

D O S S I Ê T É C N I C O

**Processo de transformação de plásticos por
extrusão de filmes tubulares**

João Claudio H. Otterbach

**SENAI-RS
Escola de Educação Profissional SENAI Nilo
Bettanin**

**Agosto
2011**



Sumário

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVO	3
3 PROCESSO DE EXTRUSÃO	3
3.1 Máquina extrusora de plásticos e sua configuração básica	5
3.2 Funções de uma extrusora	6
3.3 Extrusoras monofuso.....	6
3.4 Partes da máquina.....	6
3.4.1 Funil.....	7
3.4.2 Cilindro de aquecimento, barril ou canhão	7
3.4.3 Termopares	7
3.4.4 Rosca ou parafuso plastificador.....	7
3.4.5 Placa-filtro e telas	8
3.4.6 Adaptador.....	9
3.4.7 Bomba de engrenagens.....	9
3.5 Extrusão de filmes.....	10
3.5.1 Processo plano de extrusão para filmes simples	10
3.5.2 Matriz e espessura do filme	10
3.5.3 Extrusão-laminação	11
3.5.4 Processo tubular de extrusão para filmes duplos.....	12
3.6 Equipamentos da linha de extrusão.....	12
3.6.1 Extrusora	13
3.6.2 Cabeçote	13
3.6.3 Matriz.....	14
3.6.4 Anel de resfriamento.....	17
3.6.5 Sistema de resfriamento	18
3.6.6 Torre.....	20
3.6.7 Estabilizadores de balão.....	20
3.6.8 Saia	20
3.6.9 Rolos puxadores.....	21
3.6.10 Bobinadeira.....	21
3.6.11 Tratamento corona.....	22
3.6.12 Impressão	23
3.6.13 Corte e solda	23
3.7 Tecnologias para produção de filmes especiais.....	23
3.7.1 Co-extrusão de filmes.....	24
3.7.2 Extrusão de filmes planos bi-orientados	25
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	26
REFERÊNCIAS.....	26
ANEXO - Fornecedores de máquinas extrusoras para o processo de transformação de plásticos.....	22

	<h1>DOSSIÊ TÉCNICO</h1>	
---	-------------------------	---

Título

Processo de transformação de plásticos por extrusão de filmes tubulares

Assunto

Fabricação de filmes tubulares de plástico para confecção de embalagens em geral

Resumo

O Dossiê Técnico aborda o processo de extrusão para a produção de filmes tubulares em máquinas extrusoras. Também apresenta a descrição das funções e partes de uma extrusora, a indicação dos equipamentos da linha de extrusão, as tecnologias existentes para a produção de filmes especiais, além da indicação de fornecedores de máquinas extrusoras para o processo de transformação de plásticos.

Palavras-chave

Conformação mecânica; equipamento; extrusão; extrusora; filme tubular; fornecedor; máquina; plástico; polímero

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO

O processo de transformação de plásticos por extrusão de filmes tubulares tem sido largamente utilizado na produção de lonas e embalagens devido ao baixo custo que pode proporcionar no produto final frente a alta produtividade que este método pode apresentar.

2 OBJETIVO

O desenvolvimento deste trabalho tem o objetivo de apresentar uma abordagem geral do processo de transformação de plásticos por extrusão de filmes tubulares.

3 PROCESSO DE EXTRUSÃO

Quando se aperta um tubo de creme dental, pode-se dizer que está se fazendo uma extrusão de creme dental. O creme que passa pela pequena abertura do tubo toma exatamente seu formato cilíndrico. Pode-se comparar também o processo de extrusão com a produção de espaguete ou ainda a máquina extrusora com um moedor de carne. (CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2004).

A primeira máquina extrusora para termoplásticos surgiu em 1935, criada por Paul Troester na Alemanha. Antes só eram usadas para borracha, aquecidas por vapor, tanto com rosca, como com pistão. Depois de 1935 começaram a

aparecer máquinas com aquecimento elétrico. Enquanto isso, o princípio básico de extrusoras com duas roscas foi concebido na Itália por Roberto Colombo. Nesta época todas as máquinas eram alimentadas com matéria-prima já fundida, mas a partir da década de 50 começaram a aparecer estudos científicos sobre transporte e plastificação de material sólido.

Normalmente o polímero sólido, em grãos, flocos ou pó, previamente colocado na máquina é aquecido, plastificado e pressionado pela extrusora para dentro do canal de uma matriz, cuja parte frontal possui uma abertura no formato da seção transversal do produto pretendido.

A máquina extrusora de plásticos possui vários componentes, que variam de número, dimensão, função e sofisticação conforme o tipo de processo, geometria e especificações do produto, tamanho de produção, etc. Contudo, alguns elementos fundamentais são encontrados em toda extrusora, pois são responsáveis pela alimentação, plastificação e transporte da matéria-prima até a matriz de extrusão, onde o plástico é conformado. Alguns autores afirmam que a extrusora é a mais importante peça do maquinário da indústria de processamento de polímeros, pois participa ou compõe todos os principais processos de transformação. Esta afirmação é feita porque muitos profissionais da área costumam denominar de “extrusora” a unidade responsável pela alimentação, plastificação e transporte de máquinas para outros processos de transformação de polímeros, como injeção e sopro. No mais empregado tipo de máquina sopradora, por exemplo, o *parison* é formado por um conjunto de elementos que não deixam de ser os mesmos de uma máquina extrusora de tubos de PVC [policloreto de vinila]. (CEFET, 2004).

“Pode-se dizer, então, que as extrusoras têm a função de plastificar, homogeneizar e transportar o plástico até a matriz, forçando o material a passar por sua abertura, tomando assim sua forma.” (CEFET, 2004).

O processo de filme de balão, [ilustrado na Figura1], é um dos principais métodos de fabricação de produtos de filme. É usado em uma grande variedade de produtos, desde simples filmes monocamada até estruturas multicamada utilizadas em embalagens de alimentos. Os filmes geralmente têm menos de 0,254 mm em espessura, embora um filme de balão possa ter até 0,5 mm. (DOW, c2011).



Figura 1 – Extrusão de filme tubular
Fonte: (AZEVEDO, 2004)

Uma extrusora consiste essencialmente de um cilindro em cujo interior gira um parafuso de Arquimedes (rosca sem-fim), que promove o transporte do material plástico. Este é progressivamente aquecido, plastificado e comprimido, sendo forçado através do orifício de uma matriz montada no cabeçote existente na extremidade do cilindro. O aquecimento é promovido ao longo do cilindro e no cabeçote, geralmente por resistências elétricas, vapor ou óleo. O material assim amolecido e conformado é submetido a um resfriamento. Desta forma, o processo de extrusão pode ser utilizado para obtenção de filmes de PEBD [polietileno de baixa densidade], para uso como saco plástico, ou tubos de PVC [policloreto de vinila] ou PE [polietileno] [(FIG. 2)]. (PORTAL SÃO FRANCISCO, [200-?]).

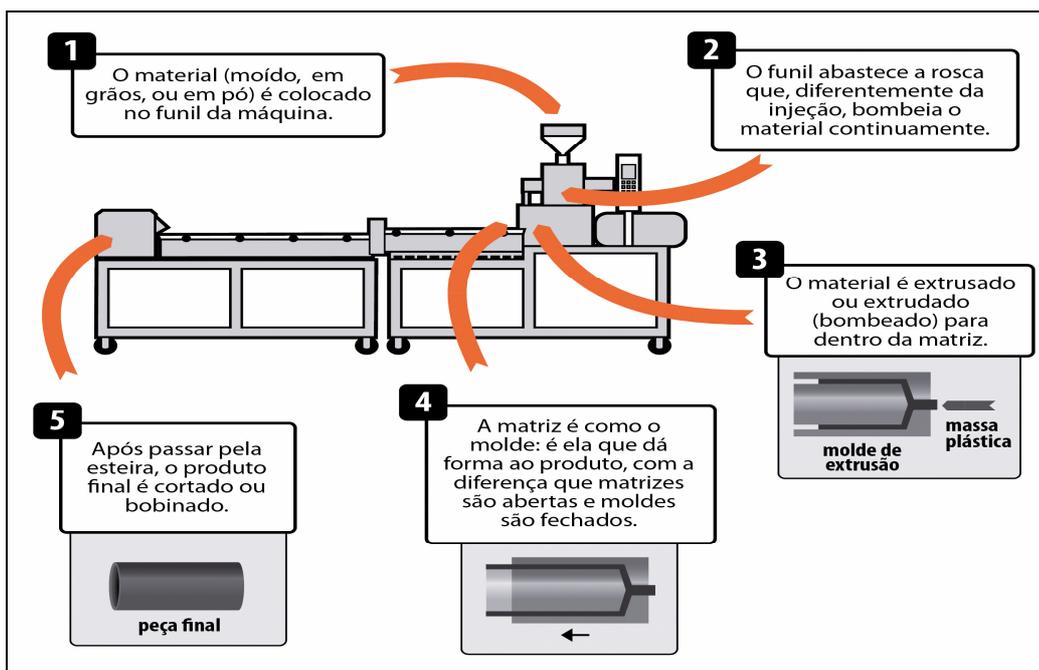


Figura 2 – Ilustração do processo de transformação de plásticos por extrusão
Fonte: (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2011)

A extrusora de filme é constituída basicamente de um tubo contendo um parafuso rosqueado, e que é utilizado na extrusão de plásticos. A extrusão consiste num processo de fabricação de um semimanufaturado contínuo de plástico ou elastômero. O plástico é alimentado na parte traseira do tubo, sendo conduzido para a parte frontal do tubo pela rosca em rotação. Durante esse percurso, o plástico é aquecido por ação de resistências elétricas e do atrito com o parafuso. No final do percurso, deverá estar totalmente plastificado, sendo então comprimido contra uma matriz que conterá o desenho do perfil a ser aplicado ao plástico. Ao sair, o semimanufaturado é resfriado e bobinado, e passa para a última etapa do processo, o corte e solda. (MC PLÁSTICOS LTDA., c2006b).

