

REUTILIZAÇÃO DE RECICLADOS NO PROCESSO DE INJEÇÃO

Fabiano Santos Ribeiro

fabianosantosribeiro@hotmail.com

Deivid Henrique Borges

deividtp@gmail.com

João Vicente Lucio Batista

joao.batistatres@yahoo.com.br



“Resumo

Palavras-chave: Recuperação de resíduos, Reciclagem de Poliacetal, Injeção de polímeros, Reciclagem de polímeros

1 Introdução

As últimas décadas testemunharam um aumento significativo na população mundial. Isso causou um aumento considerável na demanda por condições de vida de baixo custo, o que em parte leva a um aumento dramático no consumo de plásticos. Estatísticas anteriores mostram que a produção anual mundial de plásticos é superior a 100 milhões de toneladas por ano. Existem aproximadamente 3 milhões de toneladas de resíduos plásticos produzidos, dos quais as agências ambientais reportam cerca de 80%, atingindo aterros sanitários. A solução prática é reciclar ou reutilizar o plástico que já foi produzido. De fato, a reciclagem de plástico tem muitas vantagens (HILLIG et al, 2016):

- a) proporcionar emprego;
- b) proteger os recursos naturais;
- c) reduzir ou impedir a quantidade de resíduos depositados em aterros;
- d) reduzir os custos envolvidos na eliminação de resíduos, o que, em última análise, leva à economia para a comunidade;
- e) reduzir a poluição;
- f) usa um recurso que seria desperdiçado.

Nos últimos anos, o foco da reciclagem de plásticos mudou. Mais cedo, o foco estava em educar e encorajar o público e a indústria a reciclar. À medida que a necessidade e os incentivos para reduzir o volume de materiais residuais que entram em nossos aterros afundaram nas mentes da população, as forças do mercado tornaram-se de tal forma que milhões de libras de resíduos plásticos destinados ao aterro agora tinham algum valor. A questão então se voltou para como coletar esse material e convertê-lo em uma matéria-prima comercializável.

As economias determinam que os materiais reciclados são as resinas de engenharia mais caras, como policarbonato, nylon e POM. Em alguns casos, o custo dos materiais

recicláveis também excede o custo das matérias-primas devido aos custos de processamento e transporte. Nos Estados Unidos, a recuperação de plásticos pós-consumo para 2009 foi de aproximadamente 7% (CLEMONS, 2014). Portanto, é desejável encontrar usos para o material plástico reciclado que possa ser justificado por ter um custo similar à solução alternativa de um material virgem.

2 Referencial Teórico

2.1 Plásticos

Os plásticos que podem ser reciclados são chamados polímeros termoplásticos. Alguns exemplos típicos de polímeros termoplásticos são o tereftalato de poliacetal (POM), polipropileno, polietileno, policarbonato, etc. A seleção de materiais plásticos para muitos materiais (plásticos, metais, etc.) pode ser um processo altamente complexo se não utilizado adequadamente quando se usa plásticos reciclados. Sua metodologia varia de um alto grau de intuição subjetiva em algumas áreas até um alto grau de sofisticação em outras.

Ao selecionar um aditivo para uma mistura, é importante levar em conta também os potenciais efeitos colaterais que ele pode ter em outras propriedades. Em alguns casos, o custo do sistema será reduzido, mas em uma penalidade em outras direções, como propriedades mecânicas que podem influenciar o desempenho do produto fabricado. Qualquer tentativa de comparar plástico misturado com outros materiais convencionais (metal, madeira, vidro, etc.) em uma propriedade reta para propriedade ou uma base direta de custo por custo está condenada ao fracasso desde o início. Existem muitos tipos diferentes de notas e formulações agrupadas sob o título geral de plástico misto (CLEMONS, 2014).

2.2 Plásticos POM

As excelentes características técnicas dos poliacetais ou polioximetilenos (POM) e sua facilidade de transformação deram-lhes um campo bem diversificado de aplicações técnicas. Sua transformação experimentou nos últimos anos um dos crescimentos mais regulares de todos os polímeros técnicos.

