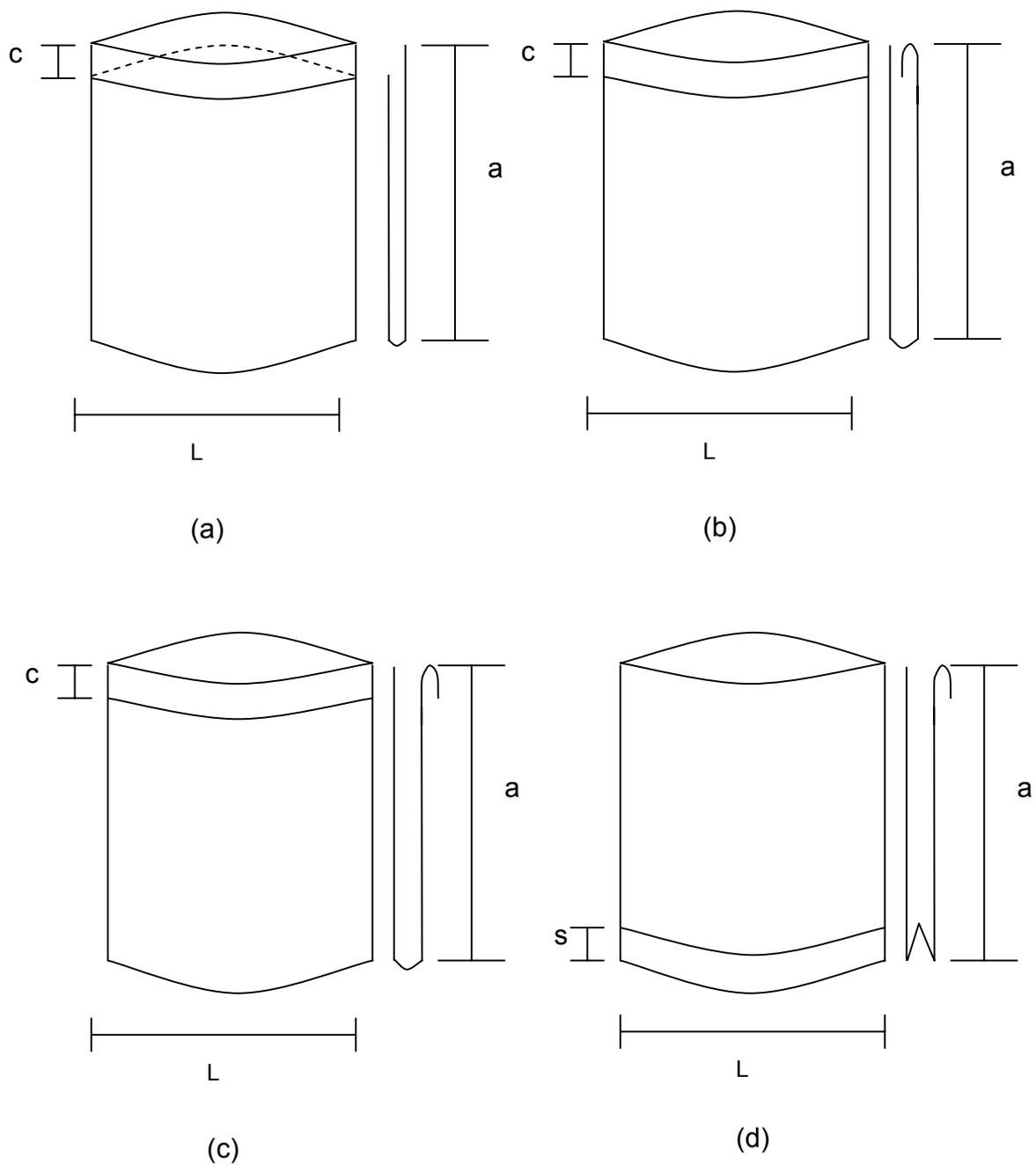


Figura II.3 – Tipos de sacos plásticos: (a) saco com aba solta; (b) saco com aba externa; (c) saco com aba no verso; (d) saco com sanfona no fundo. Dimensões (L = largura; S = profundidade da sanfona; c = aba) (adaptação da ABIEF, 2000).