3.1 Máquina extrusora de plásticos e sua configuração básica

As extrusoras mais empregadas são as extrusoras de parafuso fixo, principalmente as monofuso. As extrusoras recíprocas são utilizadas como unidade de plastificação de injetoras e de alguns modelos de sopradoras. Em extrusão, são mais vantajosas apenas para algumas aplicações bastante específicas. As extrusoras de disco e tambor são ainda menos encontradas, pois, em linhas gerais, são máquinas experimentais. As extrusoras de parafuso fixo são utilizadas em todos os principais tipos de extrusão, tendo a mesma concepção básica, embora difiram significativamente quanto ao seu aspecto e equipamentos pós-extrusão (necessários

para o resfriamento, calibragem, puxamento e algumas operações posteriores, como corte, estiramento ou bobinamento).

De acordo com o Centro Federal de Educação Tecnológica (2004), as extrusoras podem ser utilizadas não só para a produção de artigos plásticos, mas também para a preparação de matéria-prima. Extrusoras com dois parafusos paralelos (bifuso ou rosca dupla) especiais são muito empregadas para misturar um ou mais polímeros e aditivos, produzindo *pellets* de materiais compostos, para futura transformação por injeção, sopro ou extrusão.

3.2 Funções de uma extrusora

Independentemente do tipo e configuração, o conjunto extrusora-matriz deve executar cinco funções principais:

- Transporte de material sólido;
- Plastificação;
- Transporte de material plastificado;
- Homogeneização (mistura);
- Conformação (pela matriz e calibradores).

Observações:

Alguns processos de extrusão necessitam de máquina que executem uma sexta função, a desvolatilização ou degasagem, especialmente projetadas para extrair gases (voláteis) do polímero.

Para cada processo é exigido um diferente grau de homogeneização do polímero. Por isso, nem todas as máquinas são boas misturadoras. Uma máquina convencional de rosca simples para extrusão de perfis de PE [polietileno], por exemplo, não é tão boa misturadora como uma máquina para composição de matéria-prima.

“Transporte de sólidos e plastificação não acontecem em extrusoras que usam a resina já fundida para o processamento. Porém, a maioria das extrusoras é alimentada por partículas sólidas.” (CEFET, 2004).

3.3 Extrusoras monofuso

Quase 100% dos equipamentos atualmente empregados na produção de artigos extrudados são máquinas de parafuso fixo. Destas, as de rosca dupla têm emprego voltado principalmente à extrusão de tubos e perfis de PVC [policloreto de vinila]. Na extrusão de filmes, filamentos, chapas para termoformagem, tubos e perfis de PE [polietileno], PP [polipropileno] e PS [poliestireno], praticamente apenas as máquinas monofuso são empregadas.

3.4 Partes da máquina

Independentemente do processo e do produto, qualquer extrusora monofuso deste tipo é composta por alguns elementos fundamentais que seguem:

3.4.1 Funil

Segundo CEFET (2004), o funil tem a função de armazenar o material e permitir um fluxo constante de matéria-prima para o interior da máquina. Pode ser abastecido manualmente pelo operador ou automaticamente, por transportadores pneumáticos desde os tradicionais sacos de 25 kg, tonéis, “*big-bags*” ou silos de armazenamento (capazes de abastecer várias máquinas). É importante que durante a operação da máquina o funil mantenha-se tampado para que corpos estranhos não se misturem ao plástico e comprometam a qualidade do produto extrudado ou causem desgaste mecânico nos componentes da máquina.

3.4.2 Cilindro de aquecimento, barril ou canhão

É um cilindro feito em aço especial para resistir à abrasividade e possíveis ataques químicos do material plástico e seus aditivos, bem como suportar altas temperaturas durante o processamento. O cilindro é dividido em zonas de aquecimento que vão de três até doze seções (geralmente), cada aquecida através de resistências elétricas em forma de cinta. Sistemas de aquecimento com óleo ou vapor são pouco usados na prática.

3.4.3 Termopares

São empregados para medição da temperatura de cada zona. Porém, como a extremidade do termopar está em contato com o interior da parede do cilindro e não diretamente com o material, o valor lido é uma aproximação da temperatura real do polímero. Comparada com a temperatura programada pelo operador, esta leitura permite ao sistema de controle da máquina ligar/desligar e determinar a potência de aquecimento das resistências. (CEFET, 2004).

Os cilindros de extrusoras normalmente são dotados de ventoinhas ou canais de circulação de ar, água ou óleo frio para controlar um superaquecimento do cilindro. Geralmente, na região próxima a entrada de material, o cilindro é resfriado com água, para que o calor gerado no resto do cilindro não seja transmitido para o material que ainda está no interior do funil ou na região inicial do parafuso. Além de diminuir a eficiência do transporte de material sólido pela rosca, um aquecimento prolongado a temperaturas superiores a 50-60 °C pode formar uma massa de *pellets* amolecidos e aderidos conhecida como “jacaré”, “bola” ou ainda “pé de moleque” que impossibilita o transporte, o que poderia interromper a produção.

“Em algumas máquinas a superfície interna da seção inicial do cilindro possui ranhuras longitudinais para melhorar o transporte de material sólido e a geração de pressão, aumentando com isso a produtividade da máquina.” (CEFET, 2004).

3.4.4 Rosca ou parafuso plastificador

É também fabricada em aços especiais e sua superfície recebe tratamentos (cromagem, nitretação entre outros) para maior proteção contra corrosão e para diminuir seu coeficiente de atrito. É colocada dentro do cilindro de aquecimento, com uma pequena folga (0,1mm) e acoplada a um eixo de transmissão da caixa de redução do motor elétrico de acionamento. Existe uma infinidade de tipos ou perfis de rosca, cada uma com uma determinada geometria, visando à otimização do processo para cada resina. Porém, a chamada rosca universal é o tipo mais utilizado, pois se adapta a várias resinas diferentes. Uma rosca universal divide-se em três seções distintas:

- Alimentação

Nesta seção ocorre o transporte dos grãos para a zona de compressão, e em alguns casos, o início da plastificação do material. Compreende aproximadamente 1/3 do comprimento total da rosca, variando esta medida segundo o fabricante do equipamento e o material processado. Esta região se encontra próxima à abertura de carga e tem os canais mais profundos em relação às demais seções. Em alguns casos equipa-se a seção de alimentação da rosca com um sistema interno de resfriamento. Canais são perfurados paralelos ao eixo da mesma, permitindo a circulação de água resfriada. A função do sistema é manter a rosca fria para que o transporte de sólidos seja mais eficiente. Em geral, quanto maior o comprimento desta região maior é a capacidade produtiva da máquina. A geometria do filete (largura e inclinação) também tem influência sobre a produtividade da máquina. (CEFET, 2004).

- Compressão

É a seção onde ocorre a compressão e a total plastificação do material. A profundidade dos canais é, na maioria dos casos, reduzida linearmente, desde a profundidade da zona de alimentação até a zona de dosagem, causando um aumento de pressão no material que está no canal. Então, através do atrito contra as paredes do cilindro (aumentado pela pressão) e do aquecimento das resistências externas, o material é plastificado. O comprimento desta zona é de aproximadamente 25% do comprimento total.

- Dosagem

Devido ao movimento espiral do material dentro do canal da rosca, o mesmo é misturado, homogeneizando a temperatura e a distribuição de aditivos na massa polimérica. Por isso, esta seção também pode ser chamada de seção de homogeneização. Torna o fluxo do material já plastificado mais uniforme, pois este sai muito turbulento da zona anterior devido a compressão. Desta maneira, o fluxo chega ao final da extrusora mais uniforme, sendo distribuído igualmente no cabeçote [(FIG. 3)]. (CEFET, 2004).

