

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CARLO SARTORI BONFIM VEZZÁ  
PEDRO LEITE DE ABREU E COTAIT

**PRODUÇÃO DE FIBRAS PARA CONFECÇÃO DE  
TECIDOS A PARTIR DA RECICLAGEM DE PET**



São Paulo  
2006



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Mecânica  
PME 2599 – Projeto Integrado II

**PRODUÇÃO DE FIBRAS PARA CONFECÇÃO DE  
TECIDOS A PARTIR DA RECICLAGEM DE PET**

**Projeto de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para a obtenção do título de Engenheiro  
Mecânico.**

**Autores:** Carlo Sartori Bonfim Vezzá 3631462

Pedro Leite de Abreu e Cota 3728928

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Leal Alves

São Paulo

2006

## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador Prof. Dr. Marcelo Augusto Leal Alves, pela fundamental colaboração e importante direcionamento em toda a realização do projeto.

Às nossas famílias, sempre presentes, que nos apoiaram durante toda a nossa vida.

*Carlo Sartori Bonfim Vezzá*

*Pedro Leite de Abreu e Cotait*

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Cotait, Pedro Leite de Abreu e**

**Fabricação de fibras para confecção de tecido a partir da reciclagem de PET / P.L. de A. e Cotait, C.S.B. Vezzá. -- São Paulo, 2006.**  
**91p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.  
Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Indústria têxtil 2.Plástico (Reciclagem) I.Vezzá, Carlo Sartori Bonfim  
II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de  
Engenharia Mecânica III.t.**

## **RESUMO**

Neste trabalho serão apresentadas todas as etapas envolvidas no processo de reciclagem do Polietileno Tereftalato (PET), com um maior enfoque no processo intermediário entre a coleta e as indústrias de grande porte que utilizam o material para fabricação de seus produtos.

Nesta etapa o produto coletado é transformado, através de inúmeros processos mecânicos, em grânulos apropriados para sua reutilização.

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	11
<b>2.</b>	<b>PANORAMA DA INDÚSTRIA DE FIBRAS .....</b>	13
<b>3.</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS .....</b>	15
3.1.	CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS E DOS FIOS.....	15
3.2.	POLIÉSTER.....	18
3.3.	INDÚSTRIA DE FIBRAS SINTÉTICAS NO MUNDO .....	20
<b>4.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DO PET.....</b>	29
4.1.	MERCADO BRASILEIRO .....	33
4.2.	RECICLAGEM E TRIBUTAÇÃO.....	34
4.3.	LOGÍSTICA DE UMA EMPRESA TRANSFORMADORA .....	36
4.4.	QUALIDADE DO PRODUTO.....	39
4.4.1.	EXPERIMENTAL .....	40
4.4.2.	POLÍTICA AMBIENTAL E DE QUALIDADE.....	46
4.4.2.1.	ISO 14001 .....	46
4.4.2.2.	ASPECTOS MOTIVADORES DA CERTIFICAÇÃO .....	47
4.4.2.3.	ISO 9000 .....	48
4.4.2.4.	ASPECTOS MOTIVADORES DA CERTIFICAÇÃO .....	49
4.4.2.5.	INVESTIMENTOS.....	51
4.4.3.	VIABILIDADE.....	52
<b>5.</b>	<b>CUSTO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA RECICLADORA DE PET .....</b>	54
5.1.	MERCADO.....	54
5.2.	LOCALIZAÇÃO .....	54
5.3.	CUSTOS .....	54
<b>6.</b>	<b>IMPORTÂNCIA DOS CATADORES NO PROGRAMA DE COLETA SELETIVA .....</b>	58
6.1.	A ORGANIZAÇÃO DOS CATADORES .....	59
6.1.1.	AS COOPERATIVAS .....	59
6.2.	CRIAÇÃO DE PARCERIAS.....	62
6.3.	A ORGANIZAÇÃO DOS CATADORES .....	63
6.4.	VANTAGENS DAS PARCERIAS .....	64

6.5.	COMERCIALIZAÇÃO DOS PRODUTOS .....	65
6.6.	VIABILIDADE DE UMA PARCERIA.....	65
<b>7.</b>	<b>VISITAS.....</b>	<b>67</b>
<b>8.</b>	<b>EXTRUSORA.....</b>	<b>70</b>
8.1.	CONFIGURAÇÃO DA EXTRUSORA .....	70
8.2.	COMPONENTES DA LINHA DE FABRICAÇÃO .....	80
8.3.	O PRINCÍPIO DA EXTRUSÃO DE FIBRAS .....	86
8.4.	FUSO .....	86
8.5.	FIEIRA.....	86
8.6.	BOMBAS DE ENGENEAGEM.....	87
8.7.	RESFRIAMENTO .....	87
<b>9.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>91</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DISTINÇÃO MATERIAL DAS FIBRAS .....	16
FIGURA 2 – SEQÜÊNCIA DA PRODUÇÃO DO POLIÉSTER .....	19
FIGURA 3 – CONSUMO MUNDIAL DE FIBRAS .....	21
FIGURA 4 – LINHA DE LAVAGEM E DESCONTAMINAÇÃO DE PET .....	31
FIGURA 5 - LINHA DE REVALORIZAÇÃO DE 300 A 1000 KG/H. ....	32
FIGURA 6 - LINHA DE REVALORIZAÇÃO DE PET DE 250 A 1.200 KG/H.....	32
FIGURA 7 - TANQUE DE DESCONTAMINAÇÃO E LAVADORAS DE GRANDE CAPACIDADE .....	32
FIGURA 8 – TUBOS VAZADOS EM AÇO INOX PARA RETIRADA DE CONTAMINAÇÕES GROSSEIRAS PARA LINHA DE REVALORIZAÇÃO DE PLÁSTICO.....	32
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA DA RECICLAGEM DA GARRAFA PET .....	33
FIGURA 10 – COOPERATIVAS DE COLETADORES.....	37
FIGURA 11 – PRENSA HIDRÁULICA PARA ENFARDAMENTO DE PET.....	38
FIGURA 12 – ILUSTRAÇÃO DA EMBALAGEM DE ENTREGA. ....	38
FIGURA 13- EXEMPLO DE UMA EXTRUSORA. ....	74
FIGURA 14 – DETALHE INTERNO DE UM TAMBOR. ....	75
FIGURA 15 – DETALHAMENTO DA ENTRADA E DA SAÍDA DO MATERIAL NA EXTRUSORA .....	76
FIGURA 16 – EXTRUSÃO DE TUBOS .....	76
FIGURA 17 – RESFRIAMENTO DO FILAMENTO APÓS SAIR DA EXTRUSORA....	77

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CONSUMO MUNDIAL DE FIBRAS .....	22
GRÁFICO 2 – PRODUÇÃO MUNDIAL DE FIBRAS .....	23
GRÁFICO 3 – OFERTA E DEMANDA MUNDIAL DE FILAMENTO DE POLIÉSTER .....	24
GRÁFICO 4 – CONSUMO DE FIBRAS NO BRASIL .....	27
GRÁFICO 5 – BALANÇO ENTRE OFERTA E DEMANDA DE POLIÉSTER. ....	28
GRÁFICO 6 - COMPOSIÇÃO DO LIXO.....	34
GRÁFICO 7 - COMPOSIÇÃO DO LIXO PLÁSTICO POR TIPO.....	34
GRÁFICO 8 – DETERMINAÇÃO DO <i>BREAK-EVEN POINT</i> .....	57

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CONSUMO MUNDIAL DE FIBRAS .....	21
TABELA 2 – PRODUCAO MUNDIAL DE POLIESTER .....	24
TABELA 3 – DEMANDA MUNDIAL .....	25
TABELA 4 – CINCO MAIORES EXPORTADORES .....	26
TABELA 5 – CINCO MAIORES IMPORTADORES.....	26
TABELA 6 - EMPRESAS .....	28
TABELA 7 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A VISCOSIDADE INTRÍNSECA E DENSIDADE DE PET INCOLOR UTILIZADO EM VÁRIAS EMBALAGENS, BEM COMO AS MASSAS MOLARES E CRISTALINIDADES CALCULADAS A PARTIR DAS EQUAÇÕES 2 E 4, RESPECTIVAMENTE. ....	43
TABELA 8 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A VISCOSIDADE INTRÍNSECA E DENSIDADE DE PET VERDE UTILIZADO EM VÁRIAS EMBALAGENS, BEM COMO AS MASSAS MOLARES E CRISTALINIDADES CALCULADAS A PARTIR DAS EQUAÇÕES 2 E 4, RESPECTIVAMENTE. ....	43
TABELA 9 – NÚMERO DE CERTIFICADOS POR PAÍS.....	50
TABELA 10 – INVESTIMENTO COM EQUIPAMENTOS PARA A MONTAGEM DE UM LABORATÓRIO DE ANÁLISES PARA O PET .....	52
TABELA 11 – INVESTIMENTO INICIAL.....	54
TABELA 12 – CUSTOS FIXOS .....	55
TABELA 13 – CUSTOS VARIÁVEIS .....	55
TABELA 13 - IRPM .....	62
TABELA 14 – POLÍMEROS UTILIZADOS EM PROCESSOS DE EXTRUSÃO .....	72

## **1. Introdução**

A motivação do trabalho em questão está baseada em duas premissas, a preocupação com o impacto social e ambiental que envolve a reciclagem do Polietileno Tereftalato (PET) e um possível retorno financeiro com o desenvolvimento da metodologia deste estudo, dado o grande potencial de mercado que pode se observar para o caso.

Inicialmente os autores responsáveis pelo projeto tinham como objetivo desenvolver um estudo de um projeto ligado a Poli-Cidadã devido ao seu cunho social. Verificamos então que havia um trabalho realizado pelos alunos Patrick Agnesini Chen e Paulo Guitti Fernandes de Oliveira e orientado pelo professor Dr. Marcelo Augusto Leal Alves a respeito da utilização de PET reciclado para fabricação de vassouras.

Baseando-se nesse tema pesquisamos outras aplicações para este material reciclado e foi encontrada sua utilização na fabricação de tecidos para diversos fins. A industria têxtil se mostrou atraente na medida que seu crescimento para este tipo de material cresce a uma taxa média de aproximadamente 24% ao ano desde 1998.

Pode-se afirmar, portanto, que o tema vai de encontro com a motivação inicial do grupo, pois além de ser um mercado em crescimento que pode ser uma fonte de lucro, temos ainda um impacto social, visto que novos empregos podem ser criados e ainda temos uma diminuição deste resíduo no meio ambiente o que impacta diretamente na preservação e manutenção de ecossistemas como os rios, que sofrem com o acúmulo de resíduos.

Para desenvolver a primeira parte do trabalho foram feitos o levantamento da operação de reciclagem do PET e um breve detalhamento de suas respectivas etapas, com isso, foi possível estimar os custos para implementação de uma empresa com o intuito de intermediar a coleta do material e a fabricação das fibras.

Um levantamento bibliográfico foi necessário para abordar temas correlatos no que diz respeito à reciclagem do material e no projeto de uma extrusora, vale ressaltar que neste estudo será dada ênfase para este tipo de máquina, diversas concepções de máquinas foram encontradas contribuindo para uma maior familiarização dos alunos.

Com o auxílio de visitas pôde-se ver a realidade e os detalhes do processo além da grande demanda do material tanto na fase inicial do processo, na forma de garrafa, como em sua fase final, de fios sintéticos.

O cronograma proposto pelos autores foi seguido sem maiores problemas na primeira parte do estudo bem como os objetivos almejados no início do semestre.

Para a segunda parte do projeto foi sugerido pela banca examinadora um maior enfoque no processo entre as cooperativas de coleta das garrafas e as indústrias produtoras de tecido, esta fase intermediária engloba o processo de transformar o material impuro em forma de garrafas em matéria-prima pronta para ser utilizada na fabricação de fios conhecida como *Flake* (material limpo e triturado). Tal sugestão foi de encontro com as motivações iniciais do trabalho e, portanto, foi feita uma alteração no cronograma para adequá-lo ao novo foco do projeto.

É nítido o potencial do mercado brasileiro visto que 63,6% dos municípios brasileiros depositam seus resíduos em lixões, a maioria com a presença de catadores, entre eles crianças, confirmando os problemas sociais que a má gestão do lixo acarreta, além dos graves problemas de saúde pública, bem como desastres ambientais no meio urbano e rural, provocados pelo “lixo” jogado nos rios e córregos. Além disso, a reciclagem de polímeros e seus efeitos colaterais positivos, como a geração de empregos, são de extrema importância para o país. Com isso, este estudo também será voltado para a criação de cooperativas de catadores.

A seguir veremos maiores detalhes do processo de fabricação dos *Flakes* como os custos envolvidos, a legislação que rege esse mercado e os equipamentos necessários.

## **2. Panorama da Indústria de Fibras**

O setor têxtil é responsável por uma produção, entre fibras e multifilamentos artificiais e sintéticos, superior a 380 mil toneladas/ano, que representam cerca de 40% do consumo industrial do País. Esta produção resulta em um faturamento anual de US\$ 1,06 bilhão e gera empregos diretos para cerca de 9.000 pessoas.

O setor de fibras artificiais e sintéticas integra o chamado "complexo petroquímico-têxtil" e se caracteriza como um setor industrial intensivo na utilização de capital e matéria-prima, o que torna suas empresas altamente dependentes de freqüentes investimentos em pesquisa e modernização, como forma de aumentar a eficácia de suas operações industriais, reduzir seus custos e assegurar a sua competitividade internacional.

Além desses aspectos, este setor industrial opera em níveis de uma alta sofisticação tecnológica que exige a utilização, em larga escala, de microeletrônica e mecânica de precisão, além de velocidade rigidamente controlada e climatização adequada, entre os diversos fatores que constituem sua complexidade tecnológica.

Este complexo industrial constitui o núcleo ao qual estão associados, além da indústria têxtil propriamente dita, segmentos de outros complexos como o agro-industrial, o metal-mecânico, as indústrias químicas e a petroquímica. A dinâmica da indústria é dada pelo mercado final, onde a indústria de confecções aparece como o seu maior consumidor isolado, embora, nos últimos anos, os produtos destinados ao uso doméstico e industrial venham ganhando importância cada vez mais relevante na composição da demanda global do setor. A competitividade do setor está intimamente relacionada com a eficiência verificada em cada um dos elos da cadeia produtiva e a qualidade final dos produtos está relacionada com a qualidade obtida em cada etapa produtiva.

O setor têxtil caracteriza-se por ser incorporador de tecnologia desenvolvida em outros setores, ou seja, os avanços tecnológicos no processo produtivo da indústria têxtil provêm dos avanços ocorridos na produção das matérias-primas, especialmente no desenvolvimento das fibras sintéticas, e nas máquinas e equipamentos.

Desde o final da década de 60 são produzidas no Brasil, praticamente, todos os tipos de fibras sintéticas (poliamida, poliéster, acrílico, elastoméricas e olefínicas) com nível de qualidade, para uma considerável parcela dessas fibras, comparável às disponíveis no mercado internacional, o que também, atualmente, vem acontecendo com os seus preços.

Outro aspecto importante a ser destacado e que deve merecer uma profunda reflexão por parte, não só do setor empresarial petroquímico-têxtil, como também das próprias autoridades do Brasil, é sobre a importância estratégica deste setor em relação a toda a cadeia produtiva, ou seja, até que ponto será possível ao Brasil e ao próprio Mercosul contar com uma indústria têxtil capaz de atender as necessidades do país e da região, além de gerar excedentes exportáveis, sem dispor de uma indústria de fibras artificiais e sintéticas fortalecida.

### **3. Classificação das Fibras**

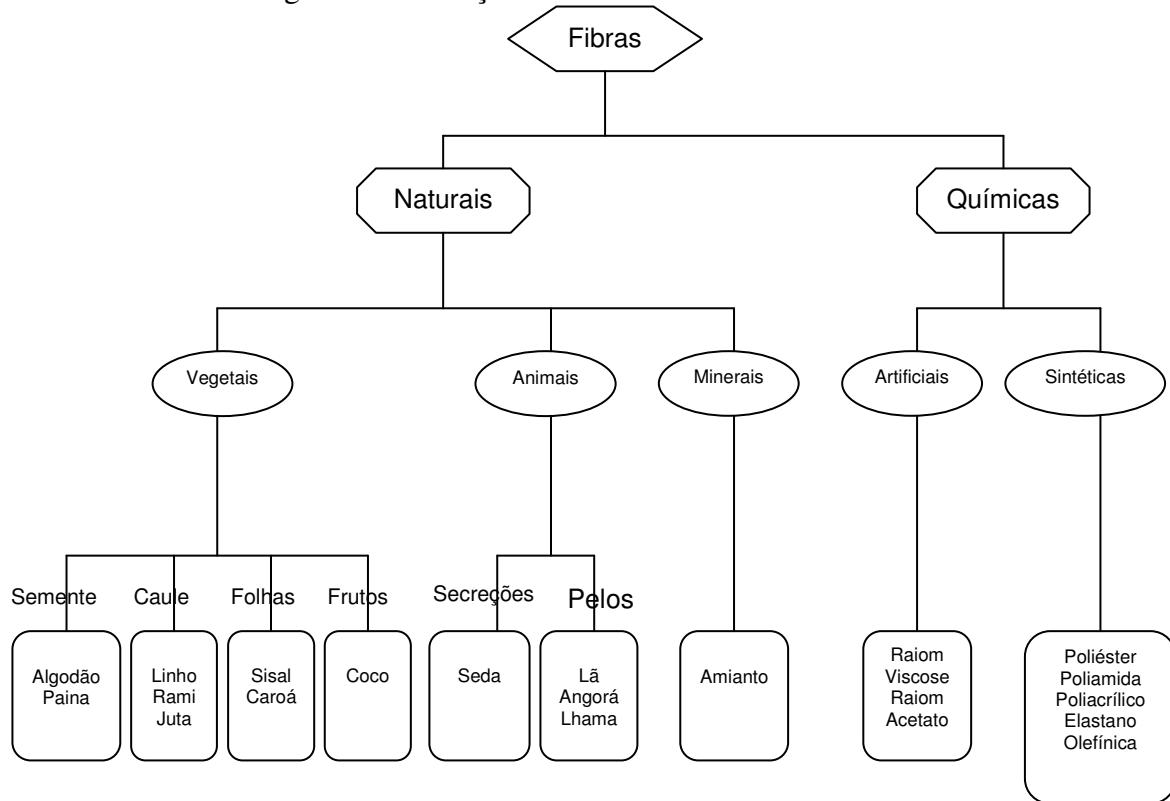
Fibra têxtil é o material que, submetido a processo de fabricação, pode ser transformado em fio para ser utilizado em produtos têxteis ou em usos industriais.

As fibras têxteis podem ser divididas em: naturais – aquelas encontradas na natureza (algodão, por exemplo); e químicas – aquelas obtidas por processos industriais – que são ainda subdivididas em artificiais – obtidas por meio de processos que utilizam polímero natural (a celulose) – e sintéticas, cujos processos produtivos utilizam polímeros sintetizados a partir de produtos petroquímicos de primeira geração (eteno, propeno, benzeno e para-xileno). A Figura 1 oferece uma visão de conjunto de todas as fibras.

#### **3.1. Características das Fibras e dos Fios**

Fibra descontínua é segmento em forma linear de comprimento definido, sendo conhecida simplesmente como fibra, ou, quando associada a processo de corte, fibra cortada. As fibras descontínuas podem ser classificadas, segundo o seu comprimento, em fibras curtas (20 mm a 42 mm), longas (60 mm a 150 mm) e flocos de fibras (0,5 mm a 4 mm) destinados à fabricação de veludos, pelúcias e camurça. Essas fibras são utilizadas na produção de fios fiados, que, por sua vez, se classificam em cardados, penteados e *open-end*, os quais podem ser singelos ou retorcidos. Os fios cardados e penteados são classificados como fios convencionais.

Figura 1 – Distinção material das fibras



O processo de produção das fibras artificiais consiste na transformação química de matérias-primas naturais. A partir das lâminas de celulose, o raiom acetato e o raiom viscose seguem rotas distintas. A viscose passa por banho de soda cáustica e, em seguida, por subprocessos de moagem, sulfurização e maturação, para finalmente, ser extrudada e assumir a forma de filamento contínuo ou fibra cortada. O acetato passa inicialmente por banho de ácido sulfúrico, diluição em acetona, extrusão e, finalmente, por operação de evaporação da acetona.

O processo de produção das fibras sintéticas se inicia com a transformação da nafta petroquímica, um derivado petróleo, em benzeno, eteno, p-xileno e propeno, produtos intermediários da chamada 1º geração petroquímica e insumos básicos para a produção destas fibras.

Os fios cardados utilizam fibras de algodão ou outras, principalmente a mistura poliéster/algodão. A partir de uma mecha grossa, a fibra é estirada, formando uma mecha fina, a qual sofre processo de torção. O fio resultante apresenta certa irregularidade e pilosidade, dado que as fibras não são do mesmo tamanho e não são paralelas. O grau de

irregularidade e pilosidade depende, sobretudo, da qualidade das fibras e dos cuidados no processo.