Poliacetais ou polioximetilenos, mais conhecidos como POM, possuem características técnicas excelentes e são fáceis de transformar. Por este motivo, são apreciados pela indústria como polímeros técnicos. Um fator adicional favorável é a capacidade de POM para reciclagem química, por clivagem de monómeros, sem perda de propriedades físico-químicas, e que representa um atributo adicional para aplicações que têm de ter em conta a economia de reciclagem (HILLIG et al, 2016).

2.3 Homopolímeros e Copolímeros

Homopolímeros de acetal (por exemplo, Delrin) são formados durante a polimerização do formaldeído. Devido ao denso aglomerado de cadeias moleculares alternativas, construídas com grupos de oxigênio e metileno, elas são altamente cristalinas e estão entre os termoplásticos não reforçados mais rígidos e resistentes.

Os copolímeros de acetal (Hostaform, Duraform) são resistentes aos álcalis e ainda mais resistentes à água quente. Isto foi conseguido por um processo de polimerização modificado, em que o monómero principal o trímico cíclico de formaldeído (trioxano) e estrutura "acetal" é interrompida por ligações -CC- cadeia de carbono estável e termina com grupos terminais HO -CH₂-CH₂. Há uma ligeira redução no grau de cristalização em relação ao homopolímero, que afeta a resistência mecânica e a dureza (CARASCHI et al, 2015).

2.4 Moldagem por Injeção

O termo Moldagem por Injeção é uma descrição super simplificada de um processo bastante complicado que é controlável dentro dos limites especificados. Material plástico derretido ou plastificado é injetado à força em uma cavidade do molde. O processo é um dos métodos mais econômicos para a produção em massa de produtos simples e complexos (HILLIG et al, 2016).

Existem três operações básicas. São as únicas operações nas quais as entradas mecânicas e térmicas do equipamento de injeção devem ser coordenadas com as propriedades fundamentais de comportamento do plástico que está sendo processado. Eles são o aquecimento do plástico para moldar a temperatura, injetá-lo e depois resfriar (ou solidificar) o produto no molde. A programação de diferentes velocidades e pressões de injeção durante o

deslocamento para a frente do parafuso ou do êmbolo ajuda muito a preencher corretamente as cavidades (SILVA, 2015).

A tonelagem de fixação de uma máquina deve ter força de bloqueio suficiente para não causar a divisão das metades de retenção; ela resiste à força do plástico derretido se movendo em altas pressões para as metades do molde.

2.5 Sustentabilidade de Processo

Deixando de lado as preocupações ambientais, o sucesso ou fracasso econômico da reciclagem de plásticos depende de duas variáveis: o custo das matérias-primas usadas para fazer plástico virgem, petróleo e gás natural e o custo da reciclagem versus o custo do descarte, que flutua com base a proximidade de uma cidade a centros de reciclagem e o preço para despejar em aterros sanitários locais. No entanto, o custo de reciclar uma garrafa versus fazer uma nova simplesmente varia, dependendo de onde a garrafa está e qual o preço imprevisível do óleo (CANEVAROLO, 2014).

Descobriu-se que um fabricante de peças moldadas por injeção que usava sua própria mistura de resina reciclada foi realmente incrivelmente bem-sucedido, usando uma metodologia um pouco semelhante a este estudo. A *AGS Technology*, de Schaumburg, Illinois, reduz o custo das peças moldadas por injeção de plástico que fabrica usando plástico reciclado como matéria-prima. Eles são moldes de injeção certificados ISO/TS 16949 que usam seus plásticos reciclados patenteados para produzir componentes moldados de alta qualidade, principalmente para as indústrias automotiva e de bens duráveis (Ford, Chrysler e Chevrolet). Devido ao custo da matéria-prima reciclada ser substancialmente menor que os materiais virgens, a empresa é capaz de repassar aos seus clientes economias significativas de custo nos componentes moldados resultantes.

