

CEETEPS – CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
PAULA SOUZA

LUIZ TADEU DE OLIVEIRA PITTON

AVALIAÇÃO SIMPLIFICADA DO FLUXO DE MATERIAIS NO SETOR
DE PLÁSTICOS - UM ESTUDO DE CASO

SÃO PAULO
DEZEMBRO - 2011

LUIZ TADEU DE OLIVEIRA PITTON

AVALIAÇÃO SIMPLIFICADA DO FLUXO DE MATERIAIS NO SETOR
DE PLÁSTICOS - UM ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do Título de Mestre em Tecnologia no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado em Tecnologia Gestão Desenvolvimento e Formação, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Maria Lúcia Pereira da Silva.

SÃO PAULO
DEZEMBRO - 2011

LUIZ TADEU DE OLIVEIRA PITTON

AVALIAÇÃO SIMPLIFICADA DO FLUXO DE MATERIAIS NO SETOR
DE PLÁSTICOS - UM ESTUDO DE CASO

PROF^a. Dr^a. MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA

PROF. DR. FRANCISCO TADEU DEGASPERI

PROF^a. Dr^a. LILIAN MARQUES SILVA

São Paulo, 12 de dezembro de 2011

Dedicatória

Ao meu pai, Isidoro (in memoriam) e à minha mãe, Maria Lúcia, que me ensinaram desde pequeno, a importância do estudo e do trabalho.

À minha esposa, Helena, pelo seu companheirismo, companhia, ajuda, apoio e compreensão nos momentos difíceis.

Aos meus filhos Luiz Fernando, Bruno Tadeu e Isabella Akemi pelo apoio e compreensão

Agradecimentos

A Deus, nosso pai celestial, ao divino mestre Jesus e aos bons espíritos pela ajuda e inspiração nos momentos mais árduos.

À Prof^a. Dr^a. Maria Lúcia Pereira da Silva, por sua valiosa orientação, sempre de maneira serena e objetiva na transmissão dos conhecimentos necessários para a elaboração deste trabalho.

Aos Profs. Drs. Dirceu, Francisco Tadeu, Elisabeth, Silvia, Senira, Márcia e Helena pelos conhecimentos passados, de grande importância, pela atenção e incentivo para atingir os objetivos.

À Prof^a. Dr^a. Lilian Marques Silva pela revisão ortográfica e sugestões para a formatação deste trabalho.

Aos colaboradores da secretaria de pós graduação: Cleonice, Sérgio, Carlos, Wallace, Neide, etc. sempre nos auxiliando e nos lembrando dos prazos importantes para a conclusão do curso.

Aos meus colegas contemporâneos de curso, pela convivência harmoniosa, pela troca de vivências e experiências profissionais e principalmente, pelo apoio e incentivo.

Aos meus familiares e aos familiares de minha esposa pelo apoio e incentivo no decorrer do presente trabalho.

Aos meus colegas, professores e funcionários da Rede Estadual das Escolas Prof. Carlos Pasquale, Dr. Murtinho Nobre e Roldão Lopes de Barros pelo incentivo.

Às empresas estudo de caso deste trabalho pelo acesso ao parque industrial e às informações necessárias.

Ao meu amigo, Ernesto Jundi Kinoshita, da empresa Legacy-Seisui, pela parceria e apoio nas pesquisas junto às empresas analisadas.

A todos os meus amigos sinceros, que sempre me incentivaram a seguir em frente nesta jornada.

Epígrafe

“Em relação a todos os atos de iniciativa e de criação, existe uma verdade elementar.

No momento em que nos compromissamos, a providência também se põe em movimento.

Todo um fluir de acontecimentos surge a nosso favor.

Como resultado da decisão, surgem todas as formas imprevistas de coincidências, encontros e ajuda, que nenhum homem jamais poderia ter sonhado encontrar.

Qualquer coisa que você possa fazer ou sonhar, você pode começar.

A coragem contém em si mesma o poder, o gênio e a magia”.

(Goethe)

PITTON, L. T. O. **AVALIAÇÃO SIMPLIFICADA DO FLUXO DE MATERIAIS NO SETOR DE PLÁSTICOS**, 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Mestrado Profissional, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2011.

Resumo – Este trabalho apresenta as informações prévias obtidas no estudo do fluxo de materiais do setor de plásticos, pois este setor apresenta uma produção expressiva, que pode originar um grande impacto ambiental. Portanto, neste caso, não só a minimização do consumo como o fechamento dos ciclos de produção representa melhoria significativa para a sustentabilidade. A metodologia utilizada corresponde ao estudo de caso, onde oito empresas foram avaliadas de acordo com as recomendações para fechamentos de ciclo na Ecologia Industrial, ou seja, consideram-se metabolismo industrial, simbiose industrial e, por conseguinte, o fluxo de materiais. Os resultados indicam que há grandes possibilidades para a melhoria da sustentabilidade pelo uso do conceito de simbiose industrial entre as áreas de alimentos, lubrificantes e plásticos.

Palavras-chave: Setor de plástico, Fluxo de materiais, Sustentabilidade.

PITTON, L.T. O. **AVALIAÇÃO SIMPLIFICADA DO FLUXO DE MATERIAIS NO SETOR DE PLÁSTICOS**, 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Mestrado Profissional, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2011.

Abstract – This work presents preliminary data on material flow analysis on plastic sector. This sector is responsible for expressive mass production, which may lead to environmental impact. Therefore, in such a condition not only consumption minimization but also cycling production will improve sustainability . The methodology used case study on eight different enterprises that were evaluated according to Industrial Ecology suggests regarding cycling production, i.e., mainly industrial metabolism, industrial symbiosis and, consequently, flow materials. Results indicate good probabilities on Sustainability improvement by industrial symbiosis concept implementation among some production areas, aliments, lubricants and plastics.

Keywords: Division of Plastic Flow of Materials, Sustainability.

Lista de Figuras

Figura 1- Classificação dos Plásticos.....	24
Figura 2 - Principais resinas termoplásticas – símbolos para reciclagem.....	26
Figura 3 - Produção Mundial de Plásticos (em milhões de toneladas).....	27
Figura 4 - Fluxograma Simplificado do Craqueamento Térmico do Petróleo.....	29
Figura 5 - Petroquímica do Eteno.....	30
Figura 6 - Petroquímica do Propeno.....	31
Figura 7 - Principais preocupações dos Stakeholders–UNEP.....	52
Figura 8 - Objetos produzidos com madeira plástica.....	58
Figura 9 - Intrusora para fabricação de madeira plástica.....	59
Figura 10 - Esteira para a separação de plásticos	60
Figura 11 - Moinho para plásticos.....	61
Figura 12 - Pré-lavadora para plásticos.....	62
Figura 13 - Lavadora/secadora.....	63
Figura 14 - Secadora horizontal para plásticos.....	64
Figura 15 - Secador para plásticos.....	65
Figura 16 - Secador para plásticos (funil).....	66
Figura 17 - Aglutinador para plásticos.....	67
Figura 18 - Extrusora para plásticos.....	68
Figura 19 - Granulador para plásticos.....	69
Figura 20 - Separação de resíduos.....	73
Figura 21 - Fluxograma da reciclagem de plástico.....	74
Figura 22 - Cadeia produtiva de produtos plásticos.....	88
Figura 23 - Quantidades de resinas produzidas - polos petroquímicos brasileiros (1999).....	90
Figura 24 - Cadeia produtiva do setor plástico.....	90
Figura 25 - Adaptação dos dados fornecidos pela Braskem em seu relatório ambiental.....	100
Figura 26 - Geração de Resíduos (kg/ton) - Período: 2002 a 2009.....	101
Figura 27 - Cadeia produtiva de produtos orgânicos.....	108
Figura 28 - Cadeia produtiva de produtos orgânicos.....	109
Figura 29 - Balanço de Massa - Produção de Resinas.....	113
Figura 30 - Balanço de Massa Produção de transformados.....	114
Figura 31 - Embalagens de lubrificantes na esteira de separação.....	119
Figura 32 - Embalagens de lubrificante moídas para a produção de madeira plástica.....	120
Figura 33 - Paletes produzidos com madeira plástica (embalagem de lubrificantes).....	120
Figura 34 - Paletes produzidos com embalagens de lubrificante em teste de utilização.....	121
Figura 35 - Fluxograma das Operações Unitárias	125
Figura 36 - Fluxograma da operação de limpeza dos sacos plásticos.....	126
Figura 37 - Pátio da empresa A com resíduos acumulados.....	128
Figura 38 - Plásticos contaminados.....	128
Figura 39 - Embalagens Plásticas lavadas para serem encaminhadas ao reciclador.....	129
Figura 40 - Sacos plásticos depois de lavados moídos	129
Figura A41 - Produção Mundial de plásticos (milhões de toneladas).....	150
Figura A42 - Produção Mundial de Plásticos por Blocos Econômicos.....	151
Figura A43 - Consumo per capita atual (base 2005) e previsto para 2015 (kg/hab).....	152
Figura A44 - Produção de transformados plásticos 2000 - 2009 (em 1000 toneladas).....	153
Figura A45 - Consumo aparente de transformados plásticos 2000 -2009.....	154
Figura A46 - Evolução da produção física de transformados plásticos 2008 - 2009.....	155
Figura A47 - Segmentação do mercado de transformados plásticos por aplicação.....	156
Figura A48 - Segmentação do mercado de plásticos por processo de transformação.....	158

Figura A49 - Mercado de transf. plásticos - Processo de Produção/Tipo de Resina.....	159
Figura A50 - Importação e exportação de transformados plásticos 2000 - 2009.....	160
Figura A51 - Importação e exportação de transf. plásticos - bloco econômico - 2009.....	161
Figura A52 - Importação e exportação de transf. plásticos – Principais países – 2009.....	162
Figura A53 - Produção e consumo de resinas termoplásticas 2000 - 2009.....	163
Figura A54 - Consumo aparente de resinas termoplásticas – 2009.....	164
Figura A55 - Importação e exportação de resinas termoplásticas 2000 - 2009.....	165
Figura A56 - Importação de resinas em 2009 em 1000 toneladas e % por resina.....	166
Figura A57 - Exportação de resinas em 2009 em mil toneladas e % por resina.....	167

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais Resinas Termoplásticas e Símbolos para a sua Identificação.....	25
Tabela 2 - Comparação entre Metabolismos do Ecossistema e do Sistema Industrial.....	76
Tabela 3 - Simbiose Industrial - Doação de resíduos para reciclagem (co-produtos).....	78
Tabela 4 - Simbiose Industrial - Parceria na distribuição de produtos.....	79
Tabela 5 - Perfis das empresas estudo de caso.....	85
Tabela 6 - Lista de resíduos de menor periculosidade , empresas , destinação final (%).....	92
Tabela 7 - Destinação de resíduos - Polo de Camaçari.....	93
Tabela 8 - Principais informações sobre resíduos - Relatório Petrobras (ano base 2009).....	94
Tabela 9 - Produção de resinas na segunda geração da cadeia de plásticos (ABIQIM).....	97
Tabela 10 - Produção de duas matérias-primas básicas para a área de resinas (ABIQUIM).....	98
Tabela 11 - GRI(EN24) Quantidades de resíduos tratados e destinados (kg e %).....	103
Tabela 12 - GRI(EN24) Peso total resíduos perigosos transportados e tratados (kg).....	104
Tabela 13 - GRI(EN24) Quantidade total dos resíduos perigosos e seu destino.....	104
Tabela 14 - Gráfico de Pareto para a informação contida na Figura 25.....	106
Tabela 15 - Fluxo de materiais na 1ª e 2ª geração de reagentes para o setor de plásticos....	107
Tabela 16 - Resíduos Catalogados como co-produtos, sua composição, quantidade produzida e a utilização mais provável.....	117
Tabela 17 - Exemplos de sugestões que foram testadas para o uso de co-produtos.....	118
Tabela 18 - Testes - Situação dos resíduos/co-produtos após 6 meses de estudo.....	123
Tabela 19 - Quantidade de resíduos gerados mensalmente.....	127
Tabela A20 - Estatísticas Balança Comercial.....	148
Tabela A21 - Tipos de produtos que compõem cada segmento de mercado (%).....	157

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABIEF - Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis
ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET
ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química
ABS – Copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno
ADIRPLAST - Associação Brasileira dos Distribuidores de Resinas Plásticas
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APEX Brasil - Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos
BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento
CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem
EVA - Etileno Acetato de Vinila
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
IAPD - International Association of Plastics Distribution
PBT – Poli(tereftalato de Butileno)
PC – Policarbonato
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
PEBDL – Polietileno de Baixa Densidade Linear
PET – Polietileno Tereftalato
PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S/A
PLASTIVIDA – Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos
POM – Poli(óxido)de Metileno
PP – Polipropileno
PPS – Poli(sulfeto de fenileno)
PS – Poliestireno
PTFE – Politetrafluoroetileno (Teflon®)
PU – Poliuretano
PVC – Policloreto de Vinila
SAN - Copolímero de estireno-acrilonitrila
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIRESP - Sindicato da Indústria de Resinas Plásticas

Sumário

1	INTRODUÇÃO DO TRABALHO.....	15
2	ASPECTOS TEÓRICOS.....	21
2.1	PLÁSTICOS.....	21
2.2	CLASSIFICAÇÃO E USOS DOS PLÁSTICOS.....	22
2.3	PRODUÇÃO MUNDIAL DE PLÁSTICOS.....	26
2.4	ESTRUTURA QUÍMICA DOS PLÁSTICOS COMMODITIES.....	27
2.5	FONTE DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA A FABRICAÇÃO DAS RESINAS.....	28
2.6	PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS PARA A FABRICAÇÃO DAS RESINAS.....	30
2.7	PROPRIEDADES DAS RESINAS COMMODITIES.....	31
2.7.1	POLIETILENO TEREFTELATO (PET).....	32
2.7.2	POLIOLEFINAS.....	32
2.7.3	POLIETILENOS (PEBD e PEAD).....	32
2.7.4	POLIPROPILENO (PP).....	33
2.7.5	POLI(CLORETO DE VINILA) (PVC).....	33
2.7.6	POLIESTIRENO (PS).....	33
2.8	PRODUÇÃO DAS RESINAS TERMOPLÁSTICAS.....	34
2.8.1	PRODUÇÃO DO POLIETILENO TEREFTELATO - PET.....	34
2.8.2	PRODUÇÃO DOS POLIETILENOS - PEBD e PEAD	37
2.8.3	PRODUÇÃO DO POLIPROPILENO - PP.....	41
2.8.4	PRODUÇÃO DO POLICLORETO DE VINILA - PVC.....	42
2.8.5	PRODUÇÃO DO POLIESTIRENO – PS.....	44
2.9	PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO DAS RESINAS COMMODITIES	47
2.9.1	MOLDAGEM POR EXTRUSÃO.....	48
2.9.2	MOLDAGEM POR SOPRO.....	48
2.9.3	MOLDAGEM À VÁCUO (VACUUM FORMING).....	48
2.9.4	MOLDAGEM ROTACIONAL OU ROTOMOLDAGEM.....	49
2.9.5	MOLDAGEM POR INJEÇÃO.....	49
2.9.6	CALANDRAGEM.....	50
2.10	ASPECTOS AMBIENTAIS.....	50
2.10.1	STAKEHOLDERS (PARTES INTERESSADAS) E A RECICLAGEM	52
2.10.2	REUTILIZAÇÃO.....	52
2.10.3	RECICLAGEM.....	53
2.10.4	RECICLAGEM DE MATERIAL AINDA EM PRODUÇÃO	55
2.10.5	RECICLAGEM PÓS CONSUMO.....	56
2.10.6	RECICLAGEM MECÂNICA.....	56
2.11	REVALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS.....	59
2.11.1	SEPARAÇÃO	59
2.11.2	MOAGEM.....	61
2.11.3	LAVAGEM.....	62
2.11.4	SECAGEM.....	64
2.11.5	AGLUTINAÇÃO.....	67
2.11.6	EXTRUSÃO.....	68
2.11.7	GRANULAÇÃO.....	69
2.11.8	RECICLAGEM ENERGÉTICA.....	70
2.11.9	RECICLAGEM QUÍMICA.....	72

2.11.10 DIFICULDADES SOCIAIS E ECONÔMICAS PARA A RECICLAGEM DOS PLÁSTICOS PÓS-CONSUMO NO PAÍS.....	72
2.12 ECOLOGIA INDUSTRIAL - CONCEITOS E FERRAMENTAS.....	74
2.12.1 ECOLOGIA INDUSTRIAL.....	74
2.12.2 METABOLISMO E SIMBIOSE INDUSTRIAL.....	75
2.12.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E O FLUXO DE MATERIAIS... ..	79
2.13 OBSERVAÇÕES FINAIS.....	81
3 METODOLOGIA.....	83
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
4.1 A CADEIA DE PLÁSTICOS E A FORMAÇÃO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL ..	86
4.2 CONCLUSÃO PARCIAL	106
4.3 STAKEHOLDERS AVALIADOS.....	110
4.4 SIMBIOSE INDUSTRIAL NA TERCEIRA GERAÇÃO.....	115
4.4.1 MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA FONTE.....	124
4.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	130
5 CONCLUSÕES FINAIS.....	131
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
ANEXO 1.....	146

1 INTRODUÇÃO DO TRABALHO

A sociedade atual é a mais ambientalmente impactante entre todas as que o homem pôde conceber, entre outras coisas, pelo desenvolvimento tecnológico obtido desde a revolução industrial. Com esse desenvolvimento, obtiveram-se melhorias no padrão de vida, mas também consequências ambientais sérias, que vão desde a extinção de espécies até a escassez de recursos, renováveis ou não (LOVELOCK, 2006).

No contexto atual, contudo, o homem não pode prescindir das soluções tecnológicas para mitigar e, quiçá, reverter os danos já impostos ao meio ambiente (LOVELOCK, 2006) e, neste contexto, insere-se o uso de uma classe de polímeros orgânicos, genericamente conhecidos como “material plástico”. “O uso de material plástico é tão disseminado devido a gama de propriedades que esse grupo apresenta e que se pode utilizar, tais como facilidade de moldagem, baixa densidade, boa resistência química, transparência à luz visível, etc. Assim, sua baixa densidade, por exemplo, permite uma menor emissão de CO₂ na etapa de transporte, e, portanto, diminui o efeito estufa associado à atividade, na produção de refrigerantes” (FABI, ENSINAS et al., 2004).

“A visão de que as atividades humanas, em especial as atividades industriais, não podem ser separadas dos ciclos naturais e que tais atividades devam ser analisadas para que formem ciclos fechados de produção e reciclagem, onde apenas a energia solar pode ser usada de forma ilimitada, é a base do conceito denominado por Ecologia Industrial. Este conceito, portanto, é a base para a análise das atividades humanas de modo a garantir a sustentabilidade das operações” (GIANNETTI, 2007).

“Dentro do conceito de Ecologia Industrial inserem-se definições igualmente importantes, como é o caso de fluxo de materiais, metabolismo e/ou simbiose industrial. O fluxo de materiais é um conceito bastante comum na área de logística, onde corresponde a avaliar como determinado produto flui na cadeia de produção; para a Ecologia Industrial, fluxo de materiais significa verificar como toda a matéria-prima, intermediários de produção, produtos e co-produtos fluem pelos processos de

produção. O retrato de como esses materiais são processados pelas atividades industriais é, então, denominado metabolismo industrial” (AYRES, 1994).

“A simbiose industrial, por sua vez, pressupõe a análise de como energia, subprodutos e co-produtos são trocados entre empresas, ou seja, o foco maior não é no produto principal de cada empresa, mas em sua interação com outros empreendimentos para a utilização de materiais que não estão contidos no fluxo de sua produção principal (ALLEMBY, 1999)”

Um sistema complexo de simbioses entre empreendimentos e ocorrendo numa área restrita é definido como Ecosistema Industrial (EHRENFELD, GERTLER, 1997).

O estudo das atividades produtivas com a abordagem da simbiose industrial apresenta uma série de vantagens, como citado, entre outros, por Bansal & McNight (2009). Os autores consideram que a simbiose industrial “ênfatiza a comunidade, a cooperação e a coordenação entre empresas, o que protege o ambiente, a justiça social e a prosperidade econômica de uma região”, isto é, favorece o tripé da sustentabilidade. Os autores, contudo, também alertam que há uma série de dificuldades, técnicas e sociais, para se conseguir implantar tal integração. Na análise destes autores as principais dificuldades técnicas advêm da quantidade e qualidade dos co-produtos enquanto as dificuldades sociais decorrem da necessidade de se confiar nos parceiros quanto a garantir qualidade e quantidade de tais co-produtos. Assim, a confiança entre os parceiros é fundamental para assegurar o êxito dos processos de trocas. Portanto, os autores defendem um modelo híbrido, onde a cadeia de suprimentos e a simbiose industrial atuam para obter ciclos de produção mais sustentáveis.

A questão da dificuldade em garantir os co-produtos em quantidade suficiente, segundo Ott & Sterr (2004), decorre das diferenças entre o sistema industrial e natural, pois neste último é incomum existir apenas um fornecedor para cada consumidor, ou seja, a redundância é abundante no sistema natural, mas não no industrial. Outras dificuldades, muitas vezes aparentemente pequenas, podem também explicar porque muitas tentativas de montagem de simbioses e/ou ecossistemas industriais falham. Um exemplo fornecido pelos autores é o parque industrial de Heidelberg-Pfaffengrund, na Alemanha. Neste parque a reciclagem de aparas de filmes de polietileno não apresenta dificuldade técnica, mas não foi implantada porque o recolhimento deste material é gratuito na cidade, e por isso o

produtor desta sucata se recusou a separá-lo do resíduo comum. Do mesmo modo, pequenas e médias empresas não possuem pessoal suficiente para verificar como dispor os resíduos, e, portanto, investem em minimização de sua formação. Outro fator importante, além da preocupação com o lucro, é a distância entre empreendimentos.

Apesar das dificuldades de implantação da simbiose industrial, as vantagens inerentes a essa abordagem tornou seu uso comum em países subdesenvolvidos - envolvendo desde grandes empresas até trabalho informal (BAIN et al., 2010), ou em países onde Ecologia Industrial já é estratégia de desenvolvimento, podendo utilizar-se também de resíduos urbanos (VAN BERKEL et al., 2009).

A produção e consumo de material plástico vem aumentando sobremaneira nas últimas décadas, o que torna o setor bastante adequado para uma avaliação dentro do contexto de fluxo de materiais. Um bom exemplo é o PET (polietileno tereftalato), cujo fluxo de produção e reciclagem foram recentemente estudados nos Estados Unidos (KUCZENSKI, GEYER, 2010) e no Brasil (COELHO, CASTRO, GOBBO JR., 2010), respectivamente.

Os dois estudos apontam que o crescimento do uso do material está intrinsecamente relacionado à produção de embalagens, especialmente as descartáveis, e também indicam como grande dificuldade para obtenção de um ciclo fechado a atitude do consumidor final, e, especialmente para o Brasil, a dificuldade de estabelecer uma logística de recolhimento adequada. Por outro lado, nos Estados Unidos, o baixo interesse dos consumidores finais com a reciclagem – que atinge níveis inferiores a 25% - leva a um ciclo aberto, onde ocorre importação e exportação tanto do produto virgem como do reciclado. De fato, material plástico está entre as sete sucatas mais exportadas pelos Estados Unidos até 2005 (as outras são: ferro e aço; papel; alumínio; cobre; níquel e zinco) e é uma das que apresenta maior aumento na quantidade de material exportado, cujo destino final é principalmente a China. A importação desse material é principalmente advinda do Canadá e México, devido ao acordo de livre comércio (NAFTA). Assim, os autores propõem que o material plástico seja visto como pertencente a um Ecossistema Industrial muito maior, com um alcance quase planetário, entre outras coisas, devido ao baixo custo de transporte entre continentes. Além disso, observa-se que a sucata exportada tem baixo valor agregado, mas não a importada (LYONS, RICE,

WACHAL, 2009). O mesmo não ocorre no Brasil, onde a reciclagem é da ordem de 50% e a importação diminuiu ao longo dos últimos cinco anos.

Aqui, o principal problema também é a coleta seletiva, não por culpa do consumidor final, mas pelo modo como esta ocorre no país, principalmente dependente do trabalho informal; neste caso o PET compete com o recolhimento de alumínio, que apresenta melhor preço, o que inibe sua coleta.

Enquanto a coleta e reuso de materiais plásticos pós-consumo recebe bastante atenção de pesquisadores, o mesmo não ocorre com os processos baseados nas trocas entre empresas que se encontram no meio da cadeia de suprimentos. Contudo, tais produtos, ou co-produtos, apresentam inegáveis vantagens, já que atendem aos critérios técnicos elencados anteriormente de boa qualidade e, provavelmente, de grande quantidade. Além disso, os materiais que se encontram nesse estágio de produção, aparentemente são mais utilizados para gerar energia do que matéria-prima. Segundo Hashimoto et al. (2010), um exemplo desta prática é caso do eco-parque industrial de Kawasaki, no Japão; neste conjunto de empresas, são consumidas anualmente 21,6 milhões de toneladas de materiais, sendo que 10% desta massa advêm de “resíduos”. Neste conjunto de empreendimentos, “resíduo plástico” é utilizado principalmente como combustível na fabricação do aço e como matéria-prima na fabricação de concreto além de uma pequena porção que é destinada à fabricação de amônia. A proposta dos autores para destinação do plástico pós-consumo do Japão que não seja reciclado é também seu uso como combustível nas empresas de aço ou cimento, num processo conhecido como co-processamento. Os autores consideram tal proposta um caso de simbiose industrial bem sucedido.

De fato, para alguns pesquisadores o uso mais ambientalmente correto para material plástico que tenha sofrido muitos processos térmicos, o que modifica suas propriedades mecânicas, ou encontre-se muito heterogêneo é a produção de nova matéria-prima – via rota química – ou de energia – via co-processamento (AL-SALEM, LETTIERI, BAEYENS, 2010).

Em Taiwan, segundo Wen-Tien Tsai, (2010), uso de polpa - resíduo da indústria de papel – cavacos de madeira, bagaço de cana e sucata plástica para a geração de energia é visto como estratégia sustentável, devido ao alto consumo de energia e grande produção de resíduos advindos da alta densidade populacional desta ilha.

Por outro lado, também existe a visão de que apenas a reciclagem é uma estratégia baseada na Ecologia Industrial e que é bastante efetiva, em decorrência da grande evolução técnica dos últimos anos (HOPEWELL, DVORAK, KOSIOR, 2009).

A questão de reuso de embalagens é especialmente crítica quando se trata do setor de alimentos, entre outras coisas, pelas limitações legais atualmente existentes. Assim, a reciclagem de materiais pós-consumo, em geral, recebe como sugestão a transformação em outros produtos “face os volumes disponíveis, possibilidade de aplicabilidade de tecnologias menos sofisticadas, amplo espectro de materiais disponíveis, existência de demanda e aceitabilidade no mercado interno de produtos fabricados com materiais reciclados e representar uma rota empresarialmente viável e ecologicamente correta” (FORLIN, FARIA, 2002).

Neste contexto, uma possível utilização do plástico, além das já citadas anteriormente, é a fabricação da madeira plástica, que possui propriedades iguais e até melhores que a da madeira natural, já que é mais adequada a locais úmidos e sujeitos a maresia (GUAMÁ et al., 2008)

Outros dois setores importantes são a indústria automobilística e a eletroeletrônica, enquanto a primeira é considerada “como propulsora do desenvolvimento do mercado de plástico” a segunda é importante devido às “novas regulamentações e pela legislação do INMETRO para atender às normas de segurança” (CORDEBELLO, 2004).

Quanto à indústria automobilística, atualmente apenas 4-5% do material plástico utilizado na fabricação de automóveis é reciclável; por outro lado, as regulamentações da Comunidade Européia passaram a exigir maior nível de reciclabilidade, o que levou a *Renault* a criar novas regras de desenho para seu novos projetos (FROELICH et al., 2007).

Assim, este trabalho tem como objetivo discutir o fluxo de materiais na cadeia de produção de plásticos e tal escolha pode ser justificada pelos vários motivos explicitados anteriormente. Ênfase será dada àquelas amostras que sofreram poucos processos, já que a mistura de materiais poliméricos distintos e o aquecimento durante o processamento são dois grandes entraves técnicos da reciclagem (VILAPLANA, KARLSSON, 2008). Além disso, devido à importância da questão da reciclagem no setor alimentício, o estudo de possível destinação de material plástico usado em uma indústria da área também será abordado.

O capítulo 2 desta dissertação apresenta a revisão bibliográfica necessária para a compreensão dos estudos efetuados, o capítulo 3 aborda a metodologia enquanto o capítulo 4 discorre sobre resultados e discussão. Ao final, o capítulo 5 apresenta conclusões e trabalhos futuros.

2 ASPECTOS TEÓRICOS

Este capítulo apresenta os principais conceitos utilizados neste trabalho, de modo a permitir uma melhor compreensão dos resultados obtidos. Portanto, inicia-se com uma breve introdução sobre plásticos – histórico, sua classificação e utilização, características, processos de produção das resinas, principais processos de transformação, consequências ambientais e reciclagem – e aborda-se, na sequência, a definição de Ecologia Industrial e ferramentas/conceitos desenvolvidos a partir dessa definição.

2.1 PLÁSTICOS

Tecnicamente, o termo plástico (do grego = plastikós) é utilizado para designar o grupo de materiais sintéticos que são processados, aquecidos e moldados para que se obtenha a geometria desejada (DALFRÉ, 2007).

“Os plásticos são materiais orgânicos poliméricos, sintéticos ou derivados de substâncias naturais, de constituição macromolecular, dotada de grande maleabilidade (que apresentam a propriedade de adaptar-se em distintas formas), facilmente transformável mediante o emprego de calor e pressão e que servem de matéria prima para a fabricação dos mais variados objetos. Os plásticos são obtidos, atualmente, em sua maioria, a partir dos derivados de petróleo, e contêm em sua estrutura, principalmente, carbono e hidrogênio. Neste contexto, no último quarto do século 20, os plásticos tornaram-se o símbolo da sociedade de consumo descartável, pois parte deles – especialmente os usados em embalagens – foi projetada para ser usada uma só vez, sendo descartada após o uso” (BAIRD, 2002).

“Além disso, os materiais plásticos estão sendo utilizados em grande escala em diversas áreas da indústria e é comum observar que peças inicialmente produzidas com outros materiais, particularmente metal, vidro ou madeira, têm sido substituídas por outras de material plástico. Esta expansão se deve, principalmente, as suas principais características, que são: baixo custo, peso reduzido, elevada resistência, variação de formas e cores, além de apresentar, muitas vezes, um desempenho superior ao do material antes utilizado” (BAIRD, 2002).

2.2 CLASSIFICAÇÃO E USOS DOS PLÁSTICOS

Pelo aspecto de uso e/ou econômico, os polímeros distinguem-se entre si no grau de diferenciação (aspecto tecnológico/performance), escala de produção/nível de consumo e, conseqüentemente, valor agregado. De uma forma geral, os materiais poliméricos podem ser classificados em três grandes grupos (HEMAIS, 2009):

1. Polímeros para usos gerais (plásticos **commodities**);
2. Polímeros para usos específicos (**quasi-commodities**);
3. Polímeros de alto desempenho (**especialidades**);

Segundo Negrão (2005), “o termo Commodity, de origem inglesa, refere-se a qualquer tipo de mercadoria primária não manufaturada, ou parcialmente manufaturada, passível de ser negociada em Bolsa de Mercadoria. Este tipo de mercadoria caracteriza-se por apresentar um padrão de qualidade uniforme. O mercado de *Commodities* envolve a negociação de produtos *in natura*, produzidos ou extraídos em larga escala para atender a uma demanda mundial. As *Commodities* são negociadas nas Bolsas de Mercadoria em quantidades padrões. O preço de uma Commodity é universal e oscila diariamente dependendo da relação entre a oferta e a demanda global” .

“Portanto, polímeros tipo commodities são aqueles produzidos em grande escala. Estes produtos possuem baixo valor agregado e não apresentam diferenciação, sendo utilizados para finalidades gerais e consumidos em grandes quantidades. Como exemplos de commodities, tem-se os polietilenos, o polipropileno, o poli(cloreto de vinila) e o poliestireno” (HEMAIS, 2009).

Dentro dessa definição de commodity fica clara a vantagem desses materiais para ao fechamento de ciclos, dentro de uma perspectiva de produtor primário, como definido na Ecologia Industrial, e como será abordado posteriormente (QUEIROZ, 2007).

“Os polímeros quasi-commodities também são produzidos em grande escala, porém em menor nível que as commodities, mas apresentam desempenhos diferenciados e propriedades que os fazem ser ideais para várias aplicações nas áreas de automobilística, eletro-eletrônico e alimentícia. O polietileno tereftalato

(PET) é o exemplo típico de polímero quasi-commodity, com mercado bem direcionado e produção em grande escala. Poliamidas, ABS (copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno), SAN (copolímero de estireno-acrilonitríla), poliuretanos e policarbonato também pertencem a essa categoria e são igualmente importantes nos setores de automobilística e eletro-eletrônicos” (HEMAIS,2009).

“Polímeros de especialidades são aqueles que apresentam alto desempenho, com propriedades bem definidas e incomuns além de alto valor agregado. A produção deste tipo de polímero ocorre em pequena escala. São exemplos desses polímeros poli(óxido de metileno) (POM), politetrafluoroetileno (PTFE), poli(tereftalato de butileno) (PBT), poli(sulfeto de fenileno)” (PPS) (HEMAIS, 2009).

Apesar da grande variabilidade de compostos produzidos no setor plástico, a IAPD (*International Association of Plastics Distribution*) distribui os de maior uso numa pirâmide onde a base é preenchida por *commodities*, o centro por plásticos de engenharia (*engineering plastics*) enquanto o topo recebe plásticos de alto desempenho (*high performance plastics*). Os plásticos definidos como *commodities* são intensamente utilizados nos setores Automobilístico, Eletro-Eletrônico, Alimentício, de Medicamentos, Vestuário e Acessórios, além de Construção Civil (IAPD, 2010).

No país, Herais (HEMAIS, 2009) criou tabela semelhante, onde são também resumidas outras características, tais como custo e produção anual; na Figura 1 é possível ver a reprodução de tais figuras.

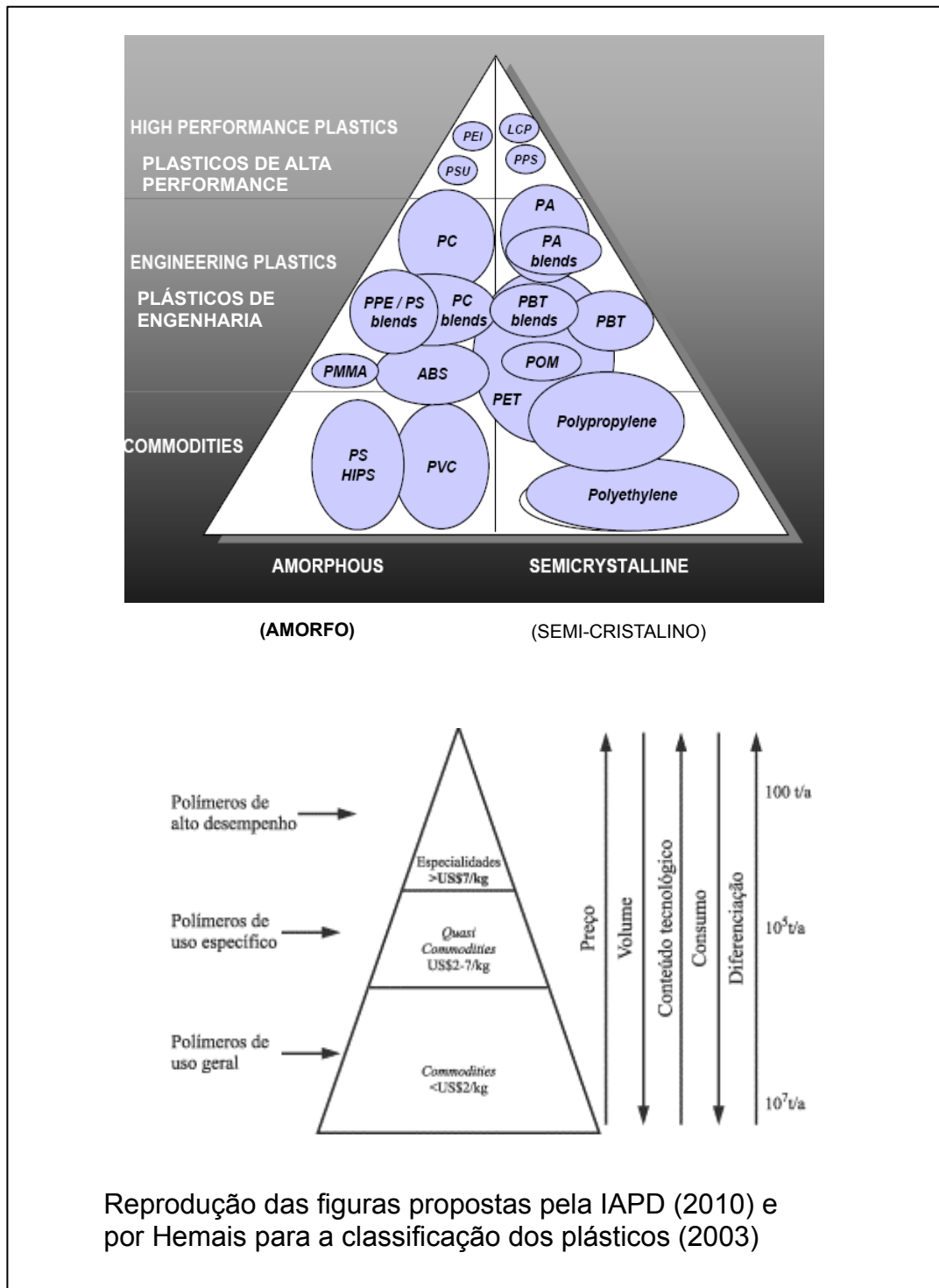


Figura 1- Classificação dos Plásticos
 Fonte: (IAPD,2010) (HEMAIS,2003)

Além disso, os seis principais produtos (listados na Tabela 1) (BAIRD, 2002) são normalmente reciclados por programas de coleta seletiva, daí a existência de marcação específica, como apresentada na Figura 2, nos produtos que visam o consumidor final. (ABNT-NBR 13230)

Tabela 1 - Principais Resinas Termoplásticas e Símbolos para a sua Identificação

Número para reciclagem	Iniciais e nome do polímero	Usos do plástico original	Usos do plástico reciclado
1	PET Polietileno Tereftelato	Garrafas para bebidas, frascos para alimentos e produtos de limpeza	Fibras de carpete, fibras de enchimento para isolantes, recipientes de uso não alimentar
2	PEAD Polietileno de alta densidade	Garrafas para leite, suco e água, sacolas (flexíveis)	Frascos de óleo e sabão, canecas, sacolas, canos de drenagem
3	PVC Policloreto de vinila	Frascos para alimentos e água, filmes para envolver alimentos, <i>blisters</i> para embalagem, materiais de construção, canos para água	Canos de drenagem, telhas, cones de transito
4	PEBD Polietileno de baixa densidade	Sacolas flexíveis para lixo, pão, leite, cereais; filmes flexíveis e recipientes	Sacos de lixo, canos para irrigação, garrafas de óleo
5	PP Polipropileno	Alças, tampinhas de garrafa, tampas, filmes, garrafas	Peças automotivas, fibras, baldes, lixeiras
6	PS Poliestireno	Copos de espuma, embalagem; talheres; móveis; utensílios	Isolantes, brinquedos, bandejas, embalagens rígidas
7	Outros	Vários	"Madeira" postes, cercas, pastilhas, etc.