Os fios penteados, por sua vez, passam pelos mesmos processos dos fios cardados, adicionando-se a etapa de penteagem, que consiste em um melhor paralelismo das fibras e na eliminação das fibras mais curtas. Resulta de tal processo um fio mais regular, menos piloso, mais resistente e elástico do que o fio cardado.

Os fios *open-end* resultam de um processo em que as mechas grossas são diretamente fiadas, ou seja, a estiragem e a torção são realizadas numa mesma máquina. Como resultado, as fibras não torcem todas como nos fios cardados e penteados. Parte das fibras apresenta-se alinhada em relação ao eixo longitudinal do fio, resultando em maior regularidade e menos pilosidade. Entretanto, as fibras não possuem o mesmo grau de adesão dos outros fios, tornando-os menos resistentes. Desse modo, opera-se um maior grau de torção da mecha fina, tornando o fio mais rígido e resistente.

O filamento contínuo é uma unidade linear de comprimento ilimitado, podendo ser monofilamento ou composto por três ou mais filamentos.

Os fios lisos são formados a partir dos filamentos lisos e se apresentam paralelos entre si ou torcidos.

Os fios parcialmente orientados (POY - *partly oriented yarns*), também são fios multifilamentos lisos, mas que exigem estiramento complementar, realizado no processo de texturização.

Os fios multifilamentos lisos, prontos para uso em tecelagens e malharias, denominam-se fios totalmente orientados ou totalmente estirados (FOY - *fully oriented yarns*).

Os microfilamentos (que não se constituem em um novo material, diferenciando-se pela dimensão) são filamentos de largura igual ou menor do que 1 dtex (Unidade que expressa a massa em gramas de 10 km de material. É a mais utilizada, seguida pela denier, que exprime a massa em gramas de 9 km de material e está paulatinamente substituindo o dtex). Em geral, os fios multifilamentos de filamentos finos são denominados microfibras. Existem também microfibras para fabricação de fios fiados e outras aplicações, como não-tecidos (exemplos são as microfibras de poliéster, acrílicos e modais).

Os fios texturizados são constituídos por filamentos deformados por fricção e caracterizados pela presença de alças e ondulações helicoidais. O fio POY é o mais usualmente utilizado no processo de fricção, que o torce, o fixa por ação do calor e o distorce com igual número de voltas. As espirais de filamentos fixadas se distorcem, encavalando-se e gerando a textura. Tais fios são denominados falsa torção (FT), uma vez que os filamentos foram torcidos e distorcidos com igual número de voltas. Quando ocorre uma nova fixação, o fio passa a se denominar falsa torção fixada (FTF).

Há ainda os fios texturizados a ar, produzidos pelo método de turbilhonamento dos fios multifilamentos lisos com ar comprimido, o que leva à formação de alças e ondulações ao longo dos mesmos. Como resultado, forma-se pequena textura na superfície dos fios.

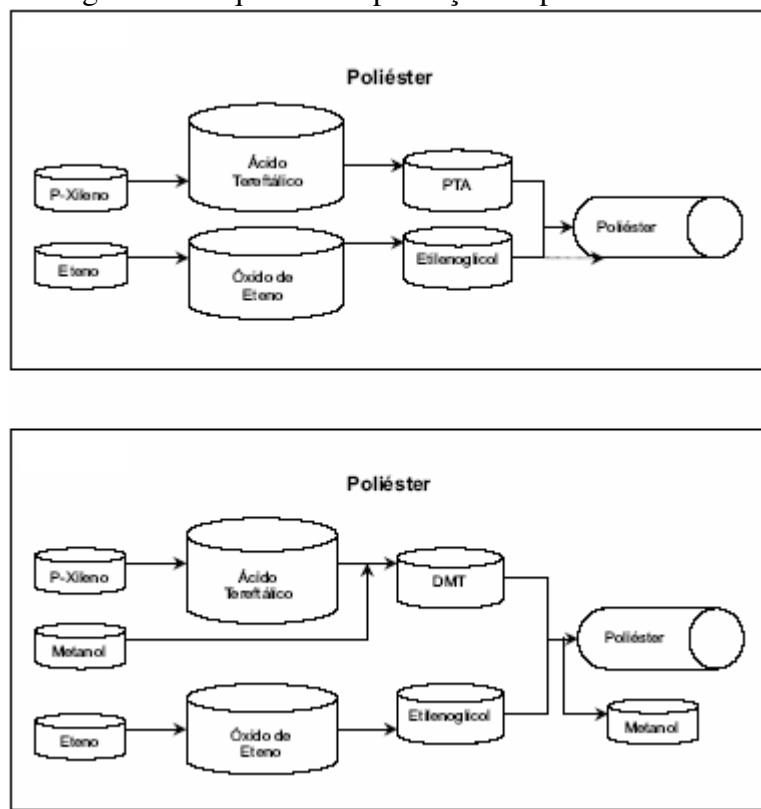
Por último, são ainda produzidos os fios texturizados em microfilamentos ou microfibras texturizadas.

As fibras sintéticas são produzidas a partir de polímeros gerados no setor petroquímico (derivados do petróleo). As principais fibras de interesse têxtil são o poliéster, o náilon, o acrílico e os elastanos.

### 3.2. Poliéster

Como já mencionado, a produção de poliéster pertence ao complexo têxtil-petroquímico. A cadeia de produção é iniciada no refino de petróleo, com a obtenção da nafta, que é utilizada pelas centrais petroquímicas, que, entre outros produtos, geram as matérias-primas para-xileno e eteno, que, numa segunda geração, são transformadas em, respectivamente, ácido tereftálico (PTA) e monoetileno glicol (MEG), que, pelo processo de policondensação, são transformados na resina poliéster, cujo destino pode ser a produção de fibras e fios ou a produção de frascos (garrafas de PET). A Figura 2 abaixo ilustra os dois processos de produção: a rota do dimetil tereftálico (DMT) foi a primeira a ser utilizada, que, após o desenvolvimento do processo de produção do PTA puro, para uso direto na policondensação, caiu em desuso. No Brasil, usam-se as duas rotas.

Figura 2 – Seqüência da produção do poliéster



O poliéster pode ser utilizado puro ou em mistura com algodão (a associação mais comum), viscose, náilon, linho ou lã nas mais variadas proporções. Além disso, ela tem apresentado preços em níveis mais baixos que as das demais fibras têxteis e vem progressivamente adquirindo características que, devido ao desenvolvimento tecnológico, a aproximam das fibras naturais (algodão, por exemplo).

A fibra de poliéster tem propriedades que reduzem a tendência a amassar do tecido confeccionado, possui elevada resistência à umidade e aos agentes químicos, é não-alérgica e apresenta elevada resistência à tração. Adicionada ao algodão, gera aumento da resistência do fio, o que leva a um aumento na velocidade do processo têxtil e, por consequência, a uma maior produtividade.

O poliéster destina-se às seguintes aplicações: tecidos, artigos de confecção, enchimento de agasalhos, edredons e usos industriais.

É usado ainda em artigos de vestuário especiais que utilizam fibras com propriedades antibacterianas e antitranspirante; permitem a mudança de tonalidade da cor do tecido;

inibem a ação dos raios ultravioleta; podem ser utilizados em camisas eletrônicas, permitindo o monitoramento dos sinais vitais do indivíduo, dentre outras utilidades.

### 3.3. Indústria de Fibras Sintéticas no Mundo

Basicamente, a indústria de fibras químicas mundial, especialmente as sintéticas, está espacialmente distribuída em duas grandes regiões produtoras: o Extremo Oriente e o eixo Europa-América do Norte. No primeiro caso, os países da região optaram por se especializar na produção, em larga escala mundial, de fibras químicas do tipo commodity – basicamente sintéticas, com predominância do poliéster – de domínio universal. No segundo caso, os países vêm promovendo, dada a concentração da produção competitiva de commodities na Ásia, o deslocamento da produção para as denominadas especialidades, isto é, produtos caracterizados por alta diferenciação, baixa escala de produção e alta lucratividade, defendidos por patentes e que incorporam altos desenvolvimentos de tecnologia.

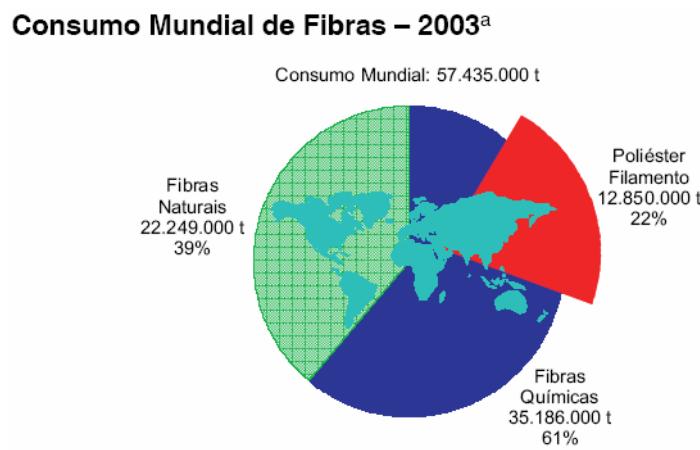
Os principais produtores asiáticos são China, Taiwan, Coréia do Sul, Hong Kong e Cingapura. Suas empresas evoluíram rapidamente, passando de empresas subordinadas às estratégias das principais empresas do mundo desenvolvido, inserindo-se nos espaços por elas franqueados em suas cadeias produtivas, para uma posição de alta capacitação na coordenação e integração de complexas redes de produção, tecnologia, comercialização, distribuição, comércio e finanças.

O consumo mundial de fibras totalizou, em 2003, 57,4 milhões de toneladas, das quais 61% (35,2 milhões de toneladas) referem-se ao consumo de fibras químicas. Já as fibras de poliéster representaram 62,8% das fibras químicas e 38,5% do total de fibras, sendo que só as do tipo filamento contínuo representaram 22% do total, enquanto as fibras naturais totalizaram 39% do consumo, conforme pode ser visto na Figura 3.

Há uma clara tendência de crescimento do consumo de fibras químicas, a qual, de acordo com a PCI Consulting Fibres & Raw Materials, poderá alcançar, em 2010, o montante de, aproximadamente, 50 milhões de toneladas. A taxa média de crescimento do consumo, até aquela data, poderá situar-se no patamar de 4,2% ao ano, impulsionado basicamente pelo crescimento do poliéster (5,8% ao ano), que tenderá se distanciar das demais fibras sintéticas, caso as condições atuais de suprimento de petróleo e dos

intermediários petroquímicos sejam mantidas, não ocorrendo impactos significativos nos preços do poliéster e das demais fibras sintéticas.

Figura 3 – Consumo mundial de fibras



Fonte: PCI Consulting Fibres & Raw Materials.

<sup>a</sup>Estimativa.

Tabela 1 – Consumo Mundial de Fibras

**Consumo Mundial de Fibras**

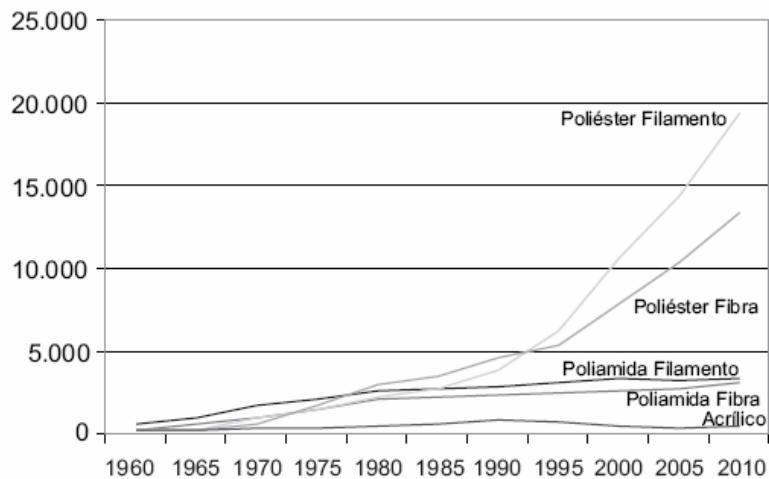
FIBRAS	CONSUMO		TAXA DE CRESCIMENTO (%)		
	2002 (Mil t)	2003 <sup>a</sup> (Mil t)	2003/02	2004/03	2000/10
Fibras Naturais	22.012	22.249	1,1	2,0	1,8
Fibras Químicas	33.963	35.186	3,6	4,8	4,2
Acrílico	2.690	2.685	-0,2	3,8	1,6
Poliéster	21.027	22.154	5,4	6,5	5,8
Náilon	3.912	3.911	0,0	0,3	0,1
<b>Total Geral</b>	<b>55.975</b>	<b>57.435</b>	<b>2,6</b>	<b>3,7</b>	<b>3,3</b>

Fonte: PCI Consulting Fibres & Raw Materials.

<sup>a</sup>Estimativa.

## Consumo Mundial de Fibras – 1960/2010

(Em t/Ano)



Fonte: *Fiber Organon, PCI Supply/Demand Report 2002.*

Gráfico 1 – Consumo mundial de fibras

As fibras naturais, especialmente o algodão, seguem tendência de queda relativa de importância para as fibras sintéticas, particularmente para o poliéster.

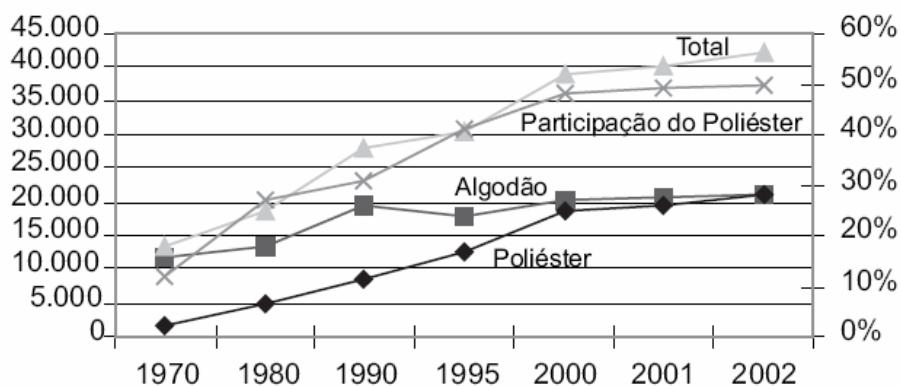
Grande parte do crescimento da demanda de poliéster pode ser atribuída aos baixos preços, comparados aos das demais fibras sintéticas e artificiais como acrílico, náilon e viscose. Além disso, o poliéster, devido a melhorias tecnológicas, vem paulatinamente incorporando, em termos de qualidade, características próximas às das fibras naturais.

As demais fibras naturais, por sua vez, representam parcela pequena do mercado e seguem trajetória de queda, como no caso da lã, substituída crescentemente pelo acrílico como material para artigos de frio.

No caso das fibras artificiais, observa-se também tendência de declínio. A viscose, em decorrência dos crescentes requerimentos em termos ambientais, tem perdido participação no consumo mundial, o mesmo ocorrendo com o acetato, que se restringe ao mercado de filtros para cigarro.

## Produção Mundial de Fibras – 1970/2002

(Em Mil t)



Fonte: Secex/lemi.

Gráfico 2 – Produção mundial de fibras

A produção mundial de poliéster, em 2002, alcançou o montante de 20,4 milhões de toneladas, conforme se pode observar na Tabela 2, com a maior parte localizando-se na Ásia: 16,24 milhões de toneladas (aproximadamente 80% da produção mundial). Cabe destacar que a China foi responsável por 43% da produção total da Ásia no período (34% da produção mundial, ou 7 milhões de toneladas), enquanto a América Latina tem uma participação desprezível, respondendo por apenas 3% da produção mundial (684 mil toneladas).

Com relação à característica da fibra de poliéster, observa-se na Tabela 2 que 53% (10,74 milhões de toneladas) correspondem a filamentos contínuos, 42% (8,55 milhões de toneladas) a fibras cortadas e 5% (1,14 milhão de toneladas) a aplicações industriais.

Cabe ressaltar a dimensão da transferência geográfica da produção mundial que se verificou no caso particular do poliéster (como também no caso das demais fibras sintéticas). Praticamente 80% da produção mundial, atualmente, estão localizados na Ásia, enquanto a América do Norte e a Europa Ocidental passaram a deter apenas 14% do total produzido.

Tabela 2 – Produção Mundial de Poliéster

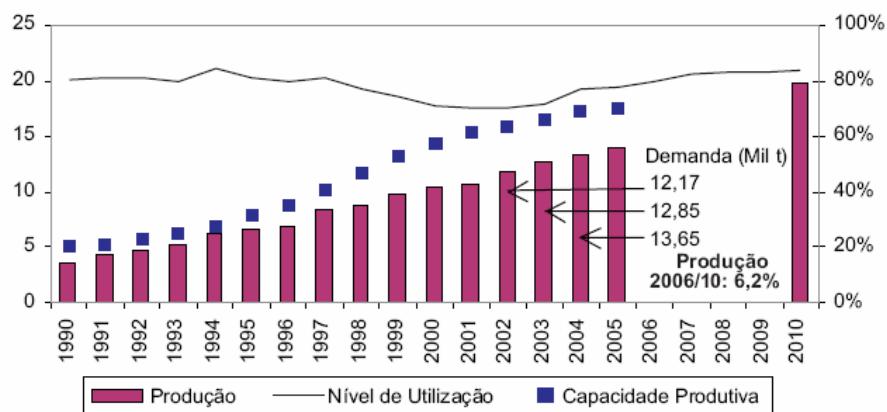
**Produção Mundial de Poliéster – 2002**

(Em Mil t/Año)

REGIÃO	FILAMENTO CONTÍNUO	FILAMENTO INDUSTRIAL	FIBRAS CORTADAS	TOTAL POR REGIÃO
China	4.125	100	2.775	<b>7.000</b>
Sul da Ásia/Oceania	1.364	38	1.426	<b>2.829</b>
Taiwan	1.525	70	860	<b>2.455</b>
Coréia do Sul	1.150	170	535	<b>1.855</b>
Índia	900	6	625	<b>1.531</b>
América do Norte	360	268	850	<b>1.478</b>
Europa Ocidental	595	255	560	<b>1.410</b>
América Latina	281	49	354	<b>684</b>
Japão	220	120	225	<b>565</b>
África/Oriente Médio	134	36	160	<b>330</b>
Leste Europeu	81	27	177	<b>285</b>
<b>Total</b>	<b>10.735</b>	<b>1.139</b>	<b>8.547</b>	
<b>Total Geral</b>				<b>20.422</b>

Fonte: PCI Supply/Demand Report 2002.

**Oferta e Demanda Mundiais de Filamento Contínuo de Poliéster – 1990/2010**



Fonte: PCI Consulting Fibres & Raw Materials.

Gráfico 3 – Oferta e demanda mundial de filamento de poliéster

A demanda mundial de filamento contínuo de poliéster está praticamente concentrada na Ásia, projetando-se que se situará em torno de 80% em 2005, com destaque para a China, com 44% do total. Já a demanda mundial de fibra cortada de poliéster segue a mesma tendência, projetando-se que 75% poderão estar sob o domínio asiático, destacando-se também a China, com 45% do total, conforme se pode observar na Tabela 3.

Tabela 3 – Demanda Mundial

**Demanda Mundial de Fibra Cortada de Poliéster, segundo Região – 1990/2005**

(Em %)

REGIÃO/PAÍS	1990	2000	2005
Américas	27	21	16
Europa	19	11	8
Turquia	1	2	1
África/Oriente Médio	4	3	2
China	19	32	45
Coréia do Sul/Taiwan/Japão	18	29	5
Demais Países da Ásia	12	22	23

Fonte: PCI Consulting Fibres & Raw Materials.

No caso do segmento de filamentos contínuos, o excesso atual de capacidade no mundo assume maiores dimensões. A indústria opera abaixo de 80% da capacidade, o que pode ser explicado, tal como no caso das fibras, pelo excessivo investimento em ampliação de capacidade asiático (principalmente da China), não acompanhado pelo crescimento da demanda no mesmo ritmo. Projeta-se, entretanto, uma redução dessa diferença, ocasionada principalmente pela taxa média de crescimento da demanda chinesa, a qual poderá girar em torno de 11,2% ao ano entre 2000 e 2010. No entanto, a redução do excesso de capacidade industrial, nesse caso, poderá ser menor do que no caso da fibra, pois a taxa de crescimento do consumo acompanhará mais de perto o crescimento da produção até 2010, o que poderá induzir a investimentos em ampliação da capacidade produtiva, além do fato de que a queda da demanda industrial das demais regiões do planeta poderá ser menos pronunciada.