A *AGS Technology* formula sua própria matéria-prima, combinando suas propriedades com as resinas virgens correspondentes e com as especificações do cliente. Os tradicionais compostos plásticos convertem plástico reciclado em matéria-prima para aplicações de moldagem por injeção, moendo o plástico reciclado e, em seguida, extrudindo-o em pellets, que é como o conteúdo reciclado pode às vezes exceder o custo do conteúdo virgem. Por

outro lado, a *AGS Technology* molda seu material plástico diretamente e ignora a dispendiosa operação de extrusão / pelletização de uma fonte externa. Muitas vezes, os moldadores que poderiam ter economizado 10% em custos de matéria-prima usando plásticos reciclados veem essas economias de custo evaporarem-se devido aos problemas de fabricação que terão ao processá-las. Quando um moldador executa peças com material virgem, as execuções são consistentes. Mas com material reciclado, há mais variabilidade, portanto, a taxa de desperdício pode subir (CANEVAROLO, 2014).

Esses tipos de coisas teriam incorrido em custos e eliminado qualquer economia potencial. Portanto, é benéfico otimizar as misturas recicladas, reduzindo a variabilidade. A "*Plastics News*", uma revista especializada, lista o preço recente de pelotas de resina virgem POM entre 103 e 105 centavos por libra-peso, em comparação com apenas 66 a 74 centavos de dólar por libra esterlina para POM recicladas. Por um breve exemplo, podemos dizer que cerca de 250.000 libras de material é usado para um determinado trabalho por ano, e usa uma mistura arbitrária 50-50. O diferencial de custo entre o material reciclado e a resina virgem correspondente é de US \$ 0,34 por libra-peso (CLEMONS, 2014).

3 Metodologia

Para o referido trabalho, a metodologia adotada foi a pesquisa-ação em engenharia de produção, com as fases de planejamento (revisão literária, relevância do projeto e delimitação da pergunta problema), seguidos da coleta e análise de dados, implementação da ação e emissão de relatórios. Bryman (1989) acrescenta que a pesquisa-ação é uma abordagem da pesquisa social aplicada na qual o pesquisador e o cliente colaboram no desenvolvimento de um diagnóstico e para a solução de um problema, por meio da qual as descobertas resultantes irão contribuir para a base de conhecimento em um domínio empírico particular.

Na pesquisa-ação, o termo pesquisa se refere a produção do conhecimento e o termo ação se refere a uma modificação intencional de dada realidade. A pesquisa-ação é a produção de conhecimento que guia a prática, com a modificação de uma dada realidade ocorrendo como parte do processo de pesquisa. Neste método de pesquisa, o conhecimento é produzido

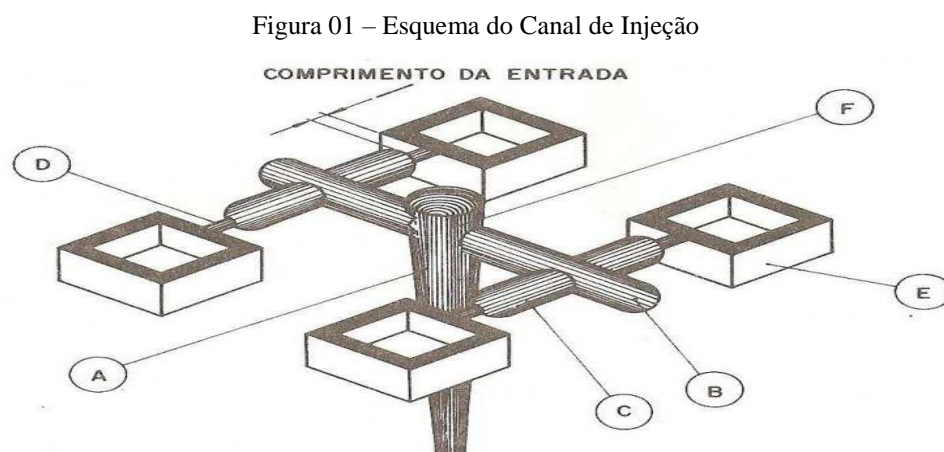
e a realidade é modificada simultaneamente, cada um ocorrendo devido ao outro (OQUIST, 1978).

