

# A reciclagem de plástico a partir de conceitos de Produção Mais Limpa

Flávia Pinheiro Faria (IMA/UFRJ – RJ/Brasil) - flaviapf@ima.ufrj.br

• Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária

Ilha do Fundão, Centro de Tecnologia, Bloco J, 21945-970, Rio de Janeiro-RJ, Caixa Postal 68525

Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco (IMA/UFRJ – RJ/Brasil) - elen@ima.ufrj.br

**Resumo:** Este trabalho sugere mudanças operacionais na reciclagem mecânica de plástico, principalmente o polietileno, a fim de torná-lo adequado, sob o ponto de vista ambiental. Oportunidades de melhoria nesse processo são verificadas, a partir dos conceitos da ferramenta Produção Mais Limpa (P+L), que propõe a redução do consumo de energia e água, bem como a minimização da geração de resíduos. A empresa recicladora de plástico, muitas vezes, recebe matéria-prima suja e contaminada, que pode ser usada na fabricação de novos artefatos, após passar por uma série de etapas de processamento que garantam sua adequação a padrões mínimos de qualidade. Neste trabalho, foi feito um estudo de caso em sete recicladoras de plástico, principalmente de polietileno, nas quais foi aplicado um questionário, visando obter informações referentes à produção, ao consumo de utilidades, à formação de resíduos e emissões. As etapas de reciclagem analisadas foram separação, moagem, lavagem, secagem e processamento. O estudo apontou que as principais deficiências do processo são o excessivo consumo de energia, a não reutilização da água de processo e a geração de resíduos. Para solucionar tais deficiências, essas empresas podem adotar os conceitos de P+L, na etapa de moagem, com a manutenção periódica dos acessórios do moinho e a captação dos particulados; na etapa de lavagem, com o tratamento da água residual; na extrusão do material plástico, com a reutilização da água de resfriamento e a otimização das condições de processamento. É preciso investir na cadeia de reciclagem de plástico, para otimizar o consumo dos insumos e reduzir a emissão de resíduos, o que reflete nos custos de produção e incrementa a competitividade do produto reciclado.

Palavras-chave: Reciclagem; Produção Mais Limpa; Plástico; Polietileno.

**Abstract:** This study suggests operational changes in the traditional plastic mechanical recycling methods, principally polyethylene, in order to bring it into line with current environmental concepts. Taking into consideration the opportunities here for environmental improvement in this process, definitions for the Cleaner Production (P+L) tool will be used, which proposes a reduction in energy and water consumption, as well as a reduction in waste generation. Most of the time, the plastic recycling companies, receive dirty and contaminated raw material, which can be used in the manufacture of new products after passing through processing stages which ensures its suitability for maintaining minimum quality standards. Case studies of seven plastic recycling companies, mainly polyethylene, were carried out for this study, in which a questionnaire was used to obtain information related to production, utility consumption, generation of waste and emissions. The various recycling stages under study were: separation; milling; washing; drying and processing. The research demonstrated that the main process deficiencies were excessive energy consumption, non-reutilization of process water and waste generation. To solve such deficiencies, these companies can adopt the concepts of P+L during the milling stage, with periodic maintenance of the mill accessories and particle collection; during the washing stage, with the treatment of the residual water; during plastic material extrusion, with the reuse of the cooling water and the optimization of the processing conditions. It is necessary to invest in the recycling chain in order to optimize the consumption of resources and reduce the emission of residues, which reflects in the production costs and increases the competitiveness of the recycled product.

Keywords: Recycling; Cleaner Production; Plastic; Polyethylene.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos resíduos sólidos urbanos, encontra-se grande volume de objetos plásticos descartados, dentre os quais, embalagens, brinquedos, peças de automóveis e utilidades domésticas. De acordo com a análise gravimétrica anual, realizada pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), em 2009, o percentual de plástico presente no lixo domiciliar, do município do Rio de Janeiro, era de 20,3%, em massa. Este estudo mostra a composição qualitativa e quantitativa do lixo na cidade e aponta o percentual de plástico crescendo, desde 2006, tendo aumentado 9,3% no último ano (COMLURB, 2009).

Particularmente, as embalagens plásticas, como filmes de invólucros de alimentos, garrafas de bebidas, recipientes de produtos lácteos, como manteiga e iogurtes, sacos, copos e frascos de produtos de limpeza e higiene têm ciclos de vida útil curtos e são rapidamente descartados pelo consumidor e encaminhados para o destino final, transformando-se em resíduos, que devem ser valorados (MANO *et al.*, 2005).

Somado ao tempo de vida útil pequeno das embalagens, o Brasil ainda conta com poucos programas de coleta seletiva, que são considerados primordiais para a reciclagem. Através desse programa, o gerador seleciona e separa seu lixo, por tipo de material e facilita o trabalho dos recicladores, uma vez que a cadeia da reciclagem terá uma matéria-prima mais limpa. Menos de 10% das 5.564 cidades brasileiras, apresentam essa conscientização (CEMPRE, 2008), o que faz com que o grau de sujeira encontrado nos plásticos pós-consumo, quando adquiridos pelos recicladores, seja ainda muito alto, pois geralmente estão contaminados com restos de alimentos.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada pela Câmara Federal, em 11/03/2010, após quase 20 anos de discussão, os municípios que implantarem a coleta, com a participação de associações e cooperativas de catadores, terão prioridade no acesso a recursos da União, em linhas de crédito, no âmbito do plano nacional de resíduos (BRASIL, 2010).