Quanto ao comércio exterior, os países asiáticos, mais uma vez, se destacam. Taiwan, Indonésia, Malásia e Hong Kong dominam o mercado internacional de filamentos de poliéster, com exportações de 556 mil toneladas em 2003. China e Hong Kong aparecem como maiores importadores no lado asiático, totalizando 161,7 mil toneladas, mais Reino Unido, Turquia e Estados Unidos, com 175 mil toneladas (ver Tabelas 4 e 5).

Resumidamente, como se pode depreender da situação esboçada acima, a tendência do setor de fibras e filamentos de poliéster poderá ser de crescimento pronunciado até o horizonte projetado (2010), com a produção podendo se situar em torno de 30 milhões de toneladas. Como já destacado, o poliéster, mediante melhorias tecnológicas, vem se aproximando das características de fibras naturais, como o algodão. Outro fator importante

é a existência de sobrecapacidade produtiva mundial, oriunda principalmente dos asiáticos, que poderá se manter, como citado acima. Como resultado, poderá haver uma tendência de baixa dos preços do poliéster, o que também poderá estimular ainda mais o consumo vis-à-vis as outras fibras químicas.

Tabela 4 – Cinco Maiores Exportadores

**Cinco Maiores Exportadores Mundiais de Filamentos de Poliéster – 2001/03**

PAÍS	2001		2002		2003	
	US\$ Mil	Mil t	US\$ Mil	Mil t	US\$ Mil	Mil t
Taiwan	432.233	297	486.294	325	460.322	290
Indonésia	193.483	148	180.162	146	173.275	131
Malásia	56.171	45	98.107	80	103.226	83
Hong Kong	88.779	50	82.102	43	105.610	52
Estados Unidos	96.923	44	83.263	39	83.635	45
<b>Total</b>	<b>867.588</b>	<b>584</b>	<b>929.929</b>	<b>632</b>	<b>926.069</b>	<b>602</b>

Fonte:*Abrafas*.

Tabela 5 – Cinco Maiores Importadores

**Cinco Maiores Importadores Mundiais de Filamentos de Poliéster – 2001/03**

PAÍS	2001		2002		2003	
	US\$ Mil	Mil t	US\$ Mil	Mil t	US\$ Mil	Mil t
China	108.672.894	69.472	141.099.972	83.608	169.246.105	105.371
Hong Kong	148.912.460	90.438	92.186.922	45.901	118.420.281	56.350
Reino Unido	148.454.908	62.454	136.512.580	59.433	133.395.239	49.990
Estados Unidos	59.825.636	30.859	74.752.590	42.501	79.125.761	40.891
Turquia	24.623.132	10.964	69.976.444	37.517	79.462.161	38.225
<b>Total</b>	<b>490.489.030</b>	<b>264.187</b>	<b>514.528.508</b>	<b>268.960</b>	<b>579.649.547</b>	<b>290.826</b>

Fonte:*Abrafas*.

A maior parte do consumo nacional ainda é de fibras naturais, embora haja uma tendência de crescimento mais pronunciado das fibras químicas, em especial das sintéticas, que deverão superá-las em alguns anos (ver gráfico 4).

A substituição das fibras naturais pelas sintéticas no Brasil encontra-se bastante defasada em relação à média mundial, que já atingiu mais de 60% do total. Esse atraso pode ser decorrente de questões culturais e de clima, mas também de ineficiências da estrutura industrial do setor.

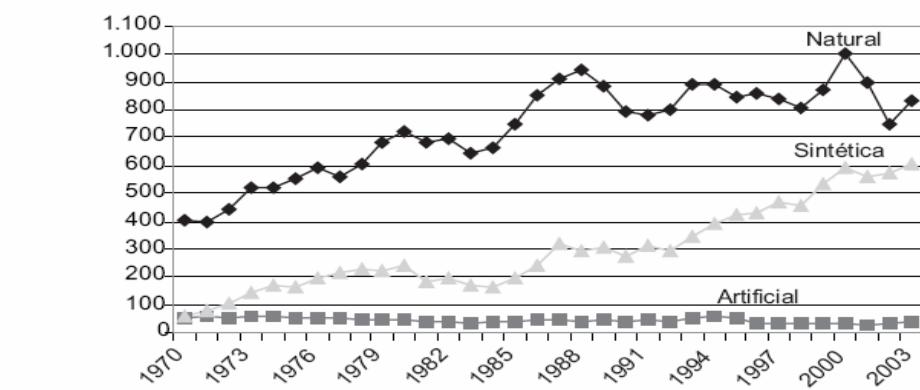
Segundo projeções da Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas, ABRAFAS, o consumo de fibras químicas poderá alcançar, em 2006, o montante de 549 mil toneladas. Como já assinalado, assumem especial importância, dentre as fibras químicas, as sintéticas, que têm apresentado crescimento mais pronunciado, impulsionado, em grande medida, pelo aumento do consumo do poliéster.

O Brasil segue tendência mundial de deslocamento da demanda para o poliéster, basicamente em virtude de ser um produto com melhores preços e cujos desenvolvimentos tecnológicos recentes e futuros apontam para uma aproximação, em termos de qualidade, com as fibras naturais, especialmente o algodão. Ademais, como já mencionado, o poliéster tem sido utilizado em mistura com o algodão, permitindo combinar as melhores propriedades das duas fibras a preços acessíveis e com maior produtividade nos teares.

As demais fibras, tanto artificiais como sintéticas, tendem a seguir uma trajetória de estabilidade, o que pode ser explicado por questões de preço e de competição com o poliéster, como são os casos do acrílico, que tem substituído a lã como fibra para artigos de inverno, e do náilon, crescentemente destinado a nichos de mercado de alto valor agregado, restritos a faixas de renda com maior poder de compra em um país com baixa renda per capita. As fibras artificiais, que representam apenas 2,5% da demanda total, vêm reduzindo sua participação no total do consumo de fibras, principalmente no caso da viscose, em razão do contexto atual marcado por exigências ambientais mais rigorosas que no passado.

#### **Consumo de Fibras no Brasil – 1970/2003**

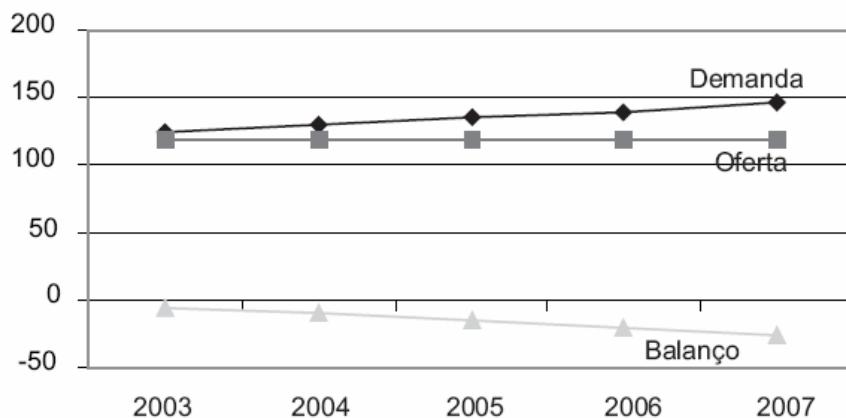
(Em Mil t)



Fontes: Abit/Febralã/Abraseda/Abrafas/Afipol.

Gráfico 4 – Consumo de fibras no Brasil.

**Balanço entre Oferta e Demanda de Fibra de Poliéster – 2003/07**  
 (Em Mil t)



Fonte: Abrafas/MDIC.

Gráfico 5 – Balanço entre oferta e demanda de poliéster.

Tabela 6 - Empresas

**Empresas de Fibras e Filamentos Químicos no Brasil**

FIBRAS	CARACTERÍSTICAS	EMPRESAS NACIONAIS	EMPRESAS ESTRANGEIRAS
Náilon	Filamentos Têxteis		Rhodia Poliamida (produção de intermediários petroquímicos, polimerização, fiação, estiramento e texturização) Invista Dusa (fiação, estiramento e texturização) Mazzaferro
Poliéster	Filamentos	Polyenka (fiação, estiramento e texturização) Ledervin (produção de intermediários petroquímicos, fiação, estiramento e texturização) Vicunha (produção de intermediários petroquímicos, fiação, estiramento e texturização)	Cobafi (polimerização, fiação, estiramento e texturização) Unifi (estiramento e texturização) Avanti Antex
	Fibras	Unnafibras	Rhodia-Ster (Grupo Mossi-Ghisolfi) (produção de intermediários petroquímicos, polimerização, fiação, estiramento e texturização)
Acrílico	Fibra		Crylor (Grupo Radici) (produção de intermediários petroquímicos, fiação, estiramento e texturização)
Viscose	Filamentos e Fibras	Vicunha (produção de intermediários petroquímicos, fiação, estiramento e texturização)	

#### **4. Características do Processo de Reciclagem do PET**

O PET pode ser reciclado através de duas formas: química ou mecânica. Na reciclagem química o polímero é despolimerizado ou degradado a produtos de baixo peso molecular. O processo mecânico de reciclagem é constituído basicamente de lavagem, moagem, secagem e reprocessamento (transformação). O resultado da reciclagem mecânica é um artefato ou grânulos (*flake*). As reciclagens mecânica e química parecem ser as mais interessantes, pois exigem etapas anteriores ao reprocessamento, como etapas de coleta e separação que podem gerar empregos para a população.

O grande problema da reciclagem do PET ainda reside na coleta incipiente do material. Segundo a ABEPET - Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagem de PET, que congrega também os recicladores - a reciclagem tem alcançado índices muito satisfatórios dadas às dificuldades apresentadas, mas ainda estamos longe de resolver o problema do descarte adequado deste material. Abaixo segue a apresentação de uma linha básica de reciclagem de PET.

Os fardos de garrafa entram na plataforma onde serão desfeitos. Após este procedimento as garrafas são colocadas na esteira de alimentação da peneira rotativa, onde é feita a primeira etapa de lavagem das garrafas. São retirados os contaminantes maiores (pedras, tampas soltas, etc.). As garrafas passam então para a esteira de seleção, em que é monitorada a presença de outros materiais (por exemplo, PVC, PP, PE), inclusive os metais que são acusados pelo detector de metais ferrosos. As garrafas caem na esteira de alimentação do primeiro moinho onde sofrem a primeira moagem, esta feita a úmido (com adição de água). O material moído é retirado através de uma rosca duplo envelope, onde parte da água suja é separada do processo. Passa então pelos tanques de descontaminação, onde além de ser feita a separação dos rótulos e tampas pode ocorrer a adição de produtos químicos para beneficiamento do processo. Após a saída do tanque o material passa novamente por um moinho a fim de obter a granulometria desejada. O material é transportado pneumáticamente até o lavador, onde com adição de água é feito o enxágüe, saindo diretamente para o secador. O material é retirado do secador por um transporte pneumático indo para o silo, passa por um detector de metais não ferrosos (ideal), de onde é retirado e colocado em *big-bags* (sacolas de aproximadamente 1m<sup>3</sup>) estando pronto para ser enviado a industria de transformação.

### **Capacidade:**

A capacidade das linhas de lavagem de PET pode variar de 100 a 1500 kg/h.

### **Consumo de Água**

Consumo médio de água = ~ 4m<sup>3</sup>/h.

### **Consumo de Energia**

O consumo médio de energia =~ 120 KW.

### **Área do Galpão**

Um galpão com uma área de 1000m<sup>2</sup>;

Área mínima de estoque 1000m<sup>2</sup>.

O esquema apresentado (figura 4) serve como modelo das principais recicadoras espalhadas pelo país, porém algumas fogem deste *layout* e acabam adequando os seus processos em função da qualidade do material recebido.

Os pequenos flocos de PET obtidos após este processo e que posteriormente serão reutilizados na cadeia de transformação são chamados de *flakes*.

Uma estimativa do custo de montagem deste processo, incluindo a infra-estrutura adequada, tais como galpão, área de estoque, equipamentos auxiliares, veículos, capital de giro, entre outros, fica por volta de U\$ 300,000.00. Mesmo com um investimento inicial alto, o negócio se apresenta como uma grande oportunidade, com os *flakes* sendo vendidas a aproximadamente R\$1,10 por quilograma.

O preço das linhas de lavagem e moagem de PET varia de fabricante para fabricante principalmente em função do processo adotado por cada um. O acabamento, espessura do material, robustez, qualidade dos periféricos também fazem diferença, pois determinam o tempo de vida útil do equipamento. As linhas de PET são caras em função da quantidade de equipamentos que oferecem. A primeira vista podem parecer exageradas, porém sem estes equipamentos as linhas oferecerão pouca ou quase nenhuma flexibilidade, além de comprometer a qualidade do material.

O PET já é considerado uma *commodity* sendo principais fatores de competitividade a produtividade e o preço. Sendo assim é importante investir em equipamentos que tenham o máximo de automatização propiciando a maior produção possível.

A maioria das linhas está projetada para capacidades entre 500 e 600 kg por hora, que definem uma produção média de aproximadamente 100 toneladas/mês de material.

Assim como o que acontece com linhas de revalorização de outros tipos de plásticos, o ideal é pensar em um negócio que preveja a granulação do material, que no caso do PET é mais cara ainda devido ao processo de secagem.

É importante pesquisar na região todos os órgãos governamentais ligados à área para indagar sobre programas de coleta de onde se possa comprar o material, desenvolver parcerias com Ong's e Empresas privadas, desenvolver canais de compra de material em outras regiões além de desenvolver o próprio programa de coleta para facilitar a obtenção de material.

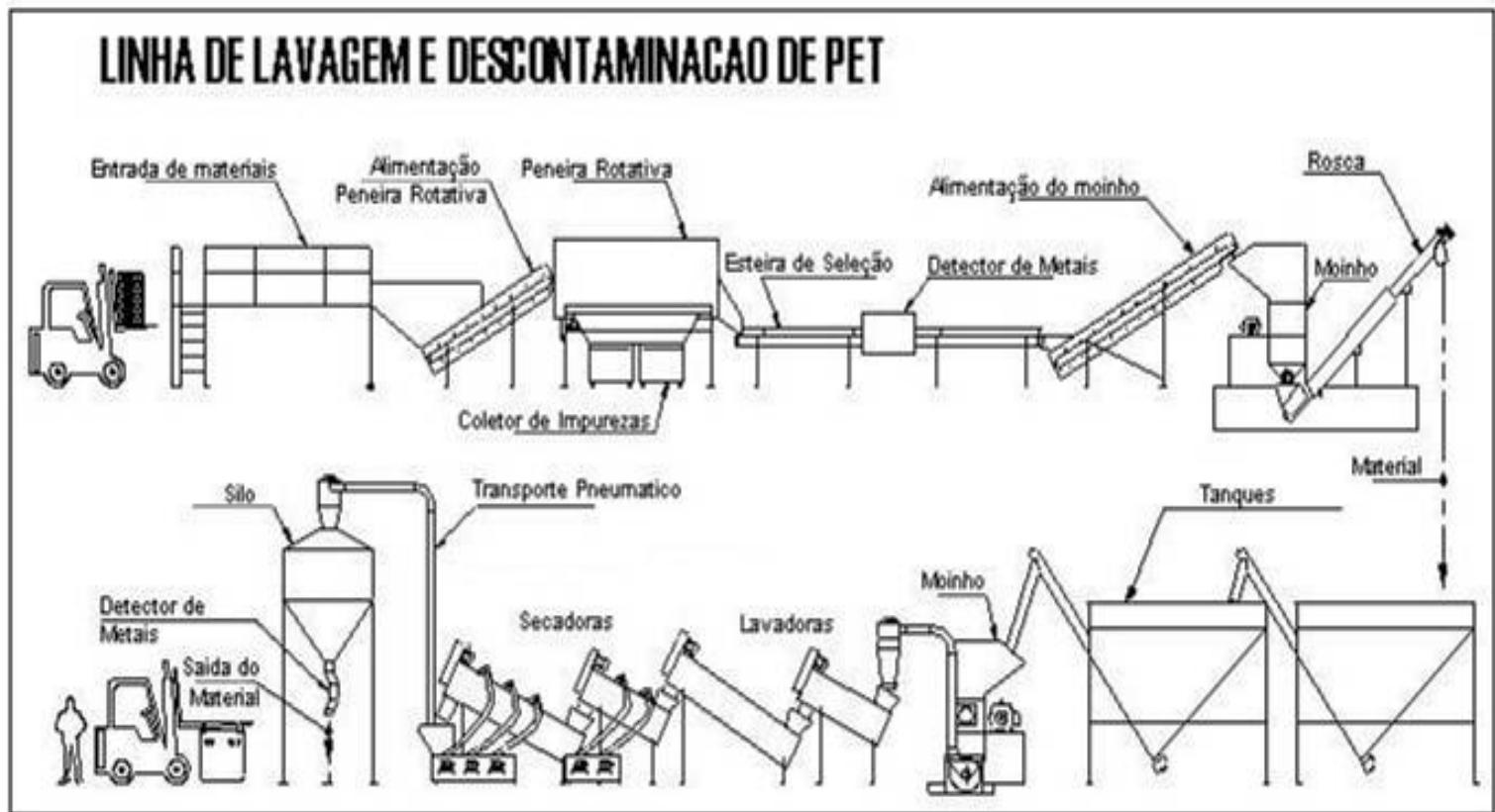


Figura 4 – Linha de lavagem e descontaminação de PET



Figura 5 - Linha de revalorização de 300 a 1000 Kg/h.



Figura 7 - Tanque de descontaminação e lavadoras de grande capacidade.



Figura 6 - Linha de revalorização de PET de 250 a 1.200 Kg/h.



Figura 8 – Tubos vazados em aço inox para retirada de contaminações grosseiras para linha de revalorização de plástico.

Portanto o fluxograma do processo de triagem e revalorização do PET fica da seguinte forma:

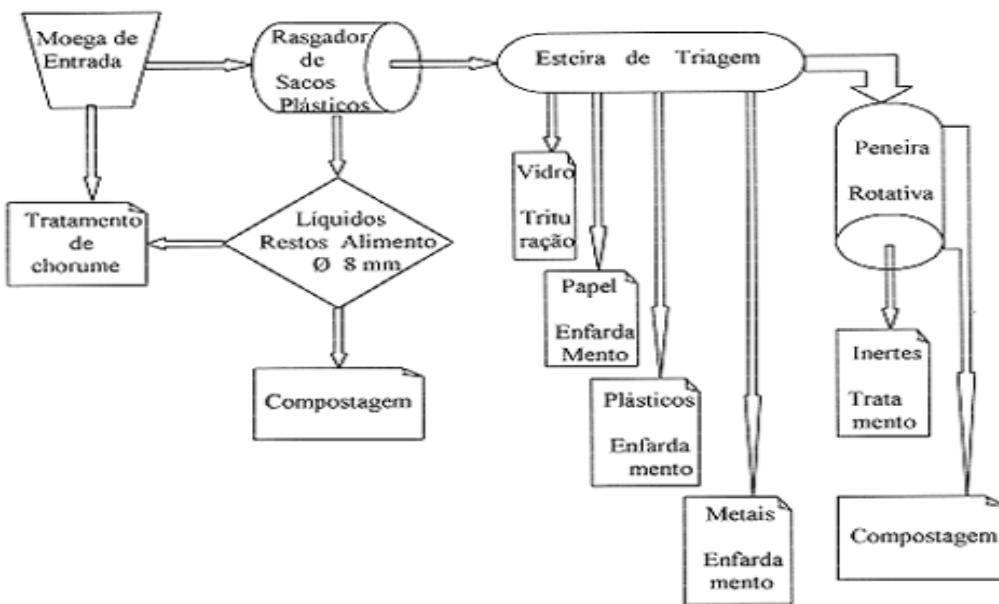


Figura 9 - Fluxograma da reciclagem da garrafa PET

#### 4.1. Mercado Brasileiro

Do total de PET consumido no Brasil, cerca de 48% é efetivamente reciclado. O processo de reciclagem do PET apresenta muitas dificuldades, devido principalmente à queda brusca do seu peso molecular, o que diminui demasiadamente sua viscosidade, dificultando a obtenção de artefato.

Esse mercado estudado é diferente do que está sendo obtido nas indústrias de reciclagem do Brasil. O principal mercado para o PET reciclado é o de mono e multifilamentos. As maiores aplicações são:

- fibras para enchimento de colchões e travesseiros;
- fios de filamentos para fabricação de cordas e cerdas de vassouras e escovas.

A Recipet, a Repet, a Ecofabril e a Arteplás são responsáveis por 80% da reciclagem nacional de PET. Hoje o Brasil tem uma capacidade instalada para recuperar 67.000 toneladas anuais (Fonte: Abepet) Outro dado importante para o incentivo da reciclagem no Brasil é que os plásticos respondem por 20% em peso no lixo total, segundo

dados da Comlurb (Gráfico 6). O PET é um dos tipos de plásticos mais presentes no lixo (Gráfico 7), dessa forma, apresenta grande potencial econômico para ser reciclado.