Nos processos de fabricação de artefatos plásticos, transformação da matéria-prima em peças acabadas, produtos reprovados geram sucatas, provenientes de peças reprovadas por qualidade, devido a inúmeras variáveis de processo.

Nas indústrias de injeção de polímeros a realidade não é diferente. Os altos volumes de produção de uma injetora plástica, aliada a modernas técnicas de processamento dos polímeros, não impedem a geração de resíduos via contaminação da matéria-prima (óleos, graxas, pó, umidade ou, ainda, outro tipo de resina), ou por fatores dimensionais.

Outra fonte de desperdício são os canais de injeção, conhecidos popularmente como galho. Elemento fundamental nos moldes sem câmara quente, que é responsável pela distribuição da massa fluida do material do canhão da injetora até as cavidades dos moldes.

Esquema de galho de injeção com suas partes: A) Canal de injeção da bucha; B) Canal de distribuição primário; C) Canal de distribuição secundário; D) Entradas ou pontos de injeção; E) Produto a ser moldado; F) Poço frio. (Harada, 1991).



Fonte: Acervo Trauen

Figura 02 – Exemplo de galho de injeção, onde podemos ver as 6 partes constituintes, conforme figura 01.



Fonte: Acervo do Autor

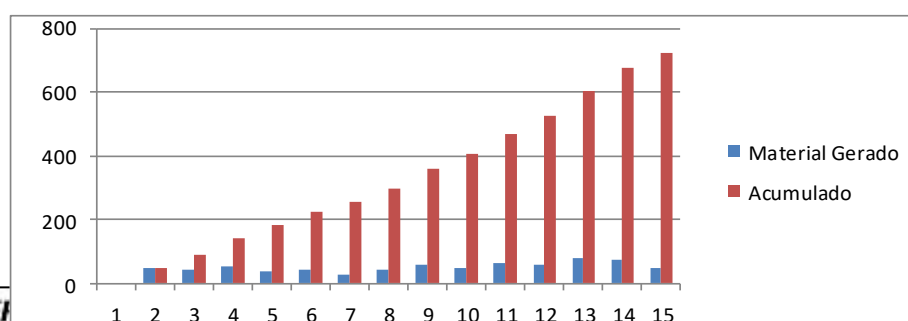
Por último, após o set-up de moldes, as primeiras peças injetadas podem apresentar falhas de injeção ou contaminação de qualquer origem. Pode-se ter situações que se injetarão peças fora dos padrões até que se estabilize o processo ou, ainda, que o material se homogeneíze no canhão de injeção.

3.1 Apresentação dos dados

Os dados, aqui apresentados, foram obtidos de uma empresa de injeção de termoplástico, situada em Varginha MG, no primeiro trimestre de 2018.

A análise dos dados apresentados na Figura 04 e na Tabela 1, nos dá a ordem de grandeza da geração de material residual, em quilos (kg), onde este número é composto pelo refugo de peças, canais de injeção, etc, de POM.

Figura 03 – Geração de Material Residual Semanal 1º Trimestre 2018



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 1 – Geração de material residual e o montante acumulado em três meses (kg)

Semana	Janeiro					Fevereiro				Março				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Material Residual Gerado	50	41	52	39	44	29	44	58	47	62	58	77	75	47
Acumulado	50	91	143	182	226	255	299	357	404	466	524	601	676	723

Fonte: Elaborado pelo autor

O que se pôde notar da curva semanal da Figura 04 é que a geração de material residual segue de forma constante, tendo pequenos picos nas últimas semanas de cada mês. Essa constância é positiva pelo fato que podemos admitir um consumo constante na produção.

3.2 Implantação da central de recuperação de polímeros

O primeiro passo para a reintegração de resíduos plásticos ao processo produtivo foi ativar a área da moagem. Dessa forma iniciou-se a instalação de uma central de moagem dentro da planta, composta por moinhos de facas, que estavam desativados.

Figura 04 – Área de Moagem



Fonte: Acervo do Autor

Etapa onde é preparada a matéria-prima para ser injetada. É realizada a mistura do material moído com o material virgem. Esta mistura é realizada de forma que os produtos a serem produzidos mantenham os padrões de qualidade exigidos. Os fornecedores da matéria-prima já especificam a quantidade máxima de material moído que deve ser misturado ao polímero virgem, que no caso do POM é de no máximo 30%.