Fonte: (BAIRD,2002)



Figura 2 - Principais resinas termoplásticas – símbolos para reciclagem
Fonte: ABIQUIM

2.3 PRODUÇÃO MUNDIAL DE PLÁSTICOS

A produção mundial de plásticos no ano de 2008 foi de 245 milhões de toneladas, conforme informações da ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico) (PERFIL-ABIPLAST,2009) e a Figura 3 mostra a evolução da produção mundial de plásticos de 1950 a 2008. Os polímeros *commodities* mais consumidos atualmente, tanto no país como no exterior, são os polietilenos, polipropilenos, poliestirenos, poliésteres e poliuretanos, outros que têm tido uso crescente são os poliácridatos, policabornatos e fluorpolímeros,.

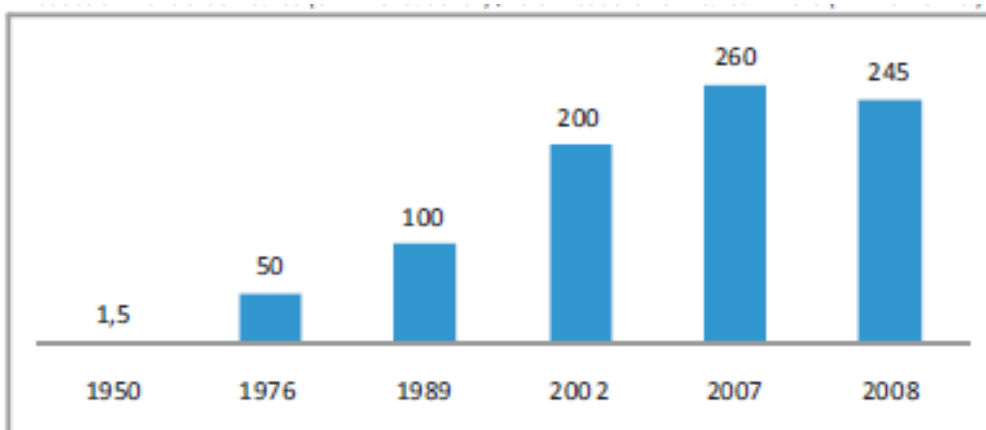
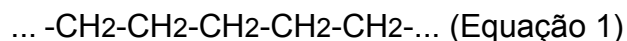


Figura 3 - Produção Mundial de Plásticos (em milhões de toneladas)

Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material – Edição de 2009

2.4 ESTRUTURA QUÍMICA DOS PLÁSTICOS COMMODITIES

“Um dos triunfos da química industrial do século 20 foi o desenvolvimento de uma ampla variedade de plásticos úteis. É possível observar-se facilmente a grande variedade de produtos que podem ser obtidos considerando-se um exemplo simples, o polietileno. Do ponto de vista conceitual, o polímero orgânico mais simples é o polietileno (ou politeno), cujas moléculas são formadas por muitas centenas de unidades $-CH_2-$ unidas por ligações covalentes” (Equação. 1) (BAIRD, 2002).



“O polímero é preparado por meio da combinação de muitas moléculas de etileno (ou eteno, C_2H_4), o que dá origem ao seu nome, e é um exemplo de polímero de adição, ou seja, nenhuma parte da molécula original (monômero) é perdida durante a formação do polímero” (BAIRD, 2002).

“Dependendo do grau de polimerização, é formado o polietileno de baixa densidade (PEBD) ou o polietileno de alta densidade (PEAD). Se um dos átomos de carbono da cadeia carbônica do monômero se ligar a um átomo de cloro, em lugar do hidrogênio, o polímero obtido é o PVC - poli (cloreto de vinila); se o substituinte é um grupo metila, em vez de cloro, tem-se o polipropileno (PP) e se é um anel benzênico, o polímero obtido é o poliestireno. Outro plástico comumente reciclado é o PET (poli-etileno tereftelato), cuja estrutura corresponde a uma cadeia curta de duas unidades CH₂ alternada com outra estrutura orgânica chamada de ácido tereftálico”.(BAIRD, 2002)

Os plásticos formados a partir de todos estes polímeros são extensivamente usados em embalagens, como listados na Tabela 1. As matérias-primas a partir das quais são fabricados os plásticos citados são obtidas do petróleo cru, exceto o cloro, do PVC - obtido através da eletrólise do cloreto de sódio (BAIRD, 2002).

2.5 FONTE DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA A FABRICAÇÃO DAS RESINAS

“A utilização comercial de um produto depende de suas propriedades e, principalmente do seu custo, que resulta do processo de polimerização e da disponibilidade do monômero. As matérias-primas para a produção de monômeros, dos quais se fabricam os polímeros, podem ser obtidas através da hulha (ou carvão mineral) ou do petróleo. No aspecto comercial, o petróleo é a fonte mais importante” (CANEVAROLO JR., 2006).

“O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos que contém, principalmente, alcanos e quantidades razoáveis de naftenos (ciclo-alcanos) e aromáticos. A mistura pode ser separada, pela destilação fracionada, em diversas frações, de acordo com os respectivos pontos de ebulição. Quanto maior for a faixa de ebulição da fração, maior será o número médio de átomos de carbono de seus componentes” (ALLINGER, 1978).

“Através da destilação fracionada (Figura 4) do óleo cru obtém-se GLP, nafta, gasolina, querosene, óleo diesel, graxas parafínicas, óleos lubrificantes e, por fim, piche (asfalto). A fração de maior interesse para a produção dos polímeros termoplásticos é a nafta. Esta, após um *cracking* (craqueamento) térmico (pirólise na

faixa de 800°C e catálise), gera várias frações gasosas, contendo moléculas saturadas e insaturadas. As moléculas insaturadas (etileno, propileno, butadieno, buteno, isobutileno,.etc.) são separadas e aproveitadas para a síntese de polímeros” (CANEVAROLO JR., 2006).

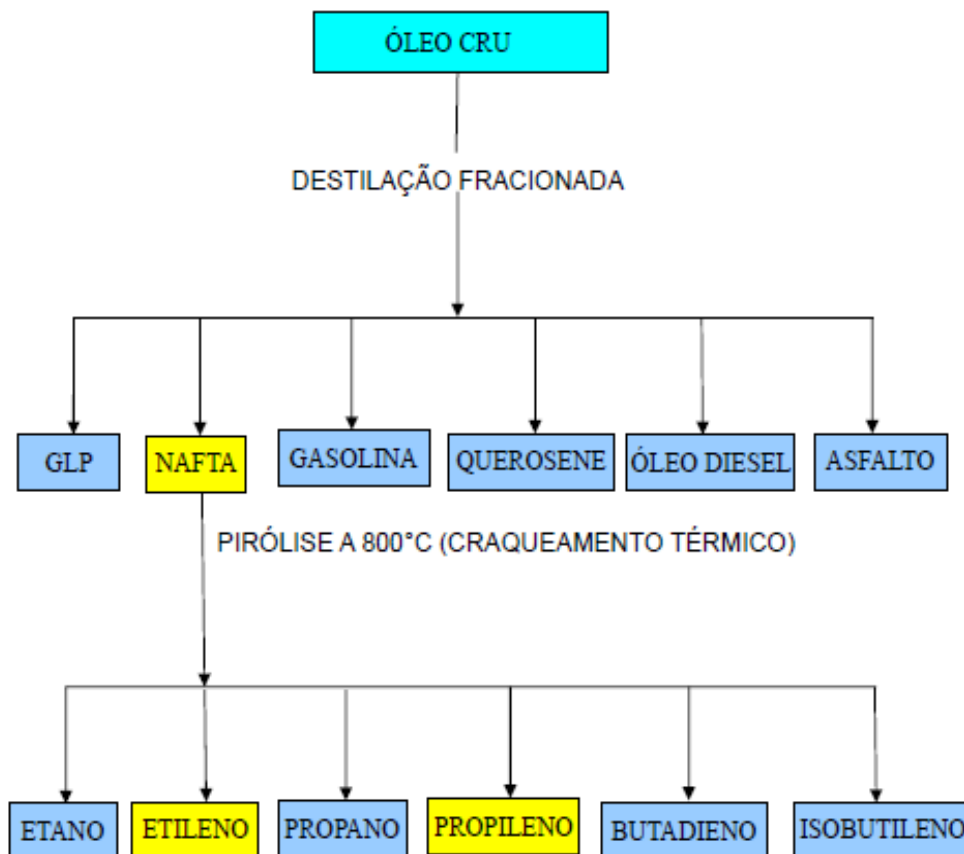


Figura 4 - Fluxograma Simplificado do Craqueamento Térmico do Petróleo
Fonte: (CANEVAROLO JR., 2006)

2.6 PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS PARA A FABRICAÇÃO DAS RESINAS

O eteno (ou etileno) e o propeno (ou propileno) são as principais matérias-primas de 1º geração dos petroquímicos mais importantes para a produção das resinas termoplásticas *commodities*, as figuras 5 e 6 apresentam a petroquímica do eteno e do propeno.

A análise dessas figuras permite verificar a produção de uma enorme quantidade de subproduto, além do que praticamente nenhum co-produto orgânico é registrado. Nesse caso, portanto, o co-produto relevante é o catalisador descartado.

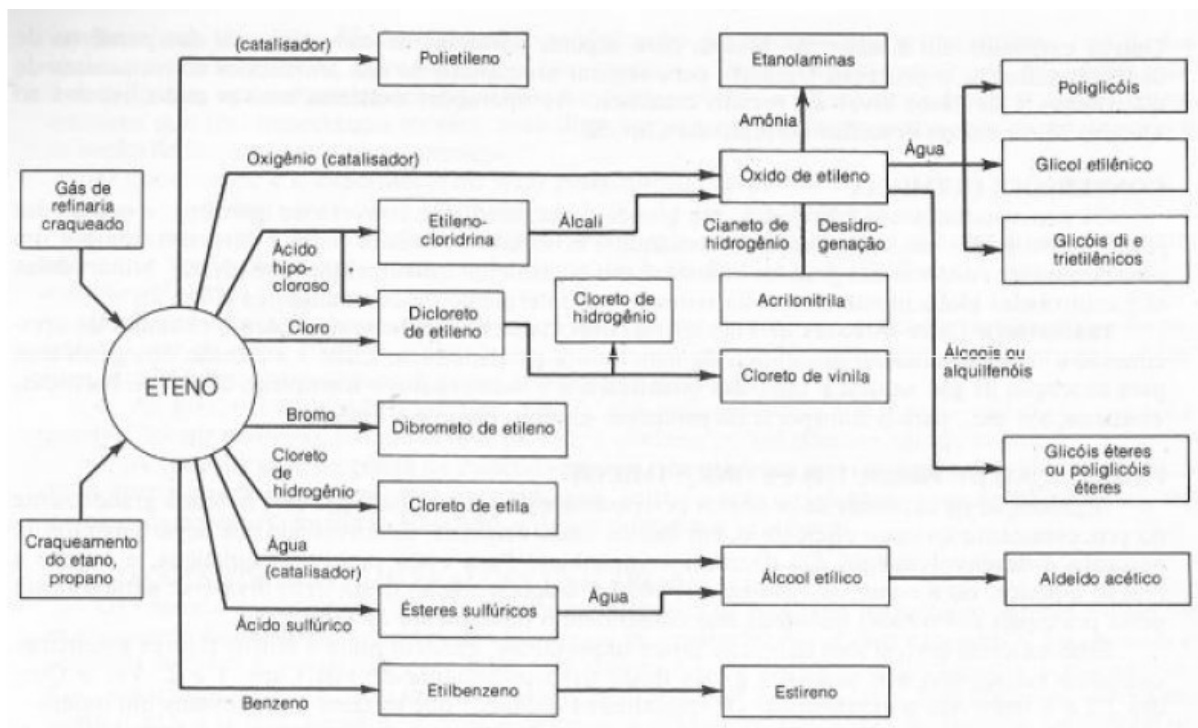


Figura 5 - Petroquímica do Eteno
Fonte: (SHREVE, BRINK JR., 1980)

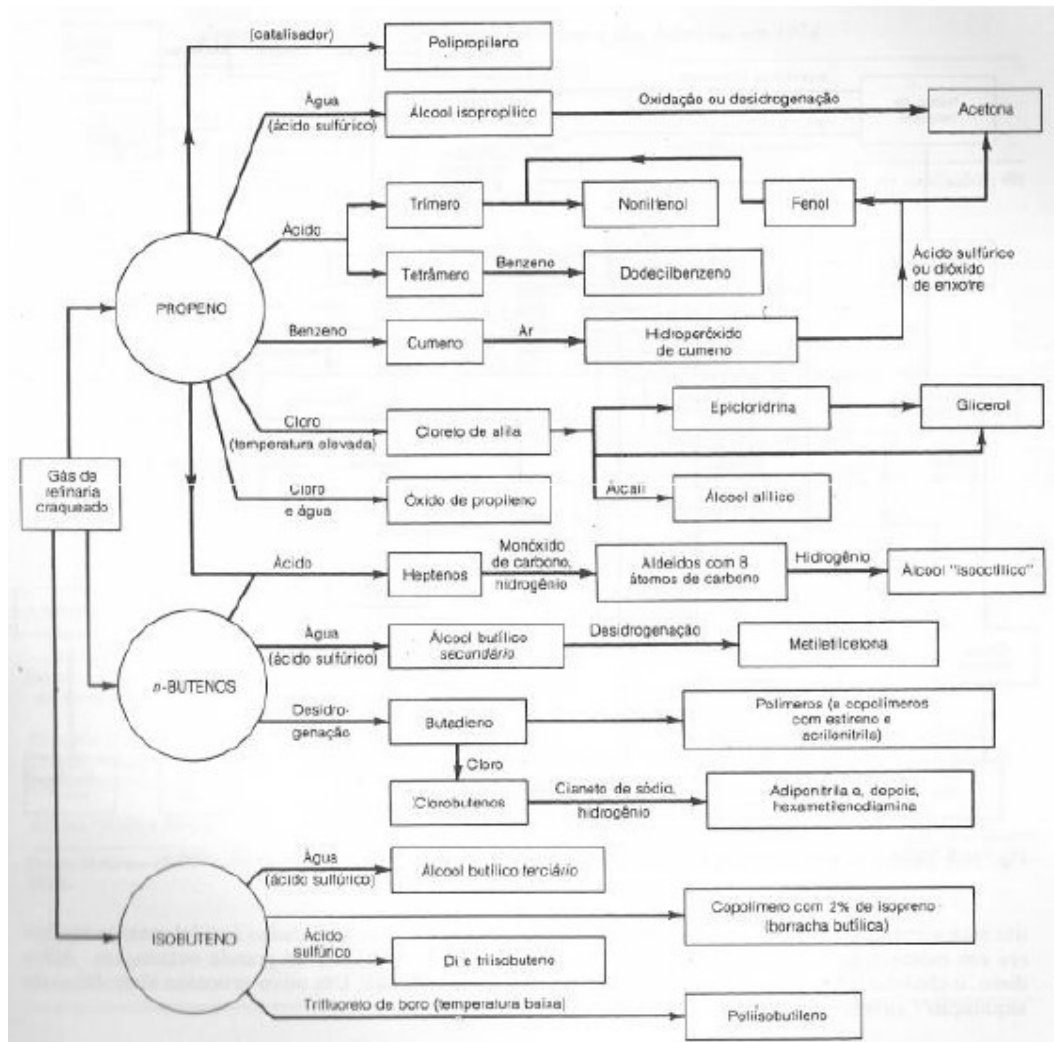


Figura 6 - Petroquímica do Propeno
 Fonte: (SHREVE, BRINK JR., 1980)

2.7 PROPRIEDADES DAS RESINAS COMMODITIES

As resinas commodities, de grande importância para a indústria mundial de transformação de plásticos, são largamente utilizadas na confecção de produtos

utilizados com frequência no nosso cotidiano. Nos itens abaixo estão listadas as principais características dessas resinas.

2.7.1 POLIETILENO TEREFTELATO (PET)

O polietileno tereftelato (PET) é um polímero termoplástico da família dos poliésteres.

“Os poliésteres são polímeros de cadeias heterogêneas, que têm como principal característica a ligação éster (– CO – O -) na cadeia principal. Na classe dos poliésteres termoplásticos, o polietileno tereftelato é um polímero de grande importância, sendo utilizado na produção de fios para a indústria têxtil e para a confecção de vasilhames descartáveis, no setor de embalagens” (CANEVAROLO JR., 2006).

“Os poliésteres termoplásticos apresentam excelente resistência a uma grande variedade de agentes químicos à temperatura ambiente, tais como: hidrocarbonetos alifáticos, gasolina, tetracloreto de carbono, percloroetileno, óleos, gorduras, álcool, glicol, ésteres, éteres, soluções de ácidos e bases. Porém, são atacados por ácidos e bases fortes” (ALBUQUERQUE, 1990).

2.7.2 POLIOLEFINAS

“As Poliolefinas são polímeros obtidos a partir de monômeros de hidrocarbonetos alifáticos insaturados e que contém uma dupla ligação carbono-carbono reativa. Fazem parte deste grupo, entre outros, o polietileno, de baixa e o de alta densidade (PEBD e PEAD) e o polipropileno (PP), que são largamente utilizados, chegando a representar metade dos polímeros produzidos no mundo” (CANEVAROLO JR., 2006).

2.7.3 POLIETILENOS (PEBD e PEAD)

“Dentre todas as resinas deste grupo (poliolefinas), o polietileno representa o maior volume dos polímeros termoplásticos em uso na atualidade, sendo encontrado em ampla faixa de propriedades: os de baixa densidade são flexíveis e tenazes e os

de alta densidade são mais rígidos e mais resistentes. Ambos são leves, de fácil processamento e apresentam baixo custo, excelente resistência química e boas propriedades elétricas” (ALBUQUERQUE, 1990).

2.7.4 POLIPROPILENO (PP)

“O polipropileno é uma resina de baixa densidade que oferece um equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, acompanhadas de boa resistência mecânica - apresenta ótima resistência a rupturas por flexão e fadiga” (ALBUQUERQUE, 1990).

2.7.5 POLI(CLORETO DE VINILA) (PVC)

“Os Polímeros Clorados são polímeros com altas propriedades mecânicas obtidas pelas altas forças intermoleculares, devidas à polaridade do cloro. O policloreto de vinila (PVC) é o mais importante polímero desta classe e é também um dos polímeros de maior produção e consumo no mundo (CANEVAROLO JR., 2006).

“O poli(cloreto de vinila) pode ser composto por meio de plastificantes, cargas minerais, estabilizadores, lubrificantes e agentes modificadores de impacto, para se tornar flexível ou rígido, tenaz, forte, de baixa ou de alta densidade; exibindo uma ampla faixa de propriedades físicas e boas características de processamento” (ALBUQUERQUE, 1990).

2.7.6 POLIESTIRENO (PS)

Polímeros Estirênicos são polímeros derivados do estireno, dos quais, o mais importante é o poliestireno (PS) que é um polímero largamente utilizado por seu baixo custo, facilidade de processamento e boas propriedades mecânicas” (CANEVAROLO JR., 2006).

“O Poliestireno é um termoplástico que se caracteriza, principalmente, por ter transparência, clareza brilhante e alta rigidez, somadas à sua facilidade de

processamento a um custo baixo. Sua colorização é excelente. É disponível no mercado em vários tipos, destinados a inúmeras aplicações em diversos tipos de processamento” (ALBUQUERQUE, 1990).

2.8 PRODUÇÃO DAS RESINAS TERMOPLÁSTICAS

Este item descreve um breve histórico de obtenção dos monômeros, a polimerização e os processos de produção em escala industrial das resinas.

2.8.1 PRODUÇÃO DO POLIETILENO TEREFTELATO - PET

“O polietileno tereftelato, ou poli(tereftelato de etileno) é um polímero termoplástico da família dos poliésteres. O nome poliéster é usado para descrever uma classe de materiais que se obtém por meio de uma reação de condensação entre um poliálcool e um ácido policarboxílico” (MILES, 1972).

“A história dos poliésteres tem início em 1847, com o cientista sueco, J. J. Berzélius, que obteve um sólido branco amorfo de natureza resinosa, aquecendo glicerol com ácido tartárico. A reação foi modificada mais tarde, na Inglaterra, substituindo o ácido tartárico por anidrido ftálico, esse trabalho foi efetuado por Watson Smith, em 1902” (MILES, 1972).

“Durante seus clássicos trabalhos sobre a formação de polímeros, W. H. Carothers investigou um grande número de poliésteres. Verificou a possibilidade de certos polímeros lineares formarem fibras e nesse mesmo período apareceram patentes para a obtenção de poliéster para fibras. Em particular, mencionavam-se fibras a partir de ácidos dicarboxílicos e glicóis. O trabalho clássico de Carothers foi completado em 1941 por Winfield e Dickson” (MILES, 1972).

“A primeira amostra da resina foi desenvolvida pelos ingleses Winfield e Dickson, em 1941, os quais descobriram que, reagindo ácido tereftálico com etilenoglicol podia-se obter uma massa resinosa que, estirada, resultava na formação de fibras. Foi o início da produção de fibra sintética” (MILES, 1972).

“Após a Segunda Grande Guerra, o desabastecimento afetou também a Indústria têxtil da época, ainda baseada em fibras como algodão, linho, lã, entre outras. Assim, as pesquisas que levaram à produção em larga escala do poliéster

começaram logo após a Segunda Grande Guerra nos EUA e Europa e baseavam-se nas aplicações têxteis. A idéia era criar alternativas viáveis para as fibras até então usadas, cujos campos estavam destruídos pela guerra. O poliéster apresentou-se como um excelente substituto para o algodão – função que cumpre muito bem até hoje, inclusive a partir das garrafas recicladas” (ABIPET).

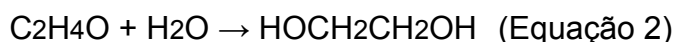
O PET continuou a ser desenvolvido e novas aplicações foram surgindo. Sua resistência mecânica foi comprovada quando o poliéster passou a ser utilizado na indústria de pneus, em 1962 (ABIPET).

“As primeiras embalagens de PET surgiram nos Estados Unidos – e logo após na Europa no início dos anos 70. O PET chegou ao Brasil em 1988 e seguiu uma trajetória semelhante ao resto do mundo, sendo utilizado primeiramente na indústria têxtil. Apenas a partir de 1993 passou a ter forte expressão no mercado de embalagens, notadamente para os refrigerantes. Atualmente o PET está presente nos mais diversos produtos” (ABIPET).

Matérias-primas para a fabricação e respectiva produção do PET

A produção utiliza produtos listados nas Figuras 5 e 6. O etilenoglicol, que é um álcool saturado, deriva do etileno via etilenodichloridrina e óxido de etileno ou diretamente do óxido de etileno. O etileno, por sua vez, é obtido pelo craqueamento catalítico do petróleo (MILES, 1972).

“O etilenoglicol (Hollis et ali, 2002) é produzido a partir do etileno, através do intermediário de óxido de etileno. O óxido de etileno reage com a água para produzir etilenoglicol, de acordo com a Equação química” 2.



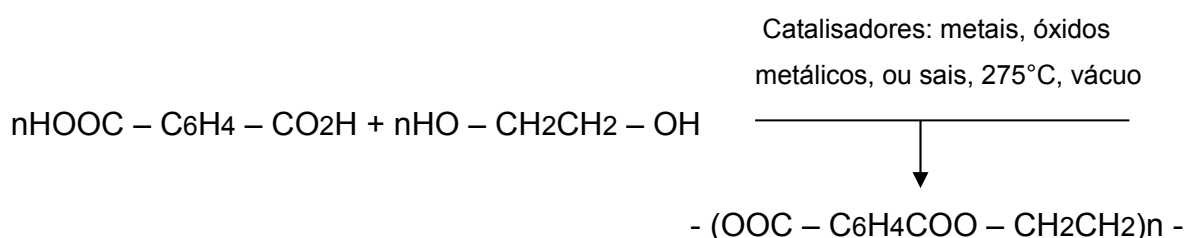
“Esta reação pode ser catalisada por ácidos ou bases, ou pode ocorrer em pH neutro sob temperaturas elevadas. As maiores produções de etilenoglicol ocorrem em reações ácidas ou pH neutro com um grande excesso de água. Sob essas condições, a produção de etilenoglicol pode chegar ao rendimento de 90% (o que configura, em relação às Figuras 5 e 6, o baixo volume de co-produto). Os principais subprodutos do etilenoglicol são os oligômeros de dietilenoglicol, trietilenoglicol, e tetraetilenoglicol” (HOLLIS et al, 2002).

O ácido tereftálico é um produto da indústria do carvão e do petróleo, normalmente preparado da oxidação do p-xileno (MILES, 1972). No Brasil as duas matérias-primas são produzidas a partir do refino do petróleo.

Quanto a produção do PET, “Os poliésteres podem ser formados por condensação de um ácido com um éster. O ácido tereftálico é uma matéria-prima importante para a obtenção deste polímero. Ele reage melhor, sob a forma de éster com etilenoglicol, por exemplo, com eliminação de um álcool de baixo peso molecular. O acetato de cálcio catalisa a troca de álcoois e a reação ocorre a 200°C. O primeiro produto desta reação é um novo monômero contendo duas unidades de etilenoglicol. Este monômero, quando aquecido a 280°C, elimina etilenoglicol e polimeriza-se a um poliéster” (ALLINGER, 1978).

“A produção do polietileno tereftelato pode ser realizada em massa, pela condensação do ácido tereftálico e do etilenoglicol, com um catalisador metálico. Na primeira etapa, o ácido tereftálico reage com excesso de glicol, em meio ligeiramente ácido, formando predominantemente tereftelato de bis-(hidróxietileno), juntamente com oligômeros de grau de polimerização baixo, pela eliminação de água. O aumento do peso molecular pode ser conseguido pela adição de um composto de antimônio III, com aquecimento a 200°C. O crescimento da cadeia polimérica é obtido por transesterificação entre as moléculas do tereftelato de bis-(hidroxietileno), pela ação do composto de antimônio, com eliminação de etilenoglicol” (MANO, 2004). A Equação 3 apresenta o mecanismo da reação de obtenção do PET (polietileno tereftelato).

(Equação 3)



(MANO,1994)

“O PET é um polímero rígido e transparente, cristalizando-se muito lentamente, numa faixa estreita de temperatura, entre 120 e 220°C – na faixa de 190°C atinge alto grau de cristalinidade. A sua temperatura de fusão cristalina é de

265°C. No estado amorfo, o PET amolece sob temperaturas inferiores a 70°C, que é a sua temperatura de transição vítrea. A resina de PET é usualmente encontrada no mercado na forma cristalina, sendo solúvel à temperatura ambiente em ácido clorídrico, ácido fórmico, fenóis, cetonas aromáticas, principalmente. O clorofórmio solubiliza o PET à temperatura abaixo de 0°C, mas o polímero cristaliza-se novamente com o aquecimento da solução” (SENAI, 2006).

“O PET é um material que absorve umidade muito rapidamente, por se tratar de um éster, por este motivo deve estar rigorosamente seco antes de seu processamento. Apesar de ser um polímero polar, ele tem boas propriedades de isolamento elétrica à temperatura ambiente, tanto em baixa como em alta frequência” (SENAI, 2006).

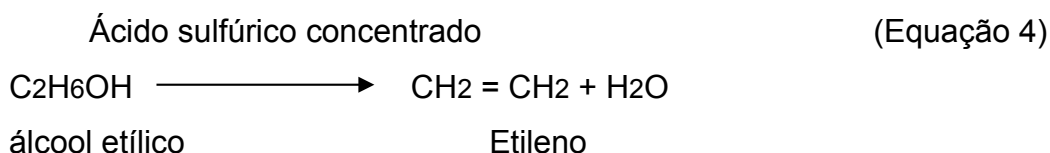
“A resistência à degradação fotoquímica do polímero é muito boa e a sua degradação térmica ocorre quando o mesmo é aquecido acima de sua temperatura de fusão (265°C), formando principalmente dióxido de carbono, acetaldeído e ácido tereftálico” (SENAI, 2006).

2.8.2 PRODUÇÃO DOS POLIETILENOS - PEBD e PEAD

Preparação do monômero de etileno

O etileno tem fórmula $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ e forma moléculas predominantemente lineares. É um gás que ferve a -140°C e tem alto calor de polimerização (800 a 1000 cal/g); em pressão atmosférica e pode ser preparado de vários modos, alguns dos quais serão descritos a seguir:

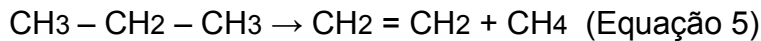
No laboratório, o etileno pode ser preparado por desidratação do álcool (Equação 4).



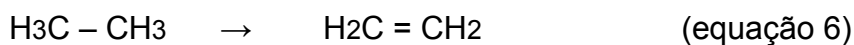
“A recuperação do ácido sulfúrico é difícil, e em lugar dele se usa muitas vezes o ácido fosfórico, ou melhor ainda, ácido p-toluenosulfônico que, com vapor

de álcool e de água, passa sobre óxido de alumínio a uma temperatura de 350°C. Este ácido pode ser recuperado por cristalização” (MILES, 1975).

Industrialmente, o etileno pode ser obtido a partir do craqueamento de gases naturais; outra maneira de obtê-lo, é pelo craqueamento do etano, através da desidrogenação, ou de naftas virgens (Equação 5, e 6) (SENAI, 2006).



Propano Etileno Metano



etano desidrogenação etileno

“Quando se utilizam naftas virgens, o produto proveniente do reator é constituído por vários hidrocarbonetos. A separação desses hidrocarbonetos é feita por sucessivas destilações fracionadas. Como, em geral, as temperaturas de ebulição destes componentes, são muito baixas, a destilação é feita sob pressão. As impurezas afetam tanto a reação de polimerização como as propriedades do produto, por estas razões elas devem ser totalmente removidas (SENAI,2006)”.

O etileno pode, também, ser obtido pelo craqueamento térmico de frações leves de óleos de refinaria de petróleo. Este processo é o mais utilizado no Reino Unido. Em todos os casos se faz necessária uma cuidadosa purificação do etileno, chegando-se a 99,8% para que seja possível uma polimerização de alta qualidade (MILES, 1975).

Os principais contaminantes do etileno são monóxido de carbono, acetileno, oxigênio e água. Muitas patentes requerem nível de monóxido de carbono menor que 0,02%. O oxigênio, dependendo do processo empregado na polimerização do etileno, reduz a eficiência do iniciador e pode ser removido por passagem sobre catalisador de cobre reduzido, ou por tratamento sob pressão, com sódio fundido a 150°C. O Acetileno, que é um promotor de ligações cruzadas, é removido por hidrogenação catalítica (Miles,1975) (Senai,2006).

O produto obtido pela polimerização do etileno, o polietileno (PE), até meados de 1950, “era produzido comercialmente por processos de alta pressão, entretanto, esses materiais eram ramificados e de peso molecular moderado, geralmente menor que 50.000. A partir de 1954 foram desenvolvidos dois novos métodos, um deles

utilizando catalisadores de óxidos metálicos (processo Phillips) e outro utilizando alquil alumínio ou materiais similares (processo Ziegler)". Esses processos permitem a obtenção dos polímeros em temperaturas e pressões menores. Devido a essas modificações, os polímeros passaram a apresentar densidades mais elevadas, rigidez e ponto de amolecimento maiores. Atualmente, o polietileno é produzido tanto pelo processo de alta pressão (patenteado pela I.C.I, em 1933), como pelo processo de baixa pressão (processo Phillips) e pelo processo Ziegler, que fornece polietilenos com características intermediárias" (SENAI, 2006).

Nos processos a alta pressão, a pressão utilizada é "da ordem de 1.000 a 3.000 atm e a temperatura deve estar entre 80 e 300°C (acima desta temperatura o polímero tende a sofrer degradação). A polimerização ocorre via radical livre e vários são os catalisadores que podem ser utilizados: peróxido de dibenzoila, azodiisobutironitrila, alquilas metálicas, oxigênio, etc. No caso da utilizar-se o oxigênio como catalisador, sua concentração é crítica para a reação e os rendimentos ótimos são obtidos com concentrações de 0,05% a 0,06%." (SENAI, 2006). A reação é altamente exotérmica e a maior dificuldade nos processos tem sido, desde os primeiros tempos, a remoção do calor do reator. Assim, devido ao elevado calor de polimerização, são necessários cuidados a fim de prevenir a aceleração da reação que pode causar obstrução nos reatores" (MILES, 1975).

No processo, "o etileno altamente purificado é passado sobre um catalisador de cobre reduzido para retirar o oxigênio. A quantidade exata de oxigênio necessário para agir como iniciador é, então, adicionada ao monômero e os gases são comprimidos em compressores de vários estágios, que os levam aos reatores, que podem ser de dois tipos: o de autoclave e o tubular. Em ambos os casos, deve haver um controle rígido da concentração do catalisador, da temperatura e da pressão. O etileno não polimerizado é separado do polímero e reciclado no processo" (MILES, 1975).

O processo pode ser operado continuamente, passando-se os reagentes através dos reatores tubulares, ou em reatores de bateladas. Num processo típico de alta pressão a conversão de monômero a polímero ocorre na faixa de 10 a 30%. "A temperatura elevada torna a reação mais rápida, produzindo polietileno de baixo peso molecular médio, além de causar reações paralelas, formando grafite, hidrogênio e metano. Essas reações também são exotérmicas e podem facilmente descontrolar a polimerização". Além disso, "a violência da reação, em pressão

elevada, leva à formação de grande quantidade de ramificações na cadeia polimérica, o que tem extrema influencia sobre as propriedades finais do produto. Os produtos obtidos por esse processo são os chamados polietilenos de baixa densidade (PEBD)“ (SENAI, 2006). “Após a purificação, ao final do processo, o material é extrudado, na forma de fita ou tira, solidificado por resfriamento e granulado. Quando se necessita de maior homogenização, como na produção de filmes e outros tipos de materiais, o material polimérico é novamente processado em moinhos, Bamburies ou extrusoras” (MILES, 1975).

No Processo Ziegler, “o etileno é introduzido em baixa pressão (2 a 4 atm) no reator, que utiliza hidrocarbonetos líquidos como diluente. A temperatura da reação é baixa, na faixa de 70°C. Os catalisadores utilizados neste processo são do tipo organo-metálicos. O sistema mais empregado é uma mistura de tetracloreto de titânio com um alquil alumínio (cloreto de dietil alumínio). Conforme o polímero é produzido ele precipita, forma-se uma mistura de polímero e monômero, cuja viscosidade aumenta à medida que a reação se processa. Antes que a viscosidade se torne alta a ponto de comprometer a remoção do calor de reação, os reagentes são descarregados em um vaso de decomposição catalítica, onde o catalisador é decomposto por uma mistura de álcool etílico água e soda cáustica”. A remoção total dos resíduos metálicos provenientes do catalisador é de suma importância para que as propriedades elétricas do polímero não sejam afetadas. A densidade dos polímeros produzidos por esse processo situa-se na faixa de 0,94 g/cm³, cujo valor está entre os valores obtidos pelo processo de alta pressão e pelo processo Phillips. Estes produtos são classificados como polietilenos de media densidade” (SENAI, 2006).