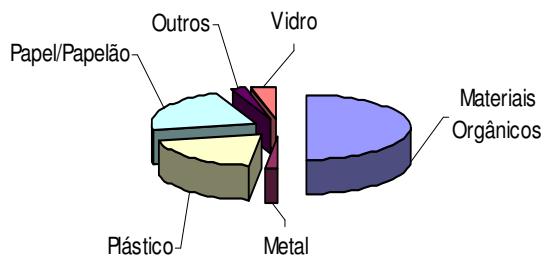


Gráfico 6 - Composição do lixo.

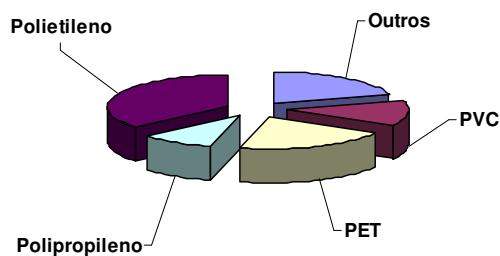


Gráfico 7 - Composição do lixo plástico por tipo.

#### 4.2. Reciclagem e Tributação

Um dos grandes problemas em relação à reciclagem de PET é a falta de apoio do governo no que diz respeito à diminuição ou até mesmo a isenção da carga tributária, além de existir uma grande incoerência por parte do governo federal por cobrar impostos mais altos dos plásticos reciclados (IPI=12%) do que para a resina “virgem” (IPI=10%), o que desestimula o investimento no setor.

O presidente da Abepet lidera o movimento dos recicladores defendendo a redução da carga tributária para as empresas recicadoras, que hoje pagam 15% de Imposto sobre

Produtos Industrializados (IPI) para o Governo Federal e ICMS para o estado. O diretor da Bahia PET é outro defensor de programas de incentivo à reciclagem no Brasil, pois esta atividade, além de gerar emprego e renda, contribui para o desenvolvimento sustentado. Podemos citar o Estado do Tocantins por ser o único no Brasil a isentar a atividade recicladora de ICMS e o Rio de Janeiro por discutir um projeto de lei nesta linha.

Quanto à reciclagem no Brasil, existe a necessidade de se dar prioridade e viabilidade às atividades através da criação da empresa especializada em reciclagem, com incentivos fiscais a essas empresas, que seria um pilar de qualquer programa com lixo. No entanto, os problemas das cadeias produtivas da reciclagem estão na múltipla tributação, que incide sobre as atividades da reciclagem, e não em incentivos. Esta é uma questão estrutural impeditiva para que se processe coleta seletiva de materiais do lixo no país.

Qualquer artefato (embalagem) que gera lixo, já foi tributado por várias vezes, da indústria manufatura, aos canais de distribuição, aos supermercados até chegar às mãos do consumidor.

Sendo reciclável, a mesma embalagem resgatada do lixo, para seguir rumo à indústria da reciclagem, em cada estágio, desde as mãos do catador, ou do separador, passando pela armazenagem e beneficiamento primário nos sucateiros, pelos postos de acumulação para preparação, até chegar na indústria da reciclagem, sofre incidência de impostos federais, estaduais e municipais.

Nos Estados, o ICMS das sucatas é diferido, mas no transbordo de fronteiras estaduais, incide plenamente sobre elas. O IPI, como tratado anteriormente, é diferenciado para alguns casos, mas volta a incidir sobre as sucatas, principalmente se elas forem pré-industrializadas, como na forma de flakes de plásticos, lingotes de alumínio, pastas mecânicas de papel e assim por diante. E os impostos municipais ISS, incidem sobre todas as atividades, a cada movimentação registrada em notas fiscais.

Para o próprio governo, as autoridades fiscais que impõem essa cascata de impostos oneram os orçamentos públicos, principalmente municipais com os custos do lixo, (coleta, transporte e aterro), que poderiam ser evitados através do desenvolvimento de cadeias produtivas vigorosas voltadas para a reciclagem.

Para os agentes intermediários, como cooperativas de catadores, sucateiros e transformadores, normalmente pequenas empresas brasileiras, as autoridades fiscais as

empurram para a informalidade, pois aqueles que obtém os materiais primários, nas latas de lixo, ou em programas de coleta seletiva, por não terem notas fiscais de origem, passam a arcar com toda a carga dos impostos, sem poderem abatê-los com créditos, como estabelecido no Código Tributário Brasileiro.

Para as indústrias da reciclagem, as autoridades fiscais impõem sérias restrições, pois a carga de impostos inibe os movimentos de materiais através das fronteiras estaduais, o que impede o aumento da escala operacional das indústrias. Materiais recicláveis são *comodities*, têm baixo valor agregado e, por esta razão, a concentração da escala industrial é um fator fundamental para a viabilidade das indústrias da reciclagem, que só através dela, podem fazer frente aos custos fixos e à necessidade de capital para investimentos em processos. Como resultado temos uma rede industrial de reciclagem obsoleta e enfraquecida, pois pulverizada.

De incentivos se beneficiarão só as grandes empresas, que têm condições formais de poderem demonstrar e comprovar para tornarem-se elegíveis para obtenção de incentivos. Todas as demais, ou a maioria, que opera na informalidade, no limiar da clandestinidade, pois se fossem formais não resistiriam a esta fenomenal cascata de impostos, não poderiam se candidatar aos incentivos. A reciclagem no Brasil precisa de justiça fiscal, não de incentivos.

A justiça fiscal, que se propõe é isentar de impostos os materiais recicláveis obtidos no lixo ou em programas de coleta seletiva, em todos os estágios necessários para que cheguem à indústria da reciclagem, sem estarem onerados.

Com isto, as indústrias, além se fortalecerem poderiam praticar preços mais estimulantes para os demais agentes da logística reversa e os índices de reciclagem brasileiros aumentariam, ao mesmo tempo em que as despesas públicas com a gestão dos lixos se reduziria.

#### 4.3. Logística de uma Empresa Transformadora

A logística que será implementada na empresa será dividida em duas partes, a de recebimento de material (garrafas coletadas) e a de entrega do produto transformado (*flake*). Cada uma das linhas de fluxo de material, que possuem suas características e necessidades, serão descritas abaixo.

Para o recebimento do polímero impuro é necessário o armazenamento em locais secos e de fácil manuseio. Este material é armazenado em fardos com dimensões de 400x600x800mm com peso médio de 120kg. No início da criação da empresa será feita uma mescla de material comprado de outras cooperativas e do material coletado pela cooperativa que a empresa pretende montar. A fim de evitar problemas com o recebimento do material, será feita uma programação semanal com volume e por fornecedor para que não tenha filas de espera para descarregar.

Na região metropolitana de São Paulo existem 16 cooperativas legais de catadores que serão responsáveis por fornecer o polímero. A seguir pode-se ver a localização dos prováveis fornecedores e em maior destaque a localização da empresa.

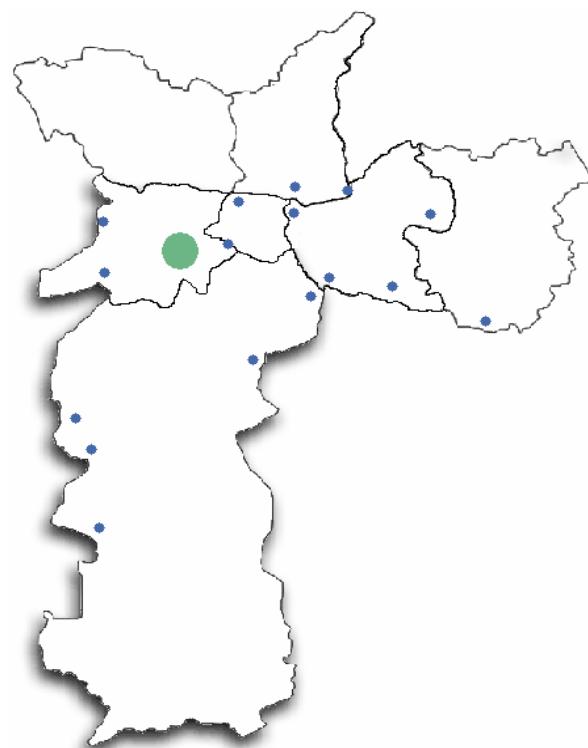


Figura 10 – Cooperativas de coletadores

Devido a possíveis oscilações de oferta do mercado ou por problemas de atraso dos fornecedores, a empresa irá manter um estoque de matéria-prima equivalente a uma semana de produção, logo será necessária uma área aproximada de  $50m^2$  para estocar todo o

material, 2 prensas para enfardar o material solto e um empilhadeira para manuseio dos fardos.



Figura 11 – Prensa hidráulica para enfardamento de PET.

Após o término do processo e com o material pronto para venda na forma de *flake* serão utilizados sacos *big bag* com capacidade de 1200kg para armazenagem, sendo que cada embalagem custa em torno de R\$ 15,00, e assim para uma produção mensal de 100 toneladas serão necessários 85 sacos. Este tipo de embalagem possui quatro alças para facilitar a carga e descarga através da empilhadeira, além de uma proteção interna impermeável de Polietileno de baixa densidade linear que mantém o produto com baixa umidade. Estas embalagens serão reutilizadas para diminuir gastos, portanto a cada entrega de material serão recolhidos os sacos vazios. A entrega será realizada por dois caminhões que serão adquiridos pela empresa.



Figura 12 – Ilustração da embalagem de entrega.

#### 4.4. Qualidade do Produto

O mercado de embalagens de PET para acondicionamento de refrigerantes, água mineral, sucos concentrados e óleos comestíveis apresenta polímeros de diferentes tipos, que foram desenvolvidos para personalizar o atendimento a clientes desejosos de propriedades melhores e mais específicas.

No caso do PET, assim como na indústria da reciclagem do polímero, o ensaio de viscosidade intrínseca é muito usado para determinar a massa molar. Nota-se uma variação no valor da propriedade conforme se varia o volume, tipo e a marca do produto envasado. Portanto, uma melhor seleção das embalagens pode ajudar os recicladores na obtenção de produtos melhores, com menor variação na massa molar.

A indústria de embalagens de PET tem à disposição um número grande de resinas virgens. Os fornecedores (fabricantes e importadores) procuram personalizar o atendimento, disponibilizando variações específicas para cada cliente e produto. Isto demanda um controle de qualidade para garantir as propriedades das resinas e uma das principais propriedades de polímeros a ser verificada é a massa molar. O índice de fluidez é um importante parâmetro tecnológico no controle de qualidade de polímeros e seu valor é inversamente proporcional à viscosidade do polímero fundido e sua massa molar. O PET, porém, é hidrolítico principalmente em temperaturas próximas às do processamento e do ensaio de índice de fluidez, podendo degradar durante o mesmo, fornecendo dificuldades experimentais e erros na medida.

Nas indústrias de PET virgem e reciclado, a medida mais difundida para fornecer a massa molar é a viscosidade intrínseca. Esta minimiza a hidrólise, pois utiliza soluções em temperaturas relativamente baixas. A viscosidade intrínseca pode ser convertida em massa molar viscosimétrica ou mesmo numérica média por meio de equações adequadas. Porém, este procedimento raramente é feito, sendo que a indústria prefere basear-se diretamente nos valores de viscosidade intrínseca.

No início do processo de reciclagem, as embalagens descartadas chegam à indústria recicladora em fardos separados por cor. Outra variação possível é a separação de frascos de óleo dos restantes, pois demandam uma lavagem diferenciada. Os fardos são abertos e submetidos a um pente fino, que retira do processo impurezas como outros plásticos, metais e papéis. O restante é moído, lavado e normalmente reprocessado em extrusoras na forma

de grânulos, cuja relação massa-volume é mais adequada para a fabricação de produtos finais em equipamentos convencionais, como injetoras e as próprias extrusoras (eventualmente, após a lavagem os flocos moídos podem ser processados na forma de produtos finais). Ou seja, o reciclador trata um número grande de embalagens diferentes, juntas. Dessa forma o produto final é uma mistura de várias resinas diferentes, com propriedades médias.

Um dos motivos para o ensaio do material é o fato de densidades muito baixas poderem dificultar a descida do material no funil dos equipamentos de processamento, inviabilizando uma eventual mistura que pode ser feita entre material virgem e flocos ou mesmo a produção de produtos finais a partir dos flocos. Este problema atinge, por exemplo, a reciclagem de filmes plásticos (densidade normalmente menor que 1 g/cm<sup>3</sup>) e a de poliestireno (densidade inferior a 1,10 g/cm<sup>3</sup>). Nestes casos, o mais usual na indústria da reciclagem é a adoção de uma etapa adicional, a aglutinação, em que os flocos passam por aquecimento e posteriormente por um choque térmico, mantendo a massa individual e contraindo o volume, aumentando assim a densidade. Ainda, a determinação da densidade por picnometria trata-se de um ensaio barato, o que o torna facilmente aplicável, caso julgado necessário.

#### 4.4.1. Experimental

Medidas convencionais de viscosidade intrínseca ( $[\eta]$ ) são normalmente realizadas a partir da medição da viscosidade relativa ( $\eta_{rel}$ , quociente dos tempos de fluxo da solução polimérica e do solvente).

Empregando-se a equação de Billmeyer (1) para estabelecer uma relação entre viscosidade relativa e a intrínseca, para concentrações otimizadas em 0,5% do polímero em volume de solução, a viscosidade intrínseca é obtida por meio de uma determinação única da relativa. Como solvente do PET utiliza-se normalmente uma mistura de fenol e 1,1,2,2-tetracloroetano 60:40 em peso e, segundo a normalização, as medidas devem ser feitas a 30°C.

$$[\eta] = \frac{0,25\{(1 - \eta_{rel}) + 3 \ln \eta_{rel}\}}{c} \quad (1)$$

onde c é a concentração da solução contendo o polímero.

O sistema de dois solventes, a relação massa de polímero/volume de solução, a temperatura da medida e a equação acima são comuns dentro de setores de pesquisa, desenvolvimento e controle de qualidade de PET no mundo todo.

Os resultados de viscosidade intrínseca são transformados em massa molar numérica média (Mn) de acordo com a equação 2, de Berkowitz. Segundo o autor, a validade da equação foi verificada para massas molares de 2000 a 200000 g/mol, a partir de medidas de viscosidade intrínseca e massa molar ponderal média (Mw) por cromatografia líquida de alta performance. Esta última foi convertida por Karayannidis, Kokkalas e Biakiaris em Mn a partir do índice de polidispersividade, Mw/Mn = 2, normalmente encontrado para o PET.

$$Mn = 3,29 \cdot 10^4 [\eta]^{1,54} \quad (2)$$

Além da viscosidade intrínseca, também são determinados os valores de densidade das amostras estudadas. Embora seja definida como a razão entre massa e volume, a densidade de partículas não necessariamente coincide com a do material, uma vez que, ocasionalmente, a partícula contém poros fechados que contam no volume da partícula. Para a medição das densidades das partículas, pode ser utilizado um picnômetro de 50mL, de massa conhecida ( $m_0$ ), por exemplo, onde inicialmente introduz-se a amostra. Posteriormente adiciona-se álcool etílico, até o picnômetro ficar totalmente preenchido. Quando o termômetro acoplado ao equipamento registrar 23 °C efetua-se a pesagem de todo o conjunto, obtendo a massa da amostra com líquido ( $m_{SL}$ ). Tendo a massa do picnômetro cheio do líquido ( $m_L$ ) e a massa do picnômetro contendo as partículas ( $m_S$ ) e a densidade do líquido ( $\rho_L$ ), calcula-se a densidade da partícula por meio da equação (3). A densidade do líquido pode ser calculada com os resultados de  $m_L$  dividido pelo volume do picnômetro.

$$\rho_p = \frac{\rho_L (m_s - m_0)}{(m_L - m_0) - (m_{SL} - m_s)} \quad (3)$$

A relação proporcional existente entre cristalinidade e densidade fez com que alguns autores, que estudaram hidrólise de PET, preferissem a apresentação dos resultados de percentual cristalino, dado por:

$$\%Cristalinidade = \%C = 100 \cdot \frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a} \quad (4)$$

onde os dados encontrados na literatura para a densidade do material totalmente amorfo e do totalmente cristalino são, respectivamente:  $\rho_a = 1,335 \text{ g/cm}^3$  e  $\rho_c = 1,515 \text{ g/cm}^3$ .

No estudo feito por S. Mancini (Instituto Politécnico, UNESP, Sorocaba) e I. Matos e R. Almeida (Departamento de Engenharia Química, UFC), chamado “Determinação da Variação da Viscosidade Intrínseca do Poli (Tereftalato de Etileno) de Embalagens” (2004), foram selecionadas embalagens incolores descartadas de refrigerantes, sucos concentrados e óleos de soja de diferentes marcas, volumes e nomes de fantasia, comercializadas em Fortaleza-CE. De cada uma delas foi retirada uma amostra que foi lavada e seca e posteriormente, cortada em pequenos pedaços. Na lavagem (somente com água) e secagem foram utilizadas a temperatura ambiente e, após os quais, estavam prontas para os ensaios de viscosidade intrínseca e densidade.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados obtidos para vinte e uma amostras selecionadas, subdivididas em frascos incolores e verdes, respectivamente.

Tabela 7 - Resultados obtidos para a Viscosidade Intrínseca e Densidade de PET incolor utilizado em várias embalagens, bem como as Massas Molares e Cristalinidades calculadas a partir das equações 2 e 4, respectivamente.

Frasco	$[\eta]$ dL/g	$\overline{M}_n$ (g/mol)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Cristalinidade (%)
Coca-Cola 2,5L	0,76	21560	1,397	34,4
Coca-Cola 2,0L	0,73	20260	1,368	18,3
Coca-Cola 1,0L	0,71	19415	1,373	21,1
Coca-Cola 0,6L	0,72	19837	1,394	32,8
Pepsi-Cola 2,0L	0,75	21125	1,365	16,7
Pepsi-Cola 1,0L	0,71	19415	1,360	13,9
Frevo Cola 0,6L	0,75	21125	1,368	18,3
Água Mineral Indaiá 5L	0,73	20260	1,368	18,3
Água Mineral Indaiá 1,5L	0,71	19145	1,373	21,1
Água Mineral York 0,5L	0,77	21998	1,368	18,3
Óleo de Soja Liza 0,9L	0,71	19415	1,384	27,2
Óleo de Soja Soya 0,9L	0,71	19415	1,359	13,3
Suco Concentrado de Maracujá Maguary 0,5L	0,70	18995	1,367	17,8
Suco Concentrado de Caju Santal 0,5L	0,70	18995	1,357	12,2

Tabela 8 - Resultados obtidos para a Viscosidade Intrínseca e Densidade de PET verde utilizado em várias embalagens, bem como as Massas Molares e Cristalinidades calculadas a partir das equações 2 e 4, respectivamente.

Frasco	$[\eta]$ dL/g	$\overline{M}_n$ (g/mol)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Cristalinidade (%)
Soda Antarctica 1L	0,75	21125	1,355	11,1
Soda Antarctica 2L	0,79	22884	1,389	30,0
Guaraná Antarctica 2L	0,79	22884	1,376	22,8
Guaraná Antarctica 0,237L	0,78	22440	1,372	20,5
Sprite 2L	0,73	20260	1,360	13,9
Limão Brahma 2L	0,79	22884	1,395	33,3
Schin Limão 0,25L	0,75	21125	1,361	14,4

Na indústria da reciclagem de PET são feitos esforços para que a viscosidade não caia, o que dependerá principalmente de condições de secagem otimizadas (tempo, temperatura, atmosfera de secagem e de transporte para o equipamento de transformação).

Em termos de densidade/cristalinidade, após a fusão do material na injetora, é pouco provável a manutenção da estrutura totalmente amorfa do polímero fundido. Porém, é improvável o desenvolvimento da máxima cristalinidade possível, que pode atingir até 55%. Isto porque, além do polímero poder ser uma versão copolimérica, não há tempo suficiente para que ocorra um nível de cristalização que reflita em ausência ou diminuição da transparência, devido ao resfriamento brusco e à espessura relativamente pequena da pré-forma e, futuramente, do frasco. Entretanto, formam-se regiões cristalinas em tamanho muito pequeno, as quais não conseguem provocar desvios sensíveis na trajetória da luz. Como limite máximo normalmente aceito para a cristalinidade deste tipo de embalagem, tem-se que a somatória das regiões cristalinas não deve exceder 25%.

Nota-se pela Tabela 7 que algumas amostras estão abaixo de 0,73 dL/g (20.000g/mol), valor normalmente aceito para resinas que se destinam a fabricação de frascos por meio de injeção-sopro, assim, colocar todas as embalagens recebidas num mesmo processo fornecerá um polímero final com características médias, o que ajuda a explicar a grande utilização do PET reciclado como fibras sintéticas, aplicação que exige níveis de massa molar menores.

Para a fabricação de fibras, a viscosidade intrínseca é da ordem de 0,68, o que mostra que todo o material analisado pode ser reciclado através da confecção de fibras.