3.3 Separação do material reciclado

Este processo foi implantado, pois quando o canal de injeção era vendido por completo, não se tinha a preocupação em separar os canais. Com o processo de reaproveitamento implantado é de fundamental importância que esta separação seja realizada, onde o custo adicional gerado por esta etapa é o da mão de obra do operador da injetora.

3.4 Qualidade do reciclado

Este processo foi implantado de modo a verificar a qualidade do canal, onde o operador do moinho realiza uma verificação no canal separado pelo operador e destina o canal com boa qualidade para ser moído e a de má qualidade para ser vendida. O custo adicional gerado por este processo é somente o custo do operador do moinho.

3.5 Processo de moagem

Este processo já era existente, porém estava desativado. Com o processo de reaproveitamento, adequações foram feitas, com posterior treinamento como os operadores. Sendo alocado como custo neste processo, a energia do moinho para trituração e mão-de-obra do operador.

3.6 Preparação do material

Este processo era utilizado somente para realizar a mistura de material virgem, onde sofreu adaptação para que fosse utilizado também a mistura entre material virgem e moído (reciclado), que passou a ter 20% de reciclado no material virgem. O custo gerado por este processo é somente do operador, pois a preparação é manual.

4 Resultado e discussões

a) Custo atual (utilizando matéria-prima reciclada comprada de terceiro)

- Custo da matéria-prima reciclada no mercado: R\$5,54/kg;
- Custo logístico (frete): R\$0,50/kg;
- Consumo médio de MP reciclada utilizado na peça estudada: 220kg/mês, temos:

$$(220) \times (5,54 + 0,50) = \text{R}\$1.328,80/\text{mês} = \text{R}\$15.954,60/\text{ano}$$

Custo anual
com a
compra de
MP Reciclado
de terceiros

b) Ganho com a venda da sucata plástica

- Preço de venda da sucata plástica: R\$0,70/kg;
- Geração média de sucata plástica: 250kg/mês:

$$(250) \times (0,70) = \text{R}\$175,00/\text{mês}$$

4.1 Viabilidade econômica

Tabela 2 – Custo do Processo de Reaproveitamento

Processo	Custo hora Operador a	Custo hora KW b	Consumo energia Kw/h	Horas/Kg	Custo total R\$
Separação do reciclado	R\$ 5,14	R\$ 0,3477	0	0,00833	0,04282
Qualidade do reciclado	R\$ 5,14	R\$ 0,3477	0	0,02	0,1028
Processo de moagem	R\$ 5,14	R\$ 0,3477	12,7	0,00555	0,0536
Preparação do material	R\$ 5,14	R\$ 0,3477	0	0,004	0,02056
					0,021923

a- Adota-se na Trauen MG um único custo hora operador para todos os processos

b- Média diária contando hora de ponta

Separação do reciclado	120kg/h
Qualidade do reciclado	50kg/h
Processo de moagem	180kg/h

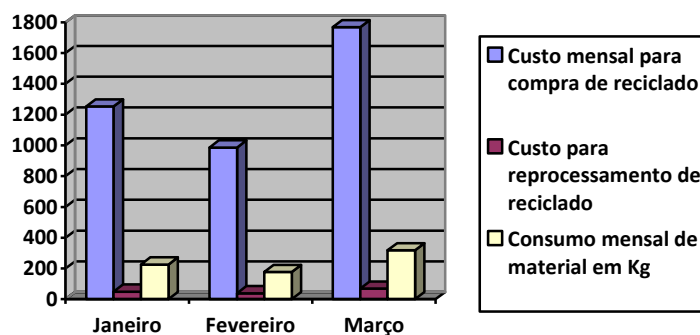
Preparação do material 250kg/h

Fonte: Elaborado pelo autor

Podemos verificar que o custo adicional gerado para realizar o reaproveitamento do canal de injeção fica em torno de R\$ 0,22 por quilograma.