Do total de plásticos produzidos no Brasil, em 2008, cerca de 21% foram reciclados e usados como matéria-prima para obtenção de novos produtos (CEMPRE, 2010). Os principais plásticos encontrados no lixo, são: 36% de polietileno (PE), 21% de poli (tereftalato de etileno) (PET), 13% de poli (cloreto de vinila) (PVC), 10% de polipropileno (PP) e 20% de outros (CEMPRE, 2008).

A reciclagem planejada desses materiais plásticos pode gerar artefatos de boa qualidade e baixo custo, com propriedades similares às de um mesmo produto obtido de material virgem. Os produtos reciclados são usados normalmente na fabricação de utensílios domésticos, como baldes, mangueiras, material de construção e sacos de lixo. No entanto, alguns artefatos fabricados, a partir de plásticos reciclados, têm limitações de aplicação, não devendo ser utilizados em contato com bebidas, remédios, alimentos (ANVISA, 1999; SANTOS *et al.*, 2004), brinquedos e material de uso hospitalar, pois, dependendo do uso anterior ou do local de disposição, podem estar contaminados (MANO *et al.*, 2005). Recentemente foi regulamentada, porém, a utilização de embalagens de poli (tereftalato de etileno) pós-consumo reciclado grau alimentício (PET-PCR), destinadas a entrar em contato com alimentos (ANVISA, 2008).

Apesar de trabalhar diretamente com resíduos, é preciso que a empresa recicladora seja ecologicamente correta, como em qualquer ramo industrial, estruturando-se para atender às exigências ambientais cada vez maiores, impostas pelo governo e pela sociedade. A PNRS institui diretrizes, como não-geração, redução, reutilização e tratamento dos resíduos, incentivando as empresas a providenciar a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias ambientalmente saudáveis, como forma de minimizar impactos ambientais (BRASIL, 2010). Neste sentido, empresas de grande porte, considerando sua estrutura organizacional, muitas vezes, optam por implantar um sistema de gestão ambiental espontâneo, além daquele necessário para o atendimento à legislação da gestão pública. Com isso, buscam, normalmente, o atendimento aos requisitos da norma ISO 14001, visando à certificação final do sistema.

No caso das micro, pequenas e médias empresas, que representam a maioria no Brasil e incluem as recicladoras, apesar de individualmente gerarem pequena parcela de poluição, totalizam um percentual significativo da poluição industrial. Portanto, urge que se aumente a participação das pequenas empresas no controle ambiental, a fim de que a coletividade seja beneficiada. No entanto, como é inviável economicamente um investimento de grande porte, para a adoção de um sistema ambiental, a ferramenta Produção Mais Limpa (P+L) aparece como uma boa opção para otimizar o consumo de água e energia, bem como minimizar os resíduos e emissões na fonte geradora. Eliminar os desperdícios aumenta a eficiência no processo produtivo e reduz os investimentos para soluções dos problemas ambientais. A transformação de matérias-primas, água e energia em produtos ou serviços e não em resíduos, torna as micros e pequenas empresas mais competitivas (PMAISL, 2010).

Nesse sentido, é possível adotar medidas preventivas, referentes aos seguintes aspectos (CNTL, 2009): mudança de matérias-primas, mudança tecnológica no processo ou no equipamento, práticas de gerenciamento voltadas para o *housekeeping* (arrumação da casa), mudanças no produto, reuso e reciclagem de resíduos.

Exemplos de aplicação dos conceitos de P+L, em micro e pequenas empresas, podem ser obtidos no Relatório da Rede Brasileira de Ecoeficiência, que resume a atuação de 10 anos da parceria entre o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) Nacional. O projeto de disseminação de P+L envolveu 161 empresas, com 30 empregados, em média e faturamento bruto anual em torno de R\$ 10 milhões. Dentre os benefícios ambientais, foram obtidas reduções anuais significativas do consumo de matéria-prima, de água, de energia elétrica, de tratamento e/ou lançamento de efluentes líquidos e de geração de resíduos sólidos (PMAISL, 2010).

Diante de benefícios econômicos e ambientais já comprovadamente alcançados com a ferramenta P+L (PMAISL, 2010), o objetivo do trabalho é apontar ações que possam ser realizadas em recicladoras de plástico, principalmente de polietileno, tornando essa categoria de empresas ambientalmente mais correta.

## 2. RECICLAGEM MECÂNICA DOS PLÁSTICOS

Os plásticos são polímeros que se tornam fluidos, por ação da temperatura e da pressão e podem ser solidificados, após resfriamento, características que facilitam a reciclagem mecânica (MANO *et al.*, 2005). A partir de informações da literatura disponível sobre o assunto, foi possível identificar, de forma sistemática, os processos realizados para reciclagem mecânica desse material, cujas principais etapas são separação, moagem, lavagem, secagem e processamento por extrusão, injeção ou intrusão (MANO *et al.*, 2005; FARIA e PACHECO, 2009).

A separação dos resíduos plásticos, principalmente, por tipo, é fundamental para garantir que somente aquele escolhido irá alimentar o processo de reciclagem. Normalmente, separa-se, ainda, o plástico por cor, ou seja, isola-se o que é branco do que é colorido, uma vez que o primeiro pode dar origem a produtos claros, enquanto o segundo destina-se a artefatos escuros (MANO *et al.*, 2005). Também, é importante separar, por origem da matéria-prima, pois isso define o nível de limpeza dos resíduos e a linha de produção a ser seguida.