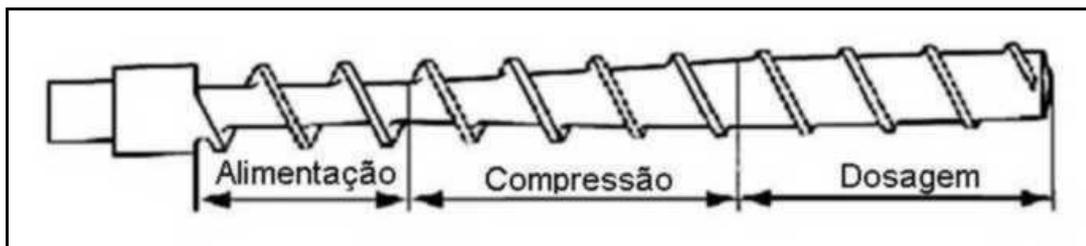


Figura 3 – Zonas de uma rosca de extrusão
Fonte: (ROSA; SANTOS; BROGNOLI, 2006)

3.4.5 Placa-filtro e telas

A placa-filtro é um disco de aço com orifícios, geralmente de diâmetro entre 3 e 5 m e fica instalada entre a extremidade do cilindro e a matriz. A placa sustenta uma ou mais telas de malhas diferentes. As de malha mais aberta, que possuem de 20 a 40 aberturas por polegada quadrada, apoiam as de malha mais fechada, que possuem de 80 a 120 aberturas por polegada quadrada. As telas mais abertas servem apenas para apoio das mais fechadas e não para filtrar. Normalmente, uma tela mais fina está posicionada primeira e uma mais grossa fica junto à placa, para que um rompimento da tela mais fina não entupa a matriz com fragmentos metálicos. Pode-se, também, colocar uma tela média antes da primeira ou dispô-las simetricamente para evitar erros na instalação. A placa-

filtro oferece certa resistência ao fluxo do material, aumentando a chamada contrapressão criada pela resistência do fluxo do material pela matriz. Esta pressão contrária à direção do fluxo para a matriz obviamente dificulta a saída do material, faz com que parte da massa polimérica circule mais vezes antes de passar pela placa-filtro, aumentando a homogeneização de temperatura e composição da massa plástica. Com o processamento contínuo, as telas entopem, ou seja, saturam-se de partículas indesejáveis que provocam aumento de pressão no cilindro e redução de velocidade do extrudado. Quando isso acontece, é necessário parar a máquina e trocar o conjunto de telas. (CEFET, 2004).

A frequência da troca depende do processo e da matéria-prima, podendo ser apenas diária ou até mesmo contínua. A parada do processo para a troca de telas acarreta, evidentemente, em perda de produtividade. Por isso, acessórios mais sofisticados são interessantes, justamente para reduzir este precioso tempo. Existe troca-telas mais avançados que agilizam o tempo de interrupção da troca.

Um troca-tela tipo gaveta ou de fita, por exemplo, é muito eficaz, mas muito mais caro. Conforme o exposto, as funções básicas da placa-filtro são: filtrar impurezas e auxiliar o aumento de contrapressão da massa polimérica, para melhorar sua homogeneização. (CEFET, 2004).

3.4.6 Adaptador

Este componente é uma conexão do cilindro com a matriz. Seu desenho muda com o processo para o qual é utilizado. Pode ser um simples cilindro com duas flanges, como na extrusão de “espaguete” para granulação. Já para o revestimento de cabos elétricos é utilizada uma cruzeta. O adaptador também deve ser aquecido. As placas filtro podem ser montadas no próprio adaptador, conforme apresentado na Figura 4, de acordo com a configuração da máquina.

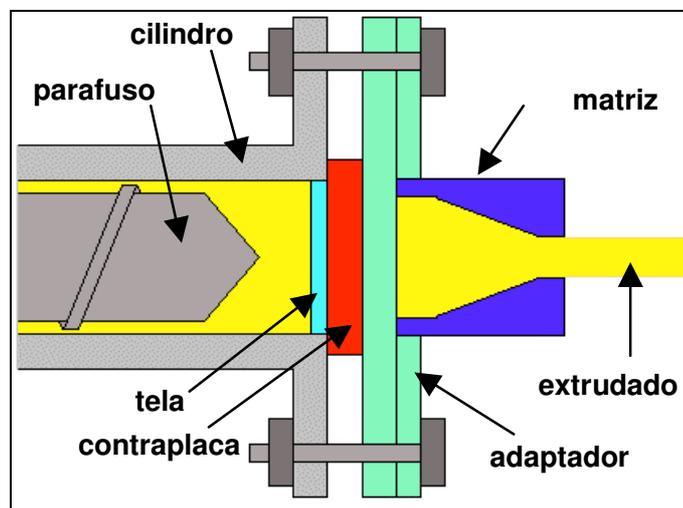


Figura 4 – Adaptador e contraplaca
Fonte: (CEFET, 2004)

3.4.7 Bomba de engrenagens

Algumas extrusoras mono ou bifuso incorporam entre o cilindro e a matriz uma bomba de engrenagens para estabilizar a vazão de saída do extrudado e/ou aumentar a pressão sobre a massa plástica. As desvantagens são a baixa capacidade de mistura do material, baixa eficiência energética, alta suscetibilidade a desgaste e o alto custo. São usadas em extrusoras com baixa capacidade de gerar pressão (dupla rosca em corrotação e em roscas multi-estágio

para degasagem) ou quando se precisa de uniformidade na vazão do material extrudado dentro de uma tolerância menor do que 1%, como em casos de extrusão de fibras, tubos e mangueiras de precisão e em co-extrusão. Porém, este tipo de máquina não pode processar polímeros com abrasivos, devido às suas pequenas folgas, nem polímeros suscetíveis à degradação (baixa estabilidade térmica).

3.5 Extrusão de filmes

Os filmes são empregados para a confecção de sacolas, sacos, embalagens em geral, cortinas, mantas impermeabilizantes para aterros sanitários, revestimentos de pisos e paredes, coberturas em hortas, filmes de acondicionamento de alimentos congelados, filmes encolhíveis (para conjuntos de latas de refrigerante, por exemplo), etc. Assim como na produção de perfis, também se pode obter filmes multicamadas através da coextrusão.

São duas as principais formas de obtenção de filmes plásticos, ambas admitindo filmes multicamadas co-extrudados:

- Filmes planos ou simples;
- Filmes tubulares ou duplos.

Ao contrário do que se possa pensar à primeira vista, os filmes duplos não são obrigatoriamente destinados à produção de sacos e sacolas. O que determina a confecção de determinado produto a partir de um filme simples ou de um filme duplo são suas propriedades, especialmente as relacionadas à transparência, ao brilho e à resistência ao rasgamento.

3.5.1 Processo plano de extrusão para filmes simples

Após ser extrudado através de uma matriz larga, de espessura regulável, o filme é resfriado rapidamente, ou por imersão em um tanque de água ou pelo contato com rolos metálicos com resfriamento interno. Rolos de tração estiram o filme e diminuindo sua espessura em proporções de até 10:1. O filme é continuamente puxado pelos roletes de tração, até ser bobinado em cilindros (rolos) específicos para esta função. Antes do bobinamento, as laterais do filme, são aparadas e bobinadas para futuro reprocessamento. Esta operação é feita porque as laterais podem ser mais espessas que o restante do filme, ou para determinar a largura desejada para o filme, já que durante a extrusão pode haver variações na largura do extrudado. Quando uma bobina é completada, corta-se transversalmente o filme, troca-se a bobina e enrola-se a extremidade do filme na nova bobina, dando continuidade à produção. Neste processo, diferentemente do processo tubular, que é vertical, a transformação em filme ocorre de modo horizontal, não requerendo, portanto, galpões muito altos para sua instalação. (CEFET, 2004).

3.5.2 Matriz e espessura do filme

No processo plano, a matriz é horizontal, geralmente do tipo "rabo de peixe" ou do tipo "cabide". Sua saída pode ser oblíqua em relação à linha da extrusora para propiciar um fluxo uniforme, não turbulento, da massa fundida, principalmente quando for utilizado o tanque de resfriamento ao invés dos rolos refrigerados. A matriz do tipo "cabide" possui uma régua estranguladora que faz com que a pressão do termoplástico seja introduzida no centro e distribuída por toda a largura, tendo na saída a mesma pressão. Conseqüentemente, teremos a mesma espessura em toda a largura do filme. Na saída existe um jogo de lábios para regular a matriz, na espessura desejada. A abertura da matriz é regulável através de parafusos dispostos ao longo do comprimento da mesma para ajustar a espessura do filme. Na saída da matriz os filmes têm espessuras que variam de 0,2 a 0,6 mm e largura total de até 2,0 m, dependendo do porte da extrusora. Porém, a espessura do filme é regulada pela velocidade dos rolos de tração que

estiram o filme, posicionados após os rolos de resfriamento. A espessura final do filme, após o processo de estiramento e resfriamento, pode ficar entre 10 e 20 micras. Se a redução de espessura conseguida com o estiramento não ocorresse, a abertura da matriz deveria ser extremamente fina. Isto acarretaria uma menor produção, devido à alta resistência ao fluxo, e uma extrema dificuldade do ajuste de paralelismo dos lábios inferior e superior da matriz (pequenos desalinhamentos podem causar grandes diferenças de espessura ao longo da seção transversal do filme). (CEFET, 2004).

3.5.3 Extrusão-laminação

Esse processo consiste na aplicação de uma camada de polietileno (ou outras resinas, em menor escala) sobre papel, tecidos, filmes metálicos ou quaisquer outros substratos flexíveis. O processo encontra ampla aplicação na cobertura de produtos como [(FIG. 5)]:

- Papel *Kraft*: na produção de sacos de papel multifolhados para embalagem de fertilizantes e produtos químicos e outros artigos que requeiram garantia de vedação da umidade e da contaminação pelas fibras do papel;
- Cartolina: na confecção de embalagens para leite, sucos de frutas ou similares;
- Papel alumínio: na confecção de embalagens para sopas e alimentos que requeiram a exclusão do oxigênio;
- Filme poliéster: para embalagens que tenham de reter o aroma do produto, ou que tenham de ser aquecidas;
- Tecidos: na confecção de entretela para golas e para embalagens especiais.