“No processo Phillips, o etileno é dissolvido em um hidrocarboneto líquido (ciclohexano, por exemplo). A polimerização ocorre sob uma pressão de 30 a 40 atm, a uma temperatura entre 130 e 160°C, na presença de um catalizador óxido metálico. O solvente é utilizado para dissolver o polímero e para transferir o calor desenvolvido na reação de polimerização. O catalisador mais eficiente deve conter 5% de óxido de cromo, principalmente CrO₃, impregnado com sílico aluminato (75 a 90% de sílica). Para separar o polímero formado da solução diminui-se a temperatura para que ele forme um precipitado. Os reagentes utilizados deverão ser de alta pureza, pois impurezas como nitrogênio, oxigênio, acetileno e cloro podem atacar o catalisador. Os polietilenos obtidos por este processo possuem densidade

em torno de $0,96 \text{ g/cm}^3$ e por este motivo são classificados como polietilenos de alta densidade (PEAD)” (SENAI, 2006).

O processo *Standard Oil* (Indiana) é similar ao processo Phillips e baseado no “uso de um suporte óxido-metal de transição em combinação com um promotor de polimerização. A temperatura da reação está em torno de 230 a 270°C e a pressão entre 40 a 80 atm . Os catalisadores mais empregados são trióxido de molibdênio, dióxido de titânio ou dióxido de zircônio. A reação também é realizada com o etileno dissolvido em hidrocarbonetos líquidos. Os polietilenos produzidos tem sua densidade em torno de $0,96 \text{ g/cm}^3$, sendo também classificados como polietilenos de alta densidade (PEAD)” (SENAI, 2006).

2.8.3 PRODUÇÃO DO POLIPROPILENO - PP

“As primeiras tentativas de polimerizar o propeno, ou propileno, utilizando processos de alta pressão não foram satisfatórias. Neste meio tempo, na Itália, o professor Natta estava experimentando os catalisadores do tipo Ziegler. Ele verificou, por exemplo, que, num sistema catalítico tipo Ziegler, como $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3 + \text{TiCl}_4$ quando o tetracloreto de titânio era substituído por tricloreto de titânio, formava-se um sistema catalítico estereoespecífico que proporcionava a obtenção de polímeros do propileno cristalinos, de peso alto molecular. A polimerização estereoespecífica do polipropileno realizada pelo professor Natta foi um marco histórico na tecnologia dos polímeros, pois foi a primeira vez que se produziu um polímero sintético com estrutura espacial regular e até pré-determinada. O propileno, $\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2$, é um gás que ferve a -48°C , em pressão atmosférica. É obtido comercialmente a partir dos gases de refinaria por destilação de misturas propano-propeno. O propeno destinado à polimerização deve ser de alta pureza, isento de umidade, pois a água destrói o catalisador. Se houver contaminação por metilacetileno (propino) $\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{CH}$, o mesmo também deve ser removido, pois ele age como iniciador de ligações cruzadas (MILES, 1975).

Portanto, “a polimerização do propeno é similar ao processo Ziegler para a preparação do polietileno de alta densidade. O propeno em alta pressão é introduzido num reator onde já existe uma dispersão homogênea de catalisador em um hidrocarboneto líquido. Mantém-se a temperatura baixa para permitir a

precipitação do polímero que se forma. Deve-se agitar continuamente a mistura até que se forme entre 35 a 40% de polímero. Nesta fase, a lama formada é bombeada para um tambor, onde o propeno que não reagiu é separado e reciclado no processo. A lama é então centrifugada para a remoção do hidrocarboneto líquido. A remoção do catalisador do polímero se dá por extração, com uma solução diluída de HCl em álcool metílico. Após a extração, o polímero é lavado com água para remover o ácido, destilado com vapor para remover os traços de solvente, secado, extrudado e granulado” (MILES, 1975).

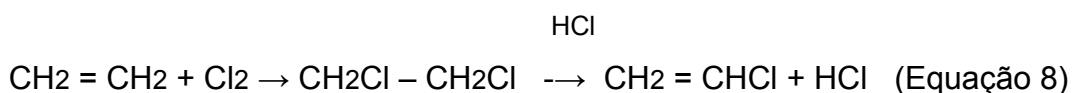
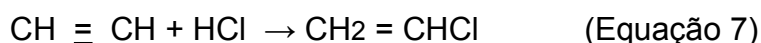
2.8.4 PRODUÇÃO DO POLICLORETO DE VINILA - PVC

“A existência do monômero do cloreto de vinila foi verificada em 1838 e presume-se que tenha sido sintetizado, a partir do etilenodichloreto, pelo químico francês, Regnault. O químico notou a facilidade da formação e afirmou que, em tubo selado se polimerizava por simples exposição à luz solar. Balmann, em 1872, verificou a formação de uma substância compacta. Poucos progressos se realizaram até 1912, quando o químico russo, Ostromislensky, noticiou que a luz solar catalisava a polimerização de haletos vinílicos proporcionando a produção de materiais resinosos. Praticamente na mesma época, uma patente alemã garantia a fabricação de cloreto de vinila, reagindo ácido clorídrico gasoso com acetileno, a 180°C, na presença de cloretos metálicos, que funcionavam como catalisadores. Este período pode ser considerado o período do nascimento do PVC. Embora técnica e comercialmente o seu início esteja registrado nas patentes de Semon, da B.F. Goodrich Co., em 1933 e de Reid, da Carbide and Carbon Chem., em 1934” (MILES, 1975).

“As grandes desvantagens encontradas pelos químicos em relação a estes polímeros antes de 1930, residiam na sua insolubilidade em solventes comuns. Quando se descobriu que eles poderiam ser dissolvidos em solventes com alto ponto de ebulição, como tritoluiftalato (conhecido na época como tricresilfosfato) abriu-se um enorme campo de aplicações de imediato. Durante a Segunda Guerra Mundial evidenciou-se a grande importância deste polímero devida à extrema escassez da borracha, para a qual um grande número de companhias procuravam um substituto. Acharam-no no PVC plastificado, especialmente na re-cobertura de

cabos elétricos, que era, na época, feita exclusivamente com a borracha. Após a guerra, a borracha voltou a ocupar o seu lugar, porém, para o PVC, o caminho triunfal já havia sido aberto” (MILES, 1975).

Há duas fontes de matéria-prima para a obtenção do cloreto de vinila, que por sua vez gera o PVC: o acetileno ou o gás natural. O processo de obtenção do cloreto de vinila a partir da cloração do etileno era o processo utilizado na Europa e o processo de obtenção a partir do etileno era o utilizado nos Estados Unidos. No primeiro caso, o acetileno era obtido a partir do carbeto de cálcio. Na atualidade, o cloreto de vinila, praticamente só é produzido a partir do etileno. Portanto, os caminhos da produção do cloreto de vinila são dois: adição direta e cloração do etileno” (MILES, 1975). Adição direta é a adição de ácido clorídrico pelo acetileno utilizando cloreto de mercúrio como catalisador (Equação 7) enquanto a cloração do etileno ocorre em duas fases (Equação 8). O dicloroetano, após a sua purificação e secagem, segue para uma fornalha de pirólise, onde é transformado em cloreto de vinila mais ácido clorídrico. A mistura de reação, contendo dicloroetano que não reagiu passa por uma torre de absorção onde o cloreto de vinila e o dicloroetano são separados do ácido clorídrico. O cloreto de vinila é separado do dicloroetano por destilação” (MILES, 1975)



Os dois métodos principais para a polimerização do cloreto de vinila são polimerização em suspensão e polimerização por emulsão. A polimerização em suspensão é o método mais utilizado para a produção do PVC, o monômero fica em suspensão aquosa em forma de gotículas, que são assim mantidas por agentes de suspensão (gelatina, metil ou etilcelulose e álcool polivinílico). A água auxilia no controle do calor formado durante a reação de polimerização. Adiciona-se também um agente de molhadura, como o óleo de mamona sulfonado, por exemplo. Inicia-se a polimerização com mecanismo de radical livre, por meio de um catalisador

solúvel em óleo e insolúvel em água, como peróxido de benzoila ou laurila. A mistura deve ser constantemente agitada para que os reagentes sejam mantidos em suspensão. A polimerização ocorre individualmente em cada gotícula. A velocidade de agitação é um importante fator de controle do tamanho das partículas; quanto maior a velocidade de agitação menor é o tamanho das partículas e vice-versa. A polimerização ocorre a um tempo pré-determinado, geralmente entre 12 e 24 horas e quando a reação se completa, o polímero apresenta-se na forma de lama, que é direcionada para um tanque de separação, onde o cloreto de vinila que não reagiu é separado. Após esta etapa, a resina é filtrada e segue para a secagem, que é feita em tambor rotativo ou em secador por pulverização ou flash” (MILES, 1975).

“A polimerização em emulsão também é realizada em meio aquoso, o que facilita a dispersão do calor desenvolvido pela reação. O mecanismo é diferente do anterior e os polímeros obtidos tem propriedades bastante diferentes. O monômero, neste processo, é emulsificado com um ácido graxo, ou com um sabão catiônico e, a reação é iniciada com o auxílio de materiais inorgânicos, como persulfato de potássio e amônio, ou peróxido de hidrogênio. A diferença em relação ao processo de polimerização em suspensão é que estes iniciadores são solúveis na fase aquosa. O cloreto de vinila se difunde através da camada de água até as micelas (cada uma das partículas que se encontram em suspensão, nas soluções coloidais), agindo como núcleo de polimerização. É necessário usar um colóide protetor tal como carboximetilcelulose. Quando a emulsão com o polímero está pronta, ela é secada por pulverização ou coagulada pela adição de um eletrólito, sendo filtrada e finalmente, secada. Para se obter polímeros de alta pureza é necessário lavar o resto do sabão catiônico, através de técnica especial” (MILES, 1975).

2.8.5 PRODUÇÃO DO POLIESTIRENO – PS

“O monômero de estireno é um composto aromático simples, que contém uma cadeia lateral não saturada (radical). Foi isolado pela primeira vez por Neuman, no final do século XVIII, utilizando fontes vegetais como matéria-prima. O trabalho continuou com a extração de estireno de resinas naturais, tais como o *storax* e sangue de dragão (nome exótico para a goma vermelha e brilhante que exsuda de uma espécie de fruta de palmeira)” (MILES, 1975).

“Em 1839, o farmacêutico alemão Simon observou que o estireno solidificava durante o armazenamento, ou quando aquecido. No início, o produto foi considerado resultado da oxidação do estireno; a verdadeira natureza da reação (isto é, a polimerização) só foi reconhecida em 1845, por Blyth e Hoffman. Em 1866 Berthelot relatou a síntese de estireno pelo processo simples da passagem do benzeno e do etileno por um tubo aquecido ao vermelho” (MILES, 1975).

“Somente a partir de 1925 iniciou-se a produção comercial do monômero de estireno na Alemanha e nos Estados Unidos. Por volta de 1939 o monômero de estireno e o polímero eram bem conhecidos, mas sua produção era relativamente pequena. Com o início da segunda grande guerra, em 1939, houve um súbito aumento da demanda do estireno para a fabricação de borrachas de estireno/butadieno (SBR). Após o término da guerra a produção diminuiu, porém, aos poucos voltou a aumentar e hoje é uma das maiores indústrias de resinas termoplásticas do mundo” (MILES, 1975).

“O estireno puro é um líquido que ferve a 145°C , tem ponto de solidificação igual a $-30,6^{\circ}\text{C}$ e que polimeriza lentamente à temperatura ambiente. Pode ser mantido inalterado por longos períodos se a ele for adicionada pequena quantidade de inibidor, tal como hidroquinona. Para que se proceda a polimerização, o inibidor deverá ser removido por lavagem ou destilação” (MILES, 1975).

Atualmente, o estireno pode ser obtido a partir de vários métodos, tais como desidrogenação de álcoois, pirólise do acetileno, pirólise de hidrocarbonetos, etc.; entretanto, o método mais empregado consiste na desidrogenação do etilbenzeno (SENAI, 2006).

“O etilbenzeno é obtido através da reação entre o etileno e o benzeno, na presença de um catalisador de Friedel-Crafts, como o cloreto de alumínio (AlCl_3), por exemplo, a aproximadamente 95°C . A desidrogenação do etilbenzeno ocorre pela ação do calor, na presença de óxidos metálicos, tais como óxido de zinco, cálcio, magnésio, ferro ou cobre. A temperatura do sistema deve ser da ordem de 600 a 800°C e a pressão reduzida, pois a reação é exotérmica, o que aumenta o volume durante a reação” (SENAI, 2006).

O poliestireno pode ser preparado pelos métodos de massa, suspensão, solução e emulsão; os dois primeiros são os de maior importância. “A polimerização em massa tem a vantagem de ser um método simples e de fornecer um polímero com alta clareza, transparência e boas propriedades de isolamento elétrica. Entretanto,

existem sérios problemas relacionados com a exotermia da reação e o produto pode ter uma larga distribuição de peso molecular.” Assim, “as unidades de polimerização em massa contínua são muito utilizadas para a produção do poliestireno, mas deve ser observado muito cuidado para se evitar o aquecimento da reação que acelera a polimerização e em consequência perde-se o controle do processo”. O “processo consiste na pré-polimerização do estireno, através do aquecimento - sem catalisadores - em um reator de pré polimerização, a 80°C, por um período de dois dias, até que se alcance a conversão de 33-35% do polímero. A mistura monômero/polímero é então levada para uma torre de aproximadamente 7,5 m de altura. A torre é envolvida com jaquetas de aquecimento e resfriamento e tem serpentinas de aquecimento e resfriamento em seu interior. O topo da torre é mantido a uma temperatura de aproximadamente 100°C, o centro a aproximadamente 150°C e o fundo da torre, a aproximadamente 180°C. A alta temperatura do fundo da torre assegura uma alta taxa de conversão e ainda produz a ebulição do estireno residual presente no polímero, eliminando-o. A base da torre está acoplada a uma extrusora, que recebe o polímero fundido, transformando-o em filamentos, os quais são resfriados, granulados e embalados” (SENAI, 2006).

Na polimerização em solução a exotermia da reação é menor, porém diminui o grau de pureza do polímero. O solvente pode atuar como um agente de transferência de cadeia e pode causar redução no peso molecular. Os problemas ligados à transferência de calor e ao movimento físico da massa viscosa na polimerização em solução do estireno são reduzidos, porém estas vantagens são pequenas em vista dos problemas causados pela remoção do solvente e a possibilidade de reações de transferência de cadeia” (SENAI, 2006).

“O estireno e o solvente são misturados e bombeados para o topo de um primeiro reator, que é dividido em três zonas de aquecimento. Na primeira zona, a solução é aquecida até iniciar a reação de polimerização. Devido a reação ser exotérmica, são utilizadas serpentinas de resfriamento na segunda e terceira zonas do primeiro reator e nas três zonas do segundo reator, para retirar calor do sistema. Quando a mistura reacionária atinge o terceiro reator, a reação está mais lenta e deve ser reaquecida. Do terceiro reator, o polímero é direcionado para um reator de volatilização. O solvente, o monômero residual e traços de polímeros de baixo peso molecular são removidos à temperatura de 225°C, condensados e reciclados. O

polímero é alimentado em uma extrusora, transformado em filamentos, granulado e embalado” (SENAI, 2006) .

“A polimerização em suspensão não apresenta os mesmos problemas de pureza do polímero que ocorrem na polimerização em solução, mas pode existir uma pequena contaminação do polímero pela água e pelo agente de suspensão. Porém, o polímero pode ser secado, extrudado e granulado, para ser utilizado em moldagens por extrusão e injeção” (SENAI, 2006).

“O monômero é suspenso em água, com um catalisador, tal como o peróxido de benzoila, que é solúvel no estireno e insolúvel na água. Quando a mistura é agitada, o estireno se distribui em gotículas, que contém uma pequena quantidade de catalisador no seu interior, de modo que o processo é uma espécie de polimerização em massa, sem a desvantagem do controle de temperatura, como ocorre naquele tipo polimerização. Para manter as partículas suspensas durante a reação e evitar a formação de aglomerados de partículas, utiliza-se um agente de suspensão, por exemplo, o poli(álcool vinílico) ou o talco. As desvantagens dessa técnica é que aproximadamente 70% do volume do reator é ocupado pela água e na sua secagem, o polímero pode apresentar descoloração por degradação. A pureza dos produtos obtidos por essa técnica é superior à pureza dos obtidos por emulsão.” (SENAI, 2006).

A polimerização em emulsão utiliza grande quantidade de sabões metálicos que afetam a clareza e as propriedades de isolamento elétrica. Devido à grande quantidade residual de sabões deixada no polímero e ainda aos problemas na agitação e densificação, esse processo é usado somente para a fabricação de látex de poliestireno (SENAI, 2006).

2.9 PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO DAS RESINAS COMMODITIES

Quanto aos principais processos de transformação das commodities, que são normalmente resinas termoplásticas, tem-se: Moldagem por extrusão, moldagem por sopro (via injeção ou extrusão), moldagem à vácuo (*vacuum forming*), moldagem rotacional (ou rotomoldagem), moldagem por injeção e calandragem. Estes processos são baseados em uso de ciclos térmicos, o que pode levar a mudanças

nas propriedades mecânicas dos materiais plásticos e, também, dificultar a reciclagem. Esses processos são também bastante semelhantes aos processos utilizados na reciclagem.

2.9.1 MOLDAGEM POR EXTRUSÃO

Uma extrusora consiste essencialmente de um cilindro em cujo interior gira um parafuso de Arquimedes (rosca sem-fim), que promove o transporte do material plástico. Este é progressivamente aquecido, plastificado e comprimido, sendo forçado através do orifício de uma matriz montada no cabeçote existente na extremidade do cilindro. O aquecimento é promovido ao longo do cilindro e no cabeçote, geralmente por resistências elétricas, vapor ou óleo. O material assim amolecido e conformado é submetido a um resfriamento. Desta forma, o processo de extrusão pode ser utilizado para obtenção de filmes de PEBD, para uso como saco plástico, ou tubos de PVC ou PE (Plastivida, 2009).

2.9.2 MOLDAGEM POR SOPRO

A moldagem por sopro permite a confecção de peças ocas como bolsas, frascos ou garrafas. O processo consiste na expansão de um tubo pré-conformado sobre a ação de aquecimento e ar comprimido no interior de um molde bipartido. Em contato com o molde, o material resfria e endurece, permitindo a abertura e a retirada do artefato. Pode-se observar no frasco plástico uma linha contínua que percorre toda a embalagem, resultante desse tipo de moldagem (Plastivida, 2009).

2.9.3 MOLDAGEM À VÁCUO (*VACUUM FORMING*)

O processo de transformação plástica através da termoformagem consiste em aquecer folhas ou placas de plástico de diversos tamanhos e espessuras, através de máquinas termoformadoras. Com a aplicação de vácuo, a peça desejada forma-se em torno de um molde. Este processo é utilizado para a fabricação de protótipos industriais, peças de grandes dimensões (caixas, bandejas, revestimentos

para interiores de geladeira, etc.) e artefatos descartáveis sem exigências especiais de acabamento.

(Fatec Mogi Mirim - Aula 05 - processamento de polímeros)

2.9.4 MOLDAGEM ROTACIONAL OU ROTOMOLDAGEM

“Moldagem rotacional ou rotomoldagem é um processo desenvolvido para produção de peças ocas, sem costura e de todos os tamanhos e formas. Tradicionalmente tem maior aplicação na transformação de materiais termoplásticos e ultimamente tem sido aplicada na moldagem de polietilenos reticulados e alguns termofixos. Atualmente, mais de 80% dos materiais utilizados em rotomoldagem são os polietilenos; outros materiais rotomoldáveis são os plastisóis, *nylons*, polipropilenos, poliacetais, policarbonatos, ABS (copolímero de acrilonitríla, butadieno e estireno) entre outros (TRM Termoplásticos, 2007)”.

“O processo de rotomoldagem é ideal para a produção de peças ocas de grande porte, bem como para peças com dimensional reduzido quando a configuração não possibilita sua produção através dos demais processos.

Os índices de produção são relativamente baixos, visto que a produção é demorada, se comparada com os demais processos.

No processo de rotomoldagem, o material termoplástico é inserido na cavidade do molde, em forma de pó, em quantidade adequada para atender os requisitos de espessura do produto, então o molde é fechado, colocado em um forno e girado vertical e horizontalmente.

O molde que, continua girando, distribui o material em início de fusão sobre suas paredes por efeito da força centrífuga, formando uma película. Após um determinado período, o molde é retirado do forno e resfriado para manutenção da forma desejada da peça, posteriormente o produto é retirado do molde, na maioria das vezes de forma manual” (IBT Plásticos, 2008).

2.9.5 MOLDAGEM POR INJEÇÃO

A moldagem por injeção é o processo que permite a confecção de utensílios plásticos em geral - bacias, tampas, caixas, pára-choques, calotas, etc. Consiste na

introdução do plástico em um molde fechado e frio ou pouco aquecido, por intermédio de pressão fornecida por um êmbolo. O material preenche as cavidades do molde e o artefato é posteriormente extraído. Em geral, pode-se observar na base da peça plástica uma "cicatriz", que é o ponto de injeção do material plástico dentro do molde (Plastivida, 2009).

2.9.6 CALANDRAGEM

Processo de transformação de plásticos semelhante à laminação de metais. A resina, na forma de massa ou chapas espessas, é conformada através da passagem através de rolos altamente polidos, aquecidos e sob grande pressão. É ideal para a produção de produtos planos, tais como filmes, encerados, cortinas, chapas para pisos, etc. (Gorni, 2003).

2.10 ASPECTOS AMBIENTAIS

“No último quarto do século 20, os plásticos tornaram-se o símbolo da sociedade de consumo descartável, dado que uma grande parte deles – especialmente os usados em embalagens – foi projetada para ser usada uma só vez, sendo em seguida rapidamente descartada. Muitos ambientalistas acreditavam que os resíduos plásticos eram os principais culpados na "crise do lixo"; de fato, os plásticos moldados ocupam mais espaço nos aterros do que seu percentual em massa devido as suas baixas densidades, embora fiquem comprimidos, tanto pelo peso dos materiais colocados sobre os mesmos quanto pelas operações de compactação utilizadas antes da sua disposição final no aterro” (BAIRD, 2002).

Por várias razões, inclusive o fato de que os aterros – especialmente na Europa – estejam chegando ao limite de sua capacidade e de que muitos cidadãos de países desenvolvidos mostrem-se contrários à sua incineração, muitos plásticos são atualmente coletados e reciclados, ou seja, existem poucas dúvidas de que a população de muitos países desenvolvidos tenha adotado a reciclagem de plásticos. (BAIRD, 2002).

Na década de 1990, praticamente 80% da massa de plásticos reciclados nos Estados Unidos da América correspondia ao PET e ao PEAD, em quantidades

aproximadamente iguais. O PEBD era o único dos outros plásticos com reciclagem significativa. Nessa época, alguns países, como Suécia e Alemanha, tornaram os fabricantes legalmente responsáveis pela coleta e reciclagem das embalagens usadas em seus produtos. Contudo, esses valores de reciclagem variam muito. No final dos anos 90, por exemplo, cerca de metade das comunidades urbanas dos Estados Unidos tinha adotado programas de reciclagem que incluíam os materiais plásticos. Entretanto, a taxa de reciclagem de garrafas de refrigerantes fabricadas com PET caiu para 34% em 1996, uma quantidade consideravelmente menor do que a taxa de 45% atingida em 1994.”

Além disso, alguns grupos de empresas ofereciam muita resistência à reciclagem de plásticos – muitas indústrias de plásticos, por exemplo. O argumento era “que os plásticos virgens são um material de baixo custo e que é fabricado a partir de uma matéria-prima relativamente barata (petróleo); a energia consumida na fabricação de plásticos é pequena comparada com a usada na fabricação de alumínio ou aço a partir de suas matérias-primas”. Por outro lado, o “custo da limpeza e retroconversão dos plásticos usados em seus monômeros para serem novamente polimerizados é substancial, quando comparado com o custo do petróleo no último século”. Assim, “algumas indústrias propõem que o método natural de descarte de plásticos seja simplesmente sua queima com o aproveitamento da energia calorífica fornecida, especialmente pelo fato de existir pouca objeção por parte do público em geral em simplesmente queimar a grande maioria de nosso petróleo (aproximadamente as três quartas partes) em nossos veículos, aquecedores domésticos e plantas produtoras de energia” (BAIRD, 2002).

“Além disso, vários experimentos indicam que a presença de plásticos faz com que os outros materiais presentes no lixo doméstico queimem mais limpamente e reduz a necessidade da adição de combustível fóssil suplementar. Embora os plásticos contribuam com menos de 10% do lixo doméstico, eles constituem mais de um terço de seu teor energético” (BAIRD, 2002).

Os ambientalistas, por sua vez, “rebatem esse ponto de vista argumentando que, se o impacto ambiental fosse incluído no custo dos materiais virgens, o plástico reciclado seria a alternativa mais barata. Além disso, a combustão de alguns plásticos, sobretudo o PVC, produz dioxinas e furanos e emite cloreto de hidrogênio gasoso” (BAIRD, 2002). Portanto, o setor é influenciado por vários stakeholders (partes interessadas).

2.10.1 STAKEHOLDERS (PARTES INTERESSADAS) E A RECICLAGEM

Como mencionado anteriormente, a questão ambiental, pelo seu caráter sistêmico, congrega uma série de interessados, genericamente denominados por partes interessadas (*stakeholders*). A UNEP (*United Nations Environment Programme*) (UNEP, 1992) elencou em seu manual não só as partes envolvidas como também suas preocupações, que foram dispostas por Limad em uma Tabela, como pode ser visto na reprodução desta Tabela na Figura 7 (LIMAD, MACORIM, SILVA, 2009). Estas partes interessadas devem ser consideradas quando um setor é analisado pelo aspecto de fechamento de ciclo, como proposto pela ecologia industrial.

Principais preocupações das partes interessadas na questão ambiental, segundo a UNEP.

Partes interessadas	Principais preocupações
Comunidade	Medo do desconhecido
Ong	Medo da falta de dados
Governo	Medo da falta de dados
Consumidores	Desejo de agir ambientalmente correto
Imprensa	Medo de não obter a verdadeira história
Associações	Medo de não obter a verdadeira história, principalmente porque também podem representar o empreendimento em alguns fóruns
Instituição financeira	Medo de que haja perigo futuro no empreendimento
Acionistas	Medo de que haja perigo futuro no empreendimento

Figura 7 - Principais preocupações dos Stakeholders–UNEP
Fonte: (LIMAD, MACORIM, SILVA, 2009)

2.10.2 REUTILIZAÇÃO

Reutilização é um conceito “utilizado geralmente antes da reciclagem de um determinado produto. Trata-se da reutilização dos produtos em outras aplicações ou na montagem de outros componentes, aumentando a vida útil do mesmo. Esta

prática já vem sendo utilizada em algumas empresas. Como exemplo, pode-se citar o caso *Hewlett Packard*, que utiliza esta ideia nos projetos de fabricação de novos equipamentos, visando permitir o intercâmbio entre os componentes na montagem de seus produtos” (SENAI, 2004).

2.10.3 RECICLAGEM

“Reciclagem é a revalorização dos descartes domésticos e industriais, mediante a uma série de operações, que permitem que os materiais sejam reaproveitados como matéria-prima para outros produtos. É uma atividade moderna que alia a consciência ecológica ao desenvolvimento tecnológico e econômico. É também peça fundamental no fechamento de ciclos de produção, como preconizado pela Ecologia Industrial” (BAIRD, 2002).

A reciclagem dos plásticos pode ser mecânica, química ou de recuperação energética, conforme segue:

1. reprocessamento por refusão ou remoldagem, usualmente os plásticos são lavados, fragmentados e triturados, de maneira que, uma vez limpos, podem ser fabricados novos produtos a partir deles (mecânica);
2. despolimerização até seus componentes monoméricos mediante processos químicos ou térmicos, de maneira que possam ser polimerizados novamente (química);
3. transformação em uma substância de baixa qualidade a partir da qual possam ser feitos outros materiais (química);
4. queima para obtenção de energia (recuperação de energia).

“Entre os exemplos da opção de reprocessamento, incluem-se a produção de fibras de carpete a partir de PET reciclado, de itens como canecas de plástico e sacolas a partir de PEAD reciclado e estojos de Cds e acessórios de escritório, como bandejas e régua, a partir de poliestireno reciclado” (BAIRD, 2002).

“A opção de despolimerização pode ser usada no caso de PET e de outros polímeros, onde duas unidades diferentes encontram-se alternadas em sua estrutura. Esses polímeros são produzidos por combinação de moléculas pequenas que contêm unidades diferentes. Durante a polimerização, cada um dos reagentes perde um componente combinando-se entre si. Por exemplo, na produção do PET

forma-se uma molécula de metanol, CH_3OH , a partir da unidade OH de um componente e da unidade CH_3 , do outro componente. No processo de despolimerização química, são aplicados calor e um catalisador a uma mistura de metanol com os plásticos, com a finalidade de reverter o processo de polimerização inicial e recuperar os componentes iniciais“ (BAIRD, 2002).

“Uma das dificuldades da despolimerização de plásticos reside no fato de que, frequentemente, são agregadas pequenas quantidades de compostos orgânicos e inorgânicos ao polímero original durante a formação do plástico, para modificar suas propriedades físicas, devendo estes compostos ser removidos do plástico ou dos monômeros antes que eles possam ser reutilizados“ (BAIRD, 2002).

“No caso de muitos polímeros de adição, é difícil delinear um processo pelo qual os monômeros originais possam ser formados novamente. O rendimento em monômero da despolimerização térmica do poliestireno é de 40%, mas é próximo de zero no caso do polietileno, porque a cadeia polimérica pode sofrer cisão com a mesma probabilidade em praticamente qualquer posição, em vez de a ruptura produzir exclusivamente unidades de dois carbonos” (BAIRD, 2002).

“Dentre os exemplos de opções de transformação em substância de menor valor agregado, encontram-se:

- Processos de redução, como a produção de combustível sintético mediante a hidrogenação de plásticos ou por meio de seu aquecimento à alta temperatura para "quebrar" as moléculas poliméricas, processo que pode ser levado a cabo mesmo com plásticos misturados. Por exemplo, tem sido proposta a pirólise de plásticos de polietileno para gerar monômeros que podem ser convertidos em lubrificantes.
- Processos de oxidação, como a gasificação de plásticos por adição de oxigênio e vapor, com o objetivo de produzir gás de síntese (uma mistura de hidrogênio e monóxido de carbono)” (BAIRD, 2002).

A reciclagem de material plástico pode também, arbitrariamente, ser dividida em dois grandes grupos: a reciclagem de material que se encontra em processo de transformação (portanto, ainda dentro do ciclo de produção) ou pós-consumo (ou seja, fora do ciclo de produção). Seguem abaixo exemplos de reciclagem de plásticos em alguns países industrializados.

“Nos Estados Unidos a reciclagem do plástico é feita através de dois segmentos. O primeiro é o reprocessamento de frascos de polietileno e mistura de

plásticos provenientes de resíduos sólidos urbanos. O segundo é representado pelo reaproveitamento dos resíduos originados na indústria de produção e processamento de polímeros” (SENAI, 2004).

Em muitos países as grandes empresas já “incentivam a população a reciclar materiais pós-consumo, como é o caso da *ICI Plastics*, na Austrália, onde a empresa incentiva as comunidades para a reciclagem e os materiais reciclados são utilizados em produtos substituindo a madeira – a chamada madeira plástica (SENAI, 2004).

“Há casos de indústrias que utilizam produtos plásticos que estão solicitando a adição de produtos "monomaterial", a exemplo da indústria automobilística, que está empenhada em tornar o automóvel rapidamente desmontável, para facilitar a reciclagem mecânica das auto peças plásticas” (SENAI, 2004).

“Em atividades onde a obtenção das características necessárias ao produto requer a mistura de diferentes plásticos a mudança para o monomaterial não é adequada. Também as indústrias automobilísticas estão desenvolvendo peças em materiais já usados, e que contenham reforços de fibras vegetais” (SENAI, 2004).

“A grande variedade de materiais diferentes utilizados nas indústrias de bens de consumo se constitui num sério problema para a sua reciclagem. Na França, por exemplo, um grande problema das empresas recuperadoras está na separação dos materiais provenientes das indústrias automobilísticas, onde a variedade de matérias-primas utilizadas é grande” (SENAI, 2004).

No Japão, 40 à 50% do lixo sólido é reciclado de forma eficiente, pois lá existem cerca de 2.000 incineradores. De 10 à 20% do lixo em forma de matéria-prima é descartado (SENAI, 2004).

2.10.4 RECICLAGEM DE MATERIAL AINDA EM PRODUÇÃO

A reciclagem de material pode ocorrer com material ainda em produção ou pós-consumo. Quanto ao material ainda em produção, “os resíduos plásticos industriais, tais como aparas, rebarbas, sobras e matérias-primas fora de especificação, são considerados materiais “nobres”, não estão misturados a outros resíduos e não necessitam de etapas de separação e lavagem. Pertencem a um grupo de resíduos que dificilmente são descartados e que geralmente não saem das empresas transformadoras” (REVISTA PLÁSTICO MODERNO,2010). “São

considerados rejeitos uniformes ou de primeira qualidade, geralmente esse material é recuperado na própria empresa, ou enviado para empresas especializadas em recuperação” (SENAI, 2004). O material a ser recuperado pode apresentar as seguintes formas:

- Borrás;
- Canais de injeção;
- Refiles e refugos de filmes;
- Rebarbas e refugos de frascos;
- Sobras de reatores

2.10.5 RECICLAGEM PÓS CONSUMO

Na reciclagem pós-consumo, a identificação dos plásticos tem um papel muito importante, pois possibilita a separação dos mesmos e evita a mistura de plásticos incompatíveis para algumas aplicações, como por exemplo: PS e poliolefinas, PVC e PET. As etapas deste tipo de reciclagem são:

- Coleta e Separação – triagem por tipos de materiais (papel, metal, plásticos, madeira, etc.);
- Revalorização – Etapa intermediária que prepara os materiais separados para serem transformados em novos produtos;
- Transformação – Processamento dos materiais para geração de novos produtos/energia a partir dos materiais revalorizados. Nessa etapa, a Reciclagem Mecânica é a mais comum.” (SENAI, 2004)

2.10.6 RECICLAGEM MECÂNICA

“Nesse caso, a reciclagem consiste na conversão dos descartes plásticos ou de consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos como sacos de lixos, solados, pisos, conduítes, mangueiras, fibras, embalagens não alimentícias, etc. Essa reciclagem possibilita a obtenção de produtos a partir de misturas de diferentes plásticos em determinadas proporções,

ou produtos compostos por um único tipo de plástico. No Brasil em média apenas 12% dos resíduos de plástico pós-consumo são reciclados” (SENAI, 2004).

“A reciclagem mecânica é importante, mas, sem dúvida, não é a solução para os problemas relacionados com os resíduos sólidos urbanos. Na Europa e nos Estados Unidos, a reciclagem mecânica dos plásticos é responsável pela recuperação de 15 a 20% dos plásticos presentes no lixo. Países mais desenvolvidos no gerenciamento integrado do lixo urbano possuem diversas formas de tratamento associadas à reciclagem mecânica” (SENAI, 2004).

“Na reciclagem mecânica, a mistura de vários tipos de plásticos na obtenção de um mesmo produto pode causar problemas. Há plásticos mais ou menos compatíveis entre si, enquanto outros são totalmente incompatíveis. Porém, existe a possibilidade de se utilizar tecnologias específicas que permitem o uso de plásticos misturados em determinadas proporções, por exemplo, na produção da chamada madeira plástica, bastante utilizada na produção de mourões, perfis para janelas, paletes, bancos de praça, isolamento acústico, etc.”(Figura 8) (SENAI, 2004).



Figura 8 - Objetos produzidos com madeira plástica
Fonte: Reciplat e Deutschsul

Para a produção de tábuas e vigas de madeira plástica, utiliza-se uma extrusora especial, representada na Figura 9, denominada “intrusora” que introduz o material fundido dentro de um molde, para produzir peças maciças de grandes

dimensões. Para processos de produção contínua também podem ser utilizadas extrusoras normais, com esteiras e calhas de resfriamento. Os materiais para a produção contínua são compostos com cargas e agentes auxiliares de processo.



Figura 9 - Intrusora para fabricação de madeira plástica
Fonte: <http://www.deutschsul.com.br/estrados.html>

2.11 REVALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS

A revalorização (produção do plástico granulado) dos resíduos plásticos na reciclagem mecânica ocorre de acordo com a sequência de processos listados a seguir: separação, moagem, lavagem, secagem, aglutinação e extrusão” (SENAI, 2004).

2.11.1 SEPARAÇÃO

“A separação acontece geralmente sobre uma esteira com diferentes tipos de plásticos, de acordo com a identificação ou com o aspecto visual. Nesta etapa são separados também rótulos de materiais diferentes, tampas de garrafas e produtos compostos por mais de um tipo de plástico, embalagens metalizadas, grampos, etc. Por ser uma etapa geralmente manual, a eficácia depende diretamente da prática

das pessoas que executam esta tarefa. Outro fator determinante da qualidade é a fonte do material a ser separado, sendo que aquele oriundo da coleta seletiva é mais limpo em relação aos provenientes de lixões e aterros” (SENAI, 2004). A Figura 10 exibe uma esteira simples utilizada para separação de plásticos.

“O processo de separação é ajudado com a implantação de sistemas de coleta seletiva de resíduos. E a identificação por meio de símbolos e números, padronizados no mundo todo colabora para uma melhor triagem dos materiais. O símbolo deve ser moldado ou impresso na base do produto sempre que for tecnicamente possível. Pode-se também utilizar alta tecnologia para realizar a separação dos plásticos, como a utilização de raios X em frascos de PVC, ou de métodos de flotação e magnetismo, utilizados na Alemanha, mas que demandam altos investimentos e aumentam significativamente os custos”. (SENAI, 2004). Após a separação o material segue para a moagem.



