

Redução do impacto ambiental pela reciclagem de resíduos de polipropileno expandido na produção de autopeças

ENVIRONMENTAL IMPACT REDUCTION OF EXPANDED POLYPROPYLENE RECYCLE IN THE VEHICLE

SPARE PARTS

Sérgio Daniel Koleski
Seráfim Daniel Ballesterro
Programa de Mestrado em Ciências ambientais - UNITAU

RESUMO

A reciclagem dos resíduos oriundos do processo produtivo por meio do retorno ao próprio sistema de produção é uma técnica que gera ganho financeiro e ambiental, contribuindo para redução de custos industriais e do impacto ambiental. Este trabalho foi proposto com o objetivo de avaliar a quantidade do polipropileno expandido produzido com a reciclagem dos resíduos originários de seu próprio sistema de produção. Para tanto foram estabelecidos quatro tratamentos conduzidos com cinco repetições: T1 – 0%, T2 – 3%, T3 – 5% e T4 – 10% de resíduo reciclado na peça. A avaliação da quantidade dos produtos foi feita por meio das variações físicas referentes à densidade (g/cm^3); compressão a 25%, 50% e 75% de deformação (Kpa); rigidez a compressão (Kpa); variação dimensional a 100°C (%); absorção de água/1dia (%volume) e absorção de água/7dias (%volume) do material plástico utilizado na confecção das peças. Foi possível verificar que a reciclagem de até 3% de resíduos de polipropileno na confecção de peças proporcionou um aumento na quantidade física do material plástico, gerando um ganho ambiental com a redução da produção de resíduos e diminuição do volume do material destinado aos aterros, bem como um ganho financeiro com a redução no consumo de matéria prima.

PALAVRAS-CHAVE

Resíduos. Reciclagem. Polipropileno expandido. Plásticos.

INTRODUÇÃO

1.1– Produção e utilização dos plásticos

Os plásticos são materiais artificialmente produzidos que, devido à sua diversidade de características, possibilitam a fabricação de uma grande quantidade de produtos, com as mais diversas aplicações. São utilizados principalmente para substituir produtos originários de ligas metálicas e por consumir menos energia em seu processo de industrialização, em relação aos materiais que os substituem, proporcionam economia de energia e matéria-prima, contribuindo para a preservação ambiental. Em sua maioria possibilitam a reciclagem evitando deposição em aterros que evita a contaminação do Meio Ambiente (COMMONER, 1982).

O aumento do custo das resinas plásticas, pressionado pelas constantes flutuações do preço do petróleo no mercado internacional, tem estimulado as pesquisas em reciclagem de polímeros. Normalmente, o preço do plástico reciclado é 40% mais baixo do que o da resina virgem. Portanto, a substituição da resina virgem pela reciclada traz benefícios de redução de custo e aumento da competitividade, além de auxiliar na preservação ambiental (OLIVEIRA, 2006).

O descarte como sucata é geralmente a menos econômica das alternativas, uma vez que os preços oferecidos, via de regra, não fazem jus ao potencial desses materiais. Na maioria das vezes, o material pode ser reciclado ao processo, sem comprometer a qualidade do produto final e com efetivas reduções no custo de produção. A moagem e retorno ao processo produtivo representam, muitas vezes, uma importante redução no consumo unitário de matérias primas.

Entretanto pode algumas vezes acarretar problemas de qualidade no produto final, tais como: instabilidade do processo de moldagem devido à má homogeneização do material moído x "pellets" na alimentação das resinas; manchas e pontos pretos nas peças, devido à presença de finos e pó provenientes da moagem. (RAITEK, 2003).

A reciclagem dos resíduos plásticos oriundos do processo produtivo pelo retorno ao próprio sistema de produção é uma técnica que gera ganho financeiro e ambiental, contribuindo para redução de custos industriais (energias, utilidade, consumo de matéria-prima e mão de obra) e reduz o impacto ambiental, principalmente para o polipropileno que leva cerca de 240 anos para se degradar na natureza (RAITEK, 2003).