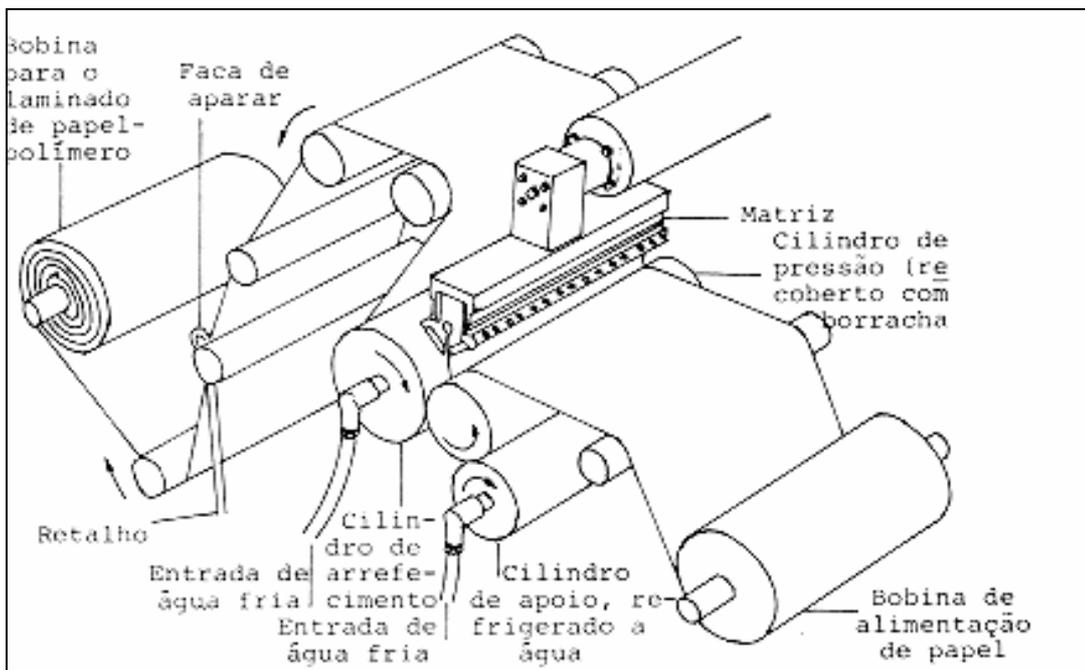


Figura 5 – Ilustração do processo de extrusão-laminação

Fonte: (CEFET, 2004)

3.5.4 Processo tubular de extrusão para filmes duplos

A instalação empregada para extrusão-laminação apresenta grande similaridade com a que é usada na produção de filmes planos. Usa-se uma matriz tipo fenda, que produz um filme fino que é, em seguida, aplicado sobre o material a cobrir. Isso é feito em um sistema constituído de um cilindro de arrefecimento e de um cilindro de pressão, recoberto com borracha. O substrato a ser recoberto é suprido continuamente desde uma posição de desbobinamento, passando sobre o cilindro de pressão. O filme plástico é fortemente comprimido sobre o substrato. A espessura da camada aplicada pode ser em parte regulada pela taxa de extrusão e pela velocidade do substrato. (CEFET, 2004).

O cilindro de resfriamento é, normalmente, cromado e altamente polido, e projetado de forma a remover o máximo de calor do plástico aquecido. Essa é a condição essencial para garantir a aderência do plástico ao substrato. A temperatura em que se dá a laminação (com polietileno) deve ser da ordem de 25 a 30 °C. Se ela for mais alta, existe a tendência ao arrancamento da camada de polietileno, e a conseqüente delaminação parcial.

O filme obtido do processo tubular não difere muito daquele produzido no processo plano, no tocante à aparência visual, mas oferece um balanceamento melhor de propriedades mecânicas, seja na direção longitudinal, seja na direção perpendicular ao fluxo. No processo tubular, o filme é extrudado através de uma matriz circular e, em seguida, resfriado externamente por contato direto com o ar. Quando o filme sai da matriz, ar é soprado no seu interior, fornecendo pressão suficiente para a formação de um “balão” ou “bolha” e configurando, desta forma, o filme tubular. Durante a passagem do produto desde a matriz até os rolos puxadores no alto da torre, ocorre o resfriamento do filme, que toma a espessura requerida. Os rolos puxadores achatam o balão, formando um filme duplo que a seguir é bobinado ainda duplo ou cortado e bobinado como se fossem dois filmes simples (em dois rolos diferentes).

Existem três tipos de processos tubulares:

- Vertical ascendente;
- Vertical descendente;
- Horizontal.

O primeiro se caracteriza pela formação do balão no sentido ascendente, ou seja, de baixo para cima. Polietilenos de alta, baixa e linear de baixa densidade são produzidos exclusivamente pelo processo tubular ascendente. Já o segundo apresenta o balão sendo extrudado no sentido descendente, ou seja, de cima para baixo. Isto é necessário para que possa haver resfriamento com água, cujo choque térmico com as paredes quentes do balão resulta num grau de transparência muito maior para o polipropileno. Em alguns casos o PP [polipropileno] também pode ser processado em extrusoras ascendentes, mas com resfriamento do balão por ar. O terceiro tipo de processo, horizontal, é bem menos empregado e se destina, principalmente ao processamento de filmes duplos de PVDC [poli-cloreto de vinilideno]. (CEFET, 2004).

3.6 Equipamentos da linha de extrusão

Linha de extrusão é a designação utilizada no ramo de transformação de plásticos para matrizes e equipamentos pós-extrusão das linhas de extrusão para cada geometria de extrudado [(FIG. 6)].



Figura 6 – Linha de extrusão para filmes tubulares
Fonte: (RULLI STANDARD, [200-?]a)

Os equipamentos pós-extrusão ou equipamentos complementares necessários para este tipo de produto são:

3.6.1 Extrusora

Máquina monofuso, geralmente com parafuso universal com seções de mistura distributiva e dispersiva na seção de dosagem.

3.6.2 Cabeçote

Nas máquinas para extrusão de filmes tubulares, dá-se o nome de cabeçote para um conjunto onde estão montados a matriz, o anel de resfriamento, resistências elétricas e termopares, entrada de ar para insuflamento do balão, além de alguns outros elementos. Em linguagem de chão-de-fábrica, costuma-se chamar a própria matriz de cabeçote ou vice-versa. O cabeçote é conectado ao cilindro da extrusora através de um adaptador, onde se encontra a placa-filtro e um sistema troca-tela.

De forma a se conseguir uma boa uniformidade de espessura, muitas máquinas empregam cabeçotes giratórios. Como vários motivos causam a desuniformidade da espessura do balão, com o emprego do cabeçote giratório, a desuniformidade é “distribuída” por igual em todo o perímetro do balão [(FIG. 7)].



Figura 7 - Cabeçote de Extrusão
Fonte: (CARNEVALLI, [200-?]c)

3.6.3 Matriz

Sua função consiste em receber o material plastificado e distribuir seu fluxo ao longo da seção desejada, conformando o material plástico que é extrudado por sua abertura. Não é propriamente uma parte da máquina, pois para cada produto é necessária uma matriz diferente montada no cabeçote da máquina. Matrizes para produtos diferentes podem ser montadas na mesma extrusora, se forem projetadas para isso. Por exemplo, uma máquina pode ser responsável pela extrusão de diversos tipos de perfis de PVC [policloreto de vinila], produzindo um determinado número de horas com cada matriz. A troca da matriz é um processo que por vezes tem duração de algumas horas. É também feita em aço especial. Possui um canal ou cavidade interna cuja seção inicial é geralmente circular, e uma abertura na saída, com a seção do extrudado. Portanto, a forma da seção do canal interno é gradativamente alterada ao longo do seu comprimento, até os lábios que formam a abertura de saída do extrudado. (CEFET, 2004).

Para o processo de produção de filme geralmente encontraremos a matriz circular ou anular que é composta de duas partes concêntricas, e entre elas passa o termoplástico fundido. A parte interna, normalmente côica é chamada também de mandril interno ou pino central. A parte externa tem a função principal de permitir ajustes pequenos de espessura final, através de parafusos. As superfícies destas duas partes da matriz devem ser muito polidas para assegurar boas propriedades ópticas ao filme e devem ter uma geometria que permita um fluxo contínuo, sem pontos-mortos. (CEFET, 2004).

Podem ser encontrados três tipos básicos de matriz: a de alimentação lateral, a de canal espiral e a do tipo pernas-de-aranha, ambas com alimentação axial.

- Matriz de alimentação lateral

O fluxo proveniente do cilindro é distribuído ao redor do pino central. Como a massa polimérica atinge o pino central lateralmente, o mesmo se inclina. A cada mudança de velocidade de produção ou de pressão a inclinação do pino é, logicamente, alterada. Desta forma, é necessário um freqüente ajuste dos parafusos da matriz, para que a espessura do balão seja sempre

uniforme. Este motivo está levando este tipo de matriz a ser cada vez menos usado, sendo substituído pela alimentação axial. Além disso, quando o fluxo dividido se reencontra deixa uma linha de solda, uma região de menor resistência e, portanto, de fácil rasgamento [(FIG. 8)].