Os plásticos selecionados seguem para a etapa de moagem, a fim de serem fragmentados em partes menores – os *flakes*. Durante ou após a moagem, ocorre a limpeza do material, etapa em que se retiram os contaminantes, através de lavagem. Para tanto, utiliza-se água pura, na qual pode ser adicionado algum aditivo, em pequena quantidade, dependendo do grau de contaminação ou nível de sujeira dos resíduos (PIRES, 2009).

Após a lavagem, é importante a secagem do material, de modo a eliminar a umidade residual. O máximo de umidade residual tolerável para as poliolefinas, é de cerca de 1% em massa (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Os *flakes* lavados e secos seguem para o processamento na extrusora, onde o plástico é amolecido e pode ser homogeneizado com alguma carga, como fibra de vidro, pigmento, talco, serragem de madeira ou outra, para formação de artefatos compósitos. O processamento por extrusão é bastante utilizado, principalmente na fabricação de *pellets*, os quais podem ser adquiridos por empresas de transformação ou alimentar outro processo de extrusão, injeção ou intrusão para moldagem de artefatos (MANRICH, 2005). No processo de injeção, ocorre o enchimento do molde fechado com material fundido e posterior resfriamento, para solidificação do artefato moldado (MANRICH, 2005). Nas poucas empresas que trabalham com intrusão, as etapas de extrusão e injeção ocorrem em equipamento geminado, em que o material extrusado é bombeado, sob forte pressão, diretamente para preencher os moldes da injetora, sem que ocorra a produção de *pellets* (KLOBBIE, 1980).

## 3. VISITAS TÉCNICAS

No primeiro semestre de 2009, foram visitadas e entrevistadas sete empresas recicladoras de resíduos plásticos, especificamente poliolefinas, ou seja, polietileno de alta densidade (HDPE), polietileno de baixa densidade (LDPE) e polipropileno (PP). Sabe-se que a amostragem de sete empresas é pequena, dentro de uma realidade brasileira; contudo, existe o fato de o mercado de reciclagem ser bastante restritivo para visitas.

O trabalho foi realizado na cidade do Rio de Janeiro, devido à facilidade de contato e à proximidade entre a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e as empresas recicladoras cariocas. O acesso à única empresa localizada no Estado de São Paulo, só foi possível, graças a uma parceria traçada com o Instituto de Macromoléculas (IMA/UFRJ) para o desenvolvimento de um produto.

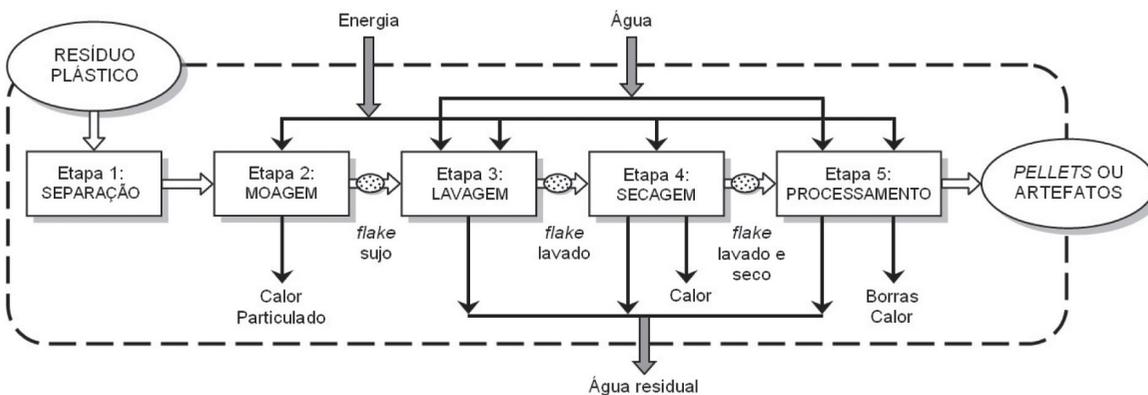
As entrevistas tiveram como objetivo coletar dados para análise e verificação de possibilidades de melhoria, no processo de reciclagem de plástico, sob o ponto de vista ambiental. Para tanto, aplicou-se um questionário, cujos itens basearam-se nos indicadores de P+L, propostos na literatura (PUTNAM, 2002; ABNT, 2004) e que abordou informações sobre: a) dados gerais (localização, número de funcionários e jornada de trabalho); b) matéria-prima (tipo, qualidade, fornecedor); c) produto final (*flakes*, *pellets*, artefatos); d) fluxograma do processo e maquinário envolvido em cada etapa; e) consumo de energia; f) consumo de água; g) consumo de produtos químicos; h) geração de resíduos; i) dados mensais de produção.

## 4. ANÁLISE DE DADOS E PROPOSTAS DE APLICAÇÃO DE P+L

### 4.1. Coleta de dados

O fluxograma completo do processo de reciclagem dos plásticos, dentro dos limites de uma recicladora, apontou cinco etapas fundamentais, que consomem água e energia, conforme demonstra a figura 1. Além disso, a figura identifica, ainda, as etapas que geram emissões, como água residual, calor, particulados e borras.

Figura 1 – Fluxograma das etapas da reciclagem mecânica dos plásticos.



Fonte: Elaboração própria.

A matéria-prima compreendia resíduos plásticos, que as empresas adquiriam tanto de cooperativas como de indústrias. A energia elétrica e a água eram fornecidas pelos órgãos municipais competentes e utilizadas nas várias etapas do processo.