Figura 10 - Esteira para a separação de plásticos
Fonte: <http://www.kie.com.br/esteiras.php>

2.11.2 MOAGEM

Depois de separados os diferentes tipos de plásticos os materiais resultantes são moídos e fragmentados em pequenas partes (SENAI, 2004). A Figura 11 mostra um modelo simples de moinho para plásticos utilizado na reciclagem. Após a moagem o material precisa ser lavado para eliminação dos contaminantes.



Figura 11 - Moinho para plásticos
Fonte: <http://www.reciclaveis.com.br/hp/kie/?pg=produtos>

2.11.3 LAVAGEM

Logo depois de ser triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes. Após a utilização, é necessário que a água receba um tratamento para a sua reutilização ou emissão como efluente (SENAI, 2004). A Figura 12 exibe uma pré-lavadora



Figura 12 - Pré-lavadora para plásticos
Fonte: <http://www.kie.com.br/prelavadoras.php>

A Figura 13 exibe uma lavadora/secadora. Após a lavagem o material deverá passar pelo secador para eliminar a água.



Figura 13 - Lavadora/secadora
Fonte: http://www.kie.com.br/lavadoras_secadoras.php

2.11.4 SECAGEM

Nesta etapa, o material que foi lavado passa por um secador (Figuras 14,15 e 16) que retira o excesso de água por centrifugação (SENAI,2004). Após passar pelo secador o material segue para o aglutinador.



Figura 14 - Secadora horizontal para plásticos
Fonte: http://www.kie.com.br/lavadoras_secadoras.php



Figura 15 - Secador para plásticos
Fonte: <http://www.mecvale.com.br/secador.html>



Figura 16 - Secador para plásticos (funil)
Fonte: <http://www.sre.ind.br>

2.11.5 AGLUTINAÇÃO

“No aglutinador (Figura 17), além de completar a sua secagem, o plástico é compactado, reduzindo-se o volume de material que será enviado para a extrusora. O atrito dos fragmentos do plástico contra as paredes do equipamento provoca elevação de temperatura, provocando a formação de uma massa plástica. Esta etapa é comum quando o material a ser recuperado tem forma de filmes e fibras. Nas peças maciças esta etapa não é necessária. O aglutinador também é utilizado para a incorporação de aditivos, como cargas, pigmentos e lubrificantes” (SENAI, 2004).



Figura 17 - Aglutinador para plásticos
Fonte: <http://www.reciclaveis.com.br/hp/kie/?pg=produtos>

2.11.6 EXTRUSÃO

A extrusora (Figura 18) funde o material e torna a massa plástica homogênea. Na saída da extrusora encontra-se o cabeçote, do qual sai um “espaguete” contínuo, que é resfriado com água (SENAI, 2004).



Figura 18 - Extrusora para plásticos
Fonte: <http://www.kie.com.br/extrusoras.php>

2.11.7 GRANULAÇÃO

A medida que sai da extrusora, o “espaguete” é picotado em um granulador (Figura 19) e transformado em *pellets* (grãos plásticos)” (SENAI, 2004)



Figura 19 - Granulador para plásticos
Fonte: <http://www.kie.com.br/granuladores.php>

2.11.8 RECICLAGEM ENERGÉTICA

“A reciclagem energética do plástico é considerada importante para o caso de materiais contaminados cuja limpeza e descontaminação sairia muito caro e impactante ao meio ambiente. Para a reciclagem energética, bem como para a reciclagem química, a mistura de diferentes tipos de plásticos não apresenta qualquer inconveniente, visto que o material será incinerado para a recuperação da energia nele contida, ou voltará como matéria-prima para a produção de novas resinas, no caso da reciclagem química” (SENAI, 2004).

“A incineração dos plásticos é tratada mundialmente como recuperação energética, em função dela ter esse objetivo. A reciclagem energética distingue-se da incineração por utilizar os resíduos plásticos como combustível na geração de energia elétrica. Já, a simples incineração não reaproveita a energia dos materiais. A energia contida em 1,0 kg de plástico é equivalente a contida em 1,0 kg de óleo combustível. Cerca de 15% da reciclagem de plástico na Europa Ocidental é realizada via reciclagem energética. A usina *Saint-Queen* em Paris, assegura o suprimento de eletricidade para 70.000 pessoas com 15.400 megawatts/ano. Além da economia e recuperação de energia, ocorre ainda uma redução de 70 a 90% da massa do material, restando apenas um resíduo inerte esterilizado” (SENAI, 2004).

“A recuperação energética deve ser feita em sistemas que além da geração de energia elétrica/térmica, assegurem total proteção ao meio ambiente, principalmente quanto a não emissão de poluentes na atmosfera, o que diferencia o conceito de simples queima. É difícil prever o que pode ocorrer em processos de combustão descontrolada” (SENAI, 2004).

“Pode haver, por exemplo, a geração de quantidades significativas de gases ácidos ou básicos, CO₂, compostos nitrosos, halogenados, sulfurados, entre outros, que podem ser prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Assim, nos incineradores modernos as condições de operação são determinadas para que o resíduo permaneça um tempo maior dentro do forno, em condições ideais de turbulência e oxigênio, a fim de que haja praticamente a total destruição dos compostos tóxicos” (SENAI, 2004).

“Os equipamentos atuais dispõem de vários acessórios de controle ambiental, como filtros eletrostáticos, lavadores de gases, sistemas de resfriamento rápido de fumos, etc. Países com alta qualidade de vida, como os escandinavos, possuem

centenas de incineradores instalados em funcionamento. No caso específico das dioxinas, por exemplo, os incineradores são desenhados para cumprir normas ambientais bastante rigorosas, como as estabelecidas na Alemanha, que ditam um teor máximo de emissão de dioxinas de 0,1 ng/m³” (SENAI, 2004).

“As melhores condições para a queima dos resíduos plásticos estão relacionadas com a destruição dos resíduos de PVC, que são:

- Temperatura acima de 850°C
- Turbulência
- Tempo de residência de 2 segundos
- Teor controlado de oxigênio
- Rápido resfriamento dos gases gerados” (SENAI, 2004)

“Na incineração de resíduos sólidos urbanos tem-se que:

- A presença de plásticos é de vital importância, pois aumenta o rendimento da incineração de resíduos;
- O calor pode ser recuperado em caldeira, utilizando o vapor para a geração de energia elétrica e/ou aquecimento;
- Testes em escala real na Europa comprovam os bons resultados da combustão de resíduos de plásticos com carvão, madeira e turfa; tanto tecnicamente, quanto economicamente, e ambientalmente;
- A queima de plásticos em processos de reciclagem energética reduz o uso de combustível, proporcionando uma economia de recursos naturais” (SENAI, 2004).

“É importante observar que dentro da composição do lixo urbano, os plásticos são os materiais com o maior poder calorífico. Portanto sua presença diminui consideravelmente a quantidade de óleo combustível necessária para promover a combustão do material. Assim, além da economia e da recuperação de energia, há uma redução de 70 a 90% do volume de resíduo inerte esterilizado” (SENAI, 2004).

“É importante lembrar que a incineração deve fazer parte do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos de uma cidade, onde todas as formas de deposição final estejam contempladas. A reciclagem energética é realizada atualmente em diversos países da Europa, Estados Unidos e Japão. Há, ainda, a possibilidade de co-processamento com outros combustíveis, por exemplo, para a queima em fornos de cimento” (SENAI, 2004).

2.11.9 RECICLAGEM QUÍMICA

“Também é possível reprocessar os plásticos pela reciclagem química, degradando-os em insumos básicos (monômeros). A reciclagem química promove a despolimerização dos materiais plásticos para a obtenção de gases e óleos, a serem utilizados como matéria-prima na fabricação de outros polímeros com as mesmas propriedades das resinas originais. Porém, os altos custos do processo ainda o inviabilizam. Existem poucas plantas do gênero no mundo. Uma delas é a da Veba Oel (grupo petroquímico), na Alemanha” (SENAI-SP, 2004).

2.11.10 DIFICULDADES SOCIAIS E ECONÔMICAS PARA A RECICLAGEM DOS PLÁSTICOS PÓS-CONSUMO NO PAÍS

“No país, os produtos pós-consumo apresentam uma série de problemas para uma efetiva reciclagem. A maior parte dos co-produtos pós-consumo se apresenta suja (contaminada por resíduos orgânicos), pois poucos municípios possuem coleta seletiva, o que onera custos e, muitas vezes, até torna inviável essa reciclagem” (REVISTA PLÁSTICO MODERNO, 2010).

“A grande maioria dos catadores nunca foi treinada e seus conhecimentos sobre o assunto são adquiridos na prática do dia a dia. O preço dos materiais depende, entre outros fatores, da disponibilidade e da origem do material. A falta de fornecimento contínuo e homogêneo de matéria-prima é outro reflexo da inexistência de sistemas de coleta seletiva” (REVISTA PLÁSTICO MODERNO, 2010).

“O IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) é de 12%, superior ao da própria resina virgem, que gira na faixa de 10%, e isto resulta num desestímulo à reciclagem. Além disso, existem os intermediários, o que eleva consideravelmente o preço do plástico a ser reciclado e ainda há ausência de linhas de financiamento direcionadas às recicladoras “ (REVISTA PLÁSTICO MODERNO, 2010).

“Em muitos casos o código de identificação das resinas (ABNT NBR 13.230) inexistente, fato que dificulta a separação dos diferentes tipos de plásticos. Nesse caso é preciso recorrer às características físicas dos materiais (densidade, comportamento ao calor e/ou teste da chama). Existem tecnologias e procedimentos para a separação dos plásticos, porém, o custo torna-se muito elevado dentro deste contexto” (REVISTA PLÁSTICO MODERNO, 2010).

A Figura 20 retrata as dificuldades na separação dos materiais realizada por cooperativas de catadores



Figura 20 - Separação de resíduos
Fonte: Jornal da Unicamp ed. 365 – jul 2007

“Um bom sistema de gerenciamento deve levar em consideração, além da reciclagem mecânica, a recuperação energética, a reciclagem química a compostagem e também o aterro sanitário. Todas as formas são utilizadas, pois ainda não há estruturas que comportem um volume excessivo de reciclados” (REVISTA PLÁSTICO MODERNO, 2010). A Figura 21 apresenta o fluxograma comercial da reciclagem de plásticos.

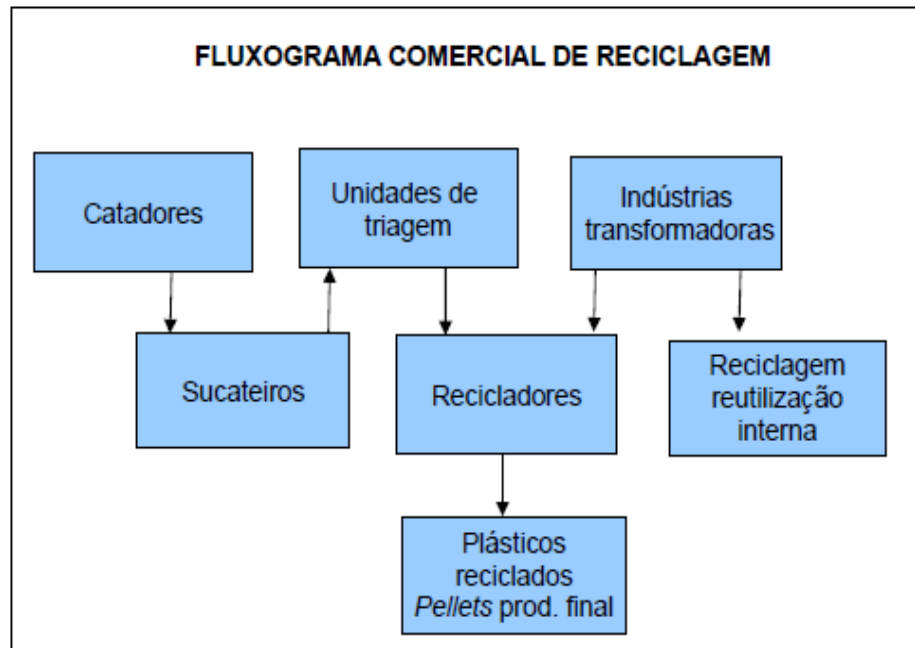


Figura 21 - Fluxograma da reciclagem de plástico
 Fonte: Revista Plástico Moderno 2010

2.12 ECOLOGIA INDUSTRIAL - CONCEITOS E FERRAMENTAS

2.12.1 ECOLOGIA INDUSTRIAL

A Ecologia industrial é o ramo das ciências ambientais que visa analisar o sistema industrial de modo integrado, tendo em conta a sua interação com o meio biofísico envolvente, assim como do ecossistema em que se insere (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

A Ecologia Industrial é uma nova abordagem que, com menos de vinte anos,

já é amplamente reconhecida devido à forma sistêmica com que analisa o sistema industrial, seus produtos, resíduos e as interações destes com o meio ambiente (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

“A indústria química é a maior responsável pela dispersão de substâncias tóxicas no meio ambiente e torna-se urgente e necessário promover mudanças na forma de tratar os problemas ambientais. Remediar e controlar os poluentes não é mais suficiente, deve-se direcionar os esforços no sentido de reduzir e, principalmente, prevenir o descarte de substâncias nocivas ao ambiente” (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

A analogia entre sistemas industriais e ecossistemas vem ganhando força e induz a considerações sobre as interações do sistema industrial com o meio ambiente o metabolismo industrial e a ecologia industrial exemplificam esta analogia (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

Alguns conceitos relevantes para a ecologia industrial são: metabolismo industrial, simbiose industrial e o fluxo de materiais.

2.12.2 METABOLISMO E SIMBIOSE INDUSTRIAL

O Metabolismo pode ser definido como os processos físicos e químicos internos que ocorrem em um organismo para a manutenção da vida. O Metabolismo Industrial consiste nos processos físicos e químicos que convertem matérias-primas e energia em produtos e resíduos (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

“O metabolismo pode ser estudado em qualquer nível de complexidade, desde os processos moleculares, que ocorrem em células individuais, até o processo que ocorre no organismo completo. Já os sistemas industriais podem ser estudados desde as mais simples operações unitárias na indústria, de forma regional ou global, ou seja, pode-se definir o tamanho do organismo” (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

“No metabolismo são excretados os resíduos que consistem de material degradado, de alta entropia. São consumidos materiais ricos em energia e de baixa entropia (alimento/matéria-prima) para sua manutenção e para desempenhar funções como crescimento, movimento e reprodução/produção. O metabolismo interno de um organismo depende de fatores além do próprio organismo, como o ambiente externo, outros organismos e das condições físico-químicas do ambiente, que regulam, direta ou indiretamente o metabolismo (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006)”.

“A produção depende de fatores externos, como por exemplo, o fator humano, que pode interferir no fluxo de materiais e energia diretamente, por meio do trabalho ou indiretamente, como consumidor. A oferta e a demanda regulam o mecanismo metabólico e o mercado e as instituições financeiras atuam como mecanismos reguladores. A Tabela 2 apresenta uma comparação entre Metabolismos do Ecosistema e do Sistema Industrial” (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

Tabela 2 - Comparação entre Metabolismos do Ecosistema e do Sistema Industrial

Metabolismo Industrial	
Ecosistema	Sistema Industrial
Organismo	Empresa
População	Parque Industrial ou Aglomerado
Ciclo Fechado de Matéria	Ciclo Aberto
Alto Índice de Reciclagem	Reciclagem Incipiente
Regulado pela quantidade de reservas de material	Regulado pela demanda de produto
Concentração e reúso de resíduos	Dissipação de resíduos
Reprodução	Produção

Fonte: (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006)

O metabolismo industrial visa otimizar os sistemas industriais, que devem ser projetados para operar de forma similar ao sistema natural, sem consumir reservas não renováveis e sem produzir resíduos inúteis, ou tóxicos (MADEIRA, 2007).

Segundo Madeira (MADEIRA, 2007), a troca de material, energia e, também, informação entre sistemas industriais e subsistemas pode causar maior ou menor impacto no ambiente:

1. aumento da concentração de substâncias extraídas das reservas naturais;
2. baixa eficiência no uso de reservas naturais;
3. aumento da concentração de substâncias produzidas pelo homem;
4. manipulação de ecossistemas – agricultura em larga escala

“Simbiose é uma relação mutuamente vantajosa entre dois ou mais organismos vivos de espécies diferentes. A Simbiose Industrial pode ser definida

como um relacionamento simbiótico e de longo prazo entre empresas envolvendo trocas físicas e de recursos humanos e técnicos. Estas trocas visam a melhoria do desempenho ambiental e o aumento da vantagem competitiva coletiva. As relações simbióticas podem ocorrer dentro da mesma empresa, planta ou organização; entre empresas localizadas dentro de um parque industrial; entre empresas que não estão localizadas na mesma área ou entre empresas organizadas “virtualmente” em uma região mais ampla” (MADEIRA, 2007).

“Exemplo de simbiose industrial com proximidade geográfica: Polo Petroquímico - Refinaria de petróleo como elemento central

Dentro da mesma empresa: Frações mais pesadas que tenham menor (ou nenhum) valor comercial são fornecidas como combustíveis para as outras unidades da própria refinaria

Entre empresas localizadas dentro de um parque industrial:

- Empresas de segunda geração utilizam eteno e/ou benzeno gerado na refinaria para produção de monômeros dos mais diversos plásticos
- Fornecimento de vapor d'água superaquecido, água industrial para resfriamento, serviços de tratamento de efluentes líquidos e atmosféricos, de tratamento de resíduos e até mesmo ações de colaboração no atendimento a emergências.
- Empresas de terceira geração consomem polímeros (estas empresas podem estar localizadas no mesmo parque industrial ou em áreas geograficamente distantes)” (MADEIRA, 2007).

As Tabelas 3 e 4, a seguir, dão exemplos de simbiose industrial na doação de produtos para reciclagem e na parceria para distribuição de produtos, entre empresas que podem estar localizadas nas proximidades geográficas ou em áreas mais distantes.

Tabela 3 - Simbiose Industrial - Doação de resíduos para reciclagem (co-produtos)

Doação de Resíduos para Reciclagem	
Parceiro da Empresa	Características conforme definições
Cooperativa de Reciclagem	<p>Acontece entre empresas que podem ou não estar localizadas na mesma área geográfica</p> <p>Mutuamente vantajoso</p> <p>Melhoria no uso de recursos</p> <p>Benefícios Ambientais (evitar utilização de aterros, reduzir o consumo de materiais virgens, reduzir o consumo de combustíveis utilizados no transporte dos resíduos, devido ao aproveitamento da logística dos transportes) e econômicos</p> <p>Indústrias diferentes</p> <p>Aumenta a viabilidade da cooperativa</p> <p>Trocas físicas de recursos humanos e técnicos visando melhoria do desempenho ambiental e aumento da vantagem competitiva coletiva</p>

Fonte: (MADEIRA, 2007)

Tabela 4 - Simbiose Industrial - Parceria na distribuição de produtos

Parceria para a distribuição de produtos	
Parceiro da Empresa	Características conforme definições
Empresa de distribuição	<p>Acontece preferencialmente entre empresas que não estão na mesma área</p> <p>Mutuamente vantajoso</p> <p>Melhoria no uso dos recursos</p> <p>Benefícios ambientais (reduzir o consumo de combustíveis utilizados no transporte e dos resíduos devido ao aproveitamento da logística de transportes e da cadeia de distribuição) e econômicos</p> <p>Indústrias diferentes</p> <p>Aumenta a viabilidade das duas empresas</p> <p>Trocas físicas e de recursos humanos e técnicos visando o aumento da vantagem competitiva coletiva</p>

Fonte: (MADEIRA, 2007)

2.12.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E O FLUXO DE MATERIAIS

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma das ferramentas mais importantes da ecologia industrial, é um método utilizado para avaliação do impacto ambiental de bens e serviços associados a um produto (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006).

“A avaliação compreende as etapas que vão desde a extração da natureza

das matérias-primas envolvidas na fabricação de um produto (berço) até a disposição do produto final (túmulo), considerando os processos envolvidos na manufatura, as embalagens, o transporte; o consumo de energia não renovável, os impactos relacionados ao uso, o aproveitamento e o reuso do produto e até mesmo as questões relacionadas com o descarte ou a recuperação/reciclagem (GIANNETTI, ALMEIDA, 2006)”.

“Em princípio, podem ser imaginados diversos sistemas de produção e consumo sustentáveis, baseados em soluções provenientes de diferentes combinações de orientação para a biocompatibilidade e para a não interferência. O que daí deriva é um conjunto integrado de biociclos e tecnociclos que constituem a necessária "dimensão material" de cada um dos sistemas produtivos e de consumo auto-sustentável, possíveis em hipótese. Em referência a este conjunto de processos produtivos diversos – mas semelhantes entre si por provocarem um impacto no ecossistema - usa-se a expressão ecologia industrial. Observa-se, entretanto, que a integração entre as duas alternativas propostas (biocompatibilidade e não-interferência) cria inúmeras dificuldades” (MANZZINI, VEZZOLI, 2008).

“A primeira delas está implícita na própria definição. Se a biocompatibilidade significa integração e a não-interferência significa separação, as condições que tornam mais fácil a primeira orientação implicam, necessariamente, em uma maior dificuldade para a realização da segunda. E vice-versa. Os ciclos produtivos e de consumo biocompatíveis são, de fato, por sua natureza, coerentes com atividades dispersas no território (por sua vez, coerentes com o caráter difuso das funções do ecossistema em que devem se integrar). Enquanto que os ciclos tecnológicos que seguem a orientação de não-interferência só podem ser razoavelmente propostos em uma situação caracterizada por uma alta densidade de atividades produtivas e de consumo (pois, só assim, os fluxos de matéria e energia que devem ser tratados, e integrados entre si em ciclos fechados, conseguem ser suficientemente elevados e as distâncias em jogo, suficientemente curtas, de modo a tornar a operação economicamente possível)” (MANZZINI, VEZZOLI, 2008)”.

“Por outro lado, facilmente se percebe que as dificuldades ligadas à realização de ambas as orientações descritas aumentam proporcionalmente aos fatores quantitativos. Quanto maior for o fluxo de matéria e energia utilizado no percurso produtivo, maior será a dificuldade de torná-lo inteiramente biocompatível

ou fechá-lo em seu próprio ciclo, no quadro da ecologia industrial” (MANZZINI, VEZZOLI, 2008).

“Para minimizar tais dificuldades, reduzindo o fluxo de matéria e energia que perpassa o sistema produtivo, seria importante transferir-se da vertente dos processos industriais para a dos produtos finais, já prontos para uso e consumo, pois a quantidade e a qualidade de produtos socialmente desejados é que determinam a continuidade de todo o ciclo. Operar deste modo, significa colocar em ação o processo da desmaterialização da demanda social de bem-estar. Sob esse termo, entende-se uma drástica redução do número e da intensidade material dos produtos e serviços necessários para atingir um bem-estar socialmente aceitável. E, em consequência, uma redução paralela de todo o fluxo que perpassa o sistema produtivo” (MANZZINI, VEZZOLI, 2008).

“A intensidade material em relação a um produto ou a um serviço é a quantidade de recursos ambientais necessários para gerar uma unidade de serviço (por exemplo: o deslocamento de uma pessoa por um quilômetro, um quilograma de roupas de algodão lavadas, um metro quadrado de superfície pintado, etc.)” (MANZZINI, VEZZOLI, 2008).

“Operativamente, isto poderia ser obtido reduzindo-se em absoluto a busca por produtos e serviços, e/ou aumentando a inteligência do sistema produtivo existente, assim o fluxo de matéria e energia necessárias para seu funcionamento seria reduzido. Aumentar a inteligência do sistema significa, fazer com que as tecnologias da informação e da comunicação sejam o sistema central e evolutivo do metabolismo social e permitam uma melhor aproximação dos modelos da ecologia industrial para o fechamento dos ciclos de vida dos produtos” (MANZZINI, VEZZOLI, 2008).

2.13 OBSERVAÇÕES FINAIS

Como pôde-se notar pelo exposto nesse capítulo quanto à reciclagem, mecânica ou química, os plásticos podem ser avaliados como co-produtos de dois modos distintos: nos processos de produção e no pós-consumo. No primeiro caso, os co-produtos advindos de plásticos industriais (aparas, rebarbas, sobras e matérias-primas fora de especificação) são considerados materiais “nobres”, pois

não estão misturados a outros resíduos e não necessitam de etapas de separação e lavagem.

Estes co-produtos dificilmente são descartados; geralmente não saem das empresas transformadoras, sendo reutilizados nas atividades produtivas. Contudo, não se tem informação segura de quantidades envolvidas nesses processos de produção.

Além disso, a maioria dos processos a que os plásticos são submetidos implicam em ciclos de aquecimento, o que, por tratar-se de material orgânico, implica em reações químicas, que, por sua vez, levam a mudanças indesejadas nas propriedades mecânicas. Portanto, há um limite técnico na reciclagem mecânica pura e simples, e, inevitavelmente, em algum momento o material será processado apenas para recuperação energética.

O setor de produção de plásticos apresenta peculiaridades que tornam difícil a melhoria do desempenho ambiental. São características importantes do setor, o alto volume de produção, a diversificação - desde o início da cadeia de produção - dos usos do material produzido, a grande variabilidade de propriedades, além de, em muitos casos, a dificuldade de reciclagem ou a limitação da reciclagem a um número pequeno de ciclos. Dentro deste quadro, o setor de plástico, setor que apresenta produção expressiva e que pode originar um grande impacto ambiental, é um grande candidato para ser avaliado pelas ferramentas da Ecologia Industrial (o ciclo de vida do produto, o fechamento de ciclo, etc.). Portanto, este setor - como abordado na introdução deste trabalho - apresenta boas características para a utilização de simbiose industrial entre várias etapas da produção e consumo, o que, para ser implantado, necessita de um estudo do fluxo de materiais no setor.

3 METODOLOGIA

Para compreender como o uso do conceito de Ecologia Industrial e/ou de suas ferramentas pode ser aplicado nas empresas para melhorar a sustentabilidade destas, vários pesquisadores utilizaram como metodologia o estudo de caso, não apenas no grupo de pesquisa onde este trabalho foi desenvolvido (GAMEIRO, 2002, 2007; QUEIROZ, 2007; LIMAD, 2010) como também em grupos semelhantes (COSTA, 2002, p. 212; NEHME, CARLOTTO, 2009) ou até mesmo no exterior (FREIRES, 2007, p. 253). O uso dos estudos de caso é comum mesmo se a análise estende-se apenas ao projeto, não considerando, portanto, o produto (TORPOCOV, 2009, p. 88)

Em alguns estudos de caso, quando o número de variáveis é muito grande (LABEGALINI, 2010, p. 242), é comum a pesquisa iniciar-se por *desk research* (pesquisa de documentos), para conhecer não só a pesquisa, mas também os dados disponíveis sobre o tema, após procede-se a um estudo exploratório de casos, por exemplo, através de entrevistas. Esse processo foi extensamente utilizado e mostrou-se adequado, por exemplo, até mesmo para a melhor compreensão da produção científica em gestão ambiental empresarial. Para essa análise é bastante importante estabelecer claramente os parâmetros a serem obtidos, para se poder inferir corretamente rotas de correção adequadas, caso os resultados indiquem tal necessidade (JABBOUR, SANTOS, BARBIERI, 2008).

Nesse particular aspecto, portanto, a escolha da base de dados para a definição da pesquisa inicial é fundamental, e, na maioria das vezes, não se baseia apenas na área acadêmica. Assim, para o estudo da importância da química verde no desenvolvimento sustentável utilizaram-se três bases de patentes: USPTO, Espacenet, INPI, portal Delphion (CALIL NETO, 2010, p. 141). Nesse mesmo estudo detectou-se, por exemplo, a importância da normalização, governamental ou não, para a área de plásticos e a consequente mudança de comportamento da área química para atender aos *stakeholders* quanto à sustentabilidade.

Outra questão importante é enquanto requisitos físicos podem ser descritos de modo objetivo, o mesmo não ocorre quando as informações são decorrentes de interação com atores (*stakeholders*). Assim, Freires (FREIRES, 2007, p. 253) considera que, como a cooperação entre os atores é de natureza mais abstrata, os

dados obtidos “são caracterizados por uma variedade de informações de natureza qualitativa e quantitativa, resultantes de fontes primárias (entrevistas e visitas às empresas) e secundárias (documentos, relatórios técnicos, vídeos e legislação)”. Essa metodologia é, portanto, primariamente qualitativa, apesar de todos os dados quantitativos fornecidos pelos requisitos físicos.

Quanto ao estudo de recuperação de material na área do setor plástico, o uso dos conceitos da Ecologia Industrial e a metodologia de estudo de caso foram aplicados para as embalagens PET e a Região Metropolitana de Salvador (LIMA, 2001).

Quanto ao uso do conceito e simbiose industrial, estudos de caso foram desenvolvidos no Pólo Petroquímico de Camaçari – onde a análise da legislação municipal, estadual e federal foi fundamental para entender as restrições de troca de matéria-prima. Neste estudo de caso, o envolvimento de vários *stakeholders* (órgãos governamentais, instituições privadas, academias e ONG) foi apontado como fundamental (TANIMOTO, 2004, p. 151).

Portanto, a metodologia utilizada neste trabalho é coerente com trabalhos similares realizados anteriormente e corresponde ao estudo de caso, onde 8 empresas foram avaliadas de acordo com as recomendações para fechamento de ciclos na Ecologia Industrial.

As empresas avaliadas têm seus perfis listados na Tabela 5; como é possível observar pela tabela, essas empresas atendem aos principais setores listados como relevantes para plásticos *commodities* (capítulo 1 deste trabalho) e tem como co-produtos os principais plásticos listados nessa categoria. Neste conjunto, duas atuações distintas foram efetuadas: 7 empresas foram avaliadas apenas para compreender as relações de consumo e descarte, ou seja, o fluxo de materiais imediato e possíveis simbioses industriais, enquanto a oitava empresa foi avaliada em toda a sua cadeia de produção interna (Operações Unitárias), para estimar o impacto da redução do consumo e, posteriormente, comparar com o uso da simbiose industrial.

Tabela 5 - Perfis das empresas estudo de caso

Empresa	N° de empregados*	Porte	Segmento	Produto comercializado	Tipos de co-produtos
A	100 a 499	médio	Alimentício	Carne Seca	PEBD, PP (ráfia)
B	100 a 499	médio	Lubrificantes	Aditivos e Lubrificantes	PEBD, PP, PVC
C	100 a 499	médio	Automobilístico	Forrações	Fios (PE, PP, Poliéster), EVA
D	100 a 499	médio	Automobilístico	Forrações	Fios (PE, PP, Poliéster) e Estearato de Zinco úmido
E	20 a 99	pequeno	Têxtil	Cobertores	Fios acrílicos
F	100 a 499	médio	Automobilístico	Peças de suspensão	Rebarbas de borracha vulcanizada
G	500	grande	Pneumáticos	Pneus para caminhão	Rebarbas de borracha vulcanizada e borracha crua com arame
H	20 a 99	pequeno	Eleto/eletrônico	Fios e cabos	PVC

(*)Pequena: de 20 a 99 empregados

Média: 100 a 499 empregados

Grande: mais de 500 empregados (SEBRAE)

Fonte: Empresas pesquisadas

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item inicia-se descrevendo a cadeia de plástico e seus co-produtos, para, com isso, definir os *stakeholders* a serem considerados para obter-se informação sobre a simbiose industrial em empresas na área de transformação de plásticos, além de avaliarem-se as informações obtidas. Então, em uma segunda etapa, analisa-se, para duas empresas distintas, o impacto na sustentabilidade pelo uso da simbiose industrial e as dificuldades de implantação desta. Por fim, encerra-se com a exposição dos resultados de otimização de consumo de material plástico em uma empresa da área alimentícia, ou seja, área com limitações legais sérias quanto à reciclagem e reutilização de produtos.

É importante informar que este trabalho considera, de modo semelhante ao que ocorre nos princípios de Ecologia Industrial, que todo material reutilizado – internamente ou não – em um empreendimento trata-se de um co-produto. Porém, muitas fontes aqui utilizadas caracterizam como resíduos todo e qualquer material originado que não seja o produto desejado pela empresa. Por questões de fidelidade à fonte, portanto, o termo resíduo foi mantido quando citado no original.

4.1 A CADEIA DE PLÁSTICOS E A FORMAÇÃO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL

Para a definição dos principais *stakeholders* envolvidos no setor de plásticos, faz-se necessário compreender a cadeia de produção destes materiais. No país, essa cadeia foi extensivamente estudada por Bomtempo (1999) e seu grupo.

De acordo com o estabelecido por Padilha & Bomtempo (PADILHA, BONTEMPO, 1999), a Cadeia Produtiva de Produtos Plásticos pode ser descrita pela Figura 22. Para esta cadeia (Figura 22A), os autores definem três gerações. “Os produtos petroquímicos básicos, provenientes da primeira geração, são transferidos para as empresas da segunda geração, as quais irão transformá-los em resinas plásticas, chegando aos transformadores (3ª geração)”. Assim, àquele tempo (Figura 22B), no país existiam “cerca de 20 empresas produtoras de resinas, a maioria localizada nos Pólos Petroquímicos” e as principais resinas termoplásticas eram “Polietileno de Alta Densidade (PEAD); Polietileno de Baixa Densidade (PEBD); Polietileno

de Baixa Densidade Linear (PEBDL); Polipropileno (PP); Poliestireno (PS); Poliestireno Expandido (EPS); Policloreto de Vinila (PVC); Polietileno Tereftalato (PET).” Os autores também consideram que essa cadeia “é influenciada principalmente pelos atores que introduzem as inovações: clientes industriais, fabricantes de resinas, equipamentos e moldes”. Portanto, a terceira geração, que é a grande responsável pela produção de produtos, é a que menos influencia a cadeia, o que levou os autores a proporem “iniciativas de apoio e incentivo ao setor”. Por fim, os autores atestam a importância das áreas automobilística e eletrônica como promotoras do desenvolvimento na produção de plástico. Esses resultados são coerentes com a proposta de cadeia feita por Murphy para plásticos de engenharia aplicados a eletroeletrônicos (MURPHY, DILON, PITTS, 2001). Neste estudo o custo do processo de reciclagem mostrou ser influenciado pela logística reversa e pureza do material recolhido (Figura 22C).

Quanto à primeira geração – indústria petroquímica, sugerida por Padilha & Bomtempo, em uma análise posterior sobre capacidade inovadora (ALVES, BONTEMPO, COUTINHO, 2005), a indústria é descrita como não “destituída de competências para inovar, mas são competências excessivamente centradas no presente. Faltam à indústria justamente as competências necessárias para construir o seu futuro”. Em outro trabalho as “empresas situadas nas etapas intermediárias da cadeia produtiva”, ou seja, a segunda geração, são descritas como “procurando enxergar além de seus mercados diretos” (MORAES, MARTINS, 2006). Em um estudo de caso específico, onde apenas a empresa *Tubos e Conexões Tigre*[®] foi avaliada, o perfil empreendedor é considerado decisivo para o crescimento da companhia, apesar de atuar no que é considerado o “elo fraco” da cadeia de produção (PADILHA, BONTEMPO, 1999).