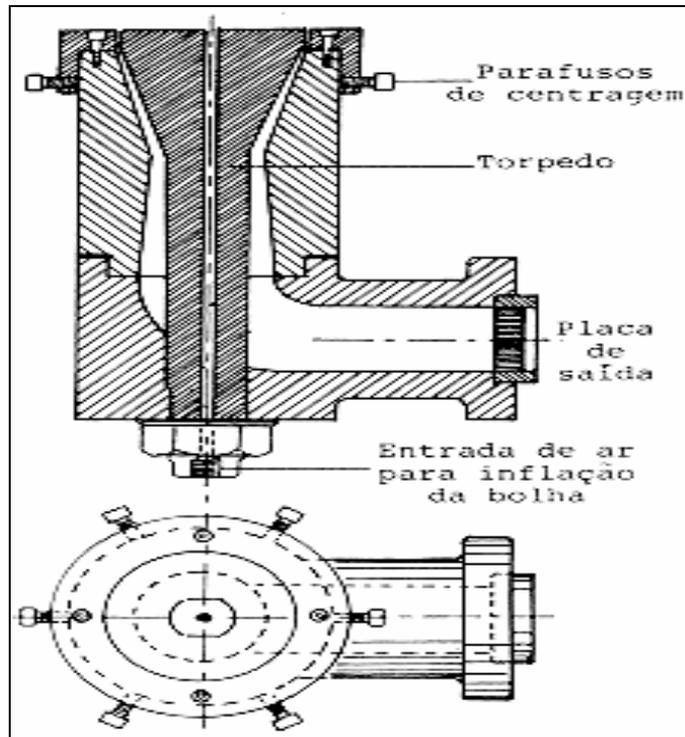


Figura 8 – Ilustração da matriz de alimentação lateral em vista superior e corte longitudinal
Fonte: (CEFET, 2004)

- Matriz de alimentação axial tipo pernas-de-aranha

Também chamadas de matrizes de sustentação em estrela ou cruzeta, são muito similares às já referidas para o processo de extrusão de perfis. Também forma linhas de solda (nas pernas-de-aranha), mas menos visíveis do que as formadas com o tipo anterior. É o tipo de matriz mais adequado ao processamento de filmes de paredes muito finas e de precisão de espessura [(FIG. 9)]. (CEFET, 2004).

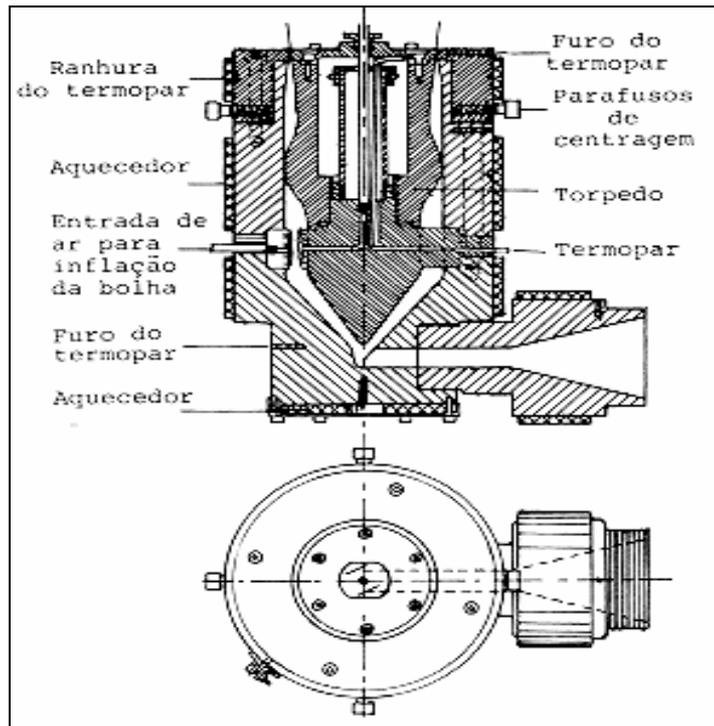


Figura 9 – Ilustração da matriz de alimentação axial do tipo pernas-de-aranha em vista superior e corte longitudinal
Fonte: (CEFET, 2004)

- Matriz de alimentação axial tipo espiral

Igualmente semelhante às matrizes espirais para extrusão de perfis, é indicada para operações de alta produção. Consiste de um mandril interno com vários canais helicoidais com profundidade decrescente na direção da saída da matriz. Parte do fluxo de material é conduzido pelos canais (fluxo circunferencial) e parte é axial, no sentido direto da extrusão. O efeito final é uma massa extremamente homogênea e sem linhas de solda [(FIG. 10)]. (CEFET, 2004).

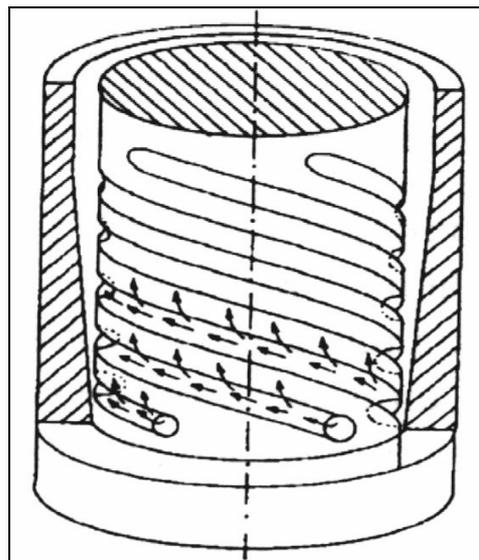


Figura 10 – Ilustração a partir da vista em corte da parede externa de uma matriz de filmes tubulares, mostrando o mandril interno com canais em espiral
Fonte: (CEFET, 2004)

3.6.4 Anel de resfriamento

O resfriamento do balão, realizado externamente, é obtido pelo ar emergente de um anel de resfriamento montado diretamente na saída da matriz. Volume de ar, velocidade de ar, direção do fluxo de ar, tanto quanto suas temperaturas determinam a eficácia do resfriamento. O ar não deve somente resfriar a massa uniformemente, mas também suportá-la, contribuindo para a estabilidade do balão.

Para obtermos um filme com boas propriedades mecânicas, bem como espessuras uniformes, é extremamente importante que o balão tenha um resfriamento uniforme e uma boa estabilidade. Essas características são obtidas com anel de ar projetado com sistema adequado de labirintos, contendo equalizadores de pressão e defletores internos. Isso faz com que se tenha velocidade e distribuição uniformes de ar, em toda a circunferência dele. Podem ser instalados um manômetro e um termômetro, que darão informações valiosas para um controle mais efetivo do sistema. Uma das condições mais importantes na construção do anel é que a saída de ar esteja num ângulo de 45 a 60° da horizontal, para que o ar toque a superfície do filme, de maneira que não o corte e ajude a estabilizá-lo. A abertura do anel (saída) deve estar, normalmente, entre 10 a 20 mm de distância da borda da matriz e deve ser regulável. Uma pequena abertura resulta em altas velocidades de ar e bons efeitos de resfriamento. Uma grande abertura, ao contrário, produz um grande volume de ar, mas a velocidade é, geralmente, tão baixa que somente parte do ar contribui para o resfriamento do filme. (CEFET, 2004).

Na confecção de filmes plásticos tubulares o plástico é extrudado e forma um balão vertical de secção circular cujas superfícies externa e interna podem ser resfriados com ar frio. O ar frio a uma temperatura controlada a tipicamente 15 a 18 °C é soprado na superfície externa do balão através de uma abertura circular no chamado anel de ar. Nas extrusoras mais modernas o ar contido no interior do balão é continuamente substituído por ar mais frio para acelerar o processo de resfriamento do filme por meio de um tubo chamado IBC (*Internal Bubble Cooling*). (EXTRUSÃO..., 2005).

A utilização conjunta de resfriamento interno do balão (*IBC - Inertial Bubble Cooling*) apresenta nítidas vantagens sobre o sistema convencional, principalmente o aumento da produção. O ar ocluído dentro do balão se aquece durante o processamento, podendo fazer com que o filme esteja mais quente do que o esperado quando passar pelos rolos puxadores. Isto pode ocasionar bloqueio (as duas faces do filme achatado pelos rolos aderem, grudam) e redução da produtividade. (CEFET, 2004).

Apesar de ainda pouco empregado no Brasil, devido ao elevado custo, esse sistema apresenta as seguintes características:

- Introdução de ar de resfriamento na área plástica do filme;
- Extração de ar quente interno do balão.

“Sensores de alta sensibilidade que regulam o fluxo volumétrico de ar, assegurando um diâmetro constante ao longo do tempo [(FIG. 11 e 12)].” (CEFET, 2004).



Figura 11 – Anel de ar simples
Fonte: (CARNEVALLI, [200-?]a)



Figura 12 – Anel de ar duplo
Fonte: (CARNEVALLI, [200-?]a)

3.6.5 Sistema de resfriamento

Logo após a saída do produto da matriz, inicia-se o processo de resfriamento, que costuma ser efetuado de duas formas diferentes: por imersão em água ou pelo contato com cilindros resfriados. Em princípio, a distância entre a matriz e o sistema de refrigeração deve ser a mínima possível, a fim de se evitar a contração transversal do filme que lhe reduz a largura. Da magnitude dessa contração depende a quantidade de material que deverá ser aparada das laterais, e, portanto, a perda do processo. Por outro lado, porém, um intervalo muito curto entre a matriz e o sistema de refrigeração poderá provocar o rasgamento do filme nos lábios da matriz, além de prejudicar, inevitavelmente, a qualidade ótica do filme. Cada material possui sua combinação específica de parâmetros do processo: temperatura de extrusão, velocidade de produção e distância ao sistema de arrefecimento.