O calor gerado pelas máquinas de moagem, secagem e processamento dissipava-se dentro dos limites das empresas e não foi quantificado. Já os particulados e as borras constituíam resíduos que deviam ser coletados, para retornar ao processo ou para terem destinação adequada. A água residual, originada nos estágios de lavagem, secagem e processamento, por sua vez, era devolvida ao esgoto comum, muitas vezes, sem tratamento.

Os dados sobre a realidade de cada empresa visitada, que aparecem resumidos na Tabela 1, foram obtidos com a aplicação de um questionário, em entrevista com o seu gerente. Cada empresa teve sua identidade preservada e foi identificada por uma letra (em ordem alfabética, de A a G), de modo a garantir a confidência das informações. Essa identificação foi aleatória, sem seguir qualquer critério de importância.

Em alguns casos, quando a informação solicitada não se aplicava ou era irrelevante, o item foi identificado como “não relevante”, segundo informação do responsável pela empresa.

Tabela 1 – Dados coletados nas empresas.

Empresa	Local	Nº de funcionários	Jornada (h/dia)	Etapas no processo	Matéria-prima	Produto final	Produção (mês)	Consumo de energia (kW/mês)	Consumo de água (m³/mês)
A	RJ	40	9	2; 3; 4; 5a; 5b	HDPE	p, a	100	30.000	não relevante
B	RJ	4	8	2; 5a	PE, PP	p	10	6.880	60
C	RJ	15	24	5a	PE, PP	p	44	12.500	não relevante
D	RJ	17	7,5	1; 2; 3; 4	PP	f	60	8.750	não relevante
E	SP	30	8	1; 2; 3; 4; 5a; 5c	HDPE	a	47	75.000	não relevante
F	RJ	22	24	5c	LDPE	a	120	88.000	não relevante
G	RJ	64	24	1; 2; 3; 4; 5a	LDPE	p	180	120.000	90

Legenda: 1 – separação; 2 – moagem; 3 – lavagem; 4 – secagem; 5a – extrusão; 5b – injeção; 5c – intrusão; f – *flakes*; p – *pellets*; a – artefatos; PP – polipropileno; PE – polietileno; HDPE – polietileno de alta densidade; LDPE – polietileno de baixa densidade.

Fonte: Elaboração própria.

Analisando a tabela 1, observa-se que o número de funcionários nas empresas visitadas variou entre 4 e 64, apresentando como valor mediano de 22 pessoas, o que, de acordo com um dos critérios para classificação de porte de empresas adotado pelo SEBRAE (2010), caracteriza empresas de pequeno porte.

À exceção da empresa E, que tem apenas dois anos de funcionamento e localiza-se no Estado de São Paulo, as fábricas são relativamente antigas (média de 25 anos) e localizam-se na periferia da cidade do Rio de Janeiro, próximas tanto ao mercado fornecedor (cooperativas, indústrias) como ao consumidor.

Quanto à carga horária diária de trabalho, em 57% dos casos (A, B, D, E) a equipe trabalhava em turno único. Essa decisão pelo horário diurno foi apontada como uma boa opção para redução dos gastos com energia elétrica, pois evitam seu consumo no horário de pico – das 18h00 às 21h00 e, no horário de verão, das 19h00 às 22h00.

A matéria-prima era obtida principalmente em fardos de embalagens plásticas pós-consumo, incluindo produtos de limpeza, higiene e óleo lubrificante. No entanto, as empresas A, B, E e F também, adquiriam matéria-prima limpa, como borras, frascos fora de especificação ou refugos de processamento industrial. Todas as empresas recebiam os fardos separados por tipo de poliolefina.

Dentre as sete empresas visitadas, somente três (A, E e G) realizavam todas as etapas do processo de reciclagem. As outras operavam com uma ou mais etapas da cadeia, gerando matéria-prima para outro reciclador. A empresa E era a única que contava com todos os equipamentos envolvidos na reciclagem de poliolefinas e seu proprietário demonstrava ter bastante consciência ambiental, tendo projetado a estrutura da fábrica, já considerando os conceitos de P+L.

Os produtos finais, identificados como *f*, *p* e *a*, indicam se as empresas comercializavam sua produção, respectivamente, em *flakes*, *pellets* ou artefatos moldados de plástico reciclado.

O consumo de produtos químicos na lavagem, não foi considerado relevante para os processos de reciclagem de material plástico. Os aditivos utilizados na formulação do plástico, na indústria de reciclagem, são os mesmos usados na obtenção de produtos oriundos de material virgem (RABELO, 2001). Nas empresas visitadas, observou-se apenas o uso de carbonato de cálcio (talco), a fim de evitar a aderência do material nas paredes da extrusora e pigmento, para coloração dos *pellets*. Ambos os produtos eram adicionados no equipamento chamado misturador que, através de rotação, movimentava os *flakes* e seus aditivos para melhor homogeneização.

O consumo de água, também foi considerado “não relevante” por alguns representantes das empresas, que adquiriam parte da matéria-prima diretamente da indústria e que dispensava lavagem. A empresa G, porém, apesar de comprar filmes de polietileno da indústria e do comércio, ainda realiza a limpeza do material com água. O consumo de água, também foi considerado não significativo, quando seu uso se dava apenas no tanque de resfriamento da extrusora – cerca de 15m<sup>3</sup>. Nesse caso (A, B, C e F), a água era captada da rede municipal e, após a utilização, passava por um processo de resfriamento, para retornar ao sistema. Já na empresa D, a água era captada de poço artesiano e também, circulava no processo, sendo descarregada, após um tempo de uso, em esgoto comum.