A não ser que durante a reciclagem haja a estabilização da resina e um rígido controle da atmosfera em contato com o polímero principalmente em altas temperaturas (em especial a partir de secagem e reprocessamento otimizados), é muito provável que o produto reciclado tenha uma massa molar média inferior ao da embalagem original. Essa degradação durante a reciclagem é esperada na medida em que as cadeias macromoleculares serão submetidas a níveis de esforços mecânicos e de temperatura que, juntamente com agentes degradantes presentes nos equipamentos utilizados (como oxigênio e água, por exemplo) e mesmo remanescentes no polímero, vão ocasionar quebras de cadeia. Dependendo do nível dessas degradações e da massa molar inicial, o polímero reciclado pode ter uma massa molar abaixo do nível indicado para a fabricação de frascos,

o que o direcionará para mercados cujas aplicações, no caso do PET advindo de garrafas recuperadas, possuem um valor agregado menor.

As variações obtidas nos resultados de viscosidade intrínseca podem ser consideradas pequenas, de cerca de 10% (16% em termos de massa molar), embora se ressalte que os valores mais próximos das embalagens verdes medidas (8% em termos de viscosidade e 13% em termos de massa molar) podem ter sido obtidos devido à amostragem menor. Deve-se considerar ainda que as medidas, de viscosidade, (assim como as de densidade), podem apresentar erros por não terem sido feitas repetições, embora tenham sido obtidos, para a mesma amostra, quatro tempos de eluição. Porém, tais variações situam algumas amostras abaixo do limite do PET grau garrafa, de forma que uma seleção mais criteriosa pode melhorar a qualidade do produto final. Neste sentido, uma separação por tamanho (maiores e menores que 2 litros) é possível e pode fornecer produtos mais homogêneos.

Com relação aos resultados de percentual de cristalinidade, obtidos dos ensaios de densidade, os resultados da Tabela 7 e 8 apresentaram uma variação grande, de cerca de três vezes do menor para o maior valor. Sabidamente, além do erro do próprio ensaio, existem diferenças na cristalinidade das embalagens devido à grande variedade de grades e de equipamentos para injeção existentes. Ou seja, cada amostra analisada corresponde ao produto da fusão de um polímero com determinado grau de cristalinidade e seu posterior resfriamento, que deve ser brusco para não permitir o máximo desenvolvimento e crescimento de regiões cristalinas de modo a permitir a transparência. Em termos de reciclagem essa variação não deve representar dificuldades, na medida em que, para serem reciclados, os flocos precisar ser fundidos, o que destrói toda a organização cristalina existente.

Analizando nas Tabelas 7 e 8 somente os resultados de densidade, foram obtidas, tanto para o incolor como para o verde, variações máximas da ordem de 3%, o que indica que essa propriedade não deve ocasionar problemas de processo no caso de mistura dos mais variados tipos de embalagens (como por exemplo, problemas de fluxo nos funis dos equipamentos de transformação a serem utilizados para a fabricação de produtos reciclados). Valores de densidade inferiores a 1,10 g/cm<sup>3</sup> (filmes de polietileno, copos descartáveis de PS, etc) costumam demandar a etapa de aglutinação para tornar possível a extrusão-granulação.

Apesar da aleatoriedade da coleta de material para o estudo, uma generalização desses resultados para todas as embalagens comercializadas no Brasil é arriscada dada a quantidade de matéria-prima disponível fabricada no país ou importada, bem como as condições de processo (que podem variar, variando a viscosidade final) é grande. Assim, seria interessante que cada indústria fizesse um controle de qualidade de sua própria matéria-prima, baseado em ensaios de viscosidade, bem como uma correta análise dos resultados.

#### 4.4.2. Política Ambiental e de Qualidade

Para um maior reconhecimento da empresa dentro do mercado de reciclagem, será implementado uma política ambiental e de qualidade alinhada aos órgãos regulamentadores internacionais para que a empresa seja certificada das normas ISO14001 e ISO 9000.

No panorama atual pode-se observar que organizações de todos os tipos estão cada vez mais preocupadas em atingir e demonstrar um desempenho ambiental e de qualidade corretos, controlando o impacto de suas atividades, produtos ou serviços e levando em consideração sua política e seus objetivos. Esse comportamento se insere no contexto de uma legislação cada vez mais exigente, do desenvolvimento de políticas econômicas, onde temos uma crescente preocupação das partes interessadas em relação às questões ambientais, ao desenvolvimento sustentável e a otimização do processo. A seguir serão explicadas com maiores detalhes ambas as normas.

##### 4.4.2.1. ISO 14001

A ISO (International Standardization for Organization) é uma organização não-governamental sediada em Genebra, fundada em 23 de fevereiro de 1947 com o objetivo de ser o fórum internacional de normalização que atua como entidade harmonizadora das diversas agências nacionais.

A série de Normas ISO 14.000 especifica os elementos de um Sistema de gestão Ambiental (SGA) e oferece ajuda prática para sua implementação ou aprimoramento. Ela também fornece auxílio às organizações no processo de efetivamente iniciar, aprimorar e sustentar o Sistema de Gestão Ambiental. Tais sistemas são essenciais para a habilidade de uma organização em antecipar e atender às crescentes expectativas de desempenho

ambiental e para assegurar, de forma corrente, a conformidade com os padrões nacionais ou internacionais.

A Norma ISO 14.001 inclui os elementos centrais do SGA a serem utilizados para certificação. O certificado de Gestão Ambiental ISO 14001 atesta responsabilidade ambiental no desenvolvimento das atividades de uma organização.

Para a obtenção e manutenção do certificado ISO 14001, a organização tem que se submeter a auditorias periódicas, realizadas por uma empresa certificadora, credenciada e reconhecida pelo INMETRO e outros organismos internacionais. Nesta auditoria são verificados o cumprimento de requisitos como:

- Cumprimento da legislação ambiental.
- diagnóstico atualizado dos aspectos e impactos ambientais de suas atividades.
- procedimentos padrão e planos de ação para eliminar ou diminuir os impactos ambientais.
- pessoal devidamente treinado e qualificado.

O ciclo do SGA segue os seguintes passos; inicialmente a empresa deve focar aquilo que precisa ser feito e definir sua política, em seguida é preciso formular um plano para cumprir com sua política ambiental e após esta etapa criar mecanismos para alcançar suas metas além de monitorar e avaliar sua performance, por fim é preciso rever continuamente o sistema para aperfeiçoar seu SGA.

A implementação do ISO 14001 permitirá descobrir desperdícios e processos inefficientes, tornando possível a fabricação de mais produtos com menor quantidade de matérias-primas e criando menor quantidade de resíduos.

#### 4.4.2.2. Aspectos motivadores da certificação

Podemos identificar duas causas principais da busca da certificação pelas empresas: reconhecimento da comunidade nacional e internacional e atender a nova e rígida legislação ambiental.

A imagem da empresa associada à preservação do meio ambiente tornou-se uma necessidade devido ao grau de exigência do mercado estar crescendo em relação à aceitação de produtos ambientalmente corretos e as restrições impostas às empresas poluidoras.

O cumprimento das leis ambientais, como a Lei 9605 da Natureza, conhecida como Lei dos Crimes Ambientais, não é uma tarefa muito fácil, pois o custo para a destinação correta dos resíduos gerados, o tratamento do passivo ambiental e as multas elevadas tornaram onerosos os processos de produção atuais e despreocupadas ambientalmente a maioria das empresas nacionais.

Este quadro é importante para que a empresa possa entrar no mercado com uma formatação previamente estudada que se enquadre dentro das normas internacionais promovendo uma revisão em todo o processo produtivo, identificando as atividades poluidoras e o desperdício de matérias-primas e energia, além de organizar uma sistemática de monitoramento do sistema de gerenciamento ambiental.

A implementação do ISO 14001 é além de um instrumento de promoção da imagem da empresa, uma oportunidade de revisão de todo os processos produtivos, identificação de desperdícios e aproveitamento de resíduos, diminuindo gastos e aumentando custos.

Por outro lado, serve de alerta para as empresas mais atrasadas tecnologicamente, que uma mudança nos processos ineficientes ou de passivos ambientais pode provocar o investimento de grandes cifras.

A certificação em ISO 14001 é mais uma etapa que as empresas inseridas num mercado globalizado terão que conquistar é também uma oportunidade de garantir o desenvolvimento, preservando os recursos naturais o meio ambiente.

#### 4.4.2.3. ISO 9000

A norma ISO 9000 se refere à regulamentação de sistemas da qualidade de forma a permitir a existência de um modelo de gestão capaz de garantir a uniformidade do produto e que o índice de qualidade desejado seja alcançado em toda a produção, cobrindo todas as etapas dos processos e, principalmente, envolvendo todos os meios físicos e recursos humanos comprometidos com a qualidade do produto final, desde o projeto até a entrega do produto ao cliente.

Mais que um diferencial de qualidade, a certificação ISO 9000 abre as portas do mundo globalizado para as empresas certificadas, uma vez que, ao adquirir produtos dessas empresas o consumidor tem a certeza que existe um sistema confiável de controle das

etapas de desenvolvimento, elaboração, execução e entrega do produto, provido de um tratamento formalizado com o objetivo de garantir os resultados.

A norma ISO 9000 é composta por 20 requisitos que conforme a própria norma admite, alguns requisitos não necessariamente são aplicados a todos os sistemas da qualidade, podendo ser necessário adaptar através da adição ou eliminação de certos requisitos para atender situações contratuais específicas. São eles:

- |   |   |
|---|---|
| 1 - Responsabilidade da administração           | 11 - Controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaio.  |
| 2 - Sistema da qualidade                        | 12 - Situação de inspeções e ensaios                          |
| 3 - Análise crítica de contrato                 | 13 - Controle de produto não conforme                         |
| 4 - Controle de projeto                         | 14 - Ação corretiva e preventiva                              |
| 5 - Controle de documentos e dados              | 15 - Manuseio, armazenagem, embalagem, preservação e entrega. |
| 6 - Aquisição                                   | 16 - Controle de registros da qualidade                       |
| 7 - Controle de produto fornecido pelo cliente  | 17 - Auditoria interna da qualidade                           |
| 8 - Identificação da rastreabilidade do produto | 18 - Treinamento  |
| 9 - Controle de processo                        | 19 - Serviços associados                                      |
| 10 - Inspeção e ensaios                         | 20 - Técnicas estatísticas                                    |

Existem vários órgãos certificadores credenciados para este fim, a princípio, depois de preparada para atender às normas, a empresa contrata o órgão certificador que por meio de auditorias inspecionam as instalações, processos e documentação da empresa verificando a observância aos requisitos da norma.

O certificado tem validade de três anos e após esse prazo ele precisa ser renovado. Além disso, a cada seis meses o sistema é auditado para verificar se a empresa continua a atender aos requisitos da norma. O certificado poderá não ser revalidado se a organização deixar de cumprir os requisitos.

A ISO 9001 analisa requisitos de quatro grandes grupos, responsabilidade da administração, gerenciamento de recursos, produção, análise e melhoria. Em cada um desses grupos deve-se haver conformidade com as normas estipuladas pela ISO.

#### 4.4.2.4. Aspectos motivadores da certificação

Acredita-se que a política de comércio tende para o processo de Certificação de Sistemas da Qualidade. A Certificação de Sistemas da Qualidade será fundamental para negociar produtos e serviços a nível mundial.

Mais de 560.000 organizações já foram certificadas no mundo e pelo menos 130 países já adotaram as normas ISO 9000. O Brasil conta com cerca de 7.900 organizações certificadas (dados de dez/03).

Vale ressaltar que a maioria das indústrias que reciclam o PET já possui o certificado e estão exigindo dos seus fornecedores e prestadores de serviços a implantação de sistemas de qualidade na linha da ISO 9000. Apesar da verificação em laboratório do produto final, a otimização do processo irá contribuir para diminuir gastos e volume de produtos fora dos padrões.

Portanto para vender para essas 7900 organizações brasileiras é fundamental implantar sistema de qualidade de acordo com as normas da série ISO 9000.

Tabela 9 – Número de certificados por país

Países	Total de Certificados
Argentina	2260
Bolívia	31
Brasil	7900
Chile	327
Colômbia	1838
Equador	34
Guiana	7
Paraguai	65
Peru	270
Suriname	1
Uruguai	231
Venezuela	342
<b>Total</b>	<b>13306</b>

\* Fonte: Site da ISO <http://www.iso.ch/iso/en/prods-services/otherpubs/pdf/survey13thcycle.pdf>

Dados coletados até 31/12/2003

Podemos aqui citar vantagens para a empresa e para os clientes, no primeiro caso teremos uma maior participação no mercado devido à credibilidade, maior satisfação dos clientes no que diz respeito à qualidade do produto, poderá haver uma redução nos custos e uma melhoria na produção além de uma maior competitividade e aumento dos lucros. Em relação aos clientes pode-se mencionar a maior confiança nos produtos, uma redução de custos pelo fato de diminuir problemas na produção devido à matéria-prima fora das especificações.

É importante frisar que a ISO 9000 não fixa metas a serem atingidas pelas empresas, a própria empresa, que pretende manter o certificado, é quem estabelece suas metas. Isso é fundamental para sua implementação, pois a organização poderá trabalhar dentro de sua capacidade técnica e financeira.

O que diferencia as duas normas é o fato de ISO 14001 exigir o cumprimento da legislação ambiental, garantindo que as empresas que possuam este certificado obedecem, pelo menos, os padrões mínimos de proteção ao meio ambiente, diferentemente da série ISO 9000 que garante simplesmente o cumprimento de um padrão de qualidade estabelecido pela própria empresa.

Outro aspecto positivo da certificação ISO 14001 é a revisão que as empresas realizam em todo o seu processo produtivo, identificando principalmente desperdícios e produtos potencialmente poluidores.

Otimização do tempo de produção pode produzir uma economia de energia, revertida em bonificação financeira para a empresa. A otimização das matérias-primas, além da economia dos gastos com a sua aquisição, também reflete na diminuição da geração de resíduos, que muitas vezes tem um custo altamente elevado para a sua destinação.

Por fim a certificação vem interferir diretamente na imagem da empresa, evidenciando a postura correta da empresa em relação ao meio ambiente e a qualidade, atendendo a consumidores com opinião cada vez mais rígida em preferir produtos ambientalmente corretos e a indústrias que exigem níveis de qualidade.

#### 4.4.2.5. Investimentos

Os investimentos para a implantação da ISO 14000 e da ISO 9000 não são facilmente mensuráveis, mas nota-se que existem dois custos distintos, denominados de custos de implantação e custos de processo.

Os custos de implantação são compostos basicamente pela contratação de uma consultoria que iniciará o processo da criação do sistema de gestão ambiental e da qualidade do produto, treinamento dos funcionários e criação de um sistema de monitoramento que garantirá a manutenção da melhoria contínua. Este custo foi estimado em torno de 120 mil.

Um pouco mais difícil de estimar são os custos denominados de custos de processo, que contemplam os gastos ou investimentos na melhoria de processos. Devido a isso será dado um intervalo de aproximadamente um ano para verificar e analisar os pontos falhos do processo, além de gerar o capital necessário para implementação das normas. No entanto é importante conhecer o seu funcionamento para que o desenvolvimento da empresa seja baseado em alguns de seus requisitos.

#### 4.4.3. Viabilidade

Salientando que é necessário mão-de-obra especializada para operar um laboratório que realize o procedimento de análise dos flocos como discutido acima, mas tomando somente os aparelhos como base do investimento para a montagem desse laboratório, foi obtida uma relação de gastos ilustrada na tabela a seguir.

Tabela 10 – Investimento com equipamentos para a montagem de um laboratório de análises para o PET

Equipamento	Custo R\$
Cromatógrafo Líquido (estimado)	200000
Viscosímetro Fabricante LF Modelo LF-360A	1125
Balança analítica Fabricante GEHAKA Modelo AG200	3300
<b>TOTAL</b>	<b>204425</b>

O Laboratório de Polímeros Condutores e Reciclagem do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), por exemplo, realiza a determinação da viscosidade intrínseca de PET, segundo norma ASTM D 4603-91, pelo valor de R\$ 220,00 por amostra.

Para duas análises semanais, ou seja, oito análises mensais, teríamos retorno do investimento do laboratório em, aproximadamente, 10 anos, depois de realizadas 932 análises.

Conclui-se que a melhor maneira de se controlar a qualidade do produto, a princípio, seria terceirizando a análise.

## **5. Custo da Implementação de uma Recicladora de PET**

Seguindo as diretrizes do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, SEBRAE, o plano de negócio deve analisar: mercado, localização e estrutura.

### **5.1. Mercado**

Com o surgimento da reciclagem, vários tipos de produtos passaram a ser reciclados, criando desta forma novas atividades que atualmente geram um faturamento de cerca de 1,2 bilhões de dólares anuais no Brasil, e que poderá chegar a 5,8 bilhões nos próximos anos. A partir disto, presume-se um mercado bastante promissor e ainda pouco explorado.

### **5.2. Localização**

A indústria deverá ser implantada em um local de fácil acesso, de preferência próximo à matéria-prima.

### **5.3. Custos**

Considerando ainda uma produção de 100 toneladas por mês, seguem o levantamento do investimento inicial, dos custos fixos e variáveis.

**Tabela 11 – Investimento inicial**

Discriminação	Detalhamento	R\$ (milhares)
Instalações	Equipamento, rede elétrica e hidráulica	15
Registros	IE, CNPJ e alvará	0,56
Prensas	2 unidades Dimensão do Fardo: 400x600x800 mm <sup>3</sup>	15,5
Moinho		35
Lavadora		20
Secadora		20
Galpão	2000m <sup>2</sup> em SP	16
Caminhões	2 unidades GMC 5-90 de 5	70

	toneladas	
Empilhadeira	2 unidades	24
	total	216,06

Tabela 12 – Custos Fixos

<b>Discriminação</b>	<b>Detalhamento</b>	<b>R\$ (milhares)</b>
<i>Despesas Administrativas</i>		
Administrador	R\$ 700,00 por pessoa	0,7
Motorista	R\$ 600,00 por pessoa	0,6
Encargos sociais	82%	1,066
Contador	R\$ 500,00 por pessoa	0,5
Gastos gerais		0,2
<i>Despesas Comerciais</i>		
Depreciação do caminhão		0,583
Manutenção do caminhão		0,3
Depreciação da linha		1,758333333
Aluguel	2000 m <sup>2</sup>	16
	total	<b>21,7</b>

Tabela 13 – Custos Variáveis

<b>Discriminação</b>	<b>Detalhamento</b>	<b>R\$ (milhares)</b>
Energia elétrica	<b>120 kW (R\$200 por MW/h)</b>	3,8
Encarregado de produção	1 pessoa	0,6

Ajudantes	2 pessoas	0,6
Diesel	1000L a R\$1,60/L	1,6
Água	640m <sup>3</sup> (4m <sup>3</sup> /h e R\$0,6/m <sup>3</sup> )	0,384
<i>Big bags</i>	85 sacos a R\$15,00 cada	1,275
Manutenção de equipamentos		0,5
	Total	<b>8,759</b>

Os encargos sociais incidem sobre os salários do administrador e do motorista. Com uma alíquota de 82% sobre o total de salários de R\$1300,00, obtém-se um total de R\$ 1066,00.

A depreciação da linha foi obtida para uma vida útil do equipamento de 5 anos, ou seja, dividiu-se o valor total por 60 meses.

A depreciação dos caminhões foi obtida dividindo-se seu preço por uma vida útil de 10 anos.

#### 5.4. Produção Mínima

Através dos custos levantados foi feita a determinação do *Break-even point*, ilustrado no gráfico abaixo, para se determinar o menor volume de produção necessário para proporcionar retorno financeiro ao empresário.

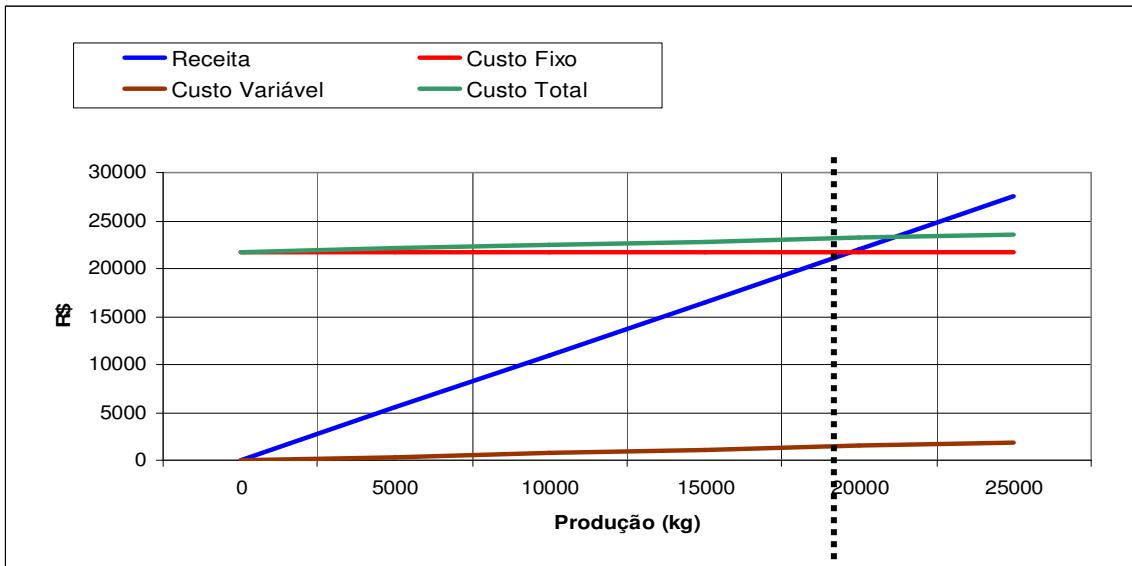


Gráfico 8 – Determinação do *Break-even point*

Nota-se que a intersecção entre as linhas do custo total e da receita ocorre para uma produção de aproximadamente 21000 kg, determinando então o volume mínimo de produção mensal. Também pode ser visto no gráfico que a receita esperada para o volume determinado é de cerca de R\$23000,00.