- Cilindros resfriados

Neste sistema o filme quente é resfriado por contato direto com cilindros de aço mantidos à baixa temperatura, geralmente em torno de 10 °C. Estes cilindros ou rolos, também chamados de *chill-rolls*, exercem uma pequena força de puxamento do filme, que poderá ou não alterar as propriedades físicas do mesmo. Para otimizar as qualidades ópticas do filme é necessário trabalhar bem próximo das temperaturas máximas recomendadas para cada termoplástico. Os cilindros de refrigeração devem ser altamente polidos para que sua superfície espelhada não transmita imperfeições à superfície do filme, o que prejudicaria seu brilho e sua transparência [(FIG. 13)].

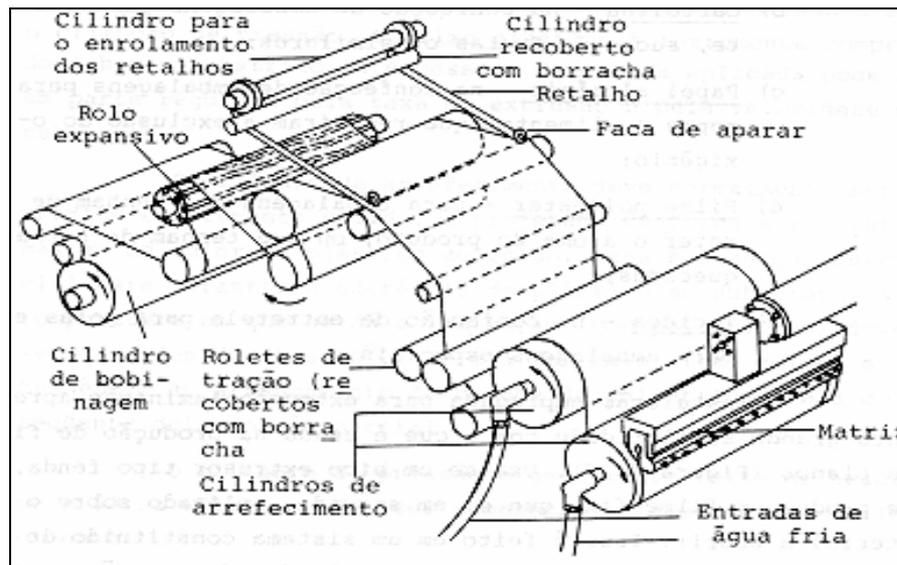


Figura 13 – Ilustração de extrusão de filmes planos utilizando resfriamento por rolos refrigerados
Fonte: (CEFET, 2004)

- Banho de imersão

O resfriamento também pode ser feito com a imersão do filme em um tanque com água circulante. Contudo, é importante que a circulação de água não cause perturbações à passagem do filme extrudado, de forma a não modificar sua espessura. Para materiais como o PP [polipropileno], um alto grau de transparência não pode ser atingido com este tipo de resfriamento, pois não é tão brusco como o efetuado pelos rolos refrigerados [(FIG. 14)]. (CEFET, 2004).

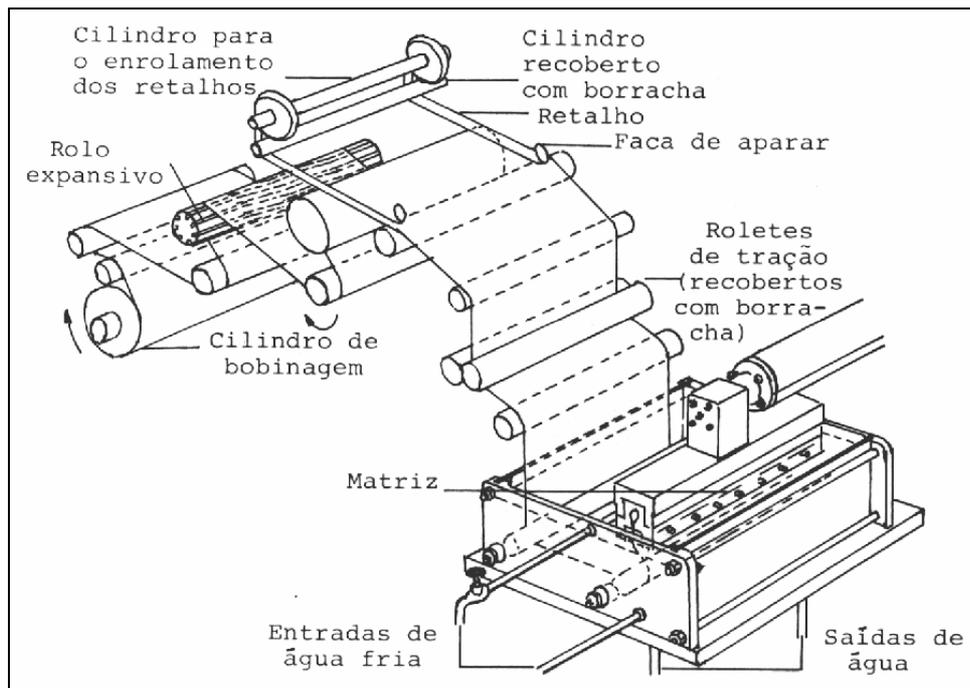


Figura 14 – Ilustração de extrusão de filmes planos utilizando resfriamento por banho de imersão
 Fonte: (CEFET, 2004)

3.6.6 Torre

Nela são montados diversos equipamentos fundamentais ao processamento de filmes tubulares, como os rolos puxadores, a saia (responsável pelo gradual achatamento do balão), o cesto de calibragem, bem como outros acessórios de importância secundária. A altura da torre é determinada em função das características do processo e da matéria-prima. Por isso, as torres modernas possuem regulagem de altura (ao contrário das antigas), para ampliar os tipos de matéria-prima processáveis. O ajuste também é necessário para determinar a altura exata em que o filme está quente o suficiente para não formar dobras durante o achatamento, mas frio suficiente para não haver bloqueio. Torres muito altas tendem a provocar dobras na direção da extrusão, enquanto torres excessivamente baixas podem contribuir para a ocorrência de dobras transversais. (CEFET, 2004).

3.6.7 Estabilizadores de balão

Independentemente de um anel adequadamente projetado, uma estabilização adicional do filme tubular entre a linha de cristalização e os rolos puxadores é essencial para evitar a formação de dobras no filme. Um dispositivo presente na grande maioria das máquinas é o diafragma tipo íris, colocado logo acima da linha de cristalização, com abertura regulável para tocar toda a circunferência de balões de diâmetros diferentes, de acordo com o necessário. Ao invés do diafragma, pode ser usado um cesto de calibragem, que consiste de uma série de anéis paralelos com pequenos roletes que tocam o balão, acima da íris. Alguns cestos são compostos de roletes largos, que tangenciam a superfície do balão.

3.6.8 Saia

O filme tubular deve ser resfriado uniformemente e sem dobras até os rolos, para que seja corretamente bobinado. Para assegurar que o filme chegue sem nenhuma dobra nos rolos puxadores, ele deve ser achatado enquanto ainda está morno (60 a 80 °C) e relativamente flexível. Para isto, a torre é dotada de um sistema de achatamento gradual do filme. Para filmes

de PEBD [polietileno de baixa densidade], a saia consiste de duas séries de roletes metálicos horizontais, dispostos de forma cônica, em contato com o filme. Por causa da eletricidade estática, em máquinas para filmes de PEAD [polietileno de alta densidade] é mais aconselhável o uso de sarrafos ao invés dos roletes. A abertura entre os sarrafos (ou entre os roletes) permite o resfriamento lento com o ar e é possível inserir sarrafos, em ângulo com as saias, para auxiliar a estabilização do balão.

No caso do PEAD [polietileno de alta densidade], por exemplo, como há pouco risco de bloqueio, as saias podem iniciar o achatamento do filme tubular logo após o diafragma íris. No achatamento do filme tubular, devido a geometria do sistema, as partes do balão em contato com as saias podem ter distâncias diferentes das partes que correm livres, para chegar até os rolos. Com isso, pode haver diferentes velocidades nos diversos pontos do filme. Para minimizar essa diferença de comprimento e o risco do filme enrugarem-se, é indicado um ângulo de cerca de 20 graus para a abertura das saias (PEAD). Se o ângulo for muito maior que 20°, isto é, se as saias estiverem muito abertas, ocorrem dobras transversais. Para ângulos menores, as dobras tendem a aparecer no sentido de extrusão do filme. (CEFET, 2004).

3.6.9 Rolos puxadores

Também chamados de rolos de achatamento e arraste, servem para puxar o filme em direção aos rolos bobinadores, determinar a espessura do filme por estiramento e evitar a saída de ar do interior do balão. Um rolo é de metal e o outro de borracha, para pressionar toda a superfície do filme que passa entre os mesmos. É fundamental que a linha de encosto dos dois rolos esteja precisamente alinhada com o centro da matriz. A velocidade dos rolos pode ser controlada pelo operador da máquina, pois é necessária a sua correta sintonia com a velocidade de extrusão, para que se mantenha a espessura requerida para o filme, além da possibilidade de modificação da mesma.