Das quatro empresas que realizavam o processo de lavagem do plástico (etapa 3 da tabela 1), duas (E e G) utilizavam detergente e contavam com estações de tratamento do efluente, bem equipadas para a recuperação da água e sua reutilização no processo, tanto na própria lavagem como no processamento e no resfriamento dos moldes. Já a empresa E informou como “não relevante”, pois raramente captava água do poço artesiano e sempre reutilizava aquela que já se encontrava no processo.

A secagem foi apontada como essencial pelos representantes, para evitar problemas nos equipamentos subsequentes. Observou-se que as unidades de menor porte utilizavam o equipamento chamado aglutinador, para secagem dos *flakes*. Tal máquina, na verdade, é usada para aglutinar material leve, como filmes de polietileno de baixa densidade, para formar aglomerados densos, que possam ser moídos com mais facilidade. Esse processo de aglutinação é realizado nas empresas F e G; já as empresas B e C informaram receber matéria-prima relativamente úmida (*flakes*) e utilizar o aglutinador para secagem.

Os valores informados para produção (t/mês) e gasto com energia elétrica (kW/mês) permitiram o balanço da quantidade de *quilowatts* necessários para produção de um quilo de poliolefina reciclada (kW/kg), conforme mostra, em ordem crescente, a tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre produção e energia gasta no processo.

Empresa	Energia por quilo produzido (kW/kg)	Atividade principal
D	0,2	Moagem
C	0,3	Processamento
A	0,3	Moagem e processamento
B	0,7	Moagem e processamento
F	0,7	Processamento
G	0,7	Moagem e processamento
E	1,6	Moagem e processamento
Média	0,6	-
Mediana	0,7	-
Desvio padrão	0,5	-

Fonte: Elaboração própria.

Os valores variaram entre 0,2 e 1,6, o que aponta para um consumo médio de 0,6, uma mediana de 0,7 e um desvio padrão de 0,5kW/kg, calculado, a partir da soma do quadrado das diferenças entre cada consumo e a média aritmética. Comparando os dados da tabela 2, foi possível observar que a empresa que realizava apenas moagem (D), gastava cerca de 0,2kW para produzir cada quilo de *flakes* e a que trabalhava apenas com extrusão (C), consumia 0,3kW para obter um quilo de *pellets*. Já a empresa E, que operava apenas com extrusão, mas gastava energia com os aglutinadores usados no tratamento do LDPE, fugiu ao padrão conseguido pela empresa C e consumiu 0,7kW/kg.

A energia total consumida pelas empresas B e G, que realizavam desde a fase inicial do beneficiamento do material a ser reciclado até a extrusão, chegava a 0,7kW para produção de um quilo de *pellets*, o que representava aproximadamente a soma dos valores individuais percebidos em D e C. A empresa E, por sua vez, sendo a única a realizar a intrusão, comprova que esse tipo de processamento é bastante oneroso, pois exige grande quantidade de energia elétrica nos equipamentos.

A empresa A foi a única que mostrou dados conflitantes com as demais, provavelmente em função das informações passadas por seu representante.

## 4.2. Aplicação de P+L

Avaliando as empresas quanto ao aspecto ambiental, em cada etapa do processo, o foco nos conceitos de P+L levou a algumas observações, que geraram propostas de medidas a serem adotadas, com relação aos principais insumos usados e aos resíduos gerados.

### 4.2.1. Energia elétrica

As empresas que trabalham em dois ou três turnos diários podem contar com algumas sugestões, para minimizar o consumo de energia no horário de ponta (18h00 às 21h00):

- utilizar gerador a *diesel*, nesse período, e manter o funcionamento normal da fábrica;
- desligar as máquinas mais potentes (moinho, extrusora, injetora e intrusora) e deslocar os funcionários para máquinas auxiliares, para atividades manuais (separação, armazenagem, identificação de materiais, etc) ou mesmo para jantar.

Na etapa de separação, é essencial cuidar para que não haja misturas de plásticos, evitando esforços posteriores, que despendem energia. Como existem diferentes famílias de plásticos, que, muitas vezes, não são compatíveis quimicamente entre si, a mistura inadvertida de alguns tipos pode resultar em materiais defeituosos e de baixa qualidade, sem as especificações técnicas necessárias para retornar à produção como matéria-prima (CEMPRE, 2010; MANO *et al.*, 2005).

Para saber identificar os resíduos plásticos nos fardos, o operador pode adotar alguns critérios (CASTILHOS, 2004): por meio da simbologia de identificação, normalmente impressa no fundo da embalagem; por correlação produto-polímero (associado à aplicação); pelo aspecto (transparente, translúcido, colorido); por meio do comportamento mecânico (rigidez e flexibilidade, associadas ao som, ao rasgo, etc.); por testes de chama, odor, temperatura de amolecimento e densidade (MANO e MENDES, 2000).

A retirada de tampinhas metalizadas de copos de refresco, por exemplo, é uma boa prática para impedir entupimentos nas peneiras, que geram tantas paradas de máquinas e gastos com energia na extrusão.

No estágio da moagem, um sistema bem estruturado e com boa manutenção otimiza a qualidade do material granulado, garante a eficiência da produção e proporciona boas condições de segurança para a operação, além de conformar adequadamente o material para alimentação dos equipamentos de moldagem e reduzir o número de paradas indesejáveis.