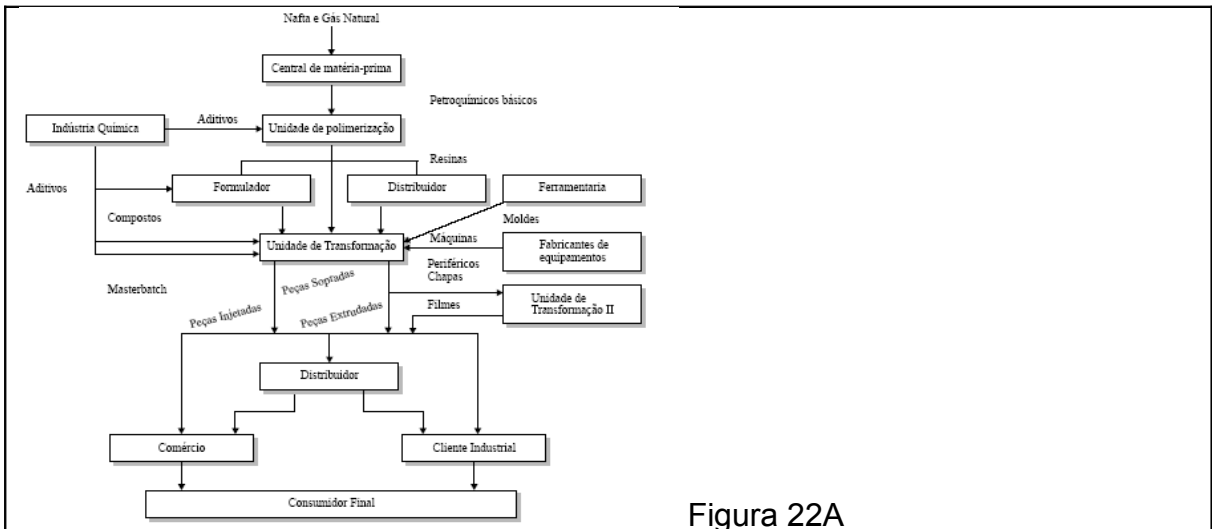
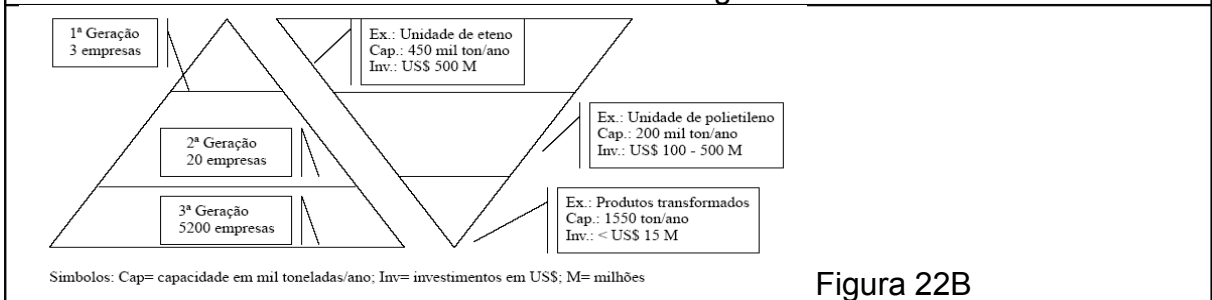


Figura 22A



Simbolos: Cap= capacidade em mil toneladas/ano; Inv= investimentos em US\$; M= milhões

Figura 22B

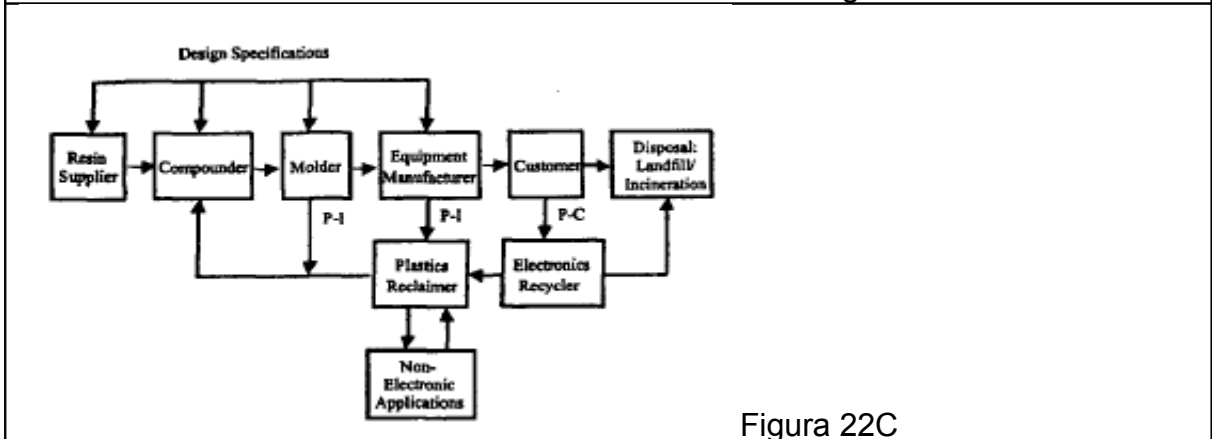


Figura 22C

Proposta de Padilha & Bomtempo para a cadeia de produção dos plásticos (Figura A); Cadeia produtiva de produtos plásticos (Figura B) das matérias-primas petroquímicas aos produtos plásticos: número de empresas no Brasil, capacidades e investimentos típicos; (Figura C) Proposta da cadeia de plásticos para eletrônica de acordo com Murphy et al onde P-I e P-C significam *post-industrial waste* e *post-consumer waste*, respectivamente.

Figura 22 - Cadeia produtiva de produtos plásticos
Fonte: (PADILHA, BONTEMPO, 1999), (MURPHY, DILON, PITTS, 2001)

A partir da descrição de Bomtenpo e seus colaboradores, pode-se, por analogia com a Ecologia Industrial, descrever a 1ª geração como produtores primários. Nesse caso, o fechamento de ciclo implica, pela grande quantidade de material envolvido, na proximidade física entre empresas, ou seja, formação de pólos, etc. Análise similar é possível para a 2ª geração, uma vez que a quantidade de produtos fabricados ainda é pequena, o mesmo ocorrendo com a quantidade de empresas. A 3ª geração, pela grande quantidade de produtos fabricados, é melhor atendida no fechamento de ciclos pela existência de simbiose industrial. Em todos os casos, portanto, é preciso compreender melhor, mesmo que qualitativamente, o fluxo de materiais, isto é, não só a produção de produtos como também de co-produtos (resíduos).

A análise da 1ª e 2ª geração foi efetuada por Gusmão (GUSMÃO, 2001), apenas quanto à competitividade, não quanto a resíduos e/ou troca destes. Contudo, essa tese corrobora a pequena quantidade de empresas na área e sua atuação conjunta. Assim, o resumo que Gusmão (2001) faz da cadeia é como segue:

A cadeia produtiva do plástico é composta por indústrias das chamadas 3 gerações, que envolvem a transformação desde a matéria-prima básica – nafta ou gás natural – até o produto final, o transformado plástico que é vendido ao consumidor ou a outra indústria. As principais matérias primas desta cadeia produtiva são obtidas do gás natural (metano, etano GLP) e do petróleo (nafta, gasóleo e GLP).

A primeira geração petroquímica utiliza a nafta ou gás natural para a obtenção dos petroquímicos básicos, como o eteno, propeno, benzeno, tolueno, butadieno etc. Essa conversão é feita nas centrais de matérias-primas dos pólos petroquímicos. Os petroquímicos básicos são adquiridos pela segunda geração, que é responsável pela produção das resinas sintéticas. As empresas de segunda geração, em sua maioria, também se localizam nos pólos petroquímicos. As resinas produzidas pelas empresas de segunda geração são vendidas para as empresas de terceira geração para serem transformadas em bens de consumo para o varejo ou para outras indústrias. A *Abiplast* resume as quantidades de resinas produzidas pelos pólos petroquímicos brasileiros e as projeções futuras com base no ano de 1999. A Figura 23 ilustra essa tabela, que dispõe as quantidades de resinas produzidas pelos pólos petroquímicos brasileiros e as projeções futuras, com base no ano de 1999 e dados da *Abiplast* (GUSMAO, 2001),

Industria Petroquímica Nacional – segunda geração

Resina	Empresas	Localização	Capacidade instalada (1.000 toneladas)	Projetos de ampliação para 1999 (1.000 toneladas)
PEAD	Ipiranga Petroquímica S.A.	Triunfo	335	-
	Polialden Petroquímica S.A.	Camaçari	150	-
	OPP Petroquímica	Camaçari	170	-
	Politeno	Camaçari	180	-
	Solvay do Brasil	Mauá	82	84
PEBD	OPP Petroquímica	Mauá/Copesul	290	-
	Politeno.	Camaçari	145	-
	Petroquímica Triunfo	Triunfo	150	-
	Union Carbide	Mauá	144	-
PEBDL	OPP Petroquímica	Camaçari	170	-
	Politeno	Camaçari	180	-
	Triunfo	Triunfo	0	130
	Ipiranga Petroquímica S.A.	Triunfo	0	150
PP	Polibrasil	Camaçari	125	570
	Polibrasil	Mauá	125	-
	Polibrasil	Duque de caxias	180	-
	OPP Petroquímica	Triunfo	550	-
	Polialden Petroquímica S.A.	Camaçari	0	200
	Ipiranga Petroquímica S.A.	Triunfo	0	150
PVC	Trikem	Camaçari	217	290
	Trikem	Maceió	190	-
	Trikem	São Caetano	24	240
	Solvay do Brasil	Mauá	210	-
PS	DOW Química	Camaçari	45	-
	DOW Química	São Paulo	102	-
	BASF	São Paulo	50	-
	Resinor	São Paulo	1,32	-
EPS	BASF	São Paulo	8	-
	Termotécnica	Joinville	8	-
	Resinor	São Paulo	4	-
PET	Magstyro	São Paulo	3	-
	Rhodia-Ster	São Paulo	180	-
	Propet	São Paulo	-	120
	Fairway	São Paulo	9	-
	Fibra Nordeste	-	12,84	-
Polyenka	-	20,3	-	

Fonte: adaptado de ABIPLAST, 1999.

Figura 23 - Quantidades de resinas produzidas - polos petroquímicos brasileiros (1999)
Fonte: (GUSMAO, 2001)

A Figura 24, abaixo ilustra a cadeia produtiva do setor plástico segundo Gusmão (GUSMAO, 2001), que é bastante similar a Bomtempo.

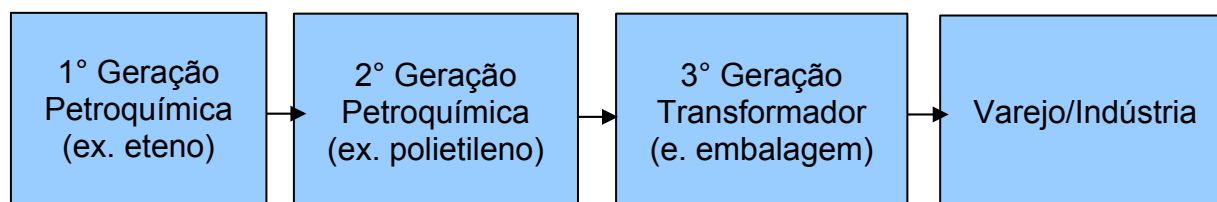


Figura 24 - Cadeia produtiva do setor plástico
Fonte:(GUSMAO. 2001)

A descrição dos pólos, feita por Gusmão (2001), também demonstra não só a alta concentração dos produtores, como o embrião de um ecossistema industrial, ou ao menos a simbiose, ocorrendo no Rio Grande do Sul. Os pólos existentes à época (2000) encontravam-se em SP, BA e RS, com RJ começando a receber novo pólo; sendo este o retrato do momento (4 pólos). Os dois primeiros tiveram início na década de 70, mas RS ocorreu na década de 80. O principal fornecedor é BA, Camaçari, com produção à época, de 50% do total, seguido por RS com 30%, onde o principal produto – eteno - era consumido internamente por empresas do pólo.

Quanto aos co-produtos das petroquímicas, 1ª geração, considera-se como principais resíduos fluoretos, dióxido de enxofre (gasosos), enxofre e gesso (sólidos) (ROSS, 2003). Contudo, estudo acadêmico de grande abrangência foi efetuado por Fonseca (FONSECA, 2003) no pólo de Camaçari, BA e os principais resíduos, volumes produzidos e destinação correspondente são resumidos a seguir. Nesse pólo, 52% das empresas são de origem petroquímica e 33% de origem química, sendo que 71% dos resíduos perigosos são de origem petroquímica.

Segundo Fonseca (FONSECA, 2003), que efetuou o levantamento no Pólo de Camaçari no ano de 2003, os resíduos de processo são os materiais gerados em decorrência da atividade industrial do pólo petroquímico. Podem ser classificados como perdas de processo que não puderam retornar ao processo inicial como matéria-prima. São considerados neste escopo também os catalisadores, as lamas de limpeza de bacias de efluentes, separadores API (separadores homologados conforme *American Petroleum Institute*), separadores de água e óleo, resíduos de manutenção e outros que direta ou indiretamente estão relacionados com o processo industrial do pólo petroquímico. Naquele ano, vinte e quatro empresas do Pólo geravam resíduos de processo.

“A geração mensal estimada (total) era de 3.040 toneladas, aproximadamente 2.338 metros cúbicos (considerando-se uma densidade média de 1,3 t/m³). Se toda essa geração mensal de resíduos fosse acondicionada em tambores de 200 litros (tamanho padrão) e agrupada, resultaria em um montante aproximado de 11.690 tambores. Destas vinte e quatro empresas geradoras de resíduos de processo, oito empresas detinham a esmagadora quantidade. Todas são petroquímicas e se encontram no rol das mais antigas do Pólo. Uma destas oito empresas não apresentou dados quantitativos para este estudo e algumas não disponibilizaram estes dados para todo o montante gerado. Portanto, a geração mensal de resíduos

de processo no Pólo de Camaçari deveria ser um pouco maior do que este valor estimado”.

A Tabela 6 apresenta a lista de resíduos de menor periculosidade, segundo Fonseca, e a porcentagem de empresas que os geram. A destinação por queima, venda, devolução, reciclagem ou re-refino, que compõem a maioria das atividades, indicam o uso como co-produto de 60% a 80% do material descartado. A maioria do material descartado, por sua vez, não é adequado como matéria-prima para a indústria da cadeia de plástico.

Tabela 6 - Lista de resíduos de menor periculosidade , empresas , destinação final (%)

Lista de resíduos de menor periculosidade	% empresas que geram tal resíduo	destinação final e respectiva %
Pallets de Madeira contaminados	18	Queima em cerâmicas, 62%
Bombonas contaminadas	40	Venda – 29% Devolução ao fornecedor – 29% Incineração – 24%
Tambores metálicos contaminados	46	Reciclagem – 62%
Óleo lubrificante	100	Re-refino 85%
Resíduos de laboratório	61	Incineração – 40%

Fonte: (FONSECA, 2003)

Muito embora Fonseca (FONSECA, 2003), provavelmente por questões de confidencialidade, não descreva claramente os resíduos perigosos, a sua destinação é como identificada na Tabela 7. Pode-se observar pela tabela que há pouco material não utilizado como co-produto. Assim, a venda e usos em cimenteira ou cerâmica (59% do total) denotam a existência de co-produto, e/ou simbiose industrial incipiente e, além disso, 14% da destinação, decorrente da queima interna, é usada para prover energia para a empresa, sendo, também, um caso de co-produto. Portanto, apenas 3% do que é gerado pode ser claramente classificado como resíduo e a destinação comum é o aterro. Lembrando que a produção de resíduo foi estimada em 3 mil t/mês, tem-se produção de resíduo não aproveitado na ordem de 90 t/mês.

Tabela 7 - Destinação de resíduos - Polo de Camaçari

Destinação	%
cimenteira	29
venda	28
Incinerador	24
Queima interna	14
cerâmica	2
aterro	2
Aterro interno	1

Fonte: (FONSECA, 2003)

Outros estudos sobre resíduos também foram providenciados por órgãos governamentais. Estudo da Secretaria de Desenvolvimento do Governo do Estado de SP (GOMEZ, 2002) apontou que “há um grande aproveitamento das matérias-primas com o objetivo de reduzir significativamente os resíduos gerados. Um resíduo, contudo, foi identificado e é denominado “*slop oil*”, correspondendo a resíduos oleosos que chegam junto com efluentes da refinaria. Antes do tratamento destes efluentes na estação de tratamento, o “*slop oil*” é recuperado através de uma lâmina de superfície e enviado para reprocessamento. Apenas restos do reprocessamento do “*slop oil*”, contendo hidrocarbonetos pesados (asfaltenos), são considerados resíduos.” Além disso, “foi relatada a existência de diversos tipos de borras, que se acumulam em diversos tanques de estocagem... são também reprocessadas e somente resíduos com hidrocarbonetos pesados são encaminhados para tratamento em *land farming* ou para co-processamento em cimenteiras.”

O estudo, então, conclui que “resíduos derivados do reprocessamento de borras oleosas e “*slop oil*” parecem ser o grande resíduo que poderia se constituir em matéria-prima para a geração de produtos de interesse biotecnológico.” Posição semelhante é oferecida por *SRI Consulting*, IHS Inc., publicação especializada na indústria química, que afirma ser o óleo (hidrocarboneto) o principal resíduo, após a destilação do petróleo nas refinarias dos pólos petroquímicos (SRI CONSULTING, 2000).

A avaliação ambiental do relatório de sustentabilidade da Petrobras, nossa maior empresa na área, corrobora o anunciado naquele estudo da SRI (PETROBRAS, 2009). A Tabela 8 resume as principais informações sobre resíduos, de acordo com tal relatório (ano avaliado 2009). Para esse ano a empresa informa, no mesmo

relatório, que “a produção de petróleo dos campos nacionais atingiu 1 milhão 971 mil barris por dia... a capacidade total de produção de propeno passou para 1.068 mil t/ano e a capacidade de produção de PP aumentou em 190 mil t/ano, foram concluídas a nova unidade de polietilenos, com capacidade de produção de 230 mil t/ano de polietileno de alta densidade (PEAD) e de polietileno de baixa densidade linear (PELBD)”.

Tabela 8 - Principais informações sobre resíduos - Relatório Petrobras (ano base 2009)

#	Informação
	Emissões atmosféricas (gasosos)
1	“entre 2006 e 2009, evitou a emissão de aproximadamente 5,6 milhões de toneladas de CO2 equivalente em suas operações.”
	Efluentes (líquidos)
2	“vazamentos de petróleo e derivados em 2009 foi 38% inferior ao estabelecido no Plano de Negócios (661 metros cúbicos)”; portanto, 251 m3
3	“em 2009, foram gerados 197,2 milhões de m3 de efluentes hídricos, incluindo o esgoto sanitário de suas unidades administrativas e a água produzida no processo de extração de petróleo”
4	“A carga de óleos e graxas nos efluentes foi de 1.634 toneladas, o volume de demanda química de oxigênio (DQO) lançado foi de 5.191 toneladas, e o de amônia, 960 toneladas.”
	Resíduos sólidos
5	O total de resíduos sólidos perigosos gerados nos processos de produção em 2009 atingiu 254 mil toneladas
6	“Em 2009, considerando-se o total de resíduos perigosos (processo e passivos ambientais), foram tratadas 582 mil e geradas 534 mil toneladas”
7	“Em 2009, 44% dos resíduos sólidos perigosos gerados nos processos produtivos foram recuperados ou reaproveitados. Além disso, neste mesmo ano a Refinaria Duque de Caxias começou a utilizar, em fase de pré-operação, um sistema de tratamento de solo contaminado capaz de tratar 800 kg/mês.”

Fonte: Petrobras

A informação n°. 1 (efluentes gasosos) não é de grande valia para entender o fluxo de materiais, apenas dimensiona e apresenta a ordem de grandeza de um dos impactos ambientais associado à atividade. A informação n°. 2 apenas indica que a perda de matéria-prima referente ao ano de 2009 foi da ordem de 251m³, que equi-

valem a 1.579 barris, que é irrisória frente ao 1,9 milhões de barris produzidos por dia (SÁNCHEZ ESTRELLA, 1978).

As informações n.º. 3 e n.º. 4 indicam que a concentração de óleos na água é da ordem de ppb após tratamento. Pelo volume de água tratada, o máximo de óleo removido durante o tratamento é da ordem dezenas de gramas (solubilidade de $1,4 \cdot 10^{-6}$ mol/L para naftaleno (PAGE, 2000)).

A informação n.º. 5 refere-se à quantidade total de resíduos sólidos perigosos gerados nos processos de produção em 2009, que chegou a 254 mil toneladas.

A informação n.º. 6 refere-se à quantidade de resíduos perigosos (processo e passivos ambientais) que foi tratada no ano de 2009, totalizando 582 mil toneladas.

A informação n.º. 7 indica que 44% dos resíduos sólidos perigosos gerados nos processos produzidos foram reciclados ou reaproveitados.

Para reduzir a geração de resíduos e ampliar seu reaproveitamento a Petrobrás criou o Projeto de Minimização de Resíduos, “no qual estão previstas uma série de iniciativas e pilotos, além do mapeamento e das oportunidades de minimização, uso de tecnologia de plasma, separação de fases de resíduos oleosos, tratamentos térmicos e tratamentos biológicos, entre outros” (Petrobras, 2009).

Internacionalmente, o EPA (*United States Environmental Protection Agency*) indica, através do Inventário de Emissões Tóxicas (TRI), as emissões de resíduos perigosos e as atividades de gestão de resíduos notificados anualmente pelas indústrias. O objetivo do Inventário de Liberação de Tóxicos (TRI) é proporcionar às comunidades informações sobre lançamentos de produtos químicos tóxicos e das atividades de gestão de resíduos e apoiar a tomada de decisão em todos os níveis da indústria, governo, organizações não-governamentais e do público. O último relatório, de 2009, informa que a indústria química – onde se encontra o setor de petróleo – é responsável por apenas 12% da produção de resíduos, com a mineração e eletroeletrônicos aparecendo como os mais impactantes. Dos 20 bilhões de libras de resíduos gerados, apenas 3 bilhões foram descartados/liberados, ou seja, não foram reciclados (7,3 bilhões), utilizados para obtenção de energia (2,4 bilhões) ou mesmo tratados para posterior disposição (7,1 bilhões). De modo semelhante, a indústria química liberou 8 milhões de libras, das quais apenas 3 milhões foram descartado/liberado, ou seja, não foram reciclados (3,3 milhões), utilizados para obtenção de energia (1,2 milhões) ou mesmo tratados para posterior disposição (3,3 milhões) (EPA, 2009). Resultado semelhante pode ser

observado no relatório de emissão providenciado pelo Reino Unido (PASSANT, 2011).

Quanto à segunda geração, ou seja, a produção de resinas a partir da matéria-prima advinda do petróleo, a *Abiquim* descreve o sistema como segue:

Os pólos petroquímicos são formados por empresas de primeira e segunda gerações, interligados fisicamente para facilitar as trocas de matérias-primas e produtos. As centrais petroquímicas (primeira geração) produzem matérias-primas a partir do nafta, do gás natural e do gás de refinaria. As empresas de segunda geração transformam essas matérias-primas em resinas termoplásticas e em produtos intermediários para outras indústrias. Atualmente, existem no Brasil quatro pólos petroquímicos em operação. As centrais petroquímicas em operação no país estão localizadas no Rio Grande do Sul (Triunfo), São Paulo (ABC), Rio de Janeiro (Duque de Caxias) e Bahia (Camaçari), sendo que São Paulo, Bahia e Rio Grande do Sul são os pólos principais. A capacidade instalada das empresas fabricantes de resinas termoplásticas associadas à *Abiquim* é de aproximadamente 7,5 milhões de toneladas/ano (Abiquim, 2011).

A Tabela 9 resume a produção na segunda geração da cadeia de plásticos, segundo a Abiquim.

Tabela 9 - Produção de resinas na segunda geração da cadeia de plásticos (ABIQIM)

Empresa	Localização	Capacidade instalada (t/ano)
Polietileno Tereftelato - PET (1)		
M&G Fibras e Resinas	MG / PE	292.500 (5)
M&G Polímeros	PE	550.000
Total		842.500
Polietileno de alta densidade - PEAD		
BRASKEM (2) (3)	Ba / RS	1.310.000
Quattor (3)	RJ / SP	770.000
Total		2.080.000
Cloreto de polivinila - PVC		
Braskem	AL / BA	510.000
Solvay Indupa	SP	300.000
Total		810.000
Polietileno de baixa densidade - PEBD		
Braskem (4)	BA / RS	535.000
Quattor (4)	SP	270.000
Total		805.000
Polietileno de Baixa densidade linear - PEBDL		
Braskem (3)	BA / RS	610.000
Quattor (3)	RJ / SP	770.000
Total		1.380.000
Polipropileno – PP		
Braskem	RS / SP	1.040.000
Quattor	BA / RJ / SP	875.000
Total		1.915.000
Poliestireno - PS		
Dow Brasil	SP	190.000
Innova	RS	150.000
Unigel	SP	190.000
Videolar	AM	120.000
Total		650.000
EVA – Copolímero de etileno acetato de vinila		
Braskem (4)	BA	310.000
Quattor (4)	SP	130.000
Total		440000
(1) Refere-se à soma do PET grau fibra e grau garrafa.		
(2) Inclui capacidade multipropósito com PEBDL.		
(3) Capacidade multipropósito com PEAD/PEBDL.		
(4) Capacidade multipropósito com PEBD/EVA.		
(5) Unidade de Poços de Caldas – MG (230.000 t/ano) paralisada a partir de agosto de 2007		
Fonte: Guia da Indústria Química Brasileira.		

Fonte: Abiquim

Ainda segundo a Abiquim, a produção de matéria-prima para suprir as empresas listadas na Tabela 9, muitas vezes também é viabilizada pela mesma empresa que produz a resina, como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 - Produção de duas matérias-primas básicas para a área de resinas (ABIQUIM)

Empresa	Localização	Capacidade Instalada (t/ano)
ETENO		
Braskem	BA / RS	2.532.000
Quattor	RJ / SP	1.240.000
Total		3.772.000
PROPENO, GRAU POLÍMERO		
Braskem	BA / RS	990.000
Quattor (1)	RJ / SP	225.000
Total		1.215.000
(1) Multipropósito com propeno, grau químico		

Fonte: ABIQUIM

A avaliação da cadeia de plásticos, até o momento, pode ser descrita como altamente dependente de poucas, mas grandes, empresas. Assim, foi feita pesquisa por entrevista estruturada, mas sem questionário pré-determinado, com os gerentes dos pólos petroquímicos em questão para verificar essencialmente:

- Se os pólos reciclavam a maioria das matérias-primas e ou “resíduos”;
- Se havia preocupação com ciclos internos de produção;
- Se os pólos viam os “resíduos” como co-produtos;
- Qual o maior desafio com relação aos resíduos.

Foi possível observar que há uma tendência em se procurar a formação de ciclos internos, ou externos – estes entendidos como ciclos que envolvam o pólo apenas – nesses pólos, mas que essa tendência não decorre da percepção de co-produto, como definida pela Ecologia Industrial. A informação precisa de quanto é utilizado em ciclo interno, por questão de confidencialidade, não pôde ser fornecida.

Além disso, considerando-se que a maior empresa do setor é a *Braskem*, a análise do fornecimento dessa empresa para os outros setores (Figura 25) permite obter um retrato do fluxo de materiais no segmento matéria-prima/resina. Do mesmo modo, como pode ser observado na Figura 26, a baixa produção de resíduo por tonelada de material é condizente com a ideia de ciclo interno de produção. Isso é claramente perceptível porque a reciclagem externa - que corresponde a coprocessamento em fornos - é denominada de simbiose industrial. De modo similar a incineração é descrita em duas partes distintas: com e sem reaproveitamento de energia. Por fim, como incineração (28,5%) e reciclagem (36,7%) correspondem à maioria das destinações, é possível estimar um fluxo de materiais onde apenas uma fração de $2,72 \cdot 10^{-3}$ do material é tratado externamente ao processo de produção, e, destes, um volume de até 65% pode ser usado em simbiose industrial ou como co-produto (obtenção de energia). É importante observar que essa situação é distinta da encontrada por Tanimoto em 2004. O autor declarou, à época, que havia pouco interesse das empresas no estudo para o uso de seus resíduos sólidos na forma de co-produtos. As Figuras 25 e 26 são adaptações dos dados fornecidos pela *Braskem* em seu relatório ambiental.

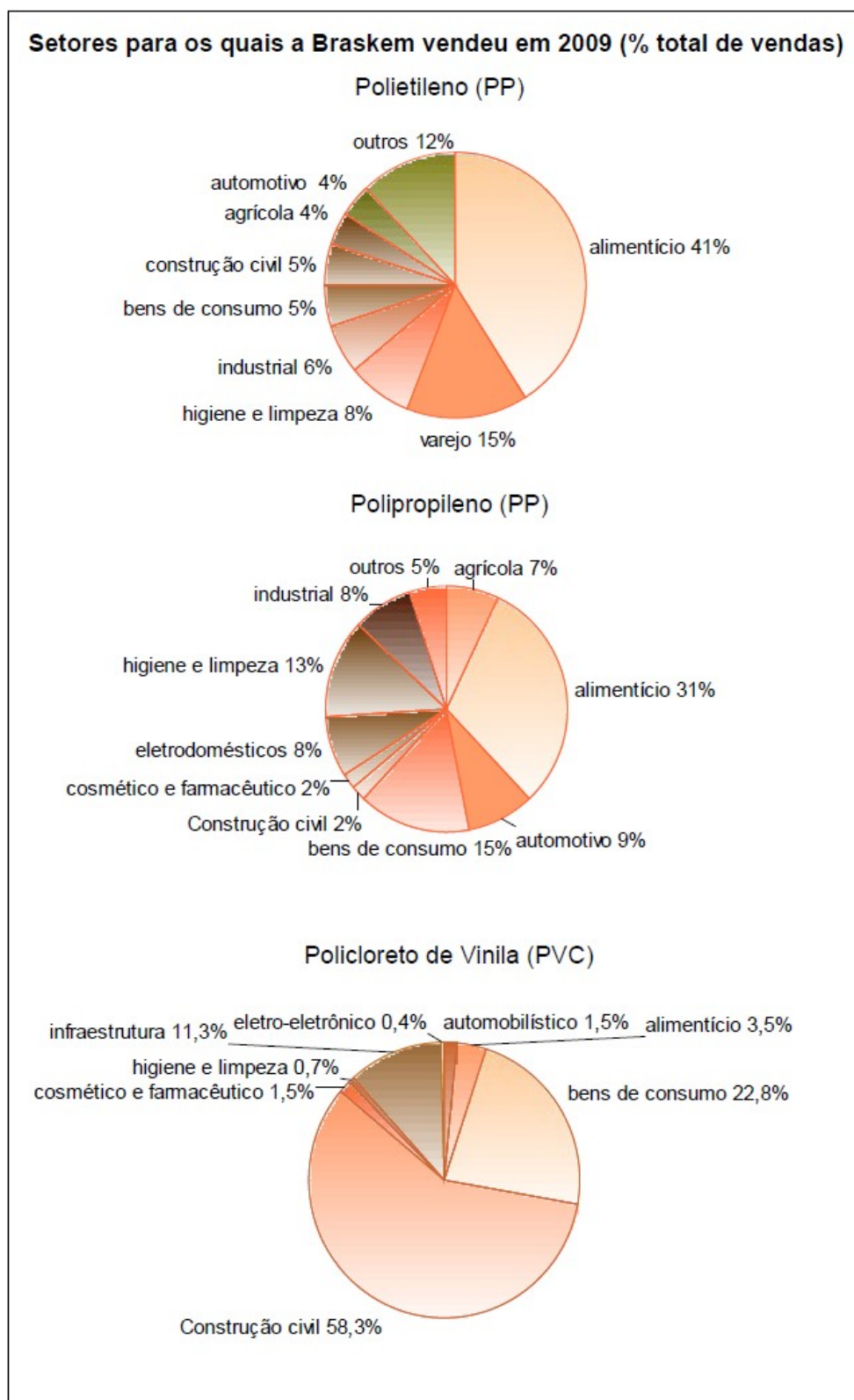


Figura 25 - Adaptação dos dados fornecidos pela Braskem em seu relatório ambiental
Fonte: Braskem

Segundo informações da *Braskem* descritas no seu Relatório Anual e de Sustentabilidade, os resultados alcançados pela área de meio ambiente em 2009 foram os melhores para todos os indicadores de ecoeficiência desde 2002 (Figura 26), embora ainda existam oportunidades de eliminação de perdas e uso racional dos recursos naturais, reuso de efluentes, entre outras (Braskem, 2009).

Evolução dos indicadores de ecoeficiência — desde 2002

- redução de 61% na geração de resíduos sólidos;
- redução de 12% no consumo de energia;
- redução de 19% no consumo de água;
- redução de 40% no volume de efluentes líquidos.

"As ações e projetos relativos ao controle na geração de resíduos sólidos em 2009 resultaram na redução de 19% da taxa de geração de resíduos em relação a 2008. Esse índice representa redução absoluta de 5.128.639 kg/ano" (Braskem, 2009).

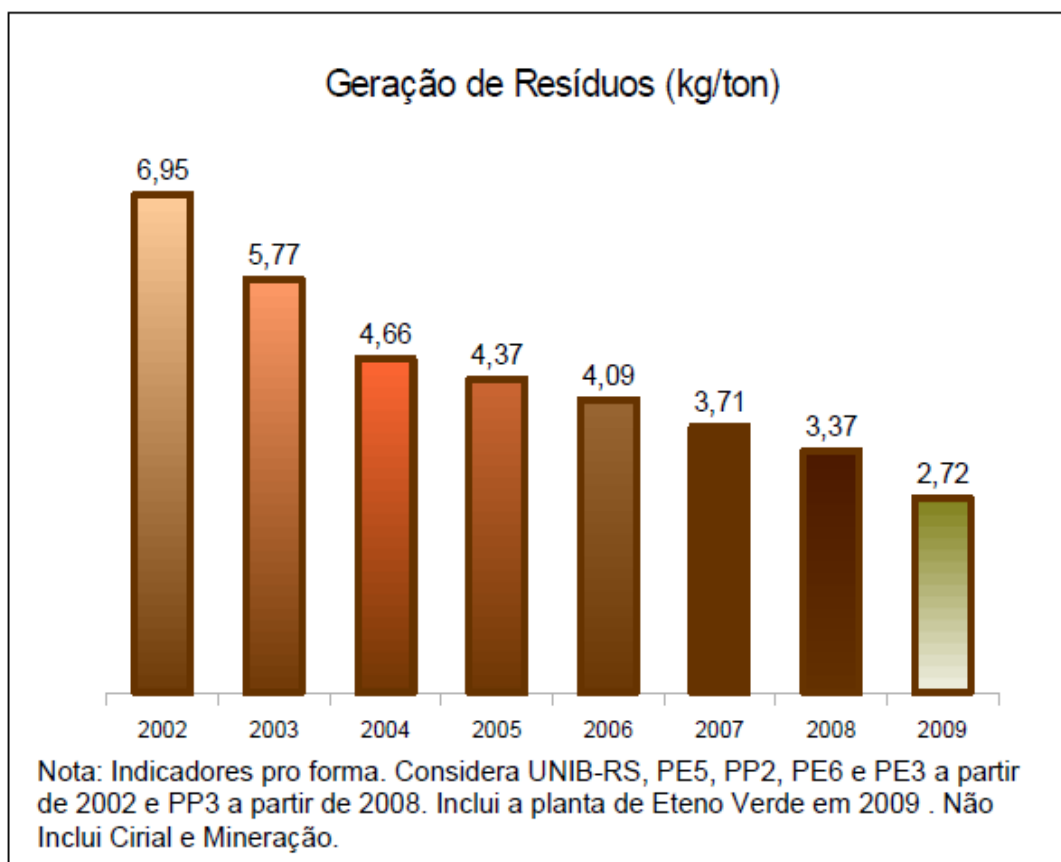


Figura 26 - Geração de Resíduos (kg/ton) - Período: 2002 a 2009

Fonte: Braskem

"O transporte e o manejo de resíduos perigosos estão definidos nos anexos I, II, III e VIII da Convenção de Basileia, para assegurar a segurança ambiental e da saúde humana. A Convenção de Basileia foi aprovada em 1988, na Suíça, e entrou em vigor em 1992, proibindo a importação e exportação de qualquer resíduo para fins de destinação final ou reciclagem. O manejo adequado de resíduos perigosos é questão de fundamental importância para os públicos relacionados com as organizações, uma vez que diz respeito à responsabilidade empresarial.

A *Braskem* não apresentou inconformidades com leis e regulamentos ambientais nos anos de 2007, 2008 e 2009" (Braskem, 2009).

A tabela 11 apresenta o total de resíduos transportados e exportados que a empresa tenha tratado, discriminados por destinação nos anos de 2007, 2008 e 2009.

Tabela 11 - GRI(EN24) Quantidades de resíduos tratados e destinados (kg e %)

GRI(EN24) total de resíduos transportados e exportados que a empresa tenha tratado, discriminados por destinação – quantidade em kg

Total de Resíduos / Destinação	2007	2008	2009
Disposição de Resíduos (aterros industriais, injeção em poços profundos, colocação em minas desativadas)	6.013.132 16,0%	4.513.227 13,2%	4.153.444 14,3%
Tratamento de resíduos (desidratação de lodo, fazendas de óleo, biolavagem, solidificação e estabilização, encapsulamento, etc.)	692.210 1,8%	839.627 2,5%	1.421.292 4,9%
Incineração de resíduos (com e sem reaproveitamento energético)	14.940.311 39,7%	13.358.690 39,1%	10.625.329 36,7%
Reciclagem externa (coprocessamento em fornos de clínquer, bolsas de resíduos, simbiose industrial)	9.470.533 25,1%	10.116.538 29,6%	8.268.918 28,5%
Outra destinação	6.551.772 17%	5.311.013 15,6%	4.512.657 15,6%

Fonte: Braskem

O peso total dos resíduos perigosos que foram transportados e tratados nos anos de 2007 a 2009 estão relacionados na Tabela 12.

Tabela 12 - GRI(EN24) Peso total resíduos perigosos transportados e tratados (kg)

GRI(EN24): peso total em kg dos resíduos perigosos transportados, importados, exportados e tratados

Total resíduos/destinação	de	2007	2008	2009
Peso total dos resíduos perigosos transportados		25.103.055	24.314.855	20.315.539
Peso total dos resíduos perigosos importados		NA*	NA*	NA*
Peso total dos resíduos perigosos exportados		NA*	NA*	NA*
Peso total dos resíduos perigosos tratados		25.293.755	24.458.775	20.376.739
*NA não se aplica				

Fonte: Braskem

A quantidade total dos resíduos perigosos gerados nos anos de 2007, 2008 e 2009 e a respectiva destinação final dos mesmos está relacionada na Tabela 13.