3.6.10 Bobinadeira

É um equipamento isolado da extrusora e da torre, porém fundamental para o processo, pois o filme já processado e resfriado é aqui temporariamente armazenado:

O bobinamento do filme só pode ser efetuado perfeitamente quando ele sai dos rolos puxadores isento de dobras. Quando a sua temperatura diminui e ele se torna rígido, passa a ser difícil eliminar as possíveis dobras que já possui. Dobras podem ser formadas também nos rolos-guia, que fazem parte da bobinadora, isto é, entre os rolos puxadores e os bobinadores. Isso ocorre principalmente se a distância entre cada rolo-guia for grande. Dobras formam-se nesse ponto quando o filme não está devidamente tensionado. De qualquer forma, é fundamental que os bobinadores estejam corretamente centrados e alinhados com o conjunto, dispondo de controle de velocidade para fornecer uma tensão ideal para o bobinamento do filme. (CEFET, 2004).

A utilização de rolos curvos chamados de rolos-banana diminui a possibilidade de formação de dobras devido ao seu desenho, pois permitem que os filmes tenham velocidades diferenciadas na sua largura, mantendo uma tensão de puxamento mais uniforme. Alguns bobinadores possuem facas que cortam o filme duplo, permitindo o bobinamento em separado de dois filmes simples [(FIG 15)]. (CEFET, 2004).



Figura 15 – Bobinadeira
Fonte: (CARNEVALLI, [200-?]b)

O inchamento é um problema que ocorre durante a extrusão de perfis (inclusive nos tubulares) é a expansão do extrudado ao sair da matriz. Esta expansão deve-se às propriedades elásticas da matéria-prima e à relaxação do termoplástico depois de extrudado. O perfil de velocidade do material, que, devido ao atrito com as paredes do canal da matriz, apresenta variações de velocidade (diminuindo do centro do fluxo até as paredes), transforma-se em um perfil linear constante, ao sair da matriz. Todos os pontos passam a se movimentar com a mesma velocidade. Um dos principais problemas causados pelo inchamento é a não uniformidade da própria expansão no extrudado. Isto significa que em algumas áreas, esta expansão será maior que em outras. Se a seção do extrudado não for equidistante, esta expansão vai gerar distorções no extrudado, e a geometria requerida não pode ser obtida. (CEFET, 2004).

Se analisarmos um extrudado com a seção transversal quadrada, a taxa de cisalhamento é pequena nas bordas (cantos) e é maior no meio das bordas das paredes. Em termos de velocidade, esta é menor nas bordas e maior na parte central. Isto vai gerar uma expansão maior na peça nas regiões mais centrais e uma menor deformação na região das bordas, “abarrilando” o extrudado. Isto é um fenômeno que não pode ser evitado, tendo-se de recorrer para alterações no projeto da matriz para resolver o problema, modificando a forma do orifício de extrusão, para que a deformação oriunda da expansão seja compensada e se obtenha uma peça com as dimensões requeridas. (CEFET, 2004).

Para que filmes sejam transformados em sacos, sacolas, rótulos, etc, além da linha de extrusão, são necessários equipamentos para operações de acabamento superficial e dimensional. Empresas produtoras de embalagens e rótulos costumam extrudar o filme e, em seguida, imprimi-lo, cortá-lo e soldá-lo.

3.6.11 Tratamento corona

Filmes produzidos com resinas como o PE [polietileno], possuem superfície não polar (baixa tensão superficial), portanto, não são capazes de manter tintas e adesivos. Durante um tratamento corona, a superfície do filme é exposta a uma descarga elétrica que a polariza, preparando-o para ser impresso.

3.6.12 Impressão

Dois processos principais são utilizados para imprimir rótulos, códigos de barra, informações do produto, etc. em filmes: rotogravura e flexografia. Máquinas especiais para este processo imprimem o filme após seu devido tratamento superficial.

3.6.13 Corte e solda

Como são muito variadas as aplicações dos filmes simples ou duplos, após sua produção estes passam por um dos diversos processos de corte e solda existentes. Um tipo de máquina específica corta o filme desbobinado de acordo com o tipo de sacola, saco ou embalagem a ser produzido e realiza operações de soldagem. (CEFET, 2004).

Ao passar pela extrusora, o plástico se encontra inteiro em um rolo ou bobina. Então ele passa para a etapa de corte e solda, que é a última fase do processo de fabricação dos sacos plásticos. No equipamento de corte e solda, o cilindro é cortado e soldado de acordo com o tamanho do saco e o seu tipo de alça (se tiver alguma). A máquina de corte e solda é formada por um desbobinador, que desenrola o cilindro de plástico, uma balança compensadora, corte e solda com cabeçote, esteira transportadora e mesa de empilhamento. Após esse procedimento, os sacos são embalados e estão prontos para entrega [(FIG. 16)]. (MC PLÁSTICOS, c2006a).

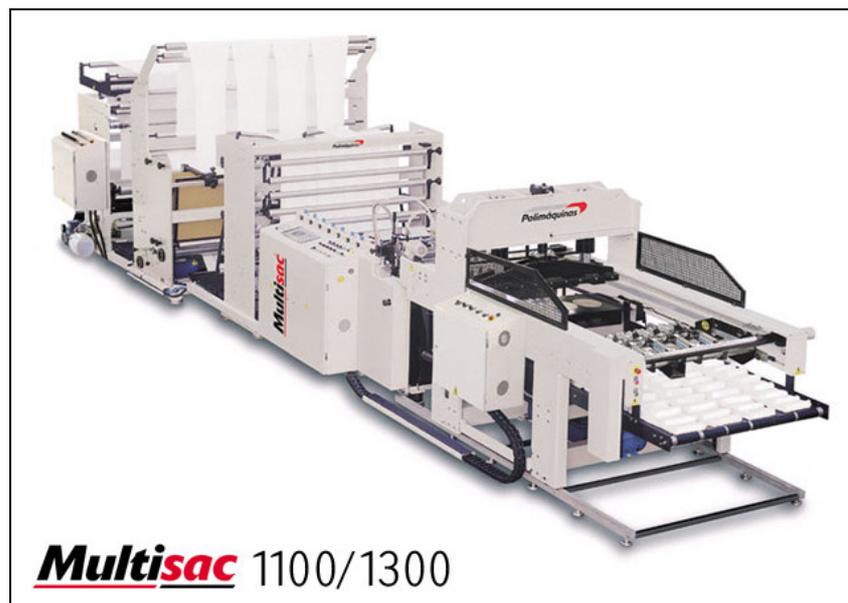


Figura 16 – Máquina para corte e solda
Fonte: (POLIMÁQUINAS, [200-?])

3.7 Tecnologias para produção de filmes especiais

O processo de coextrusão é utilizado quando é necessário transformar materiais com propriedades diferentes e com características específicas em um mesmo equipamento. Podem ter espessura reduzida ou podem ser fabricados com materiais mais econômicos nas camadas internas, gerando um produto mais econômico e com as mesmas características. Um bom exemplo de filme coextrusado são as embalagens para alimentos (alta barreira), onde temos um material com barreira para gases e outro de elevada resistência material. (RULLI STANDARD, [200-?]b).

3.7.1 Coextrusão de filmes

“As técnicas de extrusão podem servir para fazer a moldagem por sopro e coextrusão, que é um método de adesão de diversas camadas durante a extrusão.” (BRANCO, 2010).

Muitos produtos necessitam de propriedades de vedação (barreira) à umidade, CO₂ (dióxido de carbono), ou a O₂ (gás oxigênio), combinadas com boa resistência ao impacto e à tração e ainda bom aspecto visual. Assim, quando não se encontra uma resina que confira ao filme todos os requisitos do gênero e que seja economicamente viável, passa-se a produzir filmes com mais de uma camada pelo processo conhecido como coextrusão. O crescimento deste tipo de processo vem sendo muito grande nos últimos anos, principalmente no ramo de embalagens. (CEFET, 2004).

De forma geral, as camadas podem ser classificadas em:

- Camadas de acabamento: geralmente externas, devem proporcionar características como brilho, transparência, capacidade de impressão ou capacidade de soldagem;
- Camadas de estrutura: devem possuir boas propriedades mecânicas, como resistência ao impacto, resistência à tração, além de características especiais, como, por exemplo, capacidade de encolhimento (filmes encolhíveis);
- Camadas de barreira: normalmente servem como barreira, ou seja, diminuem a permeabilidade do filme à umidade, oxigênio, gás carbônico e outros gases, os materiais mais empregados como barreira são o EVOH [poli(etileno-co-álcool vinílico)], PA [poliamida], PET [politereftalato de etileno] e PVDC [poli-cloreto de vinilideno];
- Camadas de adesão: como nem todos os materiais usados em camadas estruturais são compatíveis com alguns materiais usados em camadas de função, utiliza-se entre os dois uma camada de material com excelente adesão com ambos.