Este trabalho teve por objetivo pesquisar o reuso dos resíduos gerados no processo de produção de autopeças com o polipropileno expandido em misturas com a resina virgem. Para tanto foram propostas alterações no sistema industrial de produção do polipropileno expandido e das peças automotivas por meio da inclusão de diferentes porcentagens de resíduo à matéria-prima original.

1.2 - Propriedades físicas de polímeros e misturas termoplásticas

Embora uma grande quantidade de metais, polímeros, borrachas e outros tipos de materiais sejam utilizados na indústria automotiva, sob o ponto de vista da reciclagem, pode-se verificar que os polímeros são os materiais que apresentam propriedades mecânicas inferiores, quando reciclados. (OTHA, 2002).

A reciclagem é essencial para a reutilização dos recursos aplicados durante a vida útil de um automóvel e existe um crescente interesse da indústria automotiva nas atividades relacionadas à proteção ambiental. Dentre as peças automotivas, os pára-choques são relativamente fáceis de serem reciclados devido às suas dimensões e por constituírem, geralmente, de um único material, o polipropileno.

Quadro 1 – Propriedades físicas do EPP (Polipropileno expandido)

Tração (MPa)	Alongamento (%)	Absorção de água (%)	Compressão a 25% (MPa)	Compressão a 50% (MPa)	Compressão a 75% (MPa)
0,2	11%	3,9	0,30	0,39	0,43

Fonte: OHTA et al., (2002)

A maioria dos pára-choques, no entanto, é pintado para melhorar a sua aparência e a sua resistência ao ataque químico do ambiente (OTHA, 2002).

Pedaços de tinta se misturam aos produtos reciclados prejudicando as propriedades físicas, mecânicas e a qualidade superficial das peças. É prática comum, na indústria de fabricação de pára-choques, a utilização de uma porcentagem de até 10% de material reciclado, misturado ao virgem. Esse limite de reciclado é permitida pelos compradores que alegam não interferir nas propriedades mecânicas exigidas em normas específicas adotadas pelas empresas (DROSTE, 2004).

O EPP possui características e propriedades físicas que permitem a produção de peças em que é necessária resistência a impacto, moldando-se e absorvendo energia. Em função dessas propriedades, tem larga utilização na indústria de autopeças substituindo metais e outros tipos de plástico na produção de pára-choques, volantes, quebra-sóis, encostos de cabeças, etc. (CANEVAROLO, 2004).

Estudando a produção de peças automotivas com a utilização de EPP, Ohta et al., (2002) determinaram valores padrões de propriedades físicas para a utilização do EPP na produção de autopeças com uma densidade de 45g/L submetidas a esforços de compressão, tração, alongamento e absorção de água, estabelecendo os dados apresentados no Quadro 1. Os mesmos autores também confirmaram a inviabilidade de se produzir misturas do EPP com outros polímeros em função de sua incompatibilidade física. A única possibilidade de mistura de EPP é com o mesmo, material podendo-se utilizar resíduos gerados no processo de produção das autopeças.

Em pesquisa realizada com mistura de EPP espuma com EPP formatado, (pára-choques já utilizados) na proporção de 5% de resíduo, De Oliveira, (2006) encontrou valores das propriedades físicas do material apresentados no quadro 2.

Quadro 2 – Propriedades físicas do EPP (Polipropileno expandido) em mistura com 5% de EPP formatado (reciclagem de pára-choques).

Tração (MPa)	Alongamento (%)	Absorção de água (%)	Compressão a 25% (MPa)	Compressão a 50% (MPa)	Compressão a 75% (MPa)
0,43	9,6%	5,3	0,21	0,28	0,36

Fonte: Oliveira, (2006)

Estudando a mistura de PP com EPP, Muller (2004) observou que, apesar de serem compatíveis quimicamente, é impossível a formatação dessa mistura na produção de peças por ser o PP formado por células fechadas e o EPP, por células abertas com propriedades físicas incompatíveis.