A manutenção adequada do moinho depende do próprio operador e pode evitar desperdício de energia, adotando-se algumas medidas (CLEAN, 2008):

- verificar a amolação das facas, em função da falta de uniformidade do *flake*;
- ajustar a distância (*gap*) entre o rotor e as facas, de modo a garantir a eficiência do corte, a qualidade do *flake* e prolongar a vida útil das lâminas;
- observar se a tensão das correias está apropriada, pois uma correia frouxa pode travar e danificar a máquina;
- limpar qualquer peneira entupida, pois retém o plástico no canal de corte;
- garantir que a máquina não fique sem alimentação, pois se o moinho não tiver silo para estocagem de material na entrada, no caso de ausência temporária do operador, poderá gastar energia, sem produzir.

O reciclador deve verificar a possibilidade de contar com mais de um jogo de facas, que requerem frequente amolação. Isto evitará que o equipamento fique parado, aguardando tal procedimento.

O tempo de permanência do material dentro do moinho é um fator importante a ser controlado, a fim de evitar que o aquecimento excessivo, devido ao tempo de operação, provoque a fusão dos plásticos durante a moagem, o que retardaria a velocidade das lâminas e poderia fazer parar o rotor.

Na seção de secagem, a umidade deve ser retirada de forma eficiente, porque é prejudicial tanto à armazenagem dos *flakes* como a seu processamento posterior, podendo provocar falhas no produto final. Quanto melhor a secagem, menores serão as perdas de energia, pois, durante o processamento do plástico, a água iria evaporar nas zonas de volatilização das extrusoras e provocar a formação de bolhas no material.

Na etapa de processamento, a extrusora deve demorar o mínimo possível para ser aquecida e iniciar a atividade. É interessante que se acumule material, a fim de alimentar a extrusora, de modo que não se corra o risco de ela ficar parada, pois caso isso aconteça, exige-se um grande consumo de energia para retomar o processo. Fazer o balanço de massa pode mostrar que a moagem, lavagem e secagem devem trabalhar com carga horária maior que a do processamento.

O tempo de permanência do material dentro da extrusora, também é um fator importante a ser controlado, a fim de evitar que o aquecimento excessivo, devido ao tempo de operação ou uso de temperatura inadequada, provoque o amolecimento antecipado ou a degradação do polímero. A degradação térmica da poliolefina reciclada ocorre principalmente, pelo fato de ser submetida novamente à alta temperatura para moldagem, prejudicando suas propriedades físicas, como resistência mecânica.

A intrusora é um dos equipamentos que exigem maior consumo de energia, uma vez que o material é extrusado e transportado em alta pressão para dentro dos moldes da injetora acoplada. A máquina é robusta e exige que o material seja bombeado até completar o nível dos moldes, de modo a evitar diferenças de temperatura e falhas no produto moldado.

Economizar energia, também significa evitar desligamentos excessivos dos equipamentos, que exigem muito tempo para aquecer novamente, garantir a eficácia da manutenção preventiva, para evitar desgastes e esforços desnecessários e, ainda, operar as máquinas com condições ótimas para as poliolefinas.

#### 4.2.2. Água

Na separação, além do tipo, outro fator determinante é a identificação da fonte do material a ser reciclado, o que indica seu nível de limpeza e a linha de processamento que irá seguir. Os resíduos pós-industriais normalmente não precisam ser lavados, pois são materiais que incluem produtos fora de especificação, aparas, refugos, sobras e outras peças que se caracterizam por apresentar uniformidade em relação à composição e também, não-contaminação, ou seja, que podem e devem ser reciclados. Não há contato desse material com restos de comida ou contaminantes em geral, o que faz com que possam ter um processamento distinto do plástico pós-consumo, sem passar por uma etapa de lavagem.

Já os plásticos pós-consumo, oriundos da coleta seletiva, apresentam menos contaminação que aqueles misturados com o lixo comum. Com isso, também diminuem os custos de reciclagem, com minimização das despesas na operação de lavagem. Considerando que a água é um dos recursos naturais que exige maior atenção, quando se busca uma produção mais limpa, esforços precisam ser despendidos, visando à minimização de seu uso, tratamento e possível reaproveitamento. A não identificação de resíduos pós-consumo ou pós-industrial pode levar ao uso desnecessário de água para lavar matéria-prima limpa.

O uso de moagem a úmido pode prevenir o entupimento de peneiras e reduzir a degradação do polímero granulado, devido ao calor gerado com o atrito que ocorre na moagem a seco. Outra vantagem é que a água em movimento remove e transporta a sujeira que ficaria retida nos *flakes*. No entanto, o processo de moagem a úmido é mais custoso que o processo a seco, devido ao consumo de água e à necessidade de um sistema para tratamento e circulação da água. Além disso, segundo Pires (2008), os moinhos que operam com fluxo de água de lavagem, no seu interior, apresentam produção mais baixa do que os que operam a seco, pois o plástico úmido adere à grade metálica, enquanto o plástico seco desliza mais facilmente através dos furos.

A etapa de lavagem é um processo que deve ser realizado para eliminar resíduos de produtos químicos, restos de alimentos e gorduras, ainda contidos nos *flakes*.

A quantidade de água usada na lavagem do plástico deve ser a mínima necessária e com sistema de tratamento e recirculação, que garantam a não geração de efluente líquido. O efluente gerado no processo de lavagem contém uma série de impurezas, como coliformes fecais, surfactantes, fósforo, sólidos suspensos, pH alterado, óleos e graxas, que o impedem de ser reutilizado sem tratamento ou descarregado diretamente em corpos d'água (ESPÍNDOLA, 2004).