Tabela 13 - GRI(EN24) Quantidade total dos resíduos perigosos e seu destino

(GRI EN24)				
Quantidade (em kg)		2007	2008	2009
Total de resíduos perigosos gerados		24.278.768	20.353.010	17.307.670
GRI(EN24): peso total dos resíduos perigosos transportados – total de resíduos destinados em volume (kg) e sua representatividade sobre o total de resíduos destinados, medido em %				
Total de resíduos perigosos transportados / destinação				
		2007	2008	2009
Tratamento de resíduos		15.632.521 62,3%	14.198.317 58,4%	12.046.621 59,3%
Reciclagem externa		9.470.533 37,7%	10.116.538 41,6%	8.268.918 40,7%

Fonte: Braskem

A análise da documentação da Braskem também permite avaliar os principais setores produtivos que no país utilizam as resinas por ela produzida. É importante observar que não é interessante, para a tentativa de obtenção de simbiose industrial, avaliar outros fornecedores que se encontrem muito distantes do ponto de produção, pois a simbiose torna-se muito difícil de implantar. Utilizando-se a informação da Figura 25 em um gráfico de Pareto (Tabela 14), tem-se que a área alimentícia é de grande importância (três ocorrências) seguida por construção civil (uma ocorrência, mas grande consumo percentual) e bens de consumo (mesma situação). Contudo, bens de consumo, por se tratar de bens com alto valor agregado, de modo geral utilizam polímeros semelhantes aos utilizados na área automotiva (uma ocorrência, mas menor consumo percentual) (BORCHARDT, et al, 2008)

Portanto, entrevista estruturada, mas sem questionário fechado, com representante das organizações patronais das indústrias alimentícia, eletroeletrônicas e automotiva foi efetuada para verificar-se quais os principais resíduos produzidos pelo setor e quais as principais dificuldades para reciclá-los. Quando necessário, uma ou mais empresas do setor foram também consultadas. Nesse caso optou-se por informações decorrentes daquelas com maior volume de produção.

De modo geral, diferentemente do que ocorreu nos dois setores anteriores, não houve uma clara posição sobre reutilização de produtos. Porém, observou-se duas situações distintas: os produtos fabricados fora de especificação, as rebarbas e as aparas, dificilmente saem das empresas de transformação, pois são considerados materiais nobres, sendo utilizados dentro do próprio processo. Como exemplo desse comportamento tem-se o procedimento de reuso interno informado por uma empresa que fabrica eletro-eletrônicos e é considerada pela ABINEE uma das mais expressivas do setor. Por outro lado, produtos que apresentem misturas em sua composição, por exemplo, por terem sofrido muitos processos distintos antes de serem descartados, não são vistos como úteis para reuso – interno ou externo. Nesse caso, o destino, em geral, é o descarte e na maioria das vezes a explicação é a dificuldade técnica de proceder à reciclagem ou o custo dessa reciclagem.

Tabela 14 - Gráfico de Pareto para a informação contida na Figura 25

Principais polímeros	PE	PP	PVC
Principais consumidores	Alimentício Varejo higiene	Alimentício Automotivo agrícola	Construção civil Bens de consumo Alimentício

4.2 CONCLUSÃO PARCIAL

Considerando-se o caminho de produção para o material plástico e os *stakeholders*, de acordo com o definido pela UNEP (United Nations Environment Programme) e brevemente descrito no capítulo 1, observa-se que os três setores (governo, produção e organizações não governamentais) estão diretamente envolvidos no processo.

Os produtos obtidos na 1ª geração da cadeia não apresentam grandes perdas que favoreçam a simbiose industrial - além daquela já descrita no texto acima - e os co-produtos (resíduos) são, em geral, mais adequados à obtenção de energia por co-processamento.

Os produtos obtidos na 2ª geração da cadeia não apresentam geração significativa de resíduos, pois os monômeros não convertidos são geralmente reciclados no processo, conforme evidenciado no capítulo 2, nas descrições dos processos de fabricação de resinas e inexistem informações sobre resíduos gerados nem sobre tratamento dos mesmos nos relatórios ambientais das principais produtoras de resinas do Brasil.

Devido à concentração da produção dos insumos em apenas alguns produtores primários (essencialmente Petrobras, e suas subsidiárias, Braskem e Quattor), o fluxo de materiais pode ser compreendido pelo estudo de seus co-produtos. Além disso, o contexto de produção pode ser descrito de modo similar ao produzido por Bomtempo (1999) (vide Figura 22, pag 91), mas adicionando informações sobre fechamento de ciclos, o que não aparece nas documentações do período (década de 90, século 20).

Quanto à produção da Petrobrás, analisando-se as informações geradas pelo Pólo Petroquímico de Camaçari (BA), em seus *Workshops* regulares (PÓLO

INDUSTRIAL DE CAMAÇARI, WORKSHOP, GRUPO PETROQUÍMICA, 2008), observa-se como os produtos são destinados dentro dos processos de produção e, apenas para exemplificação, apresenta-se a cadeia descrita para os produtos orgânicos nas Figuras 27 e 28. Assim, por exemplo, eteno produz tanto polietileno quanto PVC, o propeno é responsável não só por PP mas também poliésteres e polióis. Além disso, apenas como exemplificação da pouca perda do processo, a produção de 907000 t/ano de eteno leva à formação de 579900 t/ano de polietileno e 258700 t/ano de PVC. O resto da produção atendendo a produtos de menor consumo. O relatado acima, pode ser descrito em uma tabela (Tabela 15) em que a produção e o resíduo são comparados.

Tabela 15 - Fluxo de materiais na 1ª e 2ª geração de reagentes para o setor de plásticos

Geração	entrada	saída	resíduo	% "perda"
1ª geração petroquímicos básicos 4 polos produtor primário: Petrobras	1.974 000 barris/dia (~220.000 t/dia)	"Todos" os monômeros	~250.000 t/ano	< 0,3%
2ª geração fabricante de resinas 8 a 10 empresas produtor primário Braskem	Eteno (BA/RS) 2.532.000 t/ano Propeno (BA/RS) 990.000 t/ano	PE (BA/RS) 2.455.000 t/ano PP (RS) ~9.000.000 t/ano	2,72 kg/t usado em outras produções usado em outras produções	< 0,3%

As Figuras 27 e 28 descrevem por meio de fluxogramas as cadeias de produção dos produtos orgânicos, segundo o *Workshop* de trabalho da área de Petroquímica (PÓLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI, WORKSHOP, GRUPO PETROQUÍMICA, 2008).

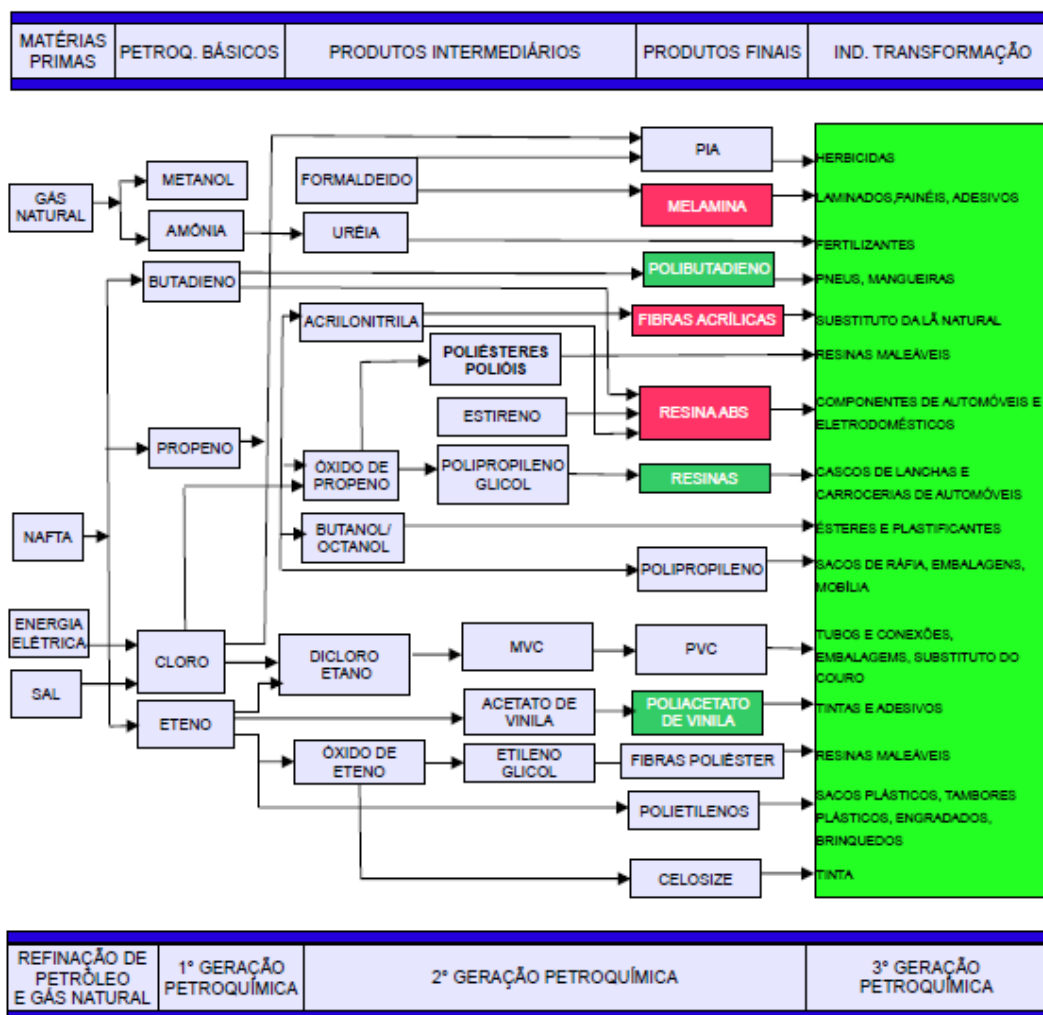


Figura 27 - Cadeia produtiva de produtos orgânicos
Fonte: Workshop do Polo Petroquímico de Camaçari

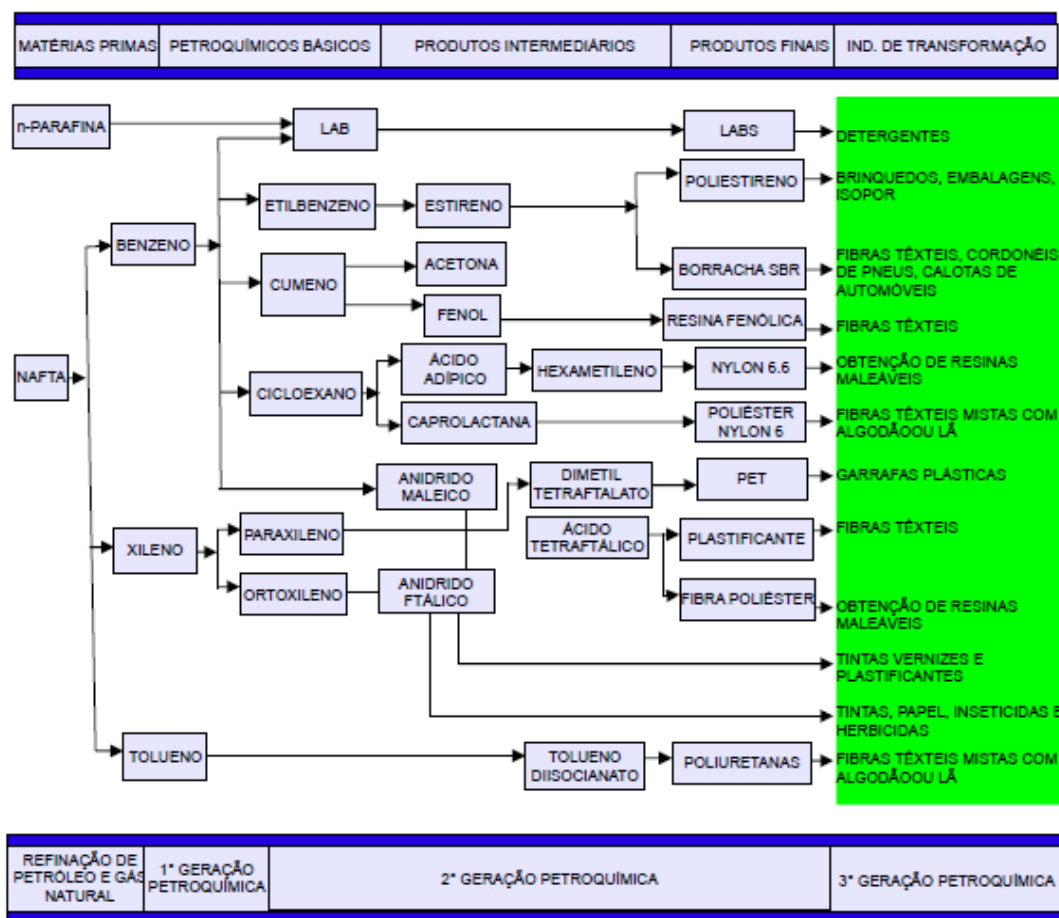


Figura 28 - Cadeia produtiva de produtos orgânicos
 Fonte: Workshop do Polo Petroquímico de Camacari

Quanto aos produtos obtidos na 3ª geração, ocorrem duas situações distintas: Os produtos fabricados fora de especificação, as rebarbas e as aparas, dificilmente saem das empresas de transformação, pois são considerados materiais nobres, sendo utilizados dentro do próprio processo. Por outro lado, poderá haver simbiose industrial com fluxo de materiais e fechamento de ciclo no caso de empresas que geram co-produtos resultantes do seu sistema produtivo (embalagens vazias, aparas, etc.), como é o caso das três empresas que são objeto de avaliação deste trabalho.

Por fim deve-se lembrar que a reciclagem pelo consumidor final é muito importante, como abordado nos aspectos teóricos, mas não faz parte desse trabalho

seu estudo porque, devido à capilaridade de recolhimento desse material (coleta seletiva), o cálculo de um fluxo de materiais é bastante dificultado e, em geral, os dados tornam-se apenas qualitativos.

4.3 STAKEHOLDERS AVALIADOS

Como o setor avaliado funciona aparentemente como um ciclo fechado e com simbiose industrial expressiva no início da cadeia, é importante verificar como cada *stakeholder* propõe melhoria para esse setor, considerando-se esse quadro de produção.

Os *stakeholders* a serem analisados foram obtidos através de *survey*, como descrito a seguir.

1º setor – o aspecto governamental

O governo federal, através do Ministério do Desenvolvimento, criou em agosto de 2000, o Fórum da Competitividade da Cadeia Plástica, para atuar na Cadeia Produtiva do Plástico ¹. Esse fórum determinou como *stakeholders* relevantes para a cadeia as seguintes instituições:

- ABIPLAST
- ABIQUIM
- ABIEF
- ADIRPLAST
- ANVISA
- APEX
- ABDI

Além do Fórum, o governo federal, através do BNDS, criou em 11 de junho de 2010, o Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Plástico - BNDES Proplástico, visando a modernização das empresas do setor, com o aumento da produção de plásticos e seus produtos, de equipamentos e de moldes

1 (<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=388>)

para o segmento, além da melhoria dos padrões de qualidade e de produtividade das indústrias instaladas no país².

2º setor – o aspecto empresarial

Além dos stakeholders anteriormente citados, os empresários têm como representantes na cadeia do plástico:

- ABiPET
- Plastivida
- CEMPRE
- E, no estado de SP, FIESP

3º setor – o aspecto das ONG

- CEMPRE
- PLASTIVIDA
- sindicatos
- ONG para reciclagem, tais como Canto Cidadão e Nosso Papel

A análise da documentação desses *stakeholders* teve como objetivos determinar:

1. como são definidos os valores de produção de cada reagente na cadeia de produção: quais são as quantidades? estas são condizentes com os obtidos nesse trabalho? etc.;
2. há disparidade entre os valores que cada stakeholder determina? Se sim, de quanto?
3. como cada stakeholder descreve o resíduo e se existe, mesmo que incipiente, o conceito de co-produto.

Devido à grande extensão dos dados utilizados, as informações relevantes constam em anexo (Anexo A. Dados revelados pelos *stakeholders* e utilizados no item 4.1).

O governo, através do Fórum de competitividade da cadeia plástica, apresenta uma visão bastante centrada no aspecto econômico, e apenas informa que há

²(http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2010/inovacao/20100611_BNDESProplastico.html)

importação de nafta (matéria-prima) e de transformados enquanto as resinas são exportadas.

Os empresários apresentam uma preocupação mais ampla com o setor e um foco maior no produto. além disso, provavelmente devido à capilaridade que a indústria apresenta, há preocupação com desenvolvimento de melhores *design*. Por fim, informam que há concentração no setor de produção de transformados. Por exemplo, uma única indústria no sul do país lidera o “segmento de utilidades plásticas com *design*”, produzindo “cerca de 14 milhões de peças em polipropileno por ano”, mas a “cada seis meses lança novos produtos”. Portanto, pode haver grande variação na quantidade de co-produtos gerados na 3ª geração da indústria plástica.

Para o empresariado, a informação relevante vem principalmente da ABIPLAST (através de sua publicação anual dos indicadores da área de plástico). Para esses stakeholders o balanço de massa de acordo com os dados dessas associações pode ser sumariado na Figuras 29 e 30, a análise do resultado demonstra uma perda média de 4% durante a produção de transformados, o que indica esse segmento (3ª geração) como fundamental no fluxo de materiais. É importante observar que os resultados da Figura 30 utilizaram dados obtidos apenas na publicação da ABIPLAST (Anexo 1); portanto, não deve ter ocorrido variações na metodologia ou outro fator qualquer que facilmente explique tal diferença.

A Figura 29 exibe o fluxograma do balanço de massa da produção de resinas na 2ª geração da indústria petroquímica conforme os dados obtidos na publicação da ABIPLAST, que consta no Anexo !.

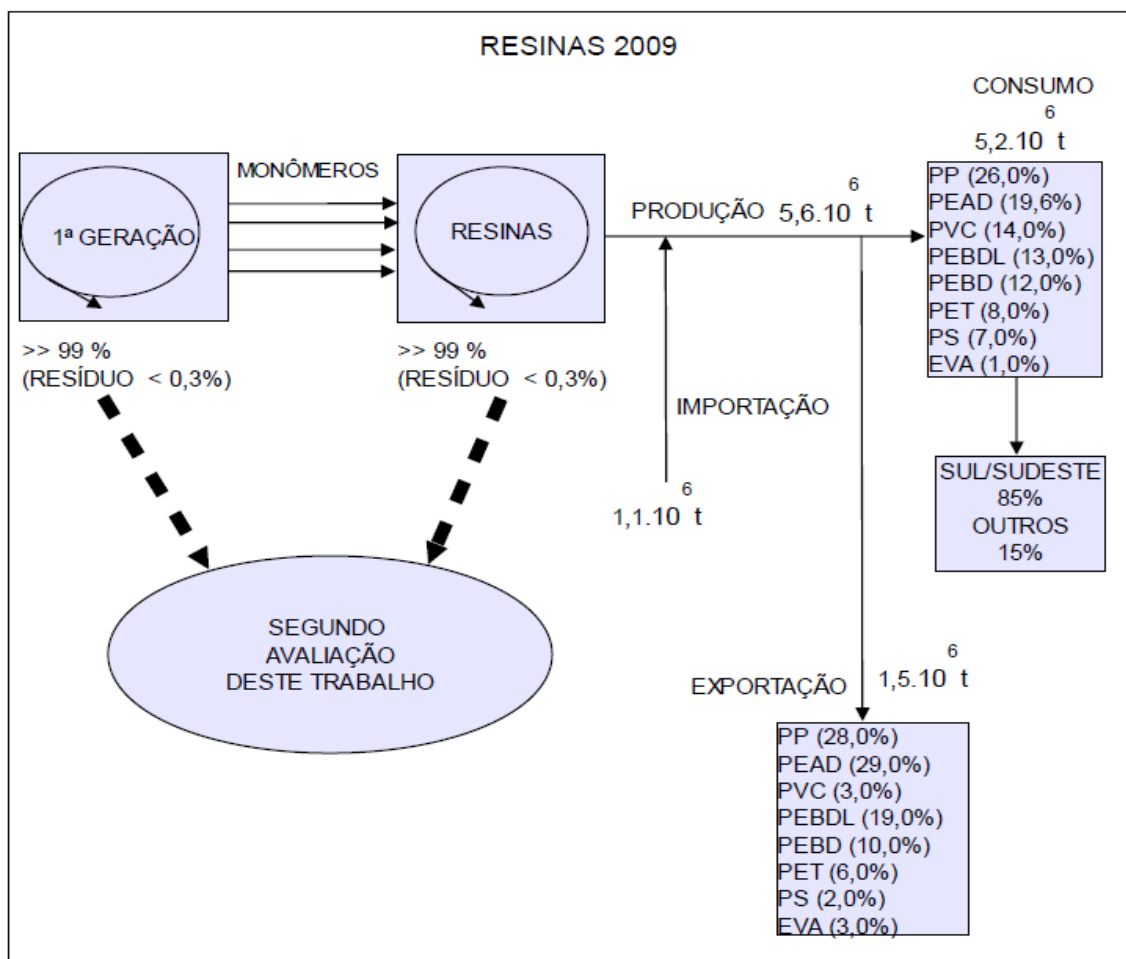


Figura 29 - Balanço de Massa - Produção de Resinas
Fonte: ABIPLAST – Anexo 1

A Figura 30 exibe o fluxograma do balanço de massa da produção de transformados plásticos na 3ª geração da indústria petroquímica conforme os dados obtidos na publicação da ABIPLAST, que consta no Anexo 1.

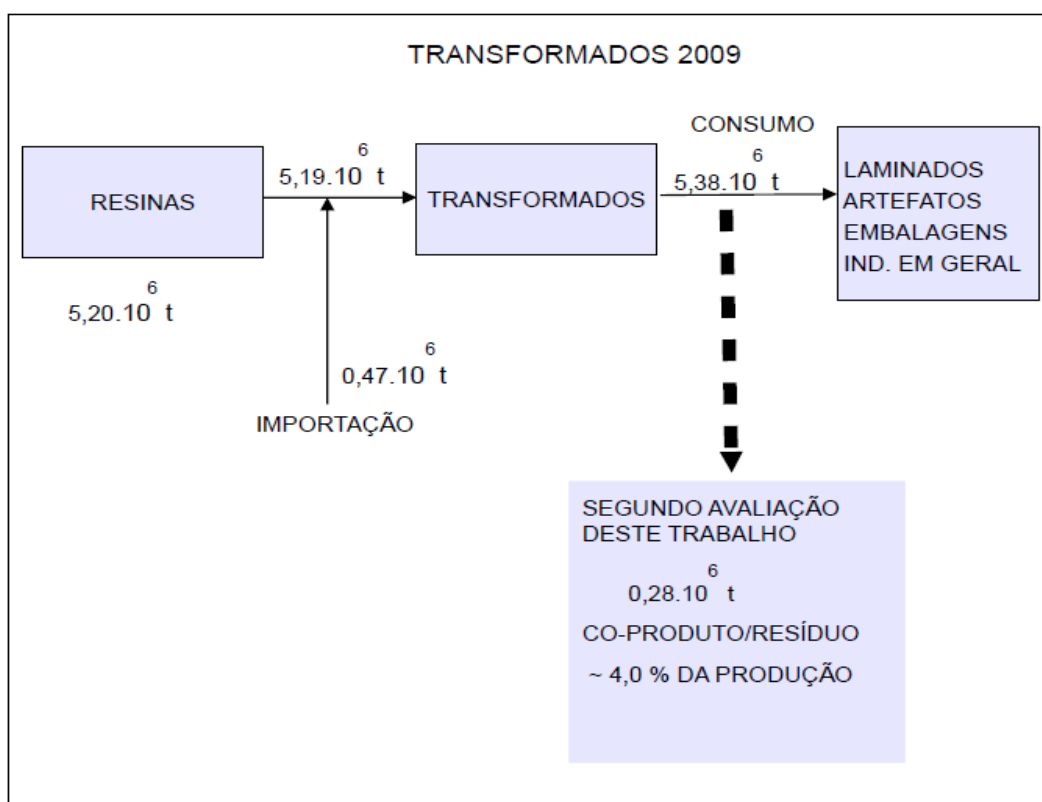


Figura 30 - Balanço de Massa Produção de transformados
Fonte ABIPLAST – Anexo 1

Por fim, há diferenças entre os números apresentados por algumas associações, como ABIQUIM e ABIPLAST. Assim, a comparação da Tabela 15 deste trabalho (item anterior, e correspondendo a dados constantes na ABIQUIM) e os valores fornecidos em anexo (valores da ABIPLAST) apresenta divergência, com o resultado da produção de PP sendo menor em 50% ao que é designado pela ABIPLAST. A diferença se deve ao fato de que a ABIQUIM utiliza uma menor base de dados. Desse modo, por exemplo, a associação sugere como fonte de PP, através de seu site de pesquisa apenas a Braskem³. Não se encontrou indicativo significativo de preocupação com simbiose industrial.

As ONG atuam preferencialmente na coleta seletiva e consideram difícil a utilização do material advindo dessa fonte principalmente pelo alto custo dos equipamentos de processamento.

4.4 SIMBIOSE INDUSTRIAL NA TERCEIRA GERAÇÃO

Para avaliar quais são e como são destinados os resíduos que não são reaproveitados na produção, as seguintes etapas foram seguidas:

1. escolheram-se empresas prestadoras de serviço para a área automotiva/eletrônica/higiene/alimentícia e examinaram-se seus principais “resíduos”;
2. em conjunto com a determinação dos resíduos, verificou-se o motivo de tal categorização (é um problema legal?, um estudo técnico previamente efetuado determinou que não é possível sua utilização?, etc.), como preconiza a Ecologia Industrial;
3. após a determinação dos resíduos, procedeu-se a novo estudo para verificar, de acordo com o proposto pela Ecologia Industrial (verificar a viabilidade de 4 etapas consecutivas: técnica, econômica, organizacional e legal), a possibilidade de uso como co-produto;
4. o estudo sobre o uso como co-produto usou como ferramenta o *brainstorm* e foi implantado em várias etapas. Assim, i) possíveis usos como co-produto eram aventados e apresentados aos geradores do co-produto. Essa etapa contou com a consulta a especialistas. ii) após a determinação se a idéia não havia sido testada anteriormente pelo gerador do co-produto, em conjunto com o gerador

3 (www.abiquim.org.br/braz_new/Default.aspx)

analisavam-se possíveis pontos fracos e fortes, desafios e oportunidades da sugestão. Essa etapa também permite verificar se a empresa apresentava resistência a mudanças. lii) as ideias escolhidas eram testadas e/ou avaliadas por consulta com possíveis consumidores do co-produto. iv) ideias com possibilidade técnica de aproveitamento eram testadas em uma segunda etapa, onde se estabelecia o carácter econômico do processo sob análise. Esse conjunto de etapas foi repetido muitas vezes, no intuito de minimizar possíveis erros de análise.

As empresas que sofreram essa análise tiveram seu perfil descrito na metodologia deste trabalho. Os resíduos catalogados como co-produtos bem como sua composição e quantidade produzida além da utilização mais provável são listados na Tabela 16. Observe-se que no início do trabalho analisou-se os principais processo de cada empreendimento, e em especial aquele responsável pela geração do co-produto. portanto, lista-se nessa tabela apenas materiais cuja produção não pode ser evitada por uma estratégia de redução de resíduo na fonte, ou seja, uma estratégia de produção mais limpa.

Na Tabela 16 estão relacionados todos os resíduos gerados pelas empresas, que poderiam ser reutilizados como co-produtos e que não podem ser eliminados na fonte em uma estratégia de produção mais limpa.

Tabela 16 - Resíduos Catalogados como co-produtos, sua composição, quantidade produzida e a utilização mais provável

Empresa	Produto Fabricado	Tipo de Resíduo	Composição do resíduo	Quant./ Mês	Tipo de Empresa
(A)	Processamento de carne	Caixas de Papelão Embalagens Plásticas	Papelão Plástico (PE, PP e outros)	Pequena (< 7t), por isso estudado como minimização de formação de resíduo	Médio Porte
(B)	Lubrificantes Automotivos	Embalagens Plásticas	Plástico (PE, PP e PVC) contaminados com óleo	variável	Médio Porte (líder de mercado)
(C)	Forrações Automotivas (<i>Carpets</i>)	Aparas e refugos de produção	Fibras PET + película latex Fibras PET + película underelt Fibras PET + EVA	200 T 200 T 200 T	Médio Porte
(D)	Forrações Automotivas (Carpetes)	Aparas e refugos de produção Material sólido com umidade	Fibras: PP + PET + Poliester + Resina Fenólica + Película de EVA Estearato de Zinco	300 T 2 a 4 T	Médio Porte
(E)	Cobertores	Aparas de produção	Fibras de acrílico	30 T	Pequeno Porte
(F)	Peças Automotivas	Rebarbas e refugos produção	Borracha vulcanizada	30 T	Médio Porte
(G)	Pneus para Caminhão	Aparas de produção	Borracha crua + arame de aço c/ banho de latão	100 T	Grande Porte
(H)	Fios e Cabos Elétricos	Plástico da cobertura dos fios e cabos.	PVC	10 a 15 T*	Pequeno Porte

Fonte: Pesquisa realizada nas empresas

(*) Existia um total acumulado de resíduos de PVC de aproximadamente 400T.

Os materiais relacionados na Tabela 16 foram encaminhados para testes de utilização como co-produtos em empresas onde poderia ser implantada uma parceria de simbiose industrial. O resíduo da empresa H foi testado também em parceria com a Fatec como objeto de estudo para utilização como carga de matrizes

poliméricas cujo resultado será abordado na sequência deste trabalho.

Os exemplos de sugestão de uso que foram testados para os co-produtos listados são apresentados na Tabela 17. De modo geral todos os resíduos apresentaram boa possibilidade de uso com o co-produto, em especial por formação de simbiose com outros co-produtos em empresas das áreas de fabricação de madeira plástica, como comentado a seguir. Cada uma das alternativas foi estudada pelos respectivos gerentes de área em cada uma das empresas estudadas.

Tabela 17 - Exemplos de sugestões que foram testadas para o uso de co-produtos

Sugestão para usos dos coprodutos gerados nas empresas estudadas	
Embalagens da matéria-prima recebida e aparas das embalagens do produto fabricado	Papel e papelão reciclado Logística Reversa Fabricação de madeira plástica
Embalagens do produto recolhidas em processo de logística reversa	Fabricação de madeira plástica
Resíduos de produtos de forração automotivas (Carpets)	Fabricação de forração carpete (material que vai embaixo do carpete) Moagem para utilização como carga de polímeros
Estearato de zinco	Fabricação de produtos auxiliares para compostos de borracha (lubrificantes, anti aderentes, etc.)
Resíduos de acrílico	Fabricação de TNT (com adição de resina e monômero de acrílico) Moagem para utilização como carga de polímeros. Enchimento de brinquedos de pelúcia
Borracha Vulcanizada (placas)	Piso, impermeabilização Moagem para utilização como carga de compostos de borracha, como carga de asfalto e para forração de quadras esportivas (aglomerada com resina ligante)
Borracha crua com arames	Desenvolver processo para retirada à quente, do arame e reutilização da massa de borracha
PVC da cobertura de cabos	Fabricação de solados e utilização como carga de resinas termoplásticas

Fonte: Empresas pesquisadas

Assim, como mencionado anteriormente, pelo baixo volume produzido, na empresa A, estudo de caso no segmento alimentício, foi feita uma avaliação em todo o seu processo produtivo voltado para a minimização de formação de resíduo e realização da simbiose industrial com pequenas empresas (baixo volume de matéria-prima requerido) e o resultado da avaliação será abordado no item 4.4.1

Nas outras empresas avaliadas, os co-produtos gerados foram PP, PEBD, PVC, PET, (fibras), estearato de zinco e borracha (crua e vulcanizada), que podem ser utilizados como matéria-prima em outros processos de produção, configurando a simbiose industrial, como segue:

Na empresa B, os co-produtos gerados (PP, PEBD e PVC) são provenientes das embalagens dos produtos que eles mesmos produzem e que retornam à empresa pelo processo de logística reversa, que eles estavam implementando, através de um distribuidor dos seus produtos. Estes materiais podem seguir para empresas de reciclagem dentro de uma dinâmica fornecedor/comprador (Figuras 31, 32, 33 e 34).



Figura 31 - Embalagens de lubrificantes na esteira de separação
Fonte: Reciplast



Figura 32 - Embalagens de lubrificante moídas para a produção de madeira plástica
Fonte: Reciplast



Figura 33 - Paletes produzidos com madeira plástica (embalagem de lubrificantes)
Fonte: Reciplast



Figura 34 - Paletes produzidos com embalagens de lubrificante em teste de utilização
Fonte:Reciplast

Nas empresa C e D, que produzem forrações internas automotivas, grande parte das forrações já é confeccionada com fios de PET reciclado de embalagens de refrigerantes. Os co-produtos gerados têm origem nas aparas e refugos de produção. Um dos tipos de co-produto (aparas) já foi testado e aprovado para utilização como fibra de reforço de resinas de PP recicladas. Os outros tipos poderiam ser utilizados como enchimento de produtos isolantes térmicos e acústicos devido à sua baixa densidade e, por último, para recuperação de energia.

Na empresa E, o co-produto gerado já tinha utilização para confecção de segunda linha e como enchimento para brinquedos e pelúcia e almofadas, e ainda estava sendo testado para ser utilizado como carga de polímeros termoplásticos.

Na empresa F, o co-produto gerado poderia ser moído e utilizado como carga de compostos de borracha, como melhorador de propriedades no asfalto e como revestimento de quadras esportivas, aglutinado com resinas ligantes. Sua utilização no caso de carga de compostos de borracha depende da granulometria da partícula moída e do custo para a produção da mesma. Para se obter partículas de tamanho

ideal é necessário realizar o processo de moagem criogênica, o que inviabiliza economicamente a sua utilização, pois o custo ainda não é atrativo. Assim, o estudo econômico inviabilizou o uso do co-produto nessa forma, já que o aterro industrial naquele momento era a opção mais barata e a preocupação com o meio ambiente ainda está em segundo plano no meio industrial sob estudo.

Na empresa G, o co-produto gerado é borracha crua com arames e poderia ser utilizado na produção de peças de borracha, porém tal uso depende do desenvolvimento de um processo viável, técnica e economicamente, para a retirada dos arames. Portanto foi efetuado teste em pequena escala, que mostrou a capacidade de produção técnica com tal co-produto, sendo a questão econômica a principal dificuldade.

Na empresa H, o co-produto gerado era PVC granulado, proveniente da moagem de fios e cabos para a reutilização do cobre (co-produto) como matéria-prima. Este material poderia ser reutilizado na fabricação de solados de PVC ou como carga para polímeros compósitos. Neste caso, tal hipótese foi testada em laboratório e aprovada para utilização como carga em matrizes poliméricas de PP e PS. Estes testes iniciais foram efetuados em parceria com professores da FATEC/SP, e os resultados foram publicados pelo estudante responsável em trabalho de graduação intitulado “Estudo da Influência da Incorporação de Resíduos Industriais em Matrizes Poliméricas de PP e PS” (TAKIMOTO, 2010).

Portanto, considerando apenas o aspecto técnico a possibilidade de utilização dos co-produtos era de 100%. Os gerentes de cada empresa escolheram a(s) hipótese(s) com maior probabilidade de execução, fizeram seu estudo econômico e, dentre as 7 empresas estudadas (estudo de caso B a H), após 6 meses de estudos, os resíduos, agora catalogados como co-produtos, apresentavam as seguinte situação de uso (Tabela 18 testes).

Tabela 18 - Testes - Situação dos resíduos/co-produtos após 6 meses de estudo

Empresa	Situação do resíduo
B	Produção de Madeira Plástica (pallets)
C	Em teste de moagem para utilização como carga de resina termoplástica
D	Em teste de moagem para utilização como carga de resina termoplástica
E	Em teste de moagem para utilização como carga de resina termoplástica
F	Aguardando utilização (dependente da viabilidade econômica)
G	Aguardando o recebimento de amostras do material para definição de processo de produção em larga escala
H	Em teste de moagem para utilização como carga de resina termoplástica

Fonte: Empresas estudo de caso pesquisadas

Assim, é possível verificar que a maioria das empresas (quase totalidade, com a empresa F representando a exceção) avaliou que tecnicamente era possível implantar o sistema e que era preciso fazer um piloto para atestar a viabilidade econômica. Como estas empresas foram escolhidas por representar as áreas onde existe maior consumo de plásticos, a avaliação da quantidade recolhida e destinada em relação ao total de produção permitirá extrapolar a quantidade de co-produto que está incorretamente destinado como material não inerte na cadeia de produção. De modo geral, estas empresas têm como formação de co-produto, cerca de 5% a 10% da massa total de produção e, também, representam de 50% a 80% (em termos de tipo de produção, não de volume de produção) do mercado. Portanto, nessa fase de produção (3ª. geração) uma estimativa grosseira é que cerca de 2,5% a 8% em massa da produção pode ser readmitida no ciclo. Este número é condizente com o valor de 4% de diferença no balanço de massa para os transformados de plásticos (Figura 30, item 4.3)

A principal dificuldade para a formação desse ciclo fechado é de ordem organizacional, pois a média gerência evita (como verificado por entrevista estruturada, mas sem questionário pré-determinado, com outros representantes

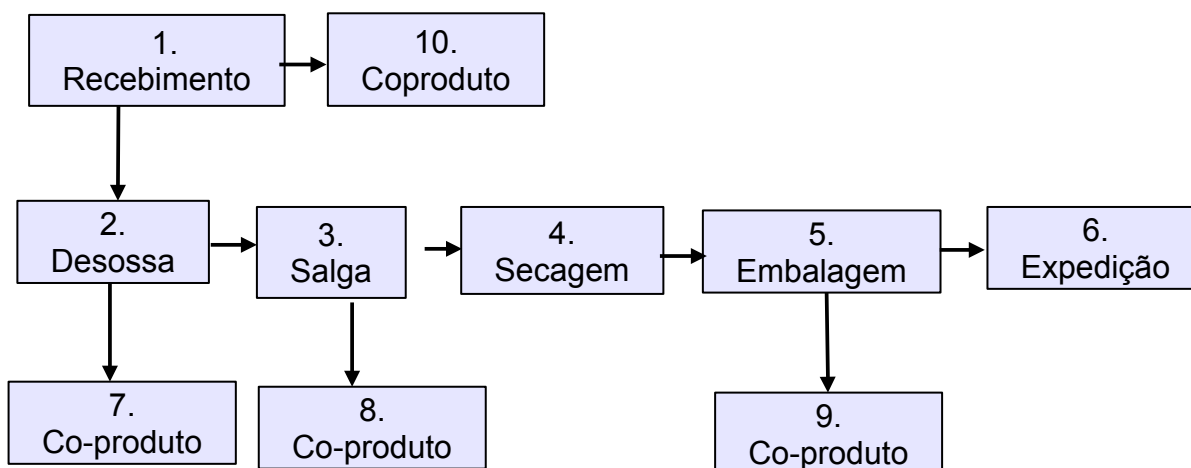
dessas áreas) mudanças nos processos de produção, principalmente porque o custo de destinação para aterro ainda é considerado baixo.