Muitos filmes coextrudados apresentam camadas que executam mais de uma destas funções, graças às propriedades dos materiais que as compõem. O material de cada camada pode ser um homopolímero, um copolímero ou mesmo uma blenda. Os equipamentos pós-extrusão são os mesmos utilizados na obtenção de filmes monocamada simples ou duplos. A diferença é que, assim como na já referida coextrusão de tubos e perfis, utiliza-se uma extrusora específica para cada tipo de matéria-prima e uma matriz com canais internos que conectam as extrusoras aos lábios, formando o filme multicamadas [(FIG. 17)]. (CEFET, 2004).



Figura 17 – Máquina para co-extrusão de filmes planos
 Fonte: (CARNEVALLI, [200-?]d)

3.7.2 Extrusão de filmes planos bi-orientados

Neste processo, o filme plano é extrudado com uma largura relativamente pequena, sendo estirado longitudinal e transversalmente, até atingir a largura final, várias vezes maiores do que a inicial. A orientação longitudinal ocorre pela tração de rolos puxadores ao final da linha, como no processo plano convencional. A orientação transversal, não realizada no processo convencional, é conseguida através da movimentação diagonal (para frente e para os lados) de grampos que prendem as laterais do filme. Através deste sistema, a largura final do filme costuma ser várias vezes a largura da matriz. A bi-orientação confere ao filme propriedades mecânicas semelhantes às obtidas nos filmes tubulares. (CEFET, 2004).

Dois métodos são utilizados para o processamento de filmes planos bi-orientados:

- Estiramento seqüencial: o filme plano extrudado ainda estreito passa por uma unidade de estiramento longitudinal, onde uma série de rolos de tração orientam as moléculas do polímero na direção da extrusão, para só então passar pela unidade de estiramento transversal;
- Estiramento simultâneo: não existe a primeira unidade, após a extrusão o filme é orientado longitudinal e transversalmente ao mesmo tempo na mesma unidade.

Polipropileno bi-orientado (BOPP) é empregado como base de fitas adesivas, em álbuns de fotografia, rótulos, revestimentos metalizados de capacitores, embalagens metalizadas a vácuo para produtos alimentícios e sobre embalagens para carteiras de cigarros, revistas, pacotes de produtos alimentícios, caixas de produtos eletroeletrônicos e estojos para CDs e fitas de vídeo. Também são muito empregados como revestimento de laminados de papel usados na confecção de embalagens para produtos alimentícios. Além de algumas destas aplicações, o PET [politereftalato de etileno] bi-orientado também se aplica a fitas magnéticas para áudio e vídeo, disquetes, filmes encolhíveis, filmes para raio-X, sacos de café embalado à vácuo e isolamento

elétrico, entre outras. Filmes bi-orientados de outros materiais, como PVC [policloreto de vinila], PC [policarbonato], PMMA [polimetil-metacrilato], PELBD [polietileno de baixa densidade linear], PEN [poli(etileno naftalato)], PS [poliestireno] e PA [poliamida], também já encontram aplicações. Muitos destes filmes planos bi-orientados são co-extrudados. (CEFET, 2004).

Conclusões e Recomendações

Pode-se observar que o processo de transformação de plásticos por extrusão para a produção de filmes tubulares basicamente apresenta-se como um processo no qual a resina fundida com auxílio do calor é forçada a passar por uma matriz para se obter a forma final desejada, e que trata-se de um processo de produção contínuo. O processo de transformação de plásticos por extrusão é largamente utilizado na fabricação de diversos itens como lonas, sacos, sacolas, entre outros. Trata-se de um processo que pode ser preparado para atender ao mercado com excelente razão de custo/benefício seja aplicado para demandas de pequenos ou grandes lotes. Vários tipos de plásticos podem ser empregados para este processo, desde que atendam as especificações exigidas para esta forma de processamento e também quanto às expectativas do cliente.

A listagem fornecida representa apenas uma amostra de fornecedores de máquinas extrusoras, consultados em páginas da *internet*, nos endereços ou *sites* listados acima. O SBRT não tem qualquer vínculo ou responsabilidade quanto à idoneidade das empresas citadas. Para encontrar mais fornecedores deste segmento, sugere-se a visita às suas páginas (*sites*). É de responsabilidade de cada cliente a realização do contato direto com as empresas/fornecedores, para solicitar as especificações dos equipamentos e optar por aquela que melhor atender as suas necessidades (qualidade, preço, variedade, localização, etc.).

Referências

AZEVEDO, Márcio. K2004: injeção e extrusão exibem novas tendências. **Revista Plástico Moderno**, São Paulo, n. 361, Nov. 2004. Disponível em: <<http://www.plasticomoderno.com.br/reportagem.php?rrid=475&rppagina=4>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

BRANCO, Renata. **Extrusão de plásticos apresenta custo baixo nas indústrias**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/2187-extrusao-de-plasticos/>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

CARNEVALLI. **Anéis de refrigeração**. Guarulhos, [200-?]a. Disponível em: <http://www.carnevalli.com/extrusoras_aneis.html#>. Acesso em: 29 ago. 2011.

_____. **Bobinadeiras**. Guarulhos, [200-?]b. Disponível em: <http://www.carnevalli.com/extrusoras_bobinadeiras.html#>. Acesso em: 29 ago. 2011.

_____. **Cabeçote de extrusão**. Guarulhos, [200-?]c. Disponível em: <http://www.carnevalli.com/extrusoras_cabecote.html#>. Acesso em: 29 ago. 2011.

_____. **Linhas de extrusão Polaris**. Guarulhos, [200-?]d. Disponível em: <<http://www.carnevalli.com/equipos.html#>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. CEFET. Unidade de Ensino Descentralizada. **Curso técnico em transformação de termoplásticos**: introdução à transformação de termoplásticos. Sapucaia do Sul: CEFET-RS/UNED, 2004. Material didático.

DOW. **Filmes de sopro**. [S.l.], c2011. Disponível em: <<http://www.dow.com/polyethylene/la/pt/fab/film/blown.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

EXTRUSÃO de filme tubular: o segredo do trocador de calor para resfriar o anel do ar. **Mecalor News**, n. 14, jul/ago. 2005. Disponível em: <<http://www.mecalor.com.br/noticias/noticia.php?edicao=&materia=65>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

MC PLÁSTICOS. **Corte e solda**. [Ituiutaba], c2006a. Disponível em: <<http://www.mcplasticos.com.br/corteesolda.html>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

_____. **Extrusora de filme**. [Ituiutaba], c2006b. Disponível em: <<http://www.mcplasticos.com.br/extrusoras.html>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

POLIMÁQUINAS. **Multisac**: modelo 1100/1300. [Bauru], [200-?]. Disponível em: <<http://www.polimaquinas.com.br/1.0/>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Processos de transformação**. [S.l.], [200-?]. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/plasticos/processos-de-transformacao.php>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

ROSA, Elisandro Cerveira da; SANTOS, Valério Freitas dos; BROGNOLI, Ronei. **Apostila do curso de tecnologia de extrusão de filmes tubulares**. Esteio: Escola de Educação Profissional SENAI Nilo Bettanin, 2006. Material didático.

RULLI STANDARD. **Filmes tubulares PEBD e PEBDL**. Guarulhos, [200-?]a. Disponível em: <http://www.rullistandard.com.br/flexiveis_pebd_pebdl.htm>. Acesso em: 29 ago. 2011.

_____. **Linha completa para coextrusão de filmes tubulares**. Guarulhos, [200-?]b. Disponível em: <<http://www.rullistandard.com.br/flexiveis.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Introdução ao mundo do plástico: processos de transformação do plástico**. Porto Alegre: NEAD/Escola de Educação Profissional SENAI Nilo Bettanin, 2011.

Anexo

ANEXO - Fornecedores de máquinas extrusoras para o processo de transformação de plásticos

CARNEVALLI

End.: Avenida Guinle, nº. 160.

Guarulhos - SP

CEP: 07221-070

Tel.: (11) 2413-3811

Site: <http://www.carnevalli.com/extrusoras_perifericos.html>

IND. MÁQ. MIOTTO LTDA.
End.: Estrada Galvão Bueno, nº. 4595.
São Bernardo do Campo - SP
Tel.: (11) 4346-5555
E-mail: <vendas@miotto.com.br>
Site: <www.miotto.com.br>

LGMT EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS
End.: Rua João Franco de Oliveira, nº. 381.
Piracicaba - SP
CEP: 13422-160
Tel.: (19) 3414-4551
E-mail: <vendas@lgmt.com.br>
Site: <www.lgmt.com.br>

MAKI INDÚSTRIA METALÚRGICA
End.: Rua Guilherme Buttenbender, nº. 814.
Bairro Fátima
Canoas - RS
CEP: 92200-570
Tel.: (51) 3031-7661
Site: <<http://www.makimetalurgica.com.br/>>

RULLI STANDART
End.: Avenida Amâncio Gaiolli, nº. 915.
Bairro Bonsucesso
Guarulhos-SP
CEP: 07251-250
Tel.: (11) 2486-0006
E-mail: <vendas@rullistandard.com.br>
Site: <http://www.rullistandard.com.br/flexiveis_pebd_pebdl.htm>

Nome do técnico responsável

João Claudio H. Otterbach – Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial

Nome da Instituição do SBRT responsável

SENAI – RS / Escola de Educação Profissional SENAI Nilo Bettanin

Data de finalização

29 ago. 2011