## **6. Importância dos Catadores no Programa de Coleta Seletiva**

A grave crise social existente em nosso país, que tem uma das piores distribuições de renda do mundo, tem levado um número cada vez maior de pessoas a buscar sua sobrevivência através da coleta de materiais recicláveis existentes no lixo. São chamados de “catadores” e trabalham nas ruas, lixões e aterros.

Durante muitos anos o trabalho que eles desenvolviam não era reconhecido pela sociedade e, além disso, eram tidos como inimigos do sistema de limpeza urbana pela desordem causada com a utilização de espaço público para segregação e armazenamento dos materiais.

Com a organização da atividade esta situação começou a se reverter e, aos poucos, os catadores começaram a conquistar mais espaço e ganhar maior consideração: a mudança de trabalhadores anônimos a parceiros estratégicos de programas de coleta seletiva.

O trabalho dos catadores nas cidades brasileiras teve início muito antes da tomada de consciência ambiental, difundida na década de oitenta. As ações originais surgiram como uma estratégia de sobrevivência. Hoje em dia, além da motivação ligada à fonte de renda, eles também são considerados agentes ambientais, colaboradores diretos do sistema de reaproveitamento de materiais recicláveis.

Um dos grandes ganhos dessa categoria foi a criação do fórum nacional Lixo e Cidadania, em 1998, constituído por diversas instituições, com objetivo de retirar crianças do trabalho no lixo e colocá-las na escola, ampliar a renda de famílias que vivem da catação e minimizar os lixões. Outra grande conquista foi o reconhecimento pelo Ministério do Trabalho e Emprego da categoria profissional “Catador de materiais recicláveis”, em 2002.

A jornada de trabalho de um catador de lixo reciclável não é fácil: ele passa 16 horas diárias revirando resíduos em busca de garrafas plásticas, latas de alumínio, papel e papelão, para, ao fim do dia, vender o material por um preço módico.

Uma maneira de melhorar a renda, recomendada inclusive pelo Ministério do Meio Ambiente, é a formação de organizações. Existem cerca de 600 organizações no Brasil, e elas ajudam a diminuir o tempo da coleta, a aumentar o valor dos produtos e proporciona mais segurança e higiene. Isso ocorre porque os catadores se organizam em grupos, conseguem juntar uma quantidade maior de material e o comprador intermediário acaba pagando melhor. O tempo de trabalho também fica melhor distribuído, já que existe um

revezamento: enquanto alguns catadores saem para fazer a coleta, outros ficam separando o material ou negociando a venda.

## 6.1. A Organização dos Catadores

As formas mais comuns de organização são a associação e a cooperativa. A principal diferença entre elas é o fato de a primeira não ter fins econômicos e a segunda ser uma sociedade com fins econômicos.

A formação de uma cooperativa ou de uma associação requer maturação de idéias e conhecimento do seu funcionamento, já que sua constituição vai além de uma simples formalização jurídica.

O catador, acostumado a trabalhar de forma autônoma e muitas vezes indisciplinada, leva tempo para assimilar o significado de estar trabalhando em grupo. O processo de adaptação deve respeitar esse tempo.

### 6.1.1. As Cooperativas

A indústria brasileira encontrou na reciclagem e na logística reversa um grande filão. Não apenas por consciência ecológica e proteção ao meio ambiente, mas correndo atrás da redução dos custos de produção, com energia elétrica, matéria-prima e mão de obra. Ao contrário dos países do primeiro mundo, a reciclagem está vinculada ao aumento do desemprego e do crescimento da informalidade de trabalho.

O Brasil possui hoje um exército de 500 mil catadores de lixo, homens, mulheres e crianças que dependem exclusivamente desta atividade para sobreviver. Deste total, 40 mil freqüentam os ambientes insalubres e totalmente fora de controle dos chamados lixões, presentes em 65% dos municípios brasileiros, conforme pesquisas do Ministério das Cidades. Nos centros urbanos, a grande maioria, ou 88% destes trabalhadores, participam de cooperativas informais, ou extremamente precárias, segundo levantamento do Movimento Nacional de Catadores, embora esta atividade seja atualmente uma das que concentram maior potencial de absorção de mão-de-obra não qualificada.

Os plásticos rígidos, usados em recipientes para produtos de limpeza, potes de alimentos e garrafas plásticas, o Brasil consome 1,8 milhão de toneladas dessas embalagens por ano. Desses, 350 mil toneladas de plástico são despejadas anualmente nos lixões. Sem

emprego, o catador busca a sua sobrevivência e de sua família. Homens, mulheres e crianças trabalham nos lixões, numa realidade bem diferente, são pessoas humildes que passam o dia dentro do lixo na busca do sustento. Começam às três da manhã se deslocando para o lixão com sua carroça, acompanhados de mulher e filhos. Muitos deles moram no próprio lixão.

Em meio a esse panorama surgem as cooperativas como forma de profissionalizar este tipo de trabalho, melhorar a qualidade de trabalho dos catadores através de equipamentos de segurança, dar treinamentos sobre a coleta e facilitar a intermediação entre catadores e indústrias de reciclagem. Além de seu caráter social torna-se uma grande opção para desempregados que chegam a 12% no Brasil visto que é uma área pouco desenvolvida no país.

O comércio do lixo é um negócio que começa pelo catador que mais trabalha e o que menos ganha. Depois vem o atravessador, que compra o material já separado pelo catador. Na ponta, o dono do depósito que compra o lixo para repassar às indústrias para ser reciclado. Segundo os catadores, se não houvesse o atravessador o dinheiro do final do mês seria maior.

Apesar disso, a tendência atual é de uma maior profissionalização tanto por parte das cooperativas de catadores quanto dos intermediários que podem atuar como recicladores. O caminho do material recolhido pelos catadores geralmente vai para as cooperativas as quais as mais organizadas vendem diretamente a indústria. Alguns intermediários preparam o material recolhido, prensando em fardos, triturando, passando por uma limpeza intensa.

As empresas acreditam no potencial dos negócios ecologicamente corretos, que ajudam a reduzir o impacto ambiental, preservam a natureza, e, ao mesmo tempo, produzem riquezas, crescimento social e econômico.

Para se formar uma cooperativa de catadores é necessário que se atendam a 3 aspectos, infra-estrutura, mão-de-obra e documentação legal. A infra-estrutura se baseia em um galpão para recebimento dos materiais coletados e equipamentos como balanças, prensas e carrinhos. Em relação à mão-de-obra pode-se fizer que de modo geral, os cooperados não têm vínculo empregatício com a cooperativa. Os cooperados são trabalhadores autônomos, que podem receber de acordo com o volume de material coletado ou da participação da receita obtida pela cooperativa. Quanto à documentação é necessária

a ajuda de um advogado, os cooperados devem elaborar um estatuto que contenha todas as normas de administração que vão reger a cooperativa. A lei exige um número mínimo de 20 pessoas para se montar uma cooperativa. Também é necessária a inscrição da entidade junto à Prefeitura. Finalmente, as cooperativas também são tributadas, pagando ICMS e IPTU.

As cooperativas que não dispõem de prensas vendem o material sem enfardar a um preço consideravelmente menor em relação ao enfardado. Segundo relatam os cooperativados, a prensagem dos recicláveis é capaz de acarretar um aumento imediato de 30% a 40% em relação aos preços pagos pelos materiais não-prensados.

O fornecimento de garrafas pós-consumo para a reciclagem pode ser através de catadores, sucateiros, beneficiadores e, também, de cooperativas. O material também pode ser coletado seletivamente ou separado em uma usina de triagem. Normalmente, as cooperativas fornecem garrafas soltas ou prensadas para os sucateiros ou beneficiadores. A atuação das cooperativas e dos catadores é de extrema importância para o bom andamento de um programa de coleta seletiva. Há anos, a reciclagem no Brasil é sustentada através da catação informal nas ruas e nos lixões.

No Brasil a campeã na reciclagem de plásticos pós-consumo é a região Sudeste com 58%, seguida pela região Sul com 24,9% e pela região Nordeste com 14,5%. Portanto o mercado está longe de atingir seu limite de reciclagem e assim muitos empregos ainda podem ser criados. Em Salvador, por exemplo, há apenas uma iniciativa dessa natureza, a Cooperativa dos Agentes Autônomos de Reciclagem (Coopcicla), que não revela a renda mensal dos associados. No momento, cerca de 40 catadores estão na ativa. Eles recolhem latinhas de alumínio, material plástico e tudo que pode ser reciclado. O consumo de plástico por habitante na Bahia é algo em torno de 12,7 quilos por ano, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim) desse total, apenas 9% são reciclados no Estado, deixando de ser lançado ao solo e sendo, portanto um mercado com alto potencial.

Existe um índice que mede os valores de reciclagem mecânica o IRPM (Indústria de Reciclagem Mecânica dos Plásticos no Brasil) que aponta os seguintes números:

Tabela 13 - IRPM

Número de empresas	492
Faturamento	R\$ 1,3 bilhões
Capacidade instalada	1,06 milhões de toneladas
Produção	780 mil toneladas/ano
Nível operacional	73,60%
Número de empregos diretos	11.500

O índice de reciclagem mecânica brasileiro é de 16,5%, mas a estrutura de Coleta Seletiva hoje tem uma capacidade ociosa em torno de 26,4% que pode ser utilizada. Caso isso aconteça, provavelmente superaremos a Alemanha e a Áustria, hoje com 31,1% e 19,1% respectivamente.

## 6.2. Criação de Parcerias

A grave crise social existente em nosso país, que tem uma das piores distribuições de renda do mundo, tem levado um número cada vez maior de pessoas a buscar sua sobrevivência através da catação de materiais recicláveis existentes no lixo. São chamados de “catadores” e trabalham nas ruas, lixões e aterros.

Durante muitos anos o trabalho que eles desenvolviam não era reconhecido pela sociedade e, além, eram tidos como inimigos do sistema de limpeza urbana pela desordem causada com a utilização de espaço público para segregação e armazenamento dos materiais.

Com a organização da atividade esta situação começou a se reverter e, aos poucos, os catadores começaram a conquistar mais espaço e ganhar maior consideração: a mudança de trabalhadores anônimos a parceiros estratégicos de programas de coleta seletiva.

O trabalho dos catadores nas cidades brasileiras teve início muito antes da tomada de consciência ambiental, difundida na década de oitenta. As ações originais surgiram como uma estratégia de sobrevivência. Hoje em dia, além da motivação ligada à fonte de renda,

eles também são considerados agentes ambientais, colaboradores diretos do sistema de reaproveitamento de materiais recicláveis.

Um dos grandes ganhos dessa categoria foi a criação do fórum nacional Lixo e Cidadania, em 1998, constituído por diversas instituições, com objetivo de retirar crianças do trabalho no lixo e colocá-las na escola, ampliar a renda de famílias que vivem da catação e minimizar os lixões. Outra grande conquista foi o reconhecimento pelo Ministério do Trabalho e Emprego da categoria profissional “Catador de materiais recicláveis”, em 2002.

A jornada de trabalho de um catador de lixo reciclável não é fácil: ele passa 16 horas diárias revirando resíduos em busca de garrafas plásticas, latas de alumínio, papel e papelão, para, ao fim do dia, vender o material por um preço módico.

Uma maneira de melhorar a renda, recomendada inclusive pelo Ministério do Meio Ambiente, é a formação de organizações. Existem cerca de 600 organizações no Brasil, e elas ajudam a diminuir o tempo da coleta, a aumentar o valor dos produtos e proporciona mais segurança e higiene. Isso ocorre porque os catadores se organizam em grupos, conseguem juntar uma quantidade maior de material e o comprador intermediário acaba pagando melhor. O tempo de trabalho também fica melhor distribuído, já que existe um revezamento: enquanto alguns catadores saem para fazer a coleta, outros ficam separando o material ou negociando a venda.

### 6.3. A Organização dos Catadores

As formas mais comuns de organização são a associação e a cooperativa. A principal diferença entre elas é o fato de a primeira não ter fins econômicos e a segunda ser uma sociedade com fins econômicos.

A formação de uma cooperativa ou de uma associação requer maturação de idéias e conhecimento do seu funcionamento, já que sua constituição vai além de uma simples formalização jurídica.

O catador acostumado a trabalhar de forma autônoma e muitas vezes indisciplinada leva tempo para assimilar o significado de estar trabalhando em grupo. O processo de adaptação deve respeitar esse tempo.

#### 6.4. Vantagens das Parcerias

As vantagens com a criação de parcerias entre o poder público municipal e as organizações de catadores são:

- Geração de emprego e renda;
- Resgate da cidadania;
- Redução das despesas com programas de coleta seletiva;
- Organização do trabalho dos catadores nas ruas, evitando problemas na coleta e no armazenamento dos materiais em lugares públicos.

É importante que a verba revertida às organizações de catadores priorizem tanto investimentos em infra-estrutura (galpões de triagem, prensas, uniformes) quanto a valorização social dos trabalhadores, por meio de cursos de formação, por exemplo.

Outra alternativa é a contratação efetiva da organização de catadores como prestadora de serviços de limpeza urbana.

Uma pesquisa feita pela Faculdade de Saúde Pública (FSP) da USP em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (Procam) da USP e com o Centro Universitário Senac identificou e avaliou os programas de Coleta Seletiva de Lixo nos municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Resultados preliminares mostraram que, apesar de apresentarem deficiências, essas iniciativas são eficientes no combate ao desemprego e no estímulo à reciclagem.

Segundo a professora Helena Ribeiro, uma das organizadoras do estudo e do evento, além de baratear a coleta, esse modelo cria mecanismos de geração de emprego e inserção social e várias prefeituras têm adotado o modelo de realizar parcerias com cooperativas de catadores para coleta seletiva, principalmente onde a falta de áreas para aterros sanitários pressiona o desenvolvimento de programas para minimização de resíduos.

A pesquisa verificou que a renda média dos catadores cooperados é de R\$ 400,00 ao mês, variando de R\$ 125,00 (valor mínimo, encontrado em Itapecerica da Serra) a R\$ 941,00 (valor máximo, encontrado em Barueri). As prefeituras costumam fornecer o caminhão para coleta e um local para triagem dos resíduos, além de cursos de capacitação e alfabetização. A renda dos catadores é proveniente da venda do material coletado e selecionado para empresas e indústrias.

O número de cooperados cresceu 328% em quinze anos, desde o início dos programas de parceria com as associações. Atualmente, cerca de 1.200 catadores participam de cooperativas. Mas, segundo estimativa do Instituto Polis, o número de catadores autônomos, que acabam concorrendo com os cooperados, pode chegar a 20 mil na Grande São Paulo.

Os resultados também apontam que é preciso realizar avaliações da saúde dos catadores e aumentar a fiscalização, verificando se eles estão realmente livres de contaminação.

O elemento mais importante no sucesso dos programas de coleta seletiva é a participação da população, pois é ela que garante o material para reciclagem. Para isso, é necessário que ela aprenda a separar o lixo de maneira adequada, já que grande parte do lixo reciclável acaba sendo descartado devido à contaminação por outros resíduos.

#### 6.5. Comercialização dos Produtos

Um dos principais fatores que garantem o fortalecimento e o sucesso de uma organização de catadores é a comercialização dos materiais recicláveis. Os preços de comercialização serão tão melhores quanto menos intermediários existirem no processo até o consumidor final, a indústria de transformação. Para isso é fundamental que as seguintes condições sejam atendidas:

- Boa qualidade dos materiais: seleção por tipo de produto, baixa contaminação por impurezas e formas adequadas de embalagem;
- Escala de produção e estoque: quanto maior a produção ou estoque à disposição do comprador, melhor será a condição de comercialização;
- Regularidade na produção e na entrega ao consumidor final.

#### 6.6. Viabilidade de uma Parceria

Dado que os cooperados são considerados trabalhadores autônomos, por não haver vínculo empregatício e receberem de acordo com sua coleta, em longo prazo, é mais barato criar uma cooperativa a comprar o material, já que o preço de qualquer mercadoria representa seu custo mais o lucro do negócio.

Seguindo dados do Movimento Nacional de Catadores, para a criação de uma cooperativa são necessários, em média, R\$ 4.000,00 per capita. Para o número mínimo de vinte pessoas exigidos por lei, teríamos um investimento inicial de R\$ 80.000,00. Considerando R\$ 1,10 como o valor de venda para cada quilograma dos flocos ([www.plastico.com.br](http://www.plastico.com.br)) e uma produção mensal de 100 toneladas, seria necessário pouco menos de um mês de produção para pagar o investimento.

Porém, não é possível obter a matéria-prima necessária apenas com 20 cooperados, através de uma estimativa seria necessário cerca de 90 coletadores para suprir a produção diária de 3,3 toneladas de *flakes*. Logo, inicialmente pode-se comprar o material de outras cooperativas para atender à necessidade da empresa e, posteriormente, com o crescimento da cooperativa será possível ter um abastecimento próprio.

## 7. Visitas

A fim de conhecer o processo da utilização de PET reciclado para a fabricação de tecidos com diversas finalidades, foram realizadas duas visitas:

- UNNAFIBRAS: tem capacidade para produzir 2.500 ton/mês de vários tipos de fibras poliéster, atendendo diversos segmentos industriais. Oferecendo uma vasta gama de títulos, secções transversais, cortes, lustro, cores e outras características específicas, a Unnafibras tem seus produtos presentes em praticamente todas as aplicações: não tecidos, tapetes e carpetes e enchimentos. Sua fabricação parte da reciclagem de materiais plásticos descartados e, também, da compra de matéria-prima virgem.

- INYLBRA: Está presente no mercado brasileiro há mais de 30 anos, e certificada ISO 14001 (BVQI), conta com um parque industrial de 48.000 m<sup>2</sup> capacitado a produzir tapetes agulhados, carpetes em rolo ou placas e tapetes tufting distribuídos entre varejo, revenda, automotivo e também para o segmento empresarial em escritórios, hotéis, bancos e outros.

Apesar da empresa contar com um galpão próprio para recebimento, estoque, separação, limpeza e moagem das garrafas coletadas em *flakes* este processo deixou de ser viável devido ao alto custo, fazendo com que a empresa compre o *flake* dentro da especificação de qualidade desejada da empresa Newpet (RJ).

Faremos aqui uma breve descrição do processo de fabricação do carpete automotivo que utiliza em sua fabricação apenas a fibra obtida do PET reciclado, neste caso apenas a garrafa transparente é utilizada - este tipo de garrafa é aquela que ainda não foi reciclada e devido a esse fato possui maior resistência.

Através de sucção, os *flakes* são transportados para dentro da extrusora, onde através de uma temperatura próxima a 370°C e do aumento de pressão devido ao fuso o material é derretido. Neste momento é importante que não exista impurezas misturadas ao material o que pode comprometer todo o processo de fabricação da fibra modificando suas propriedades mecânicas e químicas, para isso antes dos *flakes* serem utilizados são feitos testes de qualidade em amostras de cada lote.

Nesta etapa do processo são adicionados flocos de corante responsáveis pela coloração final da fibra, são feitas fibras de diversas cores que podem ser misturadas posteriormente para obtenção de cores secundárias.

Com o material em um estado pastoso, ocorre sua extrusão que se dá pela saída do PET derretido por diversas agulhas que possuem diâmetro de saída maior que o diâmetro desejado ao final do processo. Após a extrusão, o filamento passa por uma refrigeração a base de água que solidifica o material mantendo-o ainda a uma alta temperatura, após essa fase o filamento passa por um processo de estiramento, detalhado posteriormente, que controla o seu diâmetro final e a sua resistência à tração. Ao final do primeiro estiramento o fio ainda não está com o diâmetro desejado, para isso o filamento é reaquecido por um forno passando por outro processo de estiramento que finalmente reduz o diâmetro até o tamanho ideal. O controle do diâmetro é feito por estiramento, pois o fio está a menores temperaturas o que evita sua distorção devido à mudança de estado do material.