(petróleo) de onde se produz a nafta que, em um processo físico-químico de craqueamento, origina compostos aromáticos (benzeno, tolueno e xilol) e oleofinas (etileno, butadieno e propileno). A polimerização do propileno (P) vai produzir o polipropileno (PP) que, por meio de reações físicas provocam a expansão do material, gerando o polipropileno expandido (EPP).

1.3 - Processo de produção, características e aplicações do Polipropileno Expandido (EPP)

A produção industrial do polipropileno expandido (figura 1) se inicia a partir da destilação do óleo cru

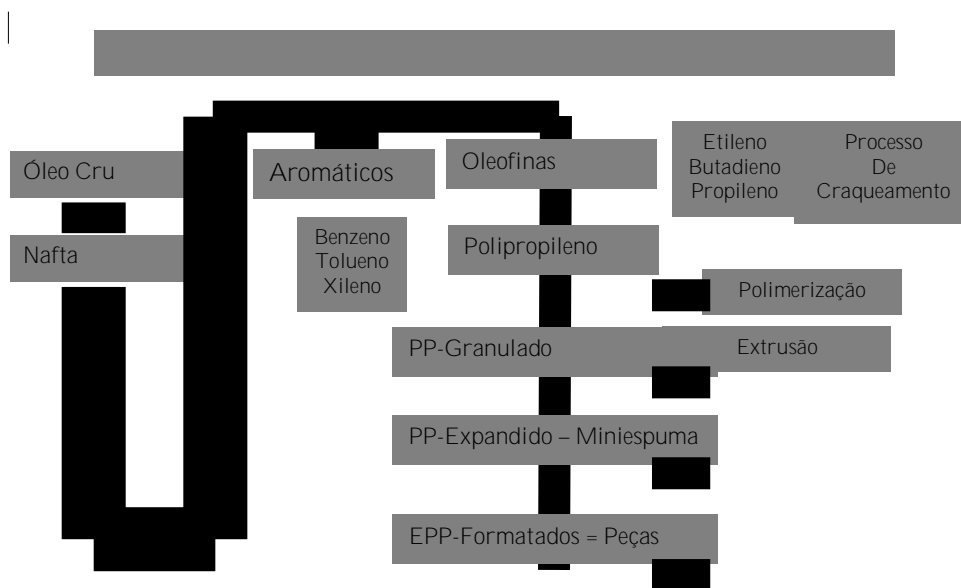


Figura 1 – Cadeia produtiva do polipropileno expandido. Fonte BASF (2003).

O polipropileno expandido é um tipo de termoplástico propileno (PP) que sofre uma reação de polimerização, transformando-se em polipropileno e a seguir, o processo de granulação por meio de uma reação física de alta pressão e temperatura, provocando a expansão do material plástico e gerando um material cujo estado se apresenta espumoso. Sua formulação química é $[-CH(CH_3)CH_2-]_n$, semelhante à do polipropileno comum. Existem duas formas de se produzir o polipropileno expandido: por extrusão e por impregnação

O método de extrusão promove a produção de miniespumas pelo aumento de pressão com a injeção de gás expensor no cilindro da máquina extrusora e da elevação da temperatura pela circulação de vapor por um sistema de serpentina que envolve o mesmo cilindro.

Essas ações promovem a expansão do polipropileno original, diminuindo sua densidade devido ao aumento de volume e gerando o polipropileno expandido em forma de filetes contínuos. Na saída da máquina é feita a redução em minicilindros, os quais servirão de matéria-prima para a confecção de autopeças por injeção.

O método de impregnação se baseia na utilização de uma autoclave em que é introduzido o polipropileno na forma de grânulos, sofrendo expansão, pela injeção de gás. A elevação da temperatura também é realizada para facilitar a penetração do gás e tornar mais eficiente o processo de expansão do polipropileno original.