Comparando com o custo de aquisição da matéria-prima reciclado (POM)) que é de R\$ 5,54, fica evidenciado que é totalmente viável o processo de reutilização, tendo assim uma redução de custo de R\$5,32 por quilograma reaproveitado, lembrando que, o estudo foi feito apenas de um item que utiliza esse material, na empresa existem vários produtos que utiliza a mesma matéria prima, o que futuramente poderá ser adaptado para as demais.

Figura5 - Comparativa entre reprocessamento e compra de reciclado 1º trimestre 2018



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 – Custos com a compra e reprocessamento

Período analisado	Consumo mensal	Custo de Compra	Total	Custo de reprocessar	Total
Janeiro	226 kg	R\$ 5,54	R\$ 1252,04	R\$ 0,22	R\$ 49,72
Fevereiro	178 kg	R\$ 5,54	R\$ 986,12	R\$ 0,22	R\$ 39,16
Março	319 kg	R\$ 5,54	R\$ 1767,26	R\$ 0,22	R\$ 70,18

Fonte: Elaborado pelo autor

5 Conclusão

A reciclagem de plástico pode reduzir o consumo de energia, o uso de combustíveis fósseis não renováveis, bem como as emissões globais de dióxido de carbono. O efeito do POM reciclado e do POM virgem na resistência à tração e rigidez foi estudado. As quantidades ótimas de componentes de mistura para produzir produtos plásticos reciclados são determinadas. Como resultado da experimentação sistemática, usando experimentos de mistura, a qualidade dos produtos de plástico reciclado pode ser melhorada e se torna mais robusta às variações nas configurações operacionais ideais. Os resultados provaram que o fabricante pode usar essas configurações de POM reciclado e POM virgem para produzir produtos de qualidade com baixo custo (a qualidade depende da fonte, pois algumas qualidades de conteúdo reciclado podem ser muito altas) e a redução do impacto ambiental.

O benefício final vem da descoberta de janelas operacionais que satisfazem todas as especificações do cliente de maneira mais econômica. A justificativa econômica é encabeçada por um designer que deseja otimizar seu material com reduzido impacto ambiental. Este estudo mostra que pode haver usos de resina reciclada fora de sua finalidade inicial, ganhando uma segunda vida como um novo material mecanicamente forte. Se isso for feito, você e sua empresa ganharão uma vantagem competitiva e gerarão grandes lucros.

Referências bibliográficas

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies (contemporary social research)**. 1st ed. London: Routledge, 1989.

CANEVAROLO Jr., S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**, Artliber, São Paulo, 2014.

CARASCHI, J. C., LEÃO, A. L., **Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos**. Acta Scientiarum Maringá, v. 24, n. 6, pp. 1599-1602, 2015.

Disponível em: <http://eduemojs.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/2462/1553>. Acesso em: abril de 2018.

CLEMONS, C.M., *Wood-Plastic Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries*, Forest Products Journal, pp. 10-18, June. 2014.

CORREA, C. A. et al. **Compósitos termoplásticos com madeira**, Polímeros - Ciência e Tecnologia, v.13, n.3, pp.154-165, 2013.

HILLIG, E. et. al. **Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade e serragem da indústria moveleira**, Revista Árvore, v.32, n.2, pp.299-310, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n2/a13v32n2.pdf>. Acesso em abril de 2018.

MONDARDO, F. H. **Compósitos de polipropileno e farinha de madeira**. Dissertação - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/27186>. Acesso em abril de 2018.

NEWELL, J. *Essentials of Modern materials Science and Engineering*, Hoboken: John Wiley and Sons Ltd, 2015. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27186/000763680.pdf?sequence=1>>. Acesso em abril de 2018.

OQUIST, P. **The epistemology of action research**. *Acta Sociologica*, v. 21, n. 2, p. 143-163, 1978.

SILVA, C. L. & MENDES, J. T. G. **Reflexões sobre o desenvolvimento sustentável**. Agentes e interações sob a ótica multidisciplinar. Editora Vozes. PETRÓPOLIS, 2015.