Após a obtenção dos filamentos estes passam por uma máquina responsável pela diminuição do tamanho das fibras e ao fim deste processo eles são separados por cor, que é atribuída ao material no processo de extrusão. A coloração final é atingida através da mistura das cores existentes, a mistura se dá por quantidade dos aglomerados de fibras, que é a forma de estoque utilizado, colocado manualmente em esteiras que enviam as fibras para a máquina misturadora. Em seguida, os filamentos passam por um processo de entrelaçamento, originando uma manta muito fina, que através da superposição de diversas camadas dessa manta e por um processo de agulhamento dá-se origem à manta final. Para dar acabamento a esse tecido utiliza-se navalha ou agulha sendo que, no primeiro caso, temos uma melhor qualidade do processo o que por sua vez é utilizado em automóveis de luxo.

Esse último formato recebe um banho de látex que será fundamental para manter a forma do molde do assoalho de cada automóvel, aplica-se também uma resina que evita sua fragmentação no processo de moldagem. O aplicar deste material à manta impossibilita sua reutilização, logo qualquer problema de qualidade que ocorra após esta etapa corresponde a prejuízo para a empresa.

Para evitar uma possível retração o blanque descansa por 24 horas para reduzir sua temperatura a temperatura ambiente, após esse período inicia-se a penúltima etapa do processo a moldagem. O blanque é pré-aquecido para facilitar a moldagem, cada molde é feito de alumínio e através de um sistema interno de refrigeração a água, mantém-se sua temperatura próxima a 15°C necessário para manter o formato desejado. Com o blanque

moldado são feitos os cortes com jatos de água para tirar excessos finalizando a produção do carpete.

## **8. Extrusora**

A extrusão é um processo de produzir um produto (ou extrudado) através da passagem forçada de um material por um orifício ou ferramental.

### **8.1. Configuração da Extrusora**

A rosca rotativa e o canhão são as principais unidades que agem para transportar o material plástico na máquina. Uma vez fundido, o plástico é forçado a passar pelo ferramental. A unidade de acionamento, baseada normalmente em um motor elétrico, efetua a rotação da rosca a uma velocidade pré-determinada que pode ser ajustada para qualquer valor dentro de uma gama estabelecida (máquinas de sopro comumente possuem duas faixas de velocidade: uma baixa, utilizada para PVC, e uma alta, para PEAD).

Controladores de temperatura são conectados aos elementos de aquecimento e refrigeração no canhão para manter a temperatura no ponto pré-ajustado. A capacidade da unidade rosca/canhão de extrudar um determinado material não depende apenas das características do material plástico, mas também das características de construção da rosca e do canhão e da maneira que o sistema é operado.

### **Equipamento de Pós-Extrusão**

Uma vez que o extrudado está saindo do ferramental, ele pode adquirir a forma já produzida ou a forma pode ser alterada e fixada. O equipamento que efetua tal operação é chamado de “equipamento de pós-extrusão”. Em termos de tamanho, muitas vezes é maior que a própria máquina extrusora, isso se deve ao fato de materiais plásticos necessitarem de tempo considerável para serem resfriados; o processo de resfriamento é tão prolongado que determina a velocidade da linha de produção.

### **Extrusão e Termoplásticos**

A maior parte dos termoplásticos é processada por extrusão, chegando a 65%. O tipo mais comum de extrusora é a de rosca única, por ser simples, barata e eficiente.

Para extrudar um material termoplástico é necessário primeiramente amolecê-lo para possibilitar a moldagem, o que é normalmente feito com calor. O movimento relativo entre rosca e canhão força o material em direção ao ferramental (cabeçote).

### Configuração do Material e Equipamento

Na moldagem por extrusão, muitas vezes é necessário utilizar materiais com alto peso molecular. Tais materiais podem exigir muito da extrusora. Portanto a extrusora deve ser capaz de manusear materiais com grande variedade de propriedades de fluxo, já que materiais de baixa massa molecular podem ser processados.

Devido à dificuldade de processar materiais de alto peso molecular, como o PVC, existe interesse na utilização de máquinas com rosca dupla.

### Temperatura do Extrudado

Independentemente do material processado, as temperaturas de plastificação devem ser mantidas as mais baixas possíveis para reduzir os tempos de refrigeração. A extrusora deve ser capaz de acomodar a adição de quantidades variáveis de aditivos, como materiais para coloração, estabilizadores, material recuperado, etc.

### Canhões Ranhurados e Roscas sem Compressão

Quando uma rosca convencional está sendo usada para extrudar um material plástico, uma quantidade de calor considerável está sendo gerada, devido à taxa de compressão de rosca. Para evitar este fenômeno existem máquinas que possuem roscas de compressão zero, isto é, a profundidade do filete da rosca é a mesma em todo o seu comprimento. Tais roscas de compressão zero normalmente estão sendo utilizadas em conjuntos com canhões, que possuem ranhuras longitudinais na zona de alimentação do canhão.

### Requisitos de Polímeros

Qualquer material deve ser consistente, tanto em sua forma como nas propriedades. O polímero deve fluir uniformemente e imediatamente após a expulsão não deve deformar.

Por isso a viscosidade deve ser alta, o que acarreta problemas de processamento. A temperatura deve ser baixa para conferir rigidez à massa, evitando alongamento e permitindo a inflação suave e uniforme. Alta rigidez e capacidade de extensão da massa são essenciais.

Idealmente o material dever ser capaz de ser processado rapidamente, sem decomposição ou degradação e com baixo custo.

### Processo Básico

- 1 - CONFECÇÃO DA MISTURA;
- 2 - CONFECÇÃO DO MATERIAL NA EXTRUSORA;
- 3 - FABRICAÇÃO DO PRODUTO NA EXTRUSORA;
- 4 - CONTROLE FINAL DO PRODUTO;
- 5 - MONTAGEM.

### Materiais da Alimentação

A maioria dos polímeros usados na extrusão possui peso molecular elevado e são altamente viscosos quando no estado derretido. Para processar tais materiais a bomba da extrusora deve trabalhar sob altas pressões e temperaturas. O termoplástico é a alimentação predominante para processos de extrusão.

Tabela 14 – Polímeros utilizados em processos de extrusão

Sigla	Polímero Baixo
<b>POLÍMEROS AMORFOS</b>	
ABS	acrilonitrilo-butadiene-acrylonitrile-butadiene-styrene
PMMA	methylmethacrylate poly
TÁXI	butyrate do acetato da celulose
PC	polycarbonate
Picosegundo	poliestireno

<b>PVAC</b>	acetato polyvinyl
<b>PVAL</b>	álcool polyvinyl
<b>San</b>	styrene-acylonitrile-acylonitrile
<b>UPVC</b>	unplasticised o cloreto polyvinyl (rígido)
<b>PPVC</b>	cloreto polyvinyl (flexível) plasticised
<b>HIPS</b>	poliestireno elevado do impacto (borracha toughened)
<b>SEMI-CRISTALINO</b>	
<b>POM</b>	polyoxymethylene; polyformaldehyde (polyacetal)
<b>EVAC</b>	copolymer do acetato do vinil do etileno
<b>Pa</b>	polyamide (nylon)
<b>PETP</b>	terephthalate do polietileno (poliéster)
<b>PBTP</b>	terephthalate </td> do polybutylene
<b>Ldpe</b>	polietileno da densidade baixa
<b>LLDPE</b>	polietileno linear da densidade baixa
<b>HDPE</b>	polietileno elevado da densidade
<b>Pp</b>	polypropylene (homo- e co-polymers)
<b>TPX</b>	pentene poly 1 de 4 methyl
<b>PTFE</b>	polytetrafluoroethylene (extrusão da ram somente)

## Processo

O material (polímero) da alimentação é derretido sob a ação do parafuso e do tambor com calor, fricção e pressão. O polímero derretido é então forçado através do ferramental, refrigerado e coletado. Para a refrigeração se utiliza ar ou banho de água.

Para um processo com material fino ou muito flexível, ele é coletado em rolos após a refrigeração. Para material rígido corta-se o extrudado dependendo de fatores como facilidade de transporte, empilhamento, entre outros.

Devido à combinação natural de viscosidade e elasticidade dos polímeros há alguma recuperação após sua passagem pelo ferramental. Pela natureza elástica, ele “recorda” sua

forma original, resiste às alterações impostas pelo processo e pode recuperar em parte sua forma anterior. A viscosidade do polímero não tem memória e aceita rapidamente a forma forçada pelo cabeçote. A combinação, comportamento viscoelástico, resulta em um inchamento após a passagem através do cabeçote.

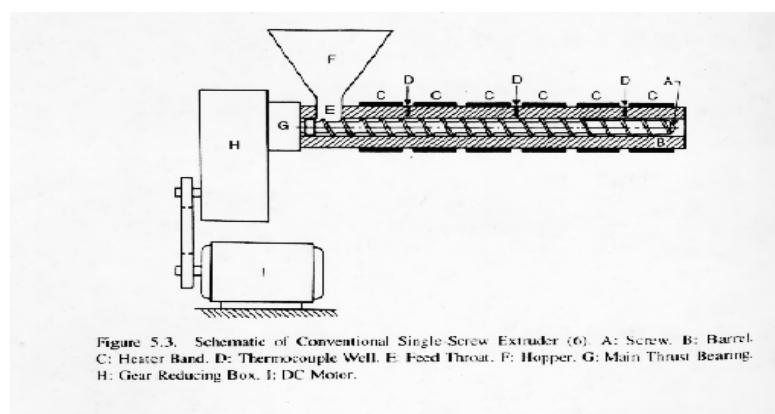
Desde que haja considerável diminuição da seção transversal passando do tambor para o ferramental, os inchamentos do polímero retornam parcialmente à sua forma anterior. Assim o produto final da extrusão não tem o tamanho da passagem do cabeçote, mas é maior. Isto deve ser controlado de modo que o produto final seja do tamanho desejado.

Os fatores que afetam o inchamento são: tipo do polímero, distribuição do peso molecular, temperatura, corte, enchimento, entre outros.

## Equipamento

[I]

Figura 13- Exemplo de uma extrusora.



### 1) Alimentação

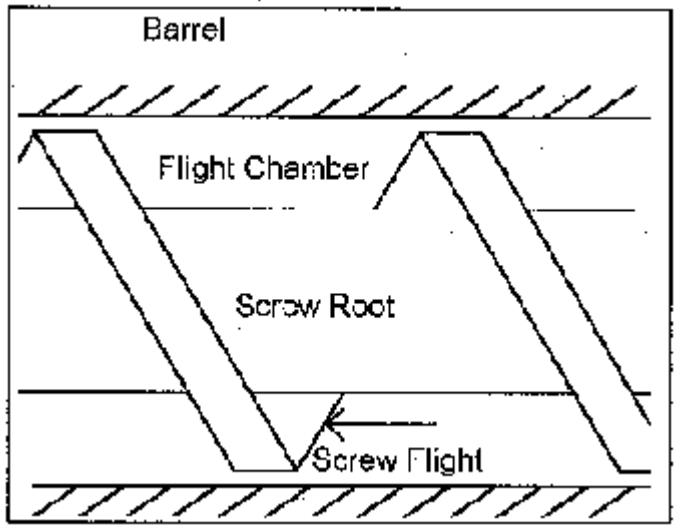
O material da alimentação tem forma de pó ou pelotas.

A gravidade alimenta a superfície superior do parafuso exposta, que puxa continuamente o material no tambor.

## 2) Tambor

[II]

Figura 14 – Detalhe interno de um tambor.



O tambor é aquecido para derreter o polímero e tem diâmetro interno constante e paredes que suportam altas pressões. O tambor se estende por todo o comprimento do parafuso desde o ponto de alimentação até o de saída do material, com elemento de aquecimento envolvendo sua parte externa. A escala de tamanhos do tambor é 3/4 a 24 polegadas do diâmetro interno.

## 3) Parafuso Convencional

O parafuso é o responsável pela alimentação da máquina. A forma do parafuso (figura 14) determina sua rotação, a velocidade com que a alimentação se move e a pressão alcançada no tambor. A haste central do parafuso é chamada de núcleo. O diâmetro do núcleo é um fator principal para se determinar a pressão no tambor. A relação L/D é a característica usada para descrever o tamanho do parafuso. O L é o comprimento total do parafuso, enquanto D é o diâmetro interno do tambor. As extrusoras mais curtas têm uma relação de 12, os mais longos 42. Plasticating convencional ou o único parafuso do estágio têm três regiões básicas; a alimentação, a transição e as seções metering. A alimentação ou os sólidos que fazem saber à zona que transporta a alimentação away do funil no tambor incluído. A alimentação está ainda em um pó contínuo ou o estado pelletized e o parafuso

têm vôos profundos nesta seção. A zona da transição é o lugar onde a compressão ocorre enquanto o diâmetro da raiz aumenta e o processo de derretimento ocorre da fricção e do calor do tambor. A profundidade dos vôos diminui ao longo desta seção porque a raiz muda o tamanho. A zona metering é a última seção antes do dado assim que o polímero é derretido e a profundidade dos vôos é rasa e rather constante.

Figura 15 – Detalhamento da entrada e da saída do material na extrusora. [III]

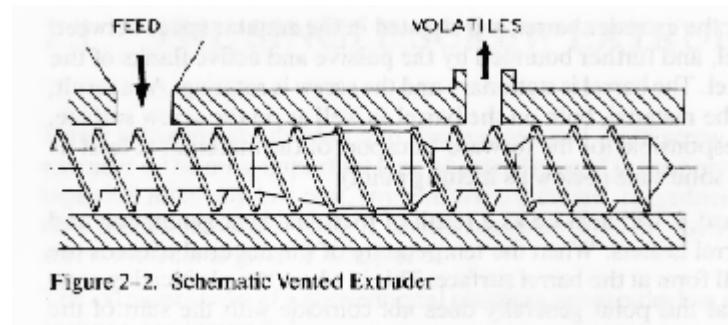


Figure 2-2. Schematic Ventilated Extruder

## Produtos

Os produtos podem ser formados com seções transversais contínuas ou com cavidade. Aqueles de seções transversais contínuas tais como ângulos, hastes ou tiras são feitos predominantemente por um processo muito uniforme. O tambor é mantido em uma temperatura fixa para fornecer um derretimento constante, a velocidade do parafuso é também fixa assim estes resultam em fluxo uniforme.

Figura 16 – Extrusão de tubos [IV]

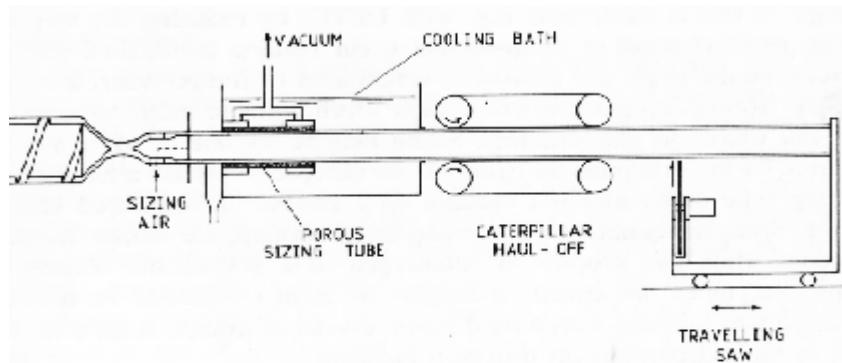
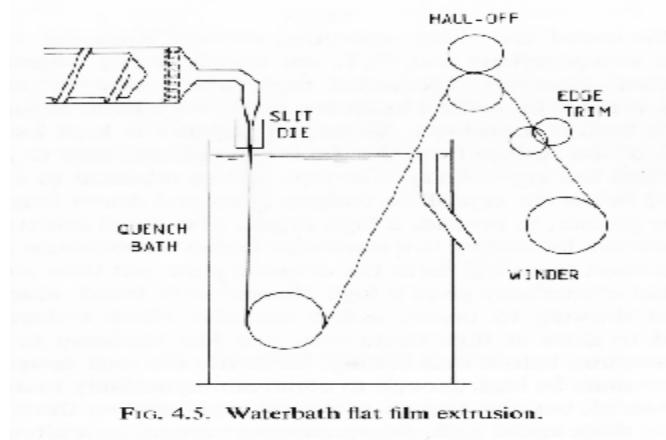


FIG. 4.1. Tube extrusion.

Os produtos com seções transversais ocas, tais como os tubos, requerem ferramental especial que atenda suas geometrias e que são fixados na extremidade de saída do fuso.

Figura 17 – Resfriamento do filamento após sair da extrusora

[V]



### Design Mecânico da Fieira da Extrusora

O design mecânico da fieira, ou seja, o cálculo das forças e deformações durante o funcionamento da extrusora é importante por dois motivos: para assegurar que a fieira não será danificada durante seu funcionamento e também para manter a forma geométrica do canal de distribuição durante seu funcionamento.

A importância da aplicação do design mecânica é:

- O formato da rosca do fuso que são fundamentais para manter a pressão interna evitando refugo, vazamentos ou entrada de ar;
- O formato interno da parede do canhão que deve aceitar pequenas deformações devido à pressão;
- O design mecânico de um possível sistema de controle do diâmetro de saída da fieira variando o diâmetro do extrudado;

O design mecânico é sempre ligado ao design reológico, neste a geometria do canal de escoamento é definida, assim a distribuição de pressão deve ser estimada considerando o escoamento na faixa de operação desejada, ou seja, com o material com viscosidade alta, menor temperatura e maior vazão. Com isso a pressão e os esforços solicitantes que agem na fieira são conhecidos.

Os esforços podem ser obtidos a partir das tensões e das áreas do canal de escoamento, o peso da fieira deve ser considerado no design do tamanho e da largura da fieira.

Contudo não há um método universal para formatação do design de uma extrusora, existem diversas concepções para uma fieira. Neste estudo será focado uma placa circular com orifícios e os passos para se obter suas dimensões.

### Extrusão de Monofilamento

As primeiras linhas de monofilamento foram desenvolvidas imediatamente depois da introdução comercial de tipos de polímeros termoplásticos.

O uso desses monofilamentos como substitutos de produtos naturais e em muitas aplicações industriais vem aumentando, juntamente com o desenvolvimento em tecnologia de processo e projeto de máquinas.

Monofilamentos são como fios de polímero cujas propriedades são obtidas por estiramento. Normalmente têm seção transversal circular e a orientação paralela de suas moléculas é produzida por estiramento.

Em seu processo de produção o polímero é fundido na extrusora, comprimido, homogeneizado e transportado sob pressão pelo fuso. No cabeçote o polímero é forçado através de filtros e furos da ferramenta, que determinam a seção do filamento. Para fixar a seção e atingir o estado sólido os filamentos passam através de um fluido refrigerante até atingirem uma temperatura abaixo do ponto de fusão.

A quantidade de calor a ser removida durante esse processo de resfriamento é dada por:

$$Q = m(h_2 - h_1) \quad [5]$$

onde m é a massa fundida que atravessa o fluido,  $h_2$  a entalpia específica do fundido e  $h_1$  a entalpia específica dos monofilamentos resfriados. Os valores das entalpias podem ser

encontrados em diagramas que mostram a entalpia específica em função da temperatura do material.

Depois de sair do banho de resfriamento os filamentos são reaquecidos e esticados até obterem um comprimento bem maior que o original.

Para se obter a orientação paralela da cadeia de moléculas, os filamentos devem ser reaquecidos para o estiramento. A temperatura ótima de estiramento varia com o tipo de polímero e das propriedades que se deseja ao filamento.

A força de estiramento é dada por:

$$F = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot i \cdot \sigma_s \quad [6]$$

onde  $d$  é o diâmetro do monofilamento não estirado,  $i$  o número de monofilamentos e  $\sigma_s$  a tensão específica de estiramento, que deve ser determinada durante a produção ou em experimentos. A tensão específica de estiramento depende da taxa de estiramento, da temperatura e da velocidade de estiramento.

Para reduzir forças residuais ainda presentes no filamento depois do estiramento, os monofilamentos são reaquecidos e o encolhimento longitudinal é permitido.

A produção de monofilamentos requer muitos passos em seu processo e suas propriedades são determinadas por fatores como o tipo de polímero, como ele funde na extrusora, ponto de fusão, a geometria do fuso e dos furos da ferramenta, a temperatura do banho refrigerante e o modo que o filamento o atravessa, entre outros.

## Estiramento

Depois da extrusão e resfriamento os filamentos de PET não estirados apresentam estrutura amorfa. Para adquirir estrutura semicristalina os monofilamentos são pré-estirados a uma temperatura entre 70°C e 90°C. Um segundo estiramento acontece num forno a uma temperatura entre 200°C e 250°C, próxima ao ponto de fusão.