4.4.1 MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA FONTE

A avaliação da diminuição da formação de resíduo foi objeto do estudo de caso da empresa (A), do segmento alimentício. Nesta empresa foi realizada uma análise em toda a sua estrutura produtiva, em parceria com uma empresa de Gestão Ambiental, responsável pela adequação da empresa para o cumprimento das normas ambientais, objeto de recomendação da Secretaria do Meio Ambiente, em conjunto com a Prefeitura Municipal da região onde a empresa se localiza. . Nessa análise, o processo de produção da empresa foi avaliado, em todas as etapas, para que fosse possível sugerir as modificações que deveriam ser implantadas para a minimização dos resíduos. O processo de produção da empresa é descrito a seguir: a matéria-prima (carne) é recebida do fornecedor e segue para a desossa, onde são gerados três tipos de co-produtos, as caixas de papelão das embalagens externas, os sacos de PEBD das embalagens da carne e os ossos, que são recolhidos diariamente por uma empresa de graxaria. A carne segue para a salga, onde é gerado outro co-produto, o PP (sacos de ráfia) das embalagens do sal. Após ficar em varais de secagem a carne processada segue para o setor de embalagem, onde é embalada, seguindo para a expedição. No setor de embalagem também são gerados co-produtos (aparas das embalagens e sacos de embalagens reprovadas).

A análise dos procedimentos mostrou claramente algumas desvantagens. A empresa recebia o produto dos frigoríficos e o retirava das embalagens (caixas de papelão e sacos plásticos - PEBD) no setor de produção, para sua posterior industrialização. As caixas de papelão, contaminadas com sangue bovino eram recolhidas por carroceiros da região e os sacos plásticos (Figura), também contaminados com sangue bovino, em maior quantidade, eram acondicionados em contêineres, aguardando a coleta e o posterior encaminhamento para o aterro sanitário. Neste período ocorria mal cheiro, tornando as embalagens em um vetor para transmissão de doenças. No setor de salga, as embalagens (PP) que acondicionavam o sal eram retiradas e posteriormente acondicionadas nos mesmos contêineres das embalagens contaminadas, o mesmo ocorria com as aparas e sobras do setor de embalagens (PEBD). Esses procedimentos resultavam em um

passivo ambiental contaminado. A Figura 35 descreve sucintamente as operações dessa empresa



1. Matéria prima, embalada em caixas de papelão e internamente, sacos de PEBD
2. A carne é retirada das embalagens e é desossada
3. A carne é salgada, para conservação.
4. Perda de umidade da carne.
5. A condicionamento de produto para venda.
6. Expedição: Envio do produto para os clientes.
7. PEBD
8. PP
9. PEBD
10. Papelão

Figura 35 - Fluxograma das Operações Unitárias

Portanto, os processos de melhoria propostos foram os seguintes, em relação às embalagens de matéria-prima e às aparas originadas na produção: As caixas de

papelão da embalagem externa passariam a ser retiradas no setor de recebimento, evitando a sua contaminação e posteriormente seriam recolhidas por uma empresa de aparas, que pagaria pelo produto. As embalagens de plástico (PEBD) contaminadas com sangue passariam a ser lavadas com solução de hipoclorito de sódio, para higienização e descontaminação. Após a secagem, passariam a ser colocadas em container e, posteriormente, encaminhadas, juntamente com as embalagens do sal e as aparas do setor de embalagem do produto, para uma baia de acúmulo para serem enviadas à empresa de reciclagem (Figura 36).

As propostas foram aceitas pelos responsáveis da empresa e implementadas. Assim, o que era um problema ambiental, devido à natureza do resíduo, passou a ser valorizado e utilizado como matéria-prima em outro processo de produção. O uso dessa pequena quantidade de co-produto, contudo, só foi possível porque corresponde à matéria-prima que pode ser destinada a recicladores comuns, como os responsáveis por recolhimento de lixo originário de residências (isto é, coleta seletiva).

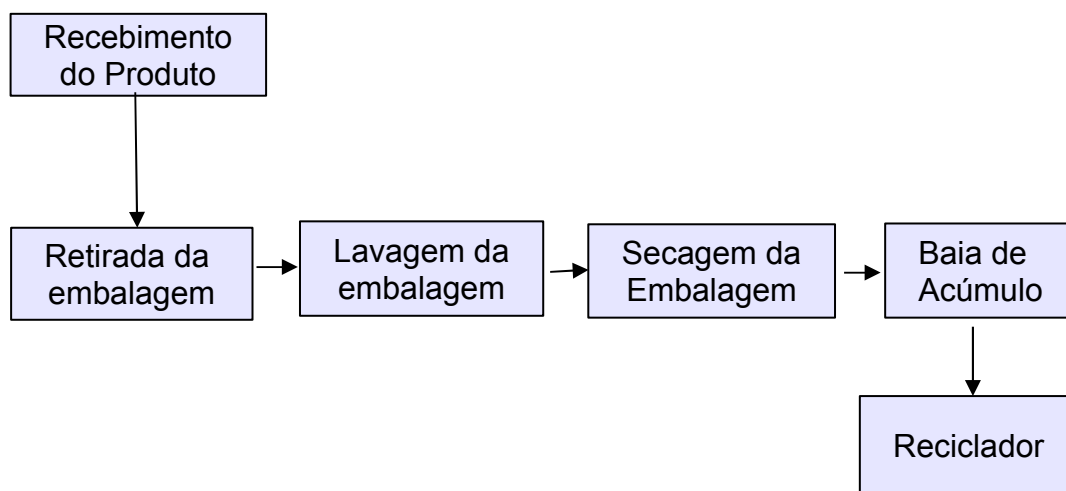


Figura 36 - Fluxograma da operação de limpeza dos sacos plásticos

A Tabela19 apresenta a quantidade de resíduos gerados mensalmente dentro desse processo, devido, principalmente aos procedimentos adequados. A tabela apresenta, ainda, a quantidade de resíduo que é possível evitar de se produzir.

Tabela 19 - Quantidade de resíduos gerados mensalmente

Resíduo	Quantidades mensais produzidas (kg)	Quantidades mensais que é possível evitar de se produzir (kg)
Plásticos com sangue bovino (PEBD)	1.500 a 3.000	1.500 a 3.000
Sacos de rafia (PP)	500 a 1.000	500 a 1.000
Resíduos da embalagem dos produtos	1.600 a 3.000	1.600 a 3.000

Fonte: Estudo efetuado na empresa da área alimentícia

As Figuras 37 e 38 mostram o passivo ambiental que era gerado no pátio da empresa pelas embalagens contaminadas antes das sugestões serem implantadas.



Figura 37 - Pátio da empresa A com resíduos acumulados
Fonte: Empresa A – estudo de caso



Figura 38 - Plásticos contaminados
Fonte: Empresa A estudo de caso

As Figura 39 exibe os plásticos lavados e secos, acondicionados num container para posterior envio ao reciclador.



Figura 39 - Embalagens Plásticas lavadas para serem encaminhadas ao reciclador
Fonte: Empresa A estudo de caso

Na Figura 40, é mostrado o material oriundo da empresa estudo de caso, já no reciclador, depois de moído, lavado e seco, estando pronto para ser processado na produção de madeira plástica.



Figura 40 - Sacos plásticos depois de lavados moídos
Fonte: Reciplast

4.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os resultados para o estudo do fluxo de materiais e formação de simbiose industrial na área de plásticos. Os principais resultados apresentados indicam que o fechamento de ciclo, através da simbiose com fornecedores, é vantajoso no final da cadeia de produção e deve corresponder a valores de economia entre 2,5% a 8% em massa do material produzido.

Os setores iniciais (na primeira e segunda geração da petroquímica), apesar da grande quantidade de produção, geram pequena quantidade de co-produtos (<0,3% da produção é considerada resíduo) e estes são melhor aproveitados para a recuperação de energia.

No setor de transformados (terceira geração da petroquímica) a quantidade de resíduos/co-produtos gerados apesar de também pequena (aproximadamente 4%), é expressiva, devido à escala de produção, portanto justifica-se o estudo da simbiose industrial a partir da terceira geração.

5 CONCLUSÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo discutir o fluxo de materiais na cadeia de produção de plásticos no intuito de prover informações para facilitar o fechamento de ciclo nesse setor produtivo.

A minimização do consumo de insumos nos processos de produção através de uma estratégia de formação de resíduo zero apresenta limitações. A tentativa de se produzir com resíduo zero pode otimizar processos, mas dificilmente atinge-se a meta. Além disso, avalia a produção apenas localmente, em geral processo a processo, e considera o uso e descarte desse produto como outros sub-sistemas, isolados da produção original, mas tendo de receber igual atenção. Muito embora a diminuição de formação de resíduo atenda à necessidade de poupar recursos para as gerações futuras, ela também desconsidera que o resíduo possa ser revalorizado e definido como um co-produto (MARINHO, KIPERSTOK, 2001). Portanto, o fechamento dos ciclos de produção representa melhoria significativa para a Sustentabilidade.

Assim, entendendo-se o fluxo de materiais pode-se avaliar as etapas onde observa-se maior perda de processo, analisar o “porquê” de tais perdas e tentar reverter a situação com vistas ao fechamento de ciclo. Neste contexto, a procura de processos e de empresas que possam utilizar os co-produtos gerados é de fundamental importância, ou seja, há também grandes possibilidades para a melhoria da sustentabilidade pelo uso do conceito de simbiose industrial.

Este trabalho utilizou o conceito de fluxo de materiais e de simbiose industrial, como preconizado pela ecologia industrial, para avaliar o setor plástico através de documentação gerada pelos seus *stakeholders* e de estudos de caso. Esta metodologia mostrou-se eficiente para compreender as etapas que geravam irremediavelmente co-produtos, obtendo-se coerência entre os resultados obtidos por análise de documentação e por estudo de caso.

O estabelecimento de parcerias entre geradores e consumidores pode evitar a formação de resíduo na ordem de porcentagem (entre 2,5 e 8%) em um setor responsável por produção de milhões de toneladas de insumo.

A principal dificuldade para o estabelecimento da simbiose industrial não é de ordem tecnológica, e sim organizacional. Resultado este corroborado por vários

estudos desenvolvidos na Europa e citados na introdução deste trabalho. entre as principais resistências à concepção de simbiose industrial encontra-se o baixo custo para a destinação do resíduo e o pouco interesse em adicionar uma etapa de processo ao empreendimento. Contudo, de todas as empresas analisadas, apenas uma empresa não se prontificou em estabelecer um piloto na empresa. De modo geral, os estudos de caso deste trabalho sugerem a simbiose que deve ocorrer para as áreas de alimentos, de lubrificantes e de plásticos.

Como trabalhos futuros sugere-se:

- 1 - Avaliação de outras empresas da área de transformados plásticos, pois este trabalho – utilizando o conceito de Pareto – restringiu-se aos casos com maior volume de descarte;
- 2 - Avaliação de outras resinas, pois, como mencionado anteriormente, apenas as mais importantes foram avaliadas neste trabalho.

Este trabalho gerou uma publicação no *Workshop* de pós-graduação do CEETEPS (Pitton, 2010).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Principais resinas – símbolos para reciclagem**. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/resinastermo-plasticas/principais.asp>>. Acesso em: 13 ago. 2011

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/>>. Acesso em: 13 ago. 2011.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE PROMOÇÃO DE EXPORTAÇÕES E INVESTIMENTOS. – APEX Brasil. Disponível em: <<http://www.apexbrasil.com.br/>>. Acesso em: 13 ago. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/>>. Acesso em: 13 ago. 2011.

AL-SALEM, S.M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: from re-use to energy and chemicals, **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 36, n.1, p. 103–129, feb. 2010.

ALBUQUERQUE, Jorge A. C. **O plástico na prática**. Porto Alegre: Sagra, 1990. 275 p.

ALLEMBY, B.R. **Industrial ecology**: policy framework and implementation. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

ALLINGER, Norman L. et al. **Química orgânica**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.

ALVES, Flávia Chaves; BOMTEMPO, José Vitor; COUTINHO, Paulo Luiz de Andrade. Competências para inovar na indústria petroquímica brasileira. **Revista Brasileira de Inovação** v. 4 n. 2. p. 301-327, jul./dez 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS. Disponível em: <<http://www.abief.com.br/>>. Acesso em: 19 mar. 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico 2009**. Disponível em <[http://www.abiplast.org.br/upload/File/PERFIL2009/PERFIL2009\(1\).pdf](http://www.abiplast.org.br/upload/File/PERFIL2009/PERFIL2009(1).pdf)>. Acesso em: 25.jul.2010.

_____. Sistema Alice e Estatísticas SDP – MDIC. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em: 13 ago. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/>>. Acesso em: 13ago. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13230**: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 2008. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DISTRIBUIDORES DE RESINAS PLÁSTICAS. Disponível em: <<http://www.adirplast.com.br/>>. Acesso em: 14 ago. 2011.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (2010), **O que é ACV?**. Disponível em: <http://acv.ibict.br/sobre/oquee.htm/document_view>. Acesso em: 25 mar. 2011.

AYRES, R. U. Industrial metabolism: theory and policy, In: ALLENBY, Braden R.; RICHARDS, Deanna J.; FROSCH, Robert A. (Org.) **The Greening Industrial Ecosystems**. Washington: National Academy Press, 1994. p. 23-37.

BAIN, Ariana; SHENOY, Megha; ASHTON, Weslyne; CHERTOW, Marian. Industrial symbiosis and waste recovery in an Indian industrial area. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 1278–1287, 2010.

BAIRD, C. **Química ambiental**: a reciclagem de plásticos. Tradução de M. A . L. Recio; L. C. M. Carrera. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **BNDES cria programa de apoio à cadeia produtiva do plástico**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2010/inovacao/20100611_BNDESProplastico.html>. Acesso em: 14 ago. 2011.

BANSAL, Pratima; MCKNIGHT, Brent. Looking forward, pushing back and peering sideways: analyzing the sustainability of industrial symbiosis. **Journal of Supply Chain Management**, v. 45, n. 4, p. 26-37, 2009.

BORCHARDT, Miriam et al. **Considerações sobre ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva**. *Ambiente & Sociedade*, v. 11, n.2, jul/dez.2008, p. 341-353. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=31713419009>>. Acesso em: 14 ago. 2011.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Desenvolvimento da Produção. **Fórum de Competitividade da Cadeia Plástica**. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=388>>. Acesso em: 14 ago. 2011.

CALIL NETO, Antonio. **A química verde e o papel da catálise no contexto da inovação e do desenvolvimento tecnológico sustentável**. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

CANEVAROLO, Sebastião Jr. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Artliber, 2006. 280 p.

COELHO, T. M.; CASTRO, R.; GOBBO JR., J.A. PET containers in Brazil: opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 3, p. 291-299, jan. 2011.

CORDEBELLO, Fátima S. Perspectivas em reciclagem, caracterização e processamento: uma contribuição das Comissões Técnicas da ABPol. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 14, n. 2, 2004. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282004000200003&script=sci_arttext>. Acesso em: 06 ago. 2011.

COSTA, Márcio Macedo da. **Princípios de ecologia industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. 2002. 257 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2002.

DALFRÉ, G. M. **Cruzetas de polímeros reciclados**: caracterização dos materiais, análise numérica e ensaios de modelos reduzidos. 2007. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

DEUTSCHSUL Ecowood Industrial Ltda. Pallets, **Estrados e Perfis**. Disponível em: <<http://www.deutschsul.com.br/estrados.html>>. Acesso em: 26 mar. 2011.

EHRENFELD, J.; GERTLER N. Industrial ecology in practice: the evolution of Interdependence at Kalundborg. **Journal of Industrial Ecology**, v. 1, n. 1, p. 67-79, 1997.

EPA. **Toxics Release Inventory (TRI) Program**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/tri/index.htm>>. Acesso em: 19 mar. 2011.

EPA, TRI National Analyses Overview, 32 paginas, 2009. Disponível em <<http://www.epa.gov/tri/index.htm>>. Acesso em: 19 mar. 2011.

FABI, Andréa Rodrigues; ENSINAS, Adriano Viana; MACHADO, Iraci Pereira; BIZZO, W. A. . Uso da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) em Embalagens de Plástico e de Vidro na Indústria de Bebidas no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 1, p. 47-54, 2004.

FONSECA, Tereza Maria Lisboa da. **Gestão de resíduos sólidos perigosos**: diagnóstico das indústrias do pólo de Camaçari. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

FORLIN, Flávio J.; FARIA, José de Assis F. Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2002.

FREIRES, Francisco Gaudêncio Mendonça. **A influência dos componentes físicos e da cooperação entre os actores sobre o desempenho de sistemas logísticos inversos: o caso dos pneus-resíduo**. 2007. 253 f. Tese (Doutorado em Gestão e Engenharia Industrial) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2007.

FROELICH, D.; MARIS, E.; HAQUES, N.; CHEMINEAU, L.; RENARD, H.; ABRAHAM, F.; Lassartesses, R. State of the art of plastic sorting and recycling: Feedback to vehicle design. **Minerals Engineering**, v. 20, n.9, p. 902–912, aug. 2007.

GAMEIRO, Janaina. **Desenvolvimento de tecnologias mais limpas aplicadas à Microeletrônica**. 2002. 105 f. Dissertação (Mestrado em Microeletrônica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2002.

_____. **Melhoria da sustentabilidade pela aplicação do conceito de ecologia industrial: estudo de caso no setor eletroeletrônico**. 2007. 163 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. 2007.

FATEC MOGI MIRIM. **Processamento de polímeros**. Disponível em: <http://www.fatecmm.edu.br/sistema/file/doc/MC2Mecanica_de_precisao_Aula05_Processamento_de_Polimeros.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2011.

GALLO NETTO, Carmo. Método torna sustentável a reciclagem de plásticos. **Jornal da Unicamp. Campinas**, edição 365, 16-29 jul. 2007. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/julho2007/ju365pag04.html>. Acesso em: 07 ago. 2011.

GORNI, Antonio Augusto. **Glossário sobre plásticos**. Disponível em:

<<http://www.gorni.eng.br/glossario.html>>. Acesso em: 24 mar. 2011..

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial**: conceitos, ferramentas e aplicações. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

GOMEZ, J. G. C. Tratamento e valorização de resíduos de origem petroquímica. In: Secretaria de Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento Econômico e Turismo do Estado de São Paulo. Divisão de química. **Relatório técnico**.n. 63, 073 nov. 2002.

GUAMÁ, Fernando Francisco Miranda Corrêa de et al. Lixo plástico - de sua produção até a madeira plástica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro. **A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável**. Rio de Janeiro, ABEPRO, 2008.

GUSMÃO, Isabella Friedmann de. **A competitividade da indústria de transformação de plásticos : um estudo de empresas fabricantes de embalagens no Estado do Rio de Janeiro** Universidade Federal Fluminense. 2001. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2001.

HASHIMOTO, Shizuka; FUJITA, Tsuyoshi; GENG, Yong; NAGASAWA, Emiri. Realizing CO2 emission reduction through industrial symbiosis: a cement production case study for Kawasaki. **Resources, Conservation and Recycling**, v, 54, n.4, p. 704–710, ago. 2010.

HEMAIS, Carlos A. Polímeros e a indústria automobilística. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 13, n. 2, p. 107-114, 2003.

HOPEWELL, Jefferson; DVORAK, Robert; KOSIOR, Edward. Plastics recycling: challenges and opportunities. **Philosophical Transactions of Royal Society Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2115–2126, july 2009.

IBT Plásticos. **Processo de rotomoldagem**. Disponível em: <<http://www.ibtplasticos.ind.br/pt/processo-de-rotomoldagem.html> >. Acesso em: 26

mar. 2011.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PLASTICS DISTRIBUTION. **Iapd Thermoplastic Rectangle**. 2010. Disponível em:

<http://www.iapd.org/docs/bookstore/iapd_rectangle.pdf> . Acesso em: 26 jul. 2010.

JABBOUR, Charbel José Chiappetta; SANTOS, Fernando César Almada; BARBIERI, José Carlos. Gestão ambiental empresarial: um levantamento da produção científica brasileira divulgada em periódicos da área de administração entre 1996 e 2005. **Revista Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 12 n.3 Jul/Set. 2008.

KIE Equipamentos para reciclagem **Aglutinadores**. Disponível em: <<http://www.kie.com.br/aglutinadores.php>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

KIE Equipamentos para reciclagem. **Esteiras**. <<http://www.kie.com.br/esteiras.php>>. Acesso em: 24mar. 2011.

KIE Equipamentos para reciclagem. **Extrusoras**. Disponível em: <<http://www.kie.com.br/extrusoras.php>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

KIE Equipamentos para reciclagem. **Lavadoras e secadoras**. Disponível em: <http://www.kie.com.br/lavadoras_secadoras.php>. Acesso em: 24 mar. 2011.

KIE Equipamentos para reciclagem. **Moinhos linha MAK**. Disponível em: <http://www.kie.com.br/moinho_mak.php>. Acesso em: 24 mar. 2011.

KIE Equipamentos para reciclagem. **Pré-lavadoras**. Disponível em: <<http://www.kie.com.br/prelavadoras.php>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

KIE Máquinas e Plásticos Ltda. **Aglutinador**. Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/hp/kie/?pg=produtos>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

KIE Máquinas e plásticos. **Moinhos**. Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/hp/kie/?pg=produtos>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

KUCZENSKI, Brandon; GEYER, Roland. Material flow analysis of polyethylene terephthalate in the US, 1996–2007, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1161–1169, oct. 2010.

LABEGALINI, Leticia. **Gestão da sustentabilidade na cadeia de suprimentos: um estudo das estratégias de compra verde em supermercados**. 2010. 242 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo, FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2010.

LIMA, Ângela Maria Ferreira. **Estudo da cadeia produtiva do polietileno tereftalato (pet) na região metropolitana de Salvador como subsídio para análise do ciclo de vida**. 2001. 94 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) - Escola Politécnica, Universidade Federal da BAHIA, 2001.

LIMAD, Waltson Gomes Neto de. **Utilização de conceitos e ferramentas da logística para a melhoria da sustentabilidade: um estudo de caso**. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. São Paulo, 2010.

_____; MACORIM, Carolina; SILVA, Maria Lúcia Pereira da. A compreensão do conceito de sustentabilidade pelo setor produtivo: um estudo de caso. **Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, n. 26, p. 28-31, mai. 2009.

LOVELOCK, JAMES. **A vingança de Gaia**. Tradução Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006. 160 p.

LYONS, Donald; RICE, Murray; WACHAL, Robert. Circuits of scrap: closed loop industrial ecosystems and the geography of US international recyclable material flows 1995–2005. **The Geographical Journal**, v. 175, n. 4, p. 286–300. dec. 2009.

MADEIRA, Valéria. Ecologia industrial: existem empresas que não tem possibilidade de simbiose?. In: International Workshop Cleaner Production – IV Semana Paulista de P+L, 1, 2007. São Paulo. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/first/textos%20e>

%20arquivos/CongressoUNIP/Oralpresentations/OP6A/OP6A1/Valeria%20Madeira%20-%20Presentation.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2011.

MANO, Eloisa Biasotto. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgard Blucher, 1994. 111 p.

_____; DIAS, Marcos Lopes Dias; OLIVEIRA, Clara Marize Firemand. **Química experimental de polímeros**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. 328 p.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O. **Desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. Tradução de A. Carvalho. São Paulo: Edusp, 2008.

MARINHO, Maerbal; KIPERSTOK, Asher. Ecologia industrial e prevenção da poluição: uma contribuição ao debate regional. **BAHIA ANÁLISE & DADOS**, Salvador, v.10, n.4, p.271-279, mar.2001. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art10.pdf >. Acesso em: 07 ago. 2011.

MECVALE GONDIM. **Secador Mec Mix 3000**. Disponível em: <<http://www.mecvale.com.br/secador.html>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

MORAES, Ana Beatriz Gomes de Mello; MARTINS, José Vitor Bomtempo. How demand understanding can support innovation in manufacturing enterprises? **Revista Gestão Industrial**, v. 2, n. 2, p. 34-53, 2006.

MURPHY, Cynthia F.; DILLON, Patricia S.; PITTS, Gregory E. Economic and logistical modeling for regional processing and recovery of engineering thermoplastics. In: **Electronics and the environment**, Proceedings of the IEEE International Symposium, Denver [USA] 2001, 07-09 May 2001, p. 229 – 235.

NEGRÃO, Luiz Celso Parisi; URBAN, Maria Lucia De Paula. Álcool como commodity internacional. **Economia & Energia**, ano 8, n. 47, dez. 2004-jan. 2005.

NEHME, Marcelo Carlotto. **Interações entre elos de cadeias de valor** : uma oportunidade de avaliação da sustentabilidade empresarial. 2009. 265 f. Tese (Doutorado) - Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

OLIVEIRA, Nirlei Maria; ESPÍNDOLA, Carlos Roberto. **Trabalhos acadêmicos: recomendações acadêmicos**. São Paulo: CEETEPS, 2003. 109 p.

PADILHA, Gabriela M. A.; BOMTEMPO, José V. A inserção dos transformadores de plásticos na cadeia produtiva de produtos plásticos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 86-91, jul/set. 1999.

_____; _____. O crescimento na indústria de plásticos. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 2, p. 148-156, 2007.

NR PASSANT, A Wagner, TP Murrells, Y Li, S Okamura, G Thistlethwaite, HL Walker, C Walker, R Whiting, S Sneddon, RA Stewart, NCJ Brophy, J MacCarthy, I Tsagatakis, T Bush, **UK Informative Inventory, Report (1980 to 2009), 2011**. Disponível em <http://uk-air.defra.gov.uk/reports/cat07/1103150849_UK_2011_CLRTAP_IIR.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2011.

PETROBRÁS 2009. Relatório de sustentabilidade 2009. **Efluentes e resíduos**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/rs2009/pt/relatorio-de-sustentabilidade/meio-ambiente/emissoes-efluentes-e-residuos/efluentes-e-residuos/>>. Acesso em: 07 ago. 2011.

PLÁSTICO MODERNO. Prós e contras da reciclagem de plásticos. 2010. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/revista/pm323/plastivida2.htm>>. Acesso em: 05 mar. 2011.

PLASTIVIDA. **Os plásticos: processos de transformação**. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/2009/Plasticos_Processos.aspx>. Acesso em: 24 mar. 2011

Pólo Industrial de Camaçari. **Cadeias produtivas do pólo industrial Grupo Petroquímica**. Disponível em: <[www.coficpolo.com.br/Polo30anos/workshop%20GT-III%20Quimica,%20Petroquimica%20e%20Fertilizante%20\(02\).ppt](http://www.coficpolo.com.br/Polo30anos/workshop%20GT-III%20Quimica,%20Petroquimica%20e%20Fertilizante%20(02).ppt)>. Acesso em: 14 ago. 2011

Pólo Industrial de Camaçari. **Workshop Grupo Petroquímica**. Disponível em: <[www.coficpolo.com.br/Polo30anos/workshop%20GT-III%20Quimica,%20Petroquimica%20e%20Fertilizante%20\(02\).ppt](http://www.coficpolo.com.br/Polo30anos/workshop%20GT-III%20Quimica,%20Petroquimica%20e%20Fertilizante%20(02).ppt)>. Acesso em: 14 ago. 2011

QUEIROZ, Emanuel Fernandes de. **Melhoria de processos pelo levantamento de indicadores ambientais via Software**. 2007. 483 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007.

RECIPLAST. **Madeira plástica**. Disponível em: <<http://www.reciplast.org/home/o-produto.asp>>. Acesso em: 26 mar. 2011

ROLIM, Silvia Piedrahita. **Plastivida: prós e contras de reciclar plásticos**. **Revista Plástico Moderno**. n.323, ago. 2001. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/revista/pm323/plastivida.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2011

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geografia do Brasil**. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2003. 549 p.

SÁNCHEZ ESTRELLA, Guilherme. **Sistema internacional de unidades: pesos e medidas, conversões**. 3.ed. São Bernardo do Campo: Andina, 1980. p. 34.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Critério de classificação de empresas – quanto ao número de empregados**. Disponível em: <<http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154>>. Acesso em: 20 ago. 2011.

SERVIÇO NACIONAL DA INDÚSTRIA-SP. Núcleo Ambiental. **Gestão de Resíduos**. São Paulo: SENAI, 2004.

_____. Núcleo de Tecnologia em Plásticos. **Introdução à tecnologia dos materiais plásticos**. São Paulo: SENAI, 2006. Apostila.

SHREVE, R. Norris; BRINK JR, Joseph A . **Indústria de Processos Químicos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1980. p. 620- 621.

SRE Indústria e Comércio de Máquinas e Equipamentos Ltda. **Secadores**. Disponível em: <<http://www.sre.ind.br/>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

SRI CONSULTING. Process Economics Program Report 228. Refinery Residue Updating. June 2000. Disponível em: <http://www.sriconsulting.com/PEP/Public/Reports/Phase_97/RP228/>. Acesso em: 07 ago. 2011.

STERR, Thomas; OTT, Thomas. The industrial region as a promising unit for eco-industrial development—reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p. 947–965, 2004.

TAKIMOTO, Herick Garcia. **Estudo da Influência da incorporação de resíduos industriais em matrizes poliméricas de PP e PS**, 2010. 70 p. Monografia (Graduação) - Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2010.

TANIMOTO, Armando Hirohumi. **Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no Pólo Petroquímico de Camaçari**. 2004. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal da Bahia. 2004.

TOPORCOV, Vinicius Pedro. **Eco-eficiência e eco-efetividade como direcionadores de geração de valor em projetos uma aplicação em uma empresa no Brasil**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo, FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. São Paulo, 2009.

TSAI, Wen-Tien. Analysis of the sustainability of reusing industrial wastes as energy source in the industrial sector of Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n.14, p. 1440-1445. sept. 2010.

United Nations Environment Programme. Company Environmental Reporting, a measure of the progress of business and industry towards sustainable development. **Technical Report**, n. 24, Paris, Unep/Sustainability, 1992.

V A N B E R K E L, Rene ; FUJITA, Tsuyoshi, HASHIMOTO, Shizuka, FUJII, Minoru. Quantitative Assessment of Urban and Industrial Symbiosis in Kawasaki, Japan. **Environmental Science Technology**, v.43, n. 5, p. 1271–1281, 2009.

VILAPLANA, Francisco; KARLSSON, Sigbritt. Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials. **Macromolecular Materials and Engineering**. v. 293, n. 4, p. 274–297, mar. 2008.

ANEXO 1

Dados revelados pelos stakeholders e utilizados no item 4.3

Stakeholder: Governo brasileiro

O governo federal, através do Ministério do Desenvolvimento, criou em agosto de 2000, o Fórum da Competitividade da Cadeia Plástica, para atuar na Cadeia Produtiva do Plástico⁴.

Em 11/06/2010, o BNDES aprovou a criação do programa de apoio ao desenvolvimento da cadeia produtiva do plástico, o BNDES Proplástico, visando a modernização das empresas do setor, com o aumento da produção de plásticos e seus produtos, de equipamentos e de moldes para o segmento, além da melhoria dos padrões de qualidade e de produtividade e de sustentabilidade das indústrias instaladas no país.

O Proplástico Socioambiental, que é a parte do programa voltada para o meio ambiente, contará com investimentos envolvendo a racionalização do uso de recursos naturais, mecanismos de desenvolvimento limpo, projetos de reciclagem de material e sistemas de gestão e recuperação de passivos ambientais. Além disso, estão contemplados projetos e programas de investimentos sociais realizados por empresas ou em parceria com instituições públicas ou entidades de fins não econômicos.⁵

A Tabela A.20 reproduz as estatísticas da balança comercial dos transformados plásticos no período de 1998 a 2007, publicados pelo Fórum de Competitividade da Cadeia Plástica.

4 <http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=333>

5 http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2010/inovacao/20100611_BNDESProplastico.html

Tabela A20 - Estatísticas Balança Comercial
Transformados Plásticos - US\$ milhões

Transformados Plásticos - US\$ milhões										
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Importação	1089	886	880	818	753	789	1022	1186	1405	1830
Exportação	465	429	408	451	402	522	695	846	1058	1185
Saldo	-624	-457	-472	-367	-351	-267	-327	-340	-347	-645

Fonte: ABIPLAST, Sistema Alice e Estatísticas SDP - MDIC

Resinas Termoplásticas(1*) - US\$ milhões										
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Importação	489	408	608	583	525	491	644	877	954	1159
Exportação	342	341	513	392	398	604	786	1109	1454	1676
Saldo	-147	-67	-94,8	-191	-127	113	142	232	500	517

(*1) inclui Polietilenos, PP, PVC, PET(poliéster), PS/EPS e EVA Fonte: ABIPLAST, Sistema Alice e Estatísticas SDP - MDIC

Nafta (4*) - US\$ milhões										
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Importação	475	414	727	535	458	584	838	1377	1726	1887
Exportação	0	0	0	0,5	7,2	0	5	21,7	12,7	12,1
Saldo	-475	-414	-727	-535	-451	-584	-833	-1355	-1713	-1874

(4*) inclui outras cadeias da indústria petroquímica, mas a de resinas é que tem maior participação Fonte: ABIPLAST, Sistema Alice e Estatísticas SDP - MDIC

Total Geral da Cadeia (*6)										
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Importação	2799	2416	3127	2789	2600	2804	3711	4886	5849	7327
Exportação	1107	1086	1400	1116	1092	1577	2131	2779	3406	3990
Saldo	-1692	-1330	-1727	-1673	-1507	-1227	-1580	-2107	-2443	-3336

(*6) exclui os intermediários dos outros produtos que não são objeto do Fórum
Fonte: ABIPLAST, Sistema Alice e Estatísticas SDP - MDIC

Fonte: Ministério do Desenvolvimento

Stakeholder: empresariado

A Coza Utilidades Plásticas “produz cerca de 14 milhões de peças em polipropileno por ano e a cada seis meses lança novos produtos, sintonizada com as tendências mundiais. Tem um portfólio com seis linhas - Mesa Citra, Sobre a Pia, Banho e Organizadores, Office, Luminárias e Decoração - e mais de 100 itens em plástico polipropileno e outros materiais, com cores e texturas exclusivas e acabamento texturizado, ceramizado e polido.”

Obs. A empresa Coza⁶ é citada nos documentos do governo (Fórum de Competitividade), ABPET, Plastivida e Fiesp

Informações sobre a indústria plástica no Brasil e no mundo.

A ABIPLAST- Associação Brasileira da Indústria do Plástico é um dos mais importantes *stakeholders* do setor empresarial. Através do Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico, na edição de 2009, ela publicou informações importantes sobre a indústria plástica no Brasil e no mundo.

As Figuras e as Tabelas exibidas a seguir foram adaptadas da publicação da Abiplast supra citada.

⁶ <http://www.designbrasil.org.br/noticias/www.coza.com.br>

A Figura A41 exibe o gráfico da produção mundial de plásticos, informando as quantidades produzidas nos anos 1950, 1976, 1989, 2002, 2007 e 2008.

A Indústria Plástica no Mundo:
Produção Mundial de Plástico em milhões de toneladas

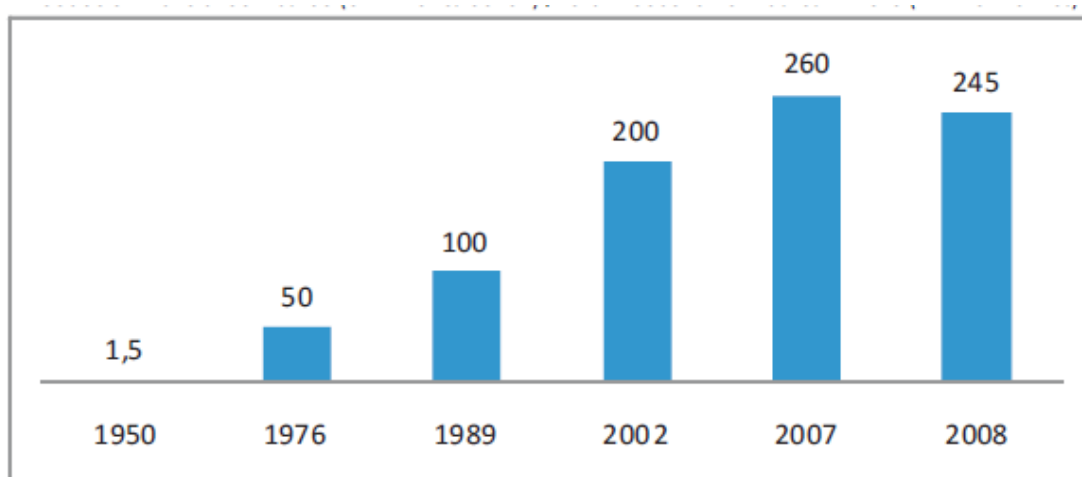


Figura A41 - Produção Mundial de plásticos (milhões de toneladas)
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico -Edição de 2009

Na Figura A42 é exibido o gráfico da produção mundial de plásticos, por blocos econômicos, em milhões de toneladas.