No caso das embalagens de óleo lubrificante de HDPE, a etapa de lavagem, também merece atenção diferenciada. O óleo residual aumenta o índice de fluidez do plástico, dificultando o processo de reciclagem e afetando negativamente a qualidade dos artefatos produzidos com esse HDPE reciclado (PIRES, 2009). Assim, esses materiais necessitam de uma limpeza específica, com uso de detergentes que possam retirar o óleo residual das embalagens. O efluente gerado nesse processo é contaminado e não deve ser descartado sem tratamento (BRASIL, 2010).

A etapa de lavagem, além do objetivo principal de limpar o material, pode ser usada como mais uma oportunidade para separar plásticos diferentes, em função de suas densidades. Nesse caso, após a realização do processo, o material que flutua, deve ser coletado e direcionado para venda ou aterro.

Os processos de extrusão, injeção ou intrusão utilizam água para resfriamento do plástico amolecido. Essa água acaba ficando muito aquecida, devido à alta temperatura com que o material plástico deixa o cabeçote da extrusora, ou o molde da injetora ou da intrusora. Estando muito quente, por sua vez, deixa de cumprir eficientemente a função de proporcionar um resfriamento brusco do plástico reciclado, o que pode prejudicar a qualidade dos produtos. Portanto, a água do tanque de resfriamento deve ter a temperatura controlada, de modo a manter-se a mais próxima da ambiente, além de formar um circuito fechado e retornar constantemente ao processo.

Na injeção, é importante salientar que a fase com maior gasto de tempo, nesse ciclo de processamento, é o resfriamento, podendo atingir até 80% do tempo total e consumir muita água e energia. Neste caso, a água usada no resfriamento dos moldes, também merece atenção especial e deve ser reaproveitada.

### 4.2.3. Resíduos

Na empresa que realiza a moagem a seco, a trituração de plásticos de alta densidade gera ruído no local de trabalho, bem como emissão de particulados sólidos de tamanhos variados, que precisam ser controlados. Esses particulados constituem um problema, quando possuem granulometria reduzida, pois poluem o ar, acumulam-se em partes indevidas do maquinário e prejudicam a saúde humana, caso inalados. Quando a alimentação é feita em moinho aberto, é grande o risco de partículas serem ejetadas para fora do equipamento, arriscando, inclusive, a segurança do operador.

Para as embalagens de HDPE pós-consumo, recomenda-se o uso de moinho com alimentação tangencial e rotor aberto, que realize o corte dos frascos pelo sistema tesoura. Os canais de alimentação tangencial impedem que o plástico seja arremessado de volta. O rotor aberto permite o fluxo de ar, através do canal de corte. As melhores lâminas das facas a serem usadas nesse sistema são as de liga metálica em aço carbono ou cromo, com revestimento para aumentar a resistência ao uso, apresentando fácil reparação e substituição (CLEAN, 2008).

Na moagem, para controle do ruído e captação de pó, podem ser usadas carcaças de madeira forradas com material tipo “caixa de ovo”, em torno do moinho para abafar parcial ou totalmente o som (enclausuramento de moinho), deixando apenas um espaço para o operador alimentar a máquina. Com isso, também se protege o ambiente da poeira (PIRES, 2008).

A presença de pó proveniente da moagem, também é inconveniente para as etapas de transformação, pois ele funde previamente e atrapalha o escoamento do material na extrusora ou na injetora. É importante que o material moído tenha ainda dimensões uniformes para que a fusão nas máquinas ocorra de maneira uniforme (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Tanto na extrusão como na injeção e intrusão, ocorre frequentemente a geração de borra, devido às seguintes situações: a cada reinício de processo, com a purga do material que já está dentro do cilindro; quando falta alimentação na máquina; quando é realizada a limpeza do cilindro para posterior troca de matéria-prima; quando há entupimento de peneiras; enquanto não é feito o ajuste correto dos moldes, etc. De uma forma ou de outra, a quantidade de borra deve ser primeiramente minimizada. No caso de formação inevitável, deverá ser resfriada e armazenada, de modo que quando acumular quantidade significativa, seja picotada e devolvida ao processo de moagem para ser reprocessada. O mesmo ocorre para os “galhos” de injeção, que mantêm os artefatos emendados no ato da produção e que depois, são destacados e descartados, devendo ser devolvidos ao processo.

Vale lembrar que quanto mais limpo o material, menor o risco de entupimento de peneiras e parada de máquinas, o que gera menos resíduos sólidos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As visitas técnicas comprovaram que as empresas recicladoras de poliolefinas eram normalmente de pequeno porte e evitavam trabalhar no horário de ponta, para economizar energia. Isso só é possível, no entanto, quando a estrutura da empresa comporta a demanda de produção em turno único. Observou-se que algumas fábricas só operam com parte do ciclo de reciclagem, gerando produtos para outros recicladores.

A falta de uma cultura voltada para a Produção Mais Limpa apontava para focos claros de desperdícios, no uso de recursos e na geração de resíduos. Dentre as medidas propostas por este trabalho, para solucionar tais deficiências, encontram-se propostas de redução no consumo de água e de energia, reutilização de recursos, tratamento de efluentes e minimização da geração de resíduos na fonte.

Com relação ao consumo de água, observaram-se, principalmente, dois aspectos: de um modo geral, a água era captada de forma fácil, farta e barata, não justificando, na visão dos responsáveis, investimentos para tratamento e reaproveitamento desse recurso; apesar de conscientes com relação à importância de descartar efluentes tratados, os recicladores se preocupavam em usar o mínimo possível de água, por não terem condições financeiras nem físicas para tratá-la.