Os parâmetros de processo mais importantes e que são mantidos constantes são: temperatura da extrusora, da ferramenta, de fusão e do banho refrigerante, pressão de bombeamento, velocidade de estiramento e temperatura do forno.

O pré-estiramento pode ser feito tanto em banho de água quanto em forno de ar quente, que permite o processo a temperaturas acima de 100°C (necessário para produção de monofilamentos de nylon com alta tenacidade, por exemplo).

## 8.2. Componentes da linha de fabricação

### Alimentação de polímero

O modo de alimentação da extrusora depende da capacidade de saída da linha, o número de linhas e das propriedades do polímero a ser processado.

Linhos de pequeno volume de produção, utilizadas na produção de monofilamentos de diâmetro entre 0,1 mm a 0,2 mm, podem ser alimentadas manualmente. Em linhas de maior volume de produção a alimentação pode ser pneumática ou através de uma transportadora dos grãos posicionada sobre o contêiner do polímero, ao lado da extrusora. Se muitas linhas processarem o mesmo material, a alimentação pode ser feita por um sistema de alimentação central.

Materiais higroscópicos (capazes de reter água) devem estar secos na alimentação: os grãos são aquecidos num contêiner rotativo sob vácuo, para que sejam separados e, somente eles, utilizados no processo.

Na torre de secagem o ar quente é soprado sobre o fluxo contínuo de grãos de cima para baixo, e o ar úmido é drenado.

Se materiais higroscópicos forem extrudados em meio a uma mistura, ou seja, não puros, há degradação química e perda de viscosidade, resultando em considerável deterioração das propriedades do filamento. O máximo de mistura para o PET não deve exceder 0,005%.

### Extrusora

A extrusora padrão para linha de produção de monofilamentos é uma máquina de único fuso, principalmente pelo grande período de vida útil, baixos investimentos e maior flexibilidade de operação comparada a outros sistemas.

Os diâmetros típicos do fuso estão entre 45 mm e 90 mm, com comprimentos entre 24 L/D até 30 L/D.

O tambor é normalmente aquecido eletricamente e resfriado com ar frio em regiões distintas, para que a temperatura do processo de extrusão se ajuste adequadamente ao tipo de material.

Normalmente o fuso também é equipado com componentes misturadores para garantir a homogeneidade do material fundido e uniformidade de sua temperatura.

### Cabeçote

No cabeçote o material fundido é filtrado e, se necessário, refiltrado, e adquire forma de monofilamento. O projeto e a manufatura do cabeçote devem ser minuciosos, para se conseguir as dimensões do filamento com pequenas tolerâncias.

O fundido deve chegar no cabeçote por cima e em seu centro, e sua distribuição, filtragem e transporte até a ferramenta não devem permitir surgimento de pontos de estagnação no fluxo. O tempo de permanência no cabeçote deve ser igual para todo o material.

A rápida e fácil troca do cabeçote é essencial para uma operação livre de problemas.

Uma grande superfície de contato entre o conjunto de fiação e o cabeçote garante equalização de temperatura entre os dois componentes.

Um dos sistemas de aquecimento do conjunto de fiação, mais barato e mais utilizado, é um sistema elétrico que de placas aquecedoras fixadas em sua superfície externa. A área aquecida contém sensores de temperatura conectados eletricamente ao controlador, que monitora e ajusta as temperaturas.

O cabeçote normalmente é aquecido eletricamente, independente do sistema usado para aquecer o conjunto de fiação. Seu controle também é separado, mas existem projetos em que ele é aquecido simplesmente por condução devido ao contato.

No cabeçote o material fundido é filtrado e sua passagem é forçada através dos furos da placa de fiação. Os filtros consistem de várias camadas de telas meio-finas, finas e super-finas, com poros de 0,15 mm até 0,25 mm (meio-finas), 0,08 mm até 0,12 mm (finas) e 0,03 até 0,06 (super-finas). Como opção, filtros de areia podem ser utilizados, com tamanhos dos grãos variando conforme as camadas.

A distribuição de furos na superfície da placa de fiação, que entram em contato com o material, é de extrema importância para se obter uniformidade nos volumes que atravessam os furos.

Para placas de fiação circulares é recomendado que os furos sejam alocados numa circunferência, entretanto, se houver mais de 80 furos, é necessário alocá-los em 2 ou 3 circunferências.

Não é possível aumentar indefinidamente o diâmetro da placa de fiação por causa da uniformidade da carga no material, além de a temperatura correr o risco de não ser uniforme na superfície.

A vida útil da placa de fiação depende da qualidade da sua superfície e da ferramenta.

O diâmetro do fura capilar  $d_k$  é determinado baseado no monofilamento  $d_m$  e considerando a taxa de estiramento e estiramento a quente:

$$d_k = d_m \cdot \sqrt{\lambda_1} \cdot \sqrt{\lambda_2} \quad [7]$$

onde  $\lambda_1$  é a razão entre a velocidade do primeiro estiramento e a do último estiramento, e  $\lambda_2$  é a razão entre a velocidade do primeiro estiramento e a do fluxo do material fundido nos furos da placa de fiação (razão de estiramento a quente).

Com o intuito de minimizar variações de diâmetro no filamento, a razão de estiramento a quente deve ser a menor possível. Por outro lado, ela deve ser grande o suficiente para garantir que a força de estiramento aplicada no filamento evite que ele passe pelo banho d'água de modo errado, causando variações no filamento.

O comprimento do furo capilar  $l_k$  é determinado por:

$$l_k = k \cdot d_k \quad [8]$$

onde  $k$  é um fator empírico que está entre 1,5 e 5,0. Com o intuito de aumentar a pressão no conjunto de fiação e otimizar a distribuição na placa de fiação, o fator  $k$  pode variar de 3,0 até 5,0.

Através de um sensor de pressão, a velocidade da rosca é regulada para que a pressão do material fundido seja constante, normalmente entre 60 e 120 bar.

Conforme as impurezas são acumuladas no filtro, aumentando a resistência contra o fluxo do material, a pressão aumenta continuamente até que o conjunto de fiação deva ser substituído.

### Bombas rotativas

Bombas rotativas têm boa precisão volumétrica e são utilizadas para transportar o material fundido, apesar do volume transportado ser pequeno.

A manufatura dessas bombas requer exatidão e qualidade de superfície. A sincronia do sistema deve admitir variação de não mais que 0,1%.

### Banho de resfriamento

Os monofilamentos que deixam a placa de fiação num estado fundido são resfriados no banho refrigerante para uma temperatura mais baixa que a de seu ponto de fusão. O meio de resfriamento normalmente é água.

Como as propriedades e dimensões dos monofilamentos dependem da velocidade de resfriamento, uniformidade do processo de resfriamento e da temperatura do meio, eles devem passar pelo fluido sem turbulência e devem sempre entrar com temperatura constante. Com a utilização de água como meio de resfriamento esses requisitos são freqüentemente alcançados.

O sistema de resfriamento engloba uma câmara, conectada ao banho de resfriamento, que aquece ou resfria a água e, através de uma bomba, mistura essa água com a do banho, ajustando assim a sua temperatura.

Os monofilamentos, que são imersos no banho de resfriamento verticalmente e são extraídos pela primeira unidade de estiramento. Para que o filamento saia do banho, um elemento que deflete seu curso é instalado dentro do banho. Esse elemento é ajustado verticalmente para prevenir alterações no diâmetro do filamento devido às forças de deflexão.

Os banhos, para linhas de monofilamentos, são projetados para serem verticalmente ajustados para que a distância entre a superfície da água e a placa de fiação seja rapidamente ajustada para as condições ótimas de produção.

### Secagem do monofilamento

Excelente qualidade de superfície e seção transversal uniforme só podem ser conseguidas se o monofilamento entrar absolutamente seco no processo de estiramento. Por esse motivo uma seção de secagem é incorporada à linha logo após o banho de resfriamento.

A água remanescente no filamento após o banho é extraída através de bocais de sucção e, algumas vezes, também são utilizados sopradores de ar quente para evaporá-la.

### Estiramento

Na maioria dos casos, as estações de estiramento utilizam apenas um motor.

As forças que agem no monofilamento são transmitidas aos rolos de estiramento através de fricção:

$$F_1 = F_2 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \quad [9]$$

onde  $F_1$  é a força de atrito que “chega” no rolo,  $F_2$  é a força de atrito que “sai” do rolo,  $\mu$  é o coeficiente de atrito entre o filamento e o rolo e  $\alpha$  é o ângulo de abraçamento do filamento no rolo.

O ângulo de abraçamento é determinado pelo modo com que os rolos são posicionados um em relação ao outro. A superfície dos rolos é projetada de modo a causar máximo atrito sem causar danos ao filamento.

A força  $F_2$  é função da razão de velocidades de cada etapa de saída de um rolo e entrada no próximo.

Os diâmetros dos rolos têm de 200 mm até 300 mm e, dependendo do número de filamentos que passa pelos rolos, seus comprimentos são de 450 mm até 1050 mm.

A alteração de velocidade em cada um dos rolos é necessária para reduzir gradativamente a tensão que o processo de estiramento causa no filamento, considerando sempre a elongação elástica do monofilamento. Essa alteração de velocidade também pode ser obtida com diâmetros diferentes para os rolos.

## Forno

A unidade que mais é utilizada para aquecer os monofilamentos seja para estiramento ou para ajuste de temperatura, é o forno. Normalmente seu comprimento está entre 2,5 m e 5 m. Para que o aquecimento do filamento seja feito por igual, o forno é composto por sistema de circulação de ar duplo, dividindo a parte superior da inferior.

Para otimizar a transferência de calor, as correntes de ar quente incidem no filamento por baixo e por cima com velocidade de 20 m/s e com ângulo de inclinação entre 30° e 40° em relação ao filamento. Normalmente o limite superior de temperatura é de 300°.

Para que as propriedades do filamento sejam constantes por toda sua extensão, a variação de temperatura no forno não é superior a 1°C e a variação da velocidade não excede 0,5 m/s.

## Layout da linha

Os pontos chave para se determinar o layout ótimo da linha são a escolha certa da extrusora e da geometria de sua rosca.

Um dos principais critérios para uma linha de monofilamento é a capacidade de saída  $\dot{m}$ , que depende do diâmetro do filamento  $d$ , número de filamentos  $i$ , velocidade de produção  $v$  e densidade do material  $\rho$ :

$$\dot{m} = \frac{d^2 \pi i v \rho}{4} \quad [10]$$

O tamanho da extrusora é definido com base na capacidade de saída desejada para um dado diâmetro de filamento e um dado número de filamentos.

### 8.3. O princípio da extrusão de fibras

O polímero é derretido na extrusora e passa através de um filtro para chegar no tubo de distribuição e, então, é direcionado para as fieiras. Com o uso de precisas bombas de engrenagem o material derretido recebe a forma de filamentos ao atravessar as fieiras. Na seqüência ele é resfriado, normalmente por circulação de ar, para que o contato entre os filamentos não provoque seu agrupamento: em alta temperatura, se os filamentos se encontrarem podem se unir e perder a geometria desejada.

Após o banho de resfriamento os filamentos são encaminhados para a seção de seu tratamento, onde passa por banhos de óleo mineral, reaquecimentos e estiramentos para orientação molecular.

### 8.4. Fuso

O fuso rotativo, ou rosca tem a função de receber o material do alimentador, transportá-lo e descarregá-lo com acréscimo de pressão. Os flocos de PET chegam no fuso através do alimentador, que tem a temperatura controlada para evitar o derretimento prematuro. O fuso tem sua potência vinda de uma unidade motora composta de motor, transmissão e mancais, e leva o polímero para o tambor, onde é derretido por fricção e aumento de temperatura.

As zonas de aquecimento do tambor precisam ser calibradas e distribuídas de maneira adequada para que não ocorram picos de temperatura. Devido à alta temperatura que o polímero alcança no processo, o tambor é termicamente isolado de modo a diminuir a perda de calor para o meio.

### 8.5. Fieira

A função da fieira é acomodar e aquecer as bombas de engrenagem e os *packs*, que além de prenderem as placas fieiras, no momento de sua substituição, são aquecidos por cerca de 8h a uma temperatura de 300°C para se igualarem à temperatura da máquina e se adequarem ao processo antes de serem instalados. Neles existem grãos de óxido de alumínio que são utilizados para orientar as moléculas do PET antes de passar pela fieira.

Na fieira os filamentos são formados pela pressão exercida no polímero derretido, o que faz com que ele atravesse furos finos, da ordem de 10-1 mm, no *pack*.

Do tubo de distribuição o polímero flui para as bombas de engrenagem, onde são medidos com relativa precisão e, então, é enviado para os *packs*.

Os adaptadores entre as saídas do tubo de distribuição e as entradas das bombas e, também, entre as saídas das bombas e as placas fieiras podem ser desmontados para limpeza.

#### 8.6. Bombas de engrenagem

O material vindo do tubo de distribuição, com cerca de 50 bar é encaminhado para as bombas por canais na fieira. As bombas alimentam com uma taxa constante os *packs*, onde os filamentos são extrudados. O polímero chega na bomba com a pressão do tubo de distribuição e é carregado nos vãos entre os dentes das engrenagens até a saída, conectada ao *pack*.

O requisito de não haver pontos de estagnação no escoamento do polímero, para que não haja degradação do material, também é válido para as bombas.

A precisão entre as bombas de engrenagem deve ser mantida dentro de uma tolerância de 0,5%.

A pressão requerida para forçar o material através dos furos da placa fieira é maior que 450 bar. A pressão interna à bomba é de 50 bar e na saída pode chegar a 400 bar.

#### 8.7. Resfriamento

Como os filamentos saem derretidos da fieira, a função do sistema de resfriamento é de resfriá-los até uma temperatura em que cada filamento esteja suficientemente sólido para ser transportado sem aderir aos outros.

O ar de resfriamento passa por um filtro e flui para a câmara de resfriamento, cuja face frontal é aberta e permite a saída do ar. Na câmara os filamentos são direcionados para baixo. Com o intuito de obter resfriamento uniforme dos filamentos, o escoamento do ar de resfriamento não deve ser turbulento para não prejudicar as condições de estiramento, acarretando em flutuação de diâmetro. Isso é garantido pelo filtro por que passa o ar antes de entrar na câmara, já que ele controla a distribuição da pressão do escoamento.

A velocidade do ar nos sistemas de resfriamento varia de 0,3 até 1m/s, dependendo do material a ser processado. Para filamentos têxteis o comprimento do sistema

normalmente varia de 1 até 1,5m, mas pode ser aumentada se houver maior fluxo de polímero. A temperatura geralmente utilizada é de aproximadamente 20 até 22°C. Não é necessário que o sistema de resfriamento esteja operando logo na saída da fieira; uma distância de 50 até 150mm pode ser utilizada.

## **9. Conclusão**

No gerenciamento do resíduo sólido urbano, a reciclagem surge como uma das vias para reduzir os resíduos sólidos aterrados em solo. Os plásticos constituem uma das classes de materiais com menor índice de reciclagem. Neste trabalho, as principais dificuldades encontradas para aumentar os índices de reciclagem dos plásticos e a proposta que está sendo utilizadas para mudar este cenário foram apresentadas. Este segmento representa todo um nicho de mercado que pode agregar valor e, principalmente, aumentar os índices de reciclagem de modo sustentável desde que haja investimentos em tecnologias inovadoras e economicamente viáveis.

A reciclagem é considerada uma prática de desenvolvimento sustentável, mas não pode ser considerada e nem é uma solução definitiva para o problema dos resíduos industriais e domésticos. É preciso entender que a solução deve ser uma mistura de atitudes mais abrangentes, que englobem as abordagens de minimização dos resíduos na fonte geradora e reutilização de produtos e embalagens. Depois de esgotadas essas opções, os resíduos deverão ser reciclados, para que desse modo a disposição final em aterros sanitários seja a menor possível. Alguns materiais como papel, vidro e alumínio, por seu apelo econômico e facilidade de mercado, dispõe de um sistema relativamente eficiente de coleta. Dessa forma, esses resíduos são encaminhados para a reciclagem. O mesmo não acontece com o plástico.

Os negócios que envolvem projetos de preservação ambiental podem se concretizar nas diversas etapas envolvidas e por isso são a garantia para a perenidade e aperfeiçoamento de tais iniciativas. Neste contexto, a reciclagem tem se mostrado excelente oportunidade de alavancar novos empreendimentos, traduzindo-se em geração de emprego e renda para diversos níveis da pirâmide social. Um aspecto que merece destaque é o fato de o mercado de materiais recicláveis – que conhecemos por lixo – e reciclados estar ao alcance do micro e pequeno empresário. Com investimentos da ordem de R\$ 140 mil reais é possível montar uma recicladora de plásticos diversos. Com R\$ 50 mil inicia-se um pequeno negócio no mercado de PET reciclável (ex. garrafas de refrigerantes, óleo comestível, etc), que se tem mostrado promissor.

Para um pequeno negócio de reciclagem de papel, visando à fabricação de artefatos de polpa moldada (ex. bandejas para ovos e frutas, calços para componentes eletrônicos,

entre outros) o aporte é da ordem de R\$ 150 mil. Até o coco pode ser reciclado. Um pequeno negócio para transformação de fibras de coco em bancos para a indústria automotiva ou em carpetes de grande aceitação no mercado requer um total de aproximadamente R\$ 60 mil de investimento inicial.

Não podemos esquecer das cooperativas de catadores, alternativa de emprego e renda para grande parte da população brasileira. Os catadores, aliás, são os maiores responsáveis pelos altos índices de reciclagem de alguns materiais, tais como latas de alumínio (73%) e papelão (71%). Em ambos os casos o Brasil situa-se em posição de destaque no cenário mundial. Tais cooperativas têm se transformado em empreendimentos cada vez mais rentáveis.

Entretanto, a falta de incentivos governamentais à atividade de comércio de sucatas e reciclagem tem sido um obstáculo a um crescimento mais acentuado do setor. Na verdade, antes de falar em incentivos é necessário eliminar os “desincentivos”, que não são poucos na esfera tributária, em níveis federal, estadual e mesmo municipal. Do ponto de vista federal pode-se destacar o IPI dos plásticos reciclados (12%) versus o IPI da resina “virgem” (10%); um contra-senso. Quanto ao ICMS, por que não dar créditos aos recicláveis e reciclados, comprados e vendidos? Neste sentido, o Governo do Tocantins está saindo na frente com uma legislação avançada a respeito.

Apesar das dificuldades encontradas, a reciclagem de resíduos sólidos, tanto industriais quanto urbanos, ganha cada vez mais fôlego no Brasil, graças ao espírito empreendedor, movido pela “garra” e criatividade do empresário brasileiro. As oportunidades existem, vamos então aproveitá-las.

## **Bibliografia**

- Manual do gerenciamento integrado – IBAM
- O poder público municipal e as organizações de catadores – IBAM
- Acervo Recicloteca
  - A Reciclagem de Plástico e o Meio Ambiente – Adilson Santiago Pires
  - Erigh, R.J., 1992, “Plastics Recycling – Products and Process”, 1<sup>st</sup> Edition.
  - Figueiredo, P.J.M, 1995, “A Sociedade do Lixo: Os Resíduos, a Questão Energética e a crise Ambiental”, 2<sup>nd</sup> Edition.
  - [I]; [II]; [III]; [IV]; [V]; Michaeli, W., 1991, “Extrusion Dies for Plastics and Rubber”, 2<sup>nd</sup> Edition.
  - Moura, L.A.A., 2002, “Qualidade e gestão ambiental: sugestões para implantação das normas ISO 14000”.
  - Rio, G.<sup>a</sup> P. (1996) Gestão ambiental: uma avaliação das negociações para a implantação da ISO 14.000.
  - ABNT, NBR ISO 14001, 1999, “Sistemas de gestão ambiental-Especificação e diretrizes para uso”.
  - Franco, N. C., 1997, “Um alerta para o valor da ISO 14000”
  - Oliveira, M., 1996, “IMPLANTANDO A ISO 9000 EM PEQUENAS E MÉDIAS ORGANIZAÇÕES” Ed. Qualitymark
  - [1], [2], [3], [4]
  - [5], [6], [7], [8], [9], [10] - Hensen, 1997, “Plastic extrusion technology”, 2<sup>nd</sup> Edition.
  - [www.dow.com](http://www.dow.com), acessado em 06/2006
  - [www.abpet.com.br](http://www.abpet.com.br), acessado em 05/2006
  - [www.abrafas.org.br](http://www.abrafas.org.br), acessado em 06/06
  - Plastivida - [www.plastivida.org.br](http://www.plastivida.org.br), acessado em 08/06
  - ABIPET – [www.abipet.org.br](http://www.abipet.org.br), acessado em 09/06
  - [www.plastico.com.br](http://www.plastico.com.br), acessado em 11/06
  - [www.sebrae-sc.com.br](http://www.sebrae-sc.com.br), acessado em 11/2006
  - [www.iso.ch/iso/en/prods-services](http://www.iso.ch/iso/en/prods-services), acessado em 10/2006