Produção Mundial de Plástico – Por Blocos Econômicos em milhões de toneladas

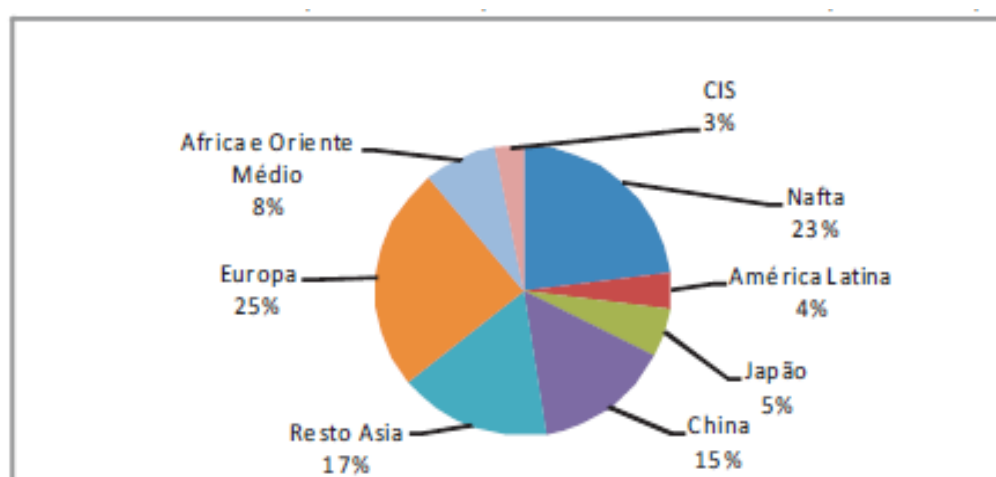


Figura A42 - Produção Mundial de Plásticos por Blocos Econômicos
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico -Edição de 2009

O consumo per capita com base no ano de 2005 e a previsão de consumo para o ano de 2015, com base nas estatísticas atuais de consumo, estão exibidos no gráfico da Figura A43.

Consumo Per Capta Atual (base 2005) e Previsto para 2015 (em kg/habitante)

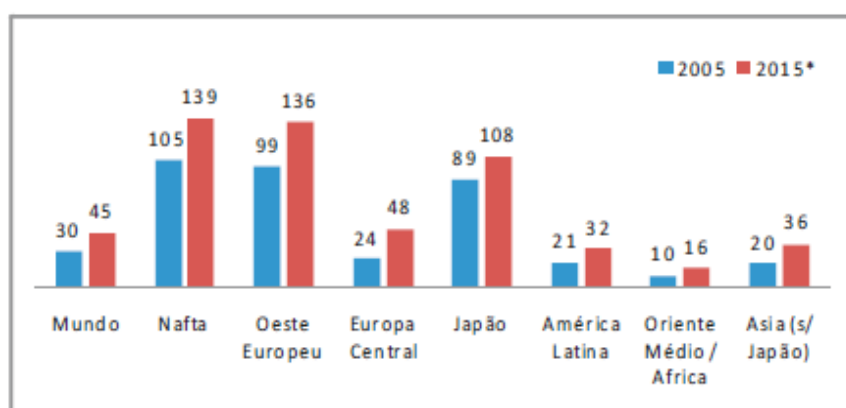


Figura A43 - Consumo per capita atual (base 2005) e previsto para 2015 (kg/hab)
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico -Edição de 2009

A Figura A44 exibe um gráfico comparativo da produção do setor de transformados plásticos entre os anos de 2000 e 2009.

Produção do Setor de Transformação do Plástico.

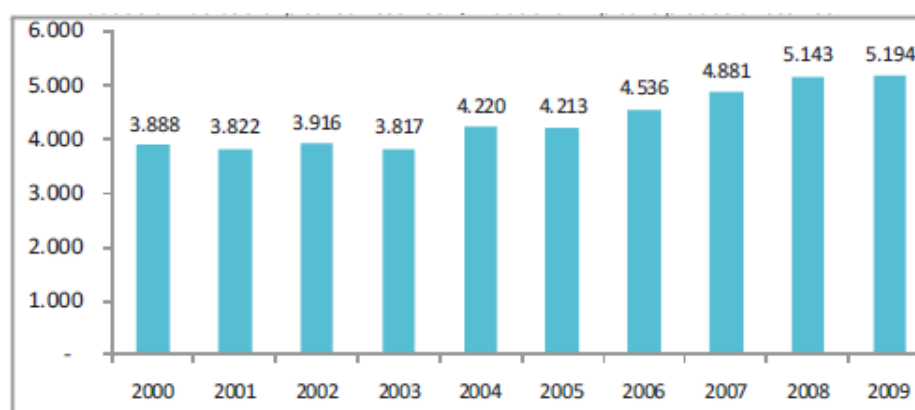
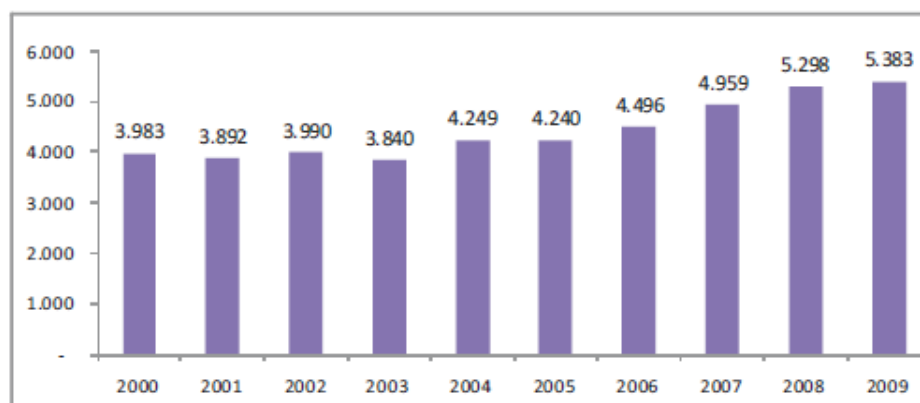


Figura A44 - Produção de transformados plásticos 2000 - 2009 (em 1000 toneladas)
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico -Edição de 2009

A Figura A45 exibe um gráfico comparativo do consumo aparente do setor de transformados plásticos entre os anos de 2000 a 2009.

Consumo do Setor de Transformação do Plástico.



(em 1000 toneladas)

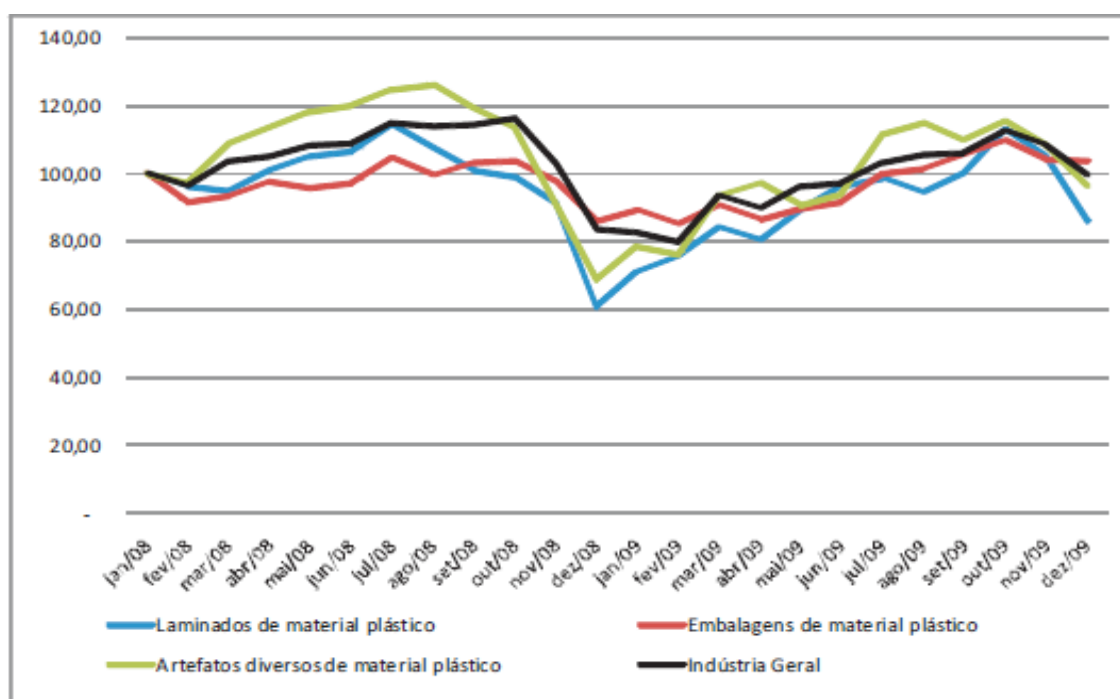
Figura A45 - Consumo aparente de transformados plásticos 2000 -2009

Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico -Edição de 2009

O consumo aparente é caracterizado por produção nacional + importações – exportações (SIRESP – Sindicato da indústria de resinas plásticas)

O gráfico da Figura A46 apresenta um comparativo da evolução da produção física de transformados plásticos em diversos setores da indústria plástica de transformação no período de janeiro de 2008 a dezembro de 2009.

Evolução da Produção Física de Transformados Plásticos



(jan09 = base 100)

Figura A46 - Evolução da produção física de transformados plásticos 2008 - 2009
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico -Edição de 2009

A Figura A47 exibe o gráfico da segmentação do mercado de transformados plásticos por área de aplicação em porcentagem, cujos tipos de artefatos produzidos são especificados na Tabela A21.

Segmentação do Mercado de Transformados Plásticos por Aplicação

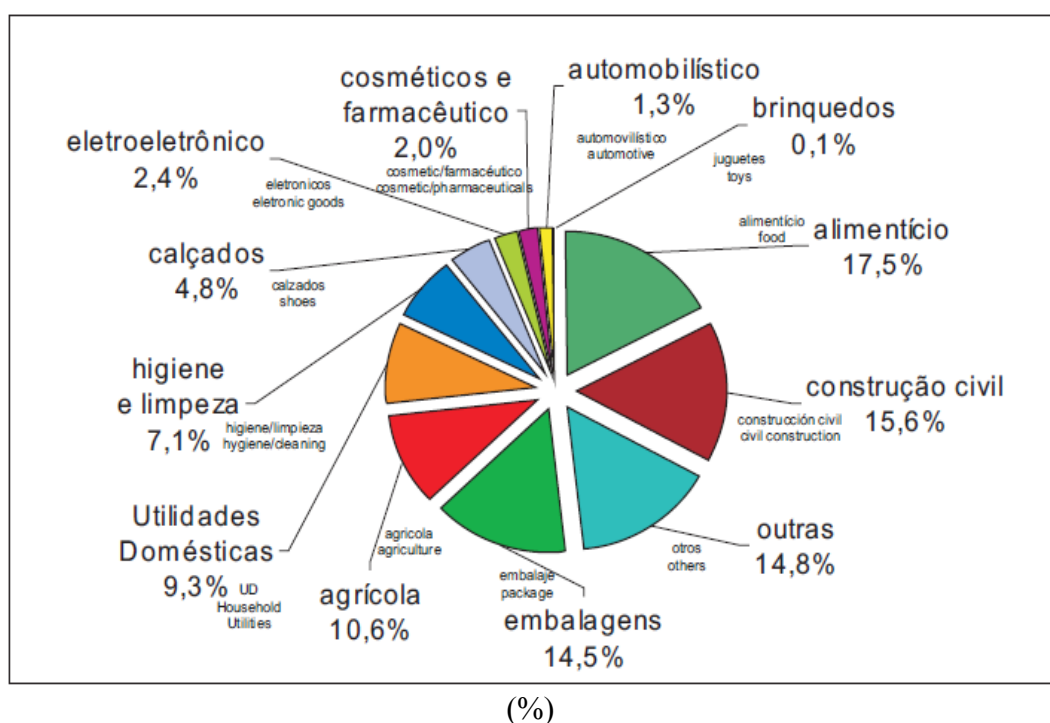


Figura A47 - Segmentação do mercado de transformados plásticos por aplicação
 Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A tabela A21 apresenta os tipos de produtos que compõem cada segmento de mercado apresentado na Figura A47.

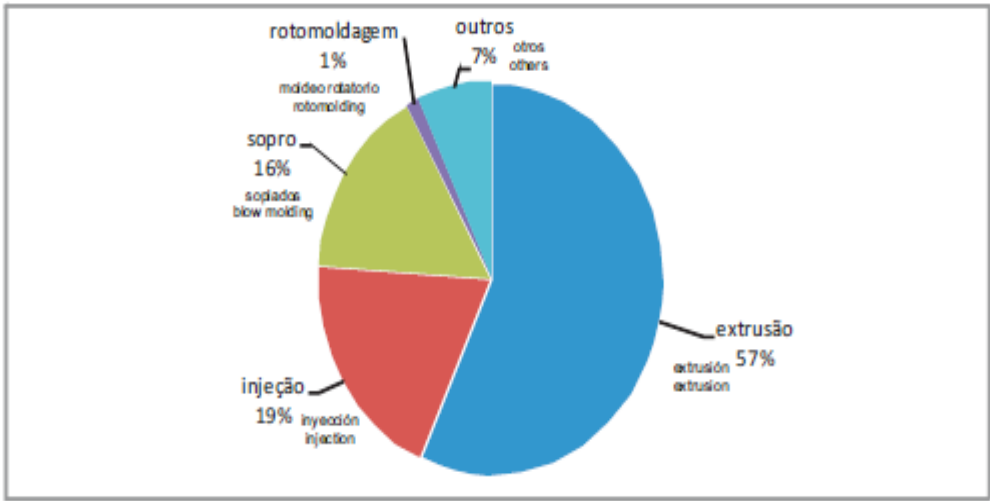
Tabela A21 - Tipos de produtos que compõem cada segmento de mercado (%)

TIPOS DE PRODUTOS QUE COMPÕEM CADA SEGMENTO DE MERCADO (%)
Alimentício (17,5%) (PP: Bobinas, potes, tampas, big bags, frascos, garrafas, garrafões, galões; PEBD E PEBDL: liners, rótulos, sacaria, shrink, tampas, frascos; PEAD: baldes, caixas, tampas, potes, bombonas; EVA: liners, adesivos)
Construção Civil (15,6%) (PEBD e PEBDL: lonas, sacaria, tubos; PEAD: chapas, perfis, tubos e caixas d'água; PVC: tubos, perfis, conexões, mangueiras, pisos)
Embalagens (14,5%) (PEAD: frascos, tanques, baldes e bombonas para química; PET: vasilhames)
Agrícola (10,6%) (PEBD e PEBDL: lonas, sacaria, tampas, tubos, mangueiras; PEAD: frascos, bombonas, tampas, potes, tubos, caixas; PP: sacarias, tecidos técnicos)
Utilidades domésticas (9,3%) (PP: caixas, UD; PS: descartáveis)
Higiene/limpeza (7,1%) (PEBD: PEBDL: PEAD: bobinas técnicas, capas, fardos, shrink, tampas, frascos; PP: frascos, fibras para fraldas e absorventes)
Calçados (4,8%) (calçados e fibras sintéticas)
Eletroeletrônicos (2,4%) (componentes para eletroeletrônicos)
Cosmético/farmacêutico (2%) (PEAD: tampas, potes, frascos; PP: tampas, potes, frascos)
Automobilístico: (1,3%) (PEAD: tanques, peças técnicas; PP: revestimento interno de veículos, para choques, para-lamas, painéis; PET: carpets, revetimento interno)
Brinquedos (0,1%)

Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A48 exibe o gráfico da segmentação do mercado de plásticos por processos de produção em porcentagem.

Segmentação do Mercado de Plásticos por Processo de Produção



(%)

Figura A48 - Segmentação do mercado de plásticos por processo de transformação
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A49 exibe o gráfico da segmentação do mercado de transformados plásticos separado por processos de produção e por tipo de resina.

Segmentação do Mercado de Transformados Por Processo de Produção/TIPO DE RESINA

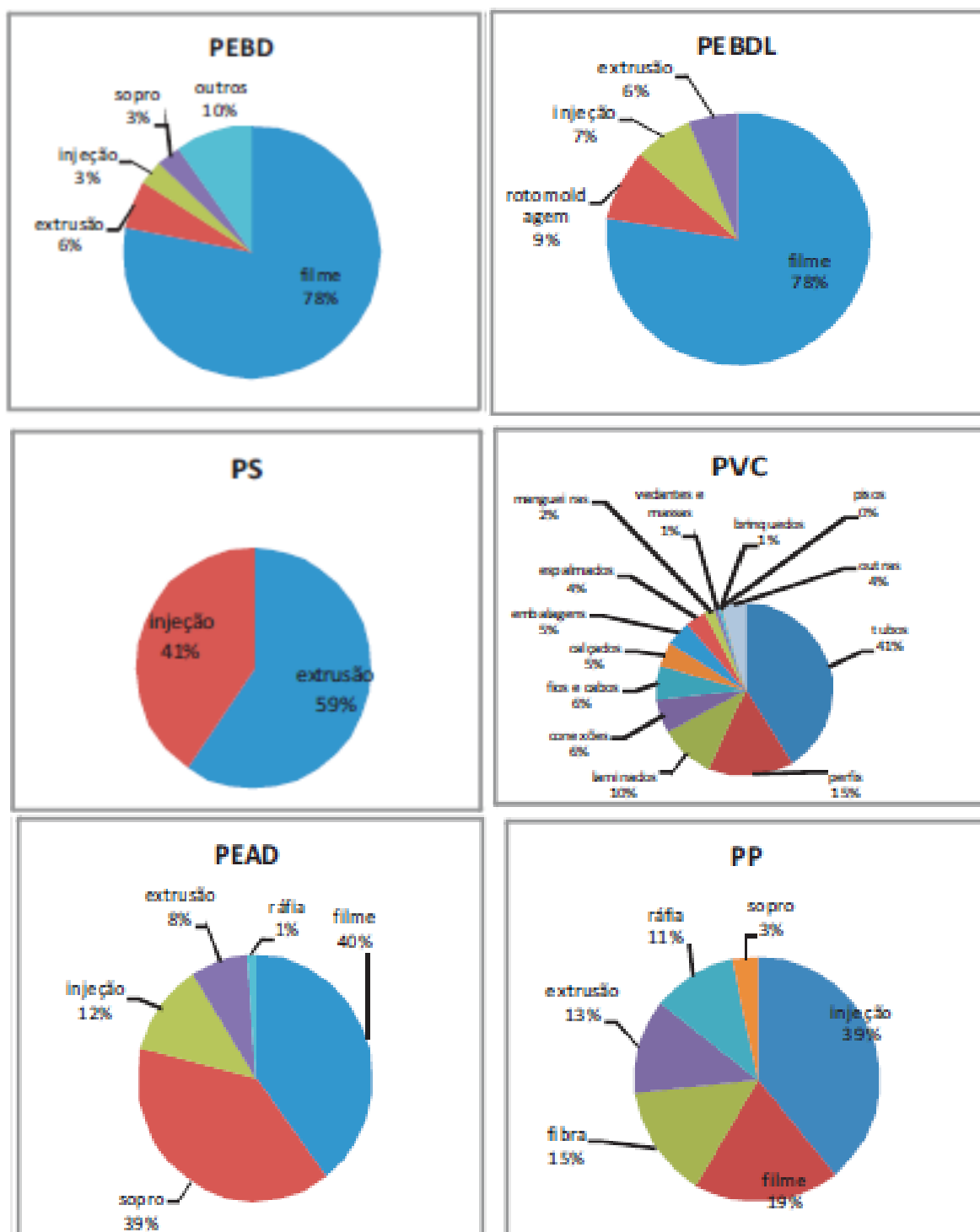


Figura A49 - Mercado de transf. plásticos - Processo de Produção/Tipo de Resina

Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A50 exibe gráficos das importações e das exportações brasileiras de transformados plásticos, em peso e em valor, entre os anos de 2000 e 2009.

Importação e Exportação de Transformados Plásticos 2000 – 2009

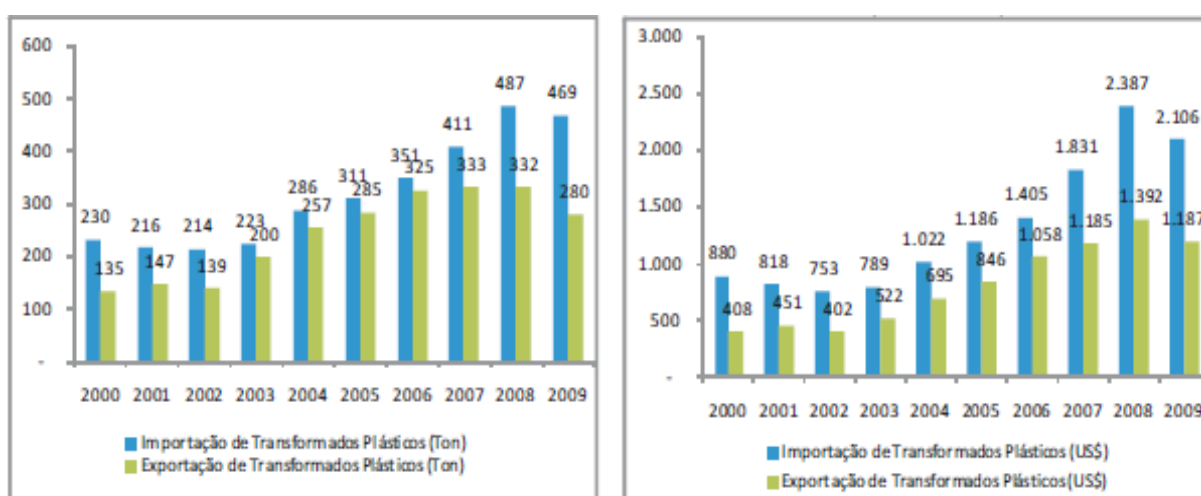


Figura A50 - Importação e exportação de transformados plásticos 2000 - 2009
 Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A51 exibe os gráficos das importações e das exportações de transformados plásticos, em porcentagem de peso, por bloco econômico, no ano de 2009.

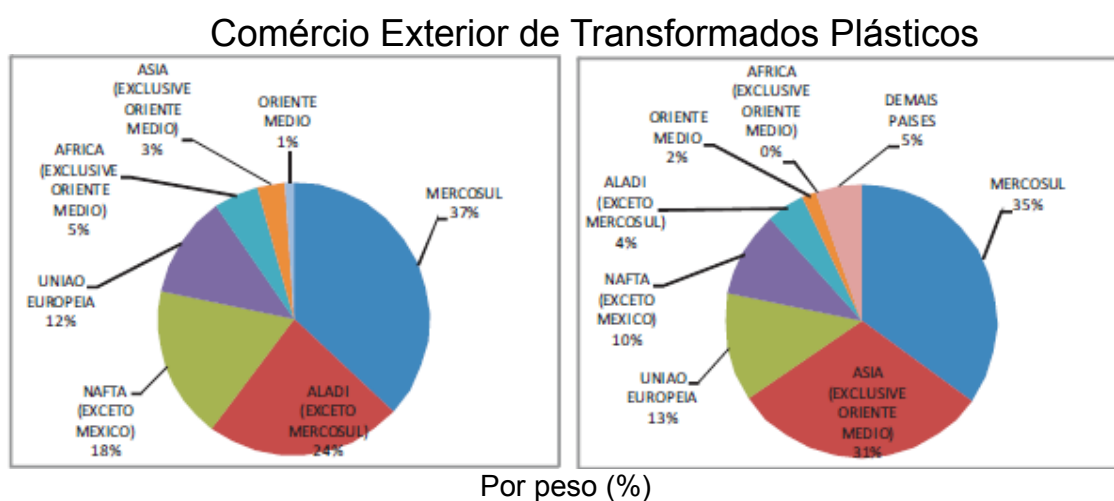
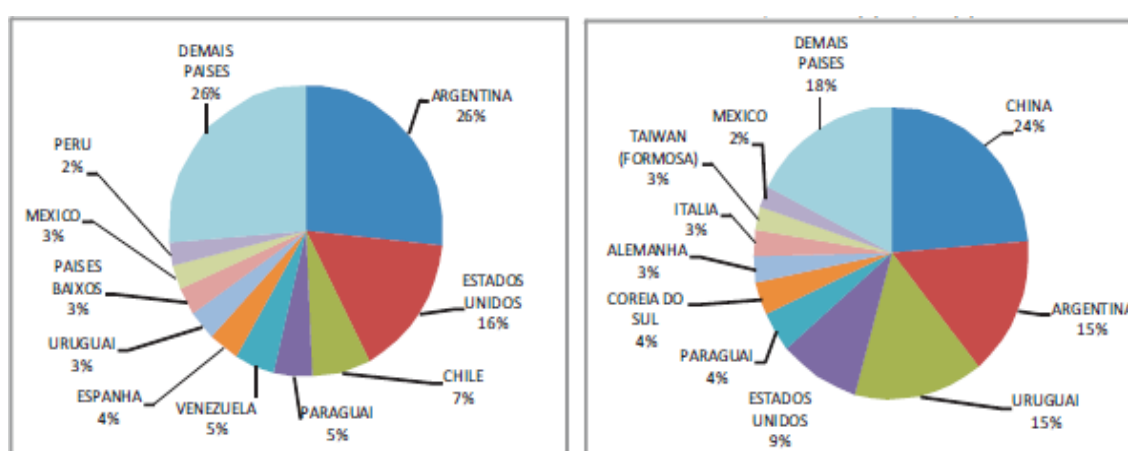


Figura A51 - Importação e exportação de transf. plásticos - bloco econômico - 2009
 Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A52 exibe os gráficos das importações e das exportações de transformados plásticos, em porcentagem de peso, para os principais países no ano de 2009.



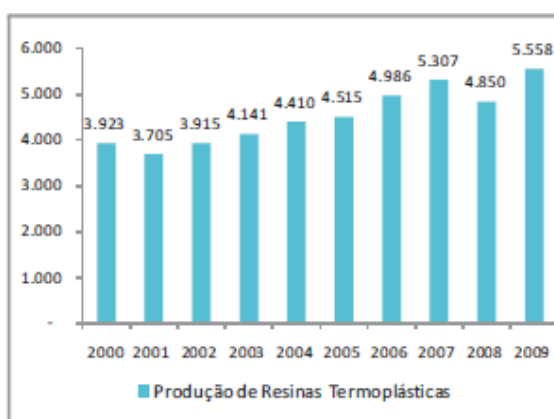
Por peso (%)

Figura A52 - Importação e exportação de transf. plásticos – Principais países – 2009
 Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

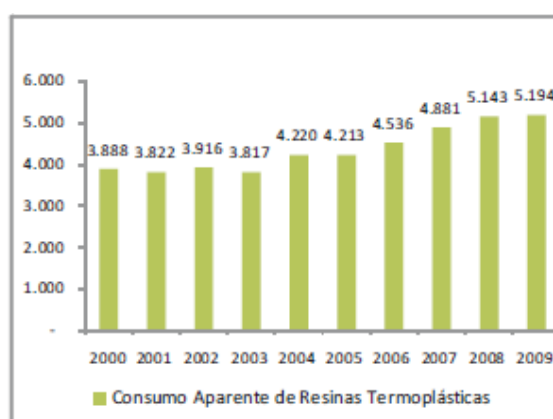
A Figura A53 exibe os gráficos da produção e do consumo de resinas termoplásticas das empresas brasileiras, em mil toneladas, entre os anos de 2000 e 2009.

Produção e Consumo de Resinas Termoplásticas

Produção de Resinas



Consumo de Resinas



(em mil toneladas)

Figura A53 - Produção e consumo de resinas termoplásticas 2000 - 2009
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A54 exibe o gráfico do consumo aparente das resinas termoplásticas em mil toneladas, por tipos de resina, em porcentagem, no ano de 2009.

Consumo Aparente de Resinas Termoplásticas 2009 (em mil toneladas)

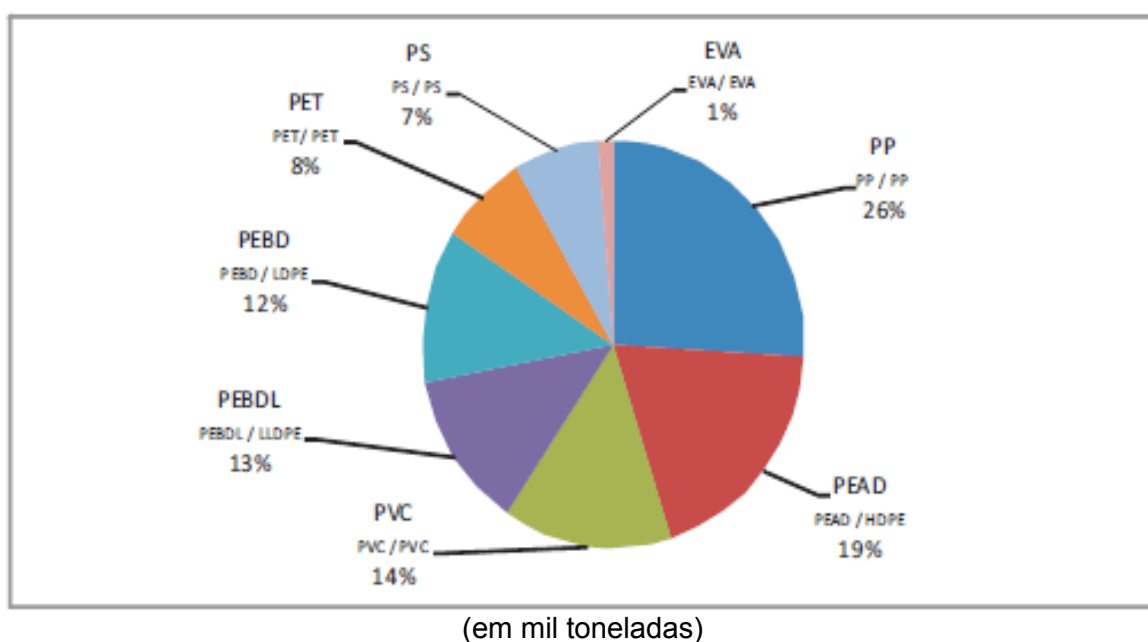
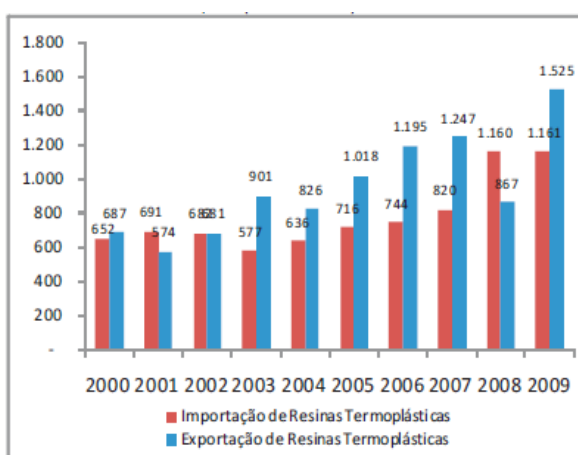


Figura A54 - Consumo aparente de resinas termoplásticas – 2009
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A55 exibe os gráficos das importações e das exportações de resinas termoplásticas em peso e em valor entre os anos de 2000 e 2009.

Comércio Exterior de Resinas Termoplásticas

Em peso (mil toneladas)



Em valor (US\$ Milhões)

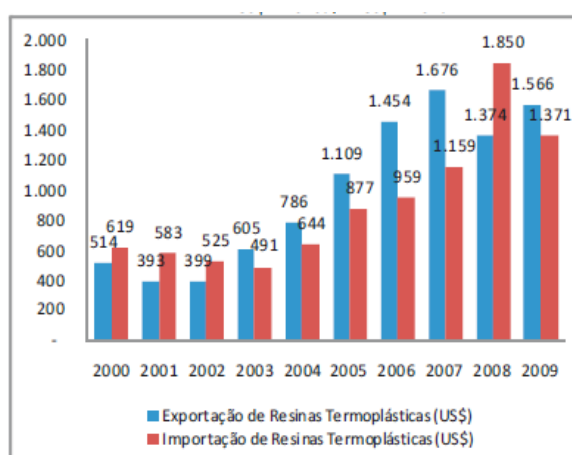


Figura A55 - Importação e exportação de resinas termoplásticas 2000 - 2009
 Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A56 exibe o gráfico da importação de resinas termoplásticas no ano de 2009, em peso e em porcentagem de resina.

Comércio Exterior de Resinas Termoplásticas
 Importação de Resinas Termoplásticas 2009 (em mil toneladas e % total)
 por resina

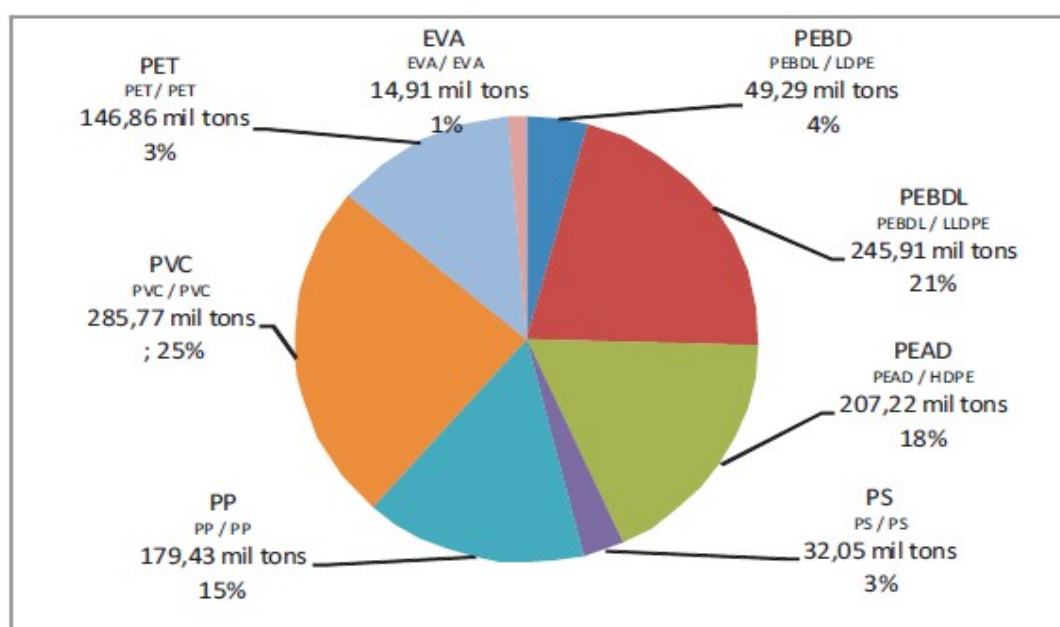


Figura A56 - Importação de resinas em 2009 em 1000 toneladas e % por resina
 Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009

A Figura A57 exibe o gráfico da exportação de resinas termoplásticas no ano de 2009, em peso e em porcentagem de resina.

Exportação de Resinas Termoplásticas 2009 (em mil toneladas e % total) por resina

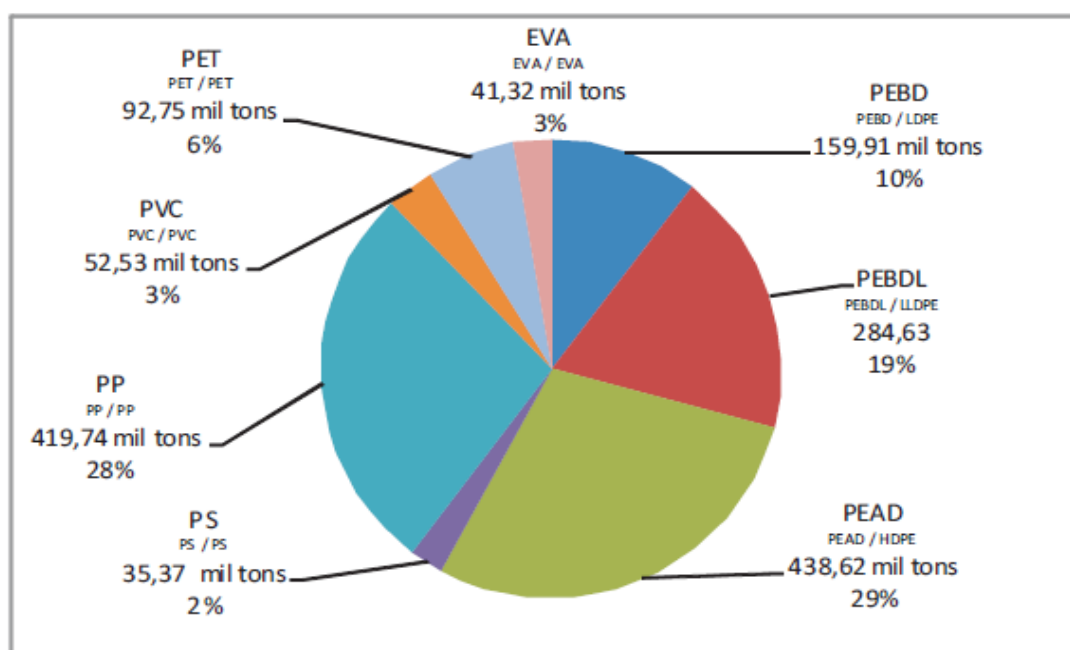


Figura A57 - Exportação de resinas em 2009 em mil toneladas e % por resina
Fonte: Perfil da Indústria de Transformação de Material Plástico - Edição de 2009