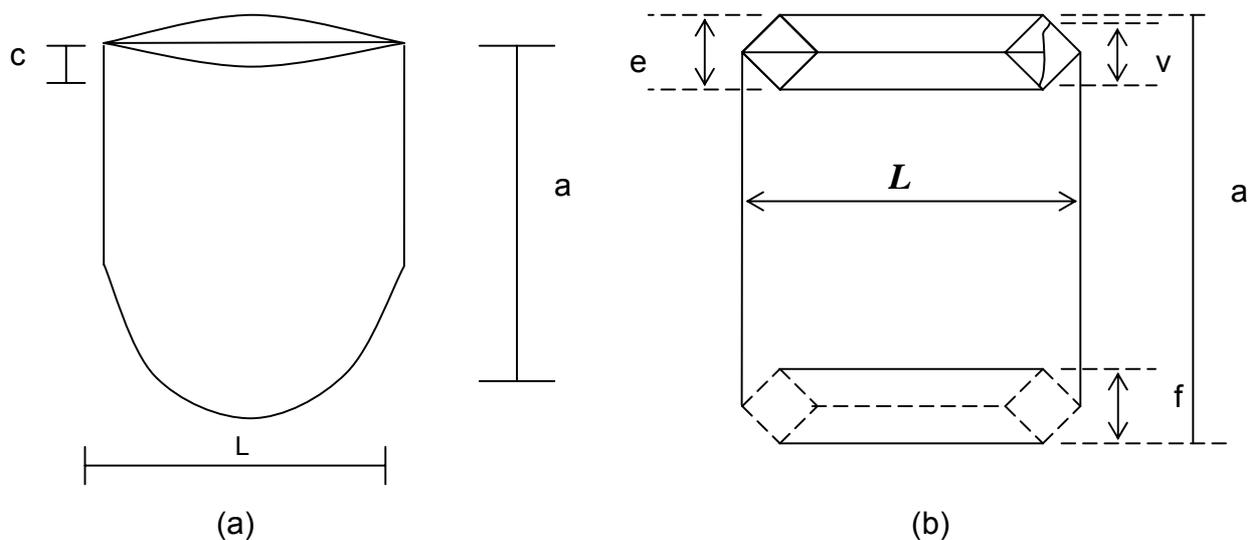


Figura II.4 – Tipos de sacos: (a) saco com fundo redondo; (b) saco valvulado. Dimensões (L = largura; S = profundidade da sanfona; c = aba; a = altura); f = largura do fundo; v = (largura da válvula) (adaptação da ABIEF, 2000).

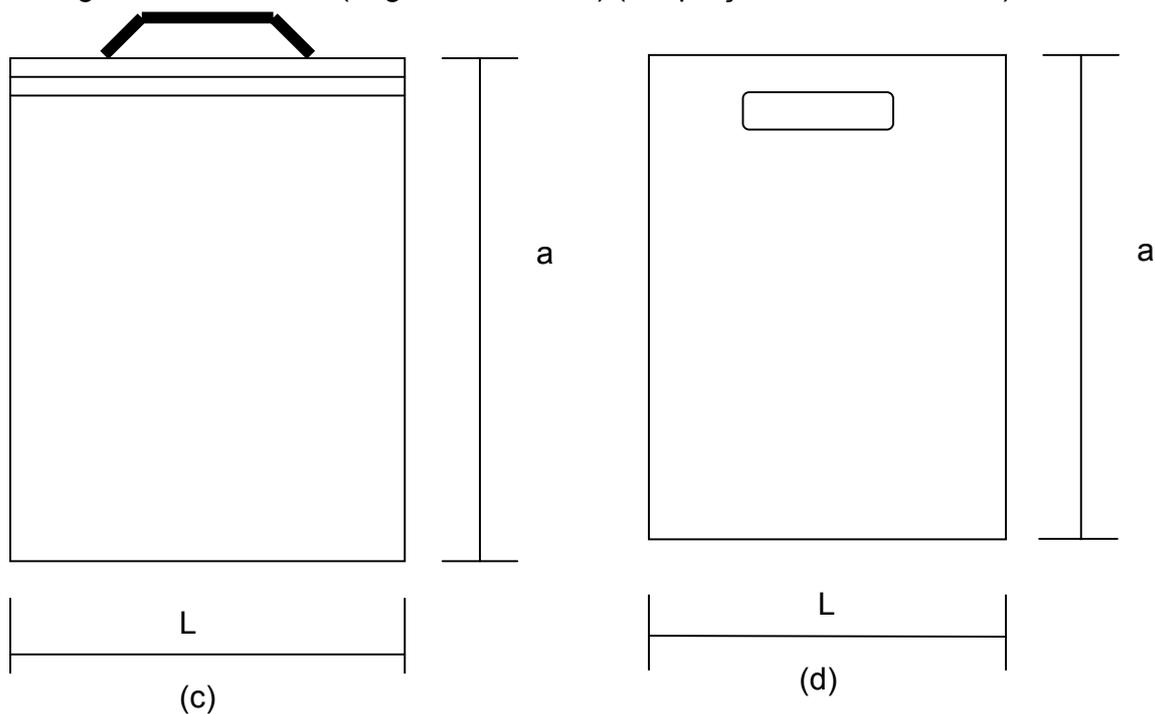


Figura II.5 – Tipos de sacolas: (a) sacola com alça rígida; (b) sacola com alça vazada. Dimensões (L = largura; a = altura). (adaptação da ABIEF, 2000).