Já os gastos com energia elétrica foram apontados como principal motivo de preocupação dos responsáveis pelas empresas visitadas, que devem adotar medidas urgentes e viáveis, para reduzir o consumo e enquadrarem suas recicladoras em um padrão ambientalmente correto.

Conclui-se com os resultados aqui mostrados, que é possível em qualquer ramo industrial, mesmo naqueles que lidam diretamente com matéria-prima suja e contaminada, adotar medidas de gestão, que garantam um processo de produção mais limpo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (Brasil). **NBR ISO 14031** – Gestão Ambiental – Avaliação de Desempenho Ambiental – Diretrizes. Norma Técnica. ABNT, Rio de Janeiro-RJ, 32p, 2004.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). **Resolução nº 105**, disposição geral 9 - Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Seção 1, 21. Brasília-DF, 20 de maio de 1999.

\_\_\_\_\_. **Art. 1º da Resolução RDC nº 20**, da Diretoria Colegiada, de 26/03/2008.

BRASIL, Câmara Federal. **Câmara aprova política nacional de resíduos sólidos**. 2010 Disponível em <<http://www2.camara.gov.br/agencia/noticias/meio-ambiente/145758-camara-aprova-politica-nacional-de-residuos-solidos.html>>. Acesso em 15/03/2010.

CASTILHOS, A. F. **Estudo da Influência da Adição de Copolímero Etileno Propileno nas Propriedades de Misturas de Poliolefinas Oriundas do Rejeito de Centros de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos**, Dissertação de Mestrado em Engenharia dos Materiais - Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2004.

CEMPRE. **Ciclosoft 2008**. Disponível em [http://www.cempre.org.br/ciclosoft\\_2008.php](http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2008.php). Acesso em 15/03/2010.

- \_\_\_\_\_. **Fichas Técnicas: Plástico**. 2010. Disponível em <[http://www.cempre.org.br/fichas\\_tecnicas.php?lnk=ft\\_plastico.php](http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_plastico.php)>. Acesso em 15/03/2010.
- CLEAN, C. W. **Center VI Granulating and Re grind Storage, Granulation System Selection, Operation and Maintenance for Meeting Market Specifications**. 2008. Disponível em <<http://www.cwc.org/hdpe/hdpe5.htm>>. Acesso em 18/10/08.
- CNTL – **Centro Nacional de Tecnologias Limpas**. 2009. Disponível em <<http://www.senairs.org.br/cntl>>. Acesso em 04/07/2009.
- COMLURB – **Companhia Municipal de Limpeza Urbana. Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos domiciliares**. Gerência de Pesquisas Aplicadas. Disponível em CD. Rio de Janeiro, 2009.
- ESPÍNDOLA, L.C. **Reciclagem de plásticos pós-consumo misturados não reaproveitados pelos centros de triagem de Porto Alegre**, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2004.
- FARIA, F.P.; PACHECO, E.B.A.V. Aplicação da ferramenta produção mais limpa na reciclagem de plástico, *In: 2<sup>nd</sup> International Workshop Advances in Cleaner Production*, São Paulo, 20 a 22 de maio de 2009.
- KLOBBIE, E.J.G. **Method and apparatus for producing synthetic plastics products, and product produced thereby**, patente US 4187352, publicada em 05/02/1980.
- MANO, E.B.; MENDES, L.C. **Identificação de Plásticos, Borrachas e Fibras**. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blücher Ltda., 240p, 2000.
- MANO, E.B.; PACHECO, E.B.A.V; BONELLI, C.M.C. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem**. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blücher Ltda, 200p, 2005.
- MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos**, São Paulo: Ed. Artliber, 431p, 2005.
- PIRES, A.S. **Reciclagem de plástico, Apostila do Curso de Treinamento Profissional na Área Ambiental**, Curso de Extensão, Escola de Química, UFRJ, 2008.
- \_\_\_\_\_. **Reciclagem de frascos plásticos de postos de gasolina**. 2009. Disponível em <[http://www.sfiec.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo\\_Reciclagem\\_de\\_Plasticos.pdf](http://www.sfiec.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo_Reciclagem_de_Plasticos.pdf)>. Acesso em 14/11/2009.
- PMAISL **Rede Brasileira de Produção Mais Limpa**. 2010. Disponível em <[http://www.pmaisl.com.br/publicacoes/relatorio\\_10anos.pdf](http://www.pmaisl.com.br/publicacoes/relatorio_10anos.pdf)>. Acesso em 22/03/2010.
- PUTNAM, D. **ISO 14031: Environmental Performance Evaluation. Draft Submitted to Confederation of Indian Industry for publication in their Journal**. September 2002.
- RABELO, M. **Aditivação de Polímeros**. Rio de Janeiro: Ed. Artliber, 248p, 2001.
- SANTOS, A.S.F.; AGNELLI, J.A.M.; MANRICH, S. Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 14, nº 5, pp. 307-312, 2004.
- SEBRAE Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Brasil). **Crítérios e Conceitos para Classificação de Empresas**. 2010. Disponível em <[http://www.sebrae.com.br/customizado/estudos-e-pesquisas/integra\\_bia?ident\\_unico=97](http://www.sebrae.com.br/customizado/estudos-e-pesquisas/integra_bia?ident_unico=97)>. Acesso em 08/03/2010.
- SPINACÉ, M.A.S.; DE PAOLI, M.A. A tecnologia da reciclagem de polímeros, Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. São Paulo: **Química Nova**, vol. 28, nº 1, jan./fev. 2005.