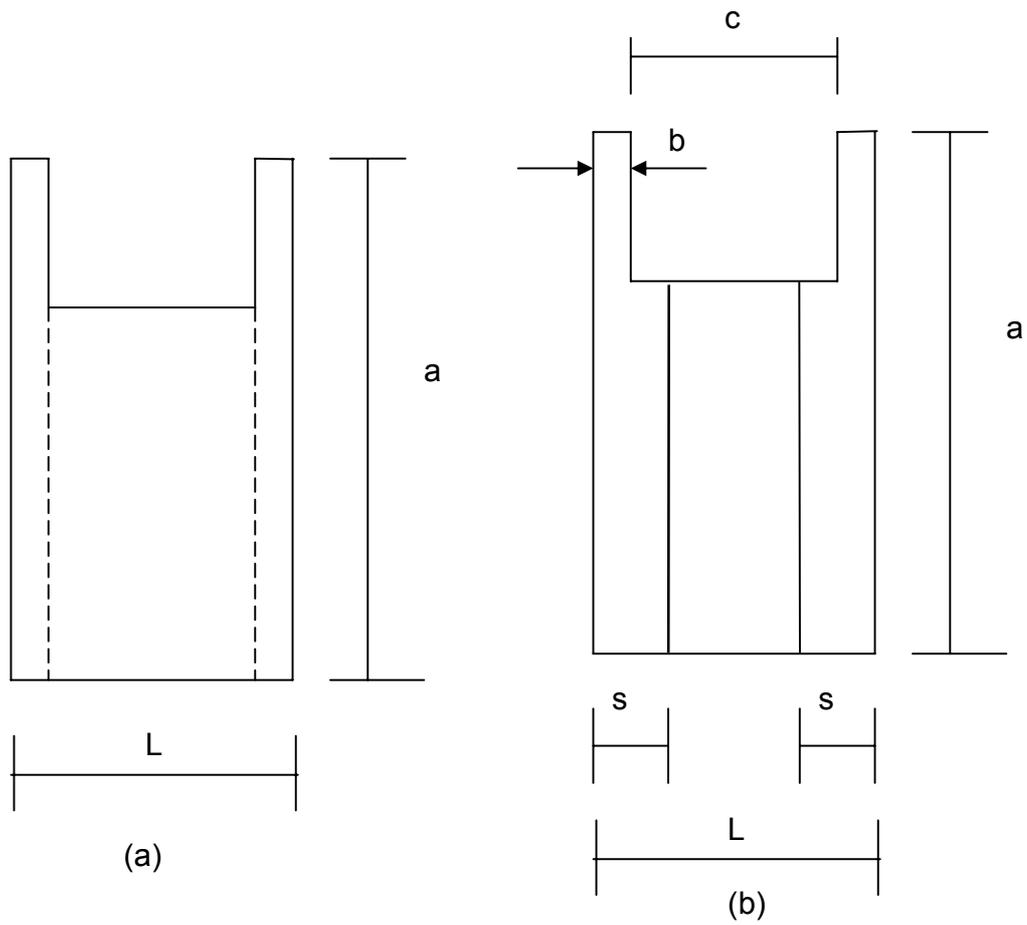


Figura II.6 – Sacolas tipo camiseta: Dimensões (L = largura; s = profundidade da sanfona; a = altura; b = largura da aba; c = distância entre as alças; d = altura da alça). (adaptação da ABIEF, 2000).

Folha de Aprovação

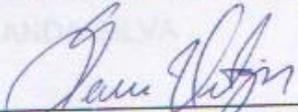
“DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DE DESEMPENHO MECÂNICO DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS”.

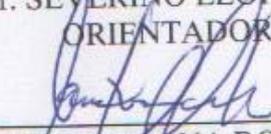
ELSON MIRANDA SILVA

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

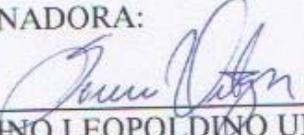
DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA ENSAIOS EM EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS

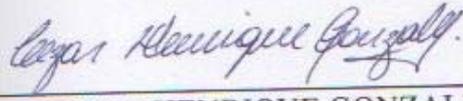
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MATERIAIS E FABRICAÇÃO APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA/CTG/EEP/UFPE

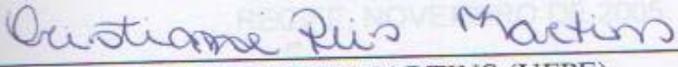

Prof. Dr. SEVERINO LEOPOLDINO URTIGA FILHO
ORIENTADOR/PRESIDENTE


Prof. Dra. ANA ROSA MENDES PRIMO
COORDENADORA DO CURSO

ORIENTADOR: PROF. DR. SEVERINO LEOPOLDINO URTIGA FILHO
BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. SEVERINO LEOPOLDINO URTIGA FILHO (UFPE)


Prof. Dr. CEZAR HENRIQUE GONZALEZ (UFPE)


Prof. Dra. CRISTIANE REIS MARTINS (UFPE)

Ficha Catalográfica

Desenvolvimento de um equipamento para ensaios em embalagens plásticas flexíveis / Elson Miranda Silva. – Recife: O Autor, 2005.

xi, 76 f. : il., figs., tabs.

Inclui referências bibliográficas e anexos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2005.

1. Engenharia Mecânica. 2. Embalagens Plásticas. Metrologia. I. Título.

621 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2006-59