Na comparação entre os métodos de produção do polipropileno expandido, verifica-se que no processo por extrusão a matéria-prima produzida não possui as mesmas qualidades técnicas, principalmente na deformação, exigidas para a absorção de impactos em relação ao processo por impregnação.

O material assim obtido é utilizado na produção de autopeças por um processo de injeção com máquina injetora, que possui uma câmara em que é colocada a miniespuma dessa matéria-prima. Por meio da elevação da temperatura e pressão com a utilização de vapor e ar comprimido, promove-se a passagem do vapor entre e no interior das miniespumas realizando a soldagem e moldagem da autopeça.

É um plástico de estrutura celular fechada encontrado na forma de pérolas ou perolizada e fornecido para o processamento nas densidades aparente a partir de 15 g/l, podendo chegar até 120 g/l, com isso a formação pode variar de 20 g/l a 130 g/l. Seu transporte, em geral, é feito a granel em caminhões de grande capacidade e

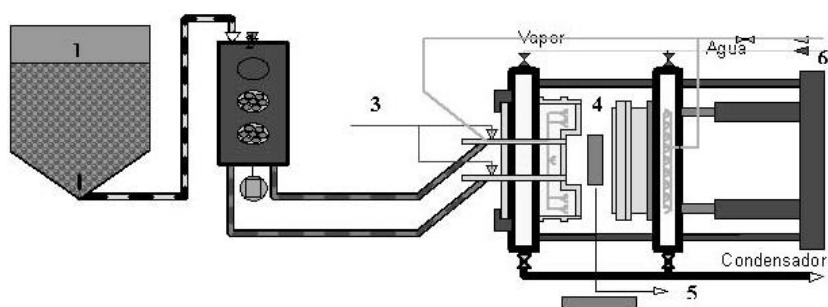
para sua armazenagem deve-se ter um silo com capacidade aproximada de 150 m³. Para se evitar abrasão, todas as superfícies que entram em contato com o produto devem ser lisas e não deve haver obstruções (ex. arestas nas juntas). Deve ser protegido tanto de intempéries (chuva, neve, gelo, luz direta) como de esforços mecânicos excessivos.

A utilização e o processo de produção do polipropileno expandido e injetado são ecologicamente corretos, pois não utilizam nenhum reagente químico.

As principais características deste material são a resistência a substâncias químicas e a óleos, possui excelente capacidade de absorver impacto e som e ótima resiliência. No Brasil, o polipropileno expandido está presente desde 1997, atuando na produção de autopeças para as indústrias automobilísticas e em embalagens industriais.

É caracterizado por possuir excelentes propriedades de acolchoamento, recuperação e alta absorção de energia. A resistência ao calor é boa, de fácil moldagem, totalmente inerte, atóxico e 100% reciclável.

Os objetos a serem produzidos com EPP são moldados em máquinas, chamadas de injetoras (figura 2), com câmaras de vapor projetadas para suportar uma pressão de pelo menos 5 bar. O processo é composto de cinco estágios.



- 1 – Silo de Armazenagem de produto (EPP + Reciclados)
- 2 – Tanque de Alimentação do produto Para Máquina
- 3 – Bico Injetor de Produto
- 4 – Molde de Formação
- 5 – Peça Formatada
- 6 – Câmara de Vaporização e Refrigeração

Figura 2 – Máquina injetora e ciclo de processamento do polipropileno expandido.

Estágio 1 - Enchimento do molde

As pérolas são introduzidas no molde por injetores de enchimento que são alimentados por um vaso pressurizado. Uma vez que o produto não possui agente de expansão, as pérolas devem ser comprimidas no molde. Isso pode ser feito de duas maneiras:

- Enchimento sob pressão - as pérolas são comprimidas no molde com ar comprimido até que a contra-pressão interrompa o fluxo;

- Enchimento crack-press - as pérolas são colocadas no molde ligeiramente aberto com baixa pressão, e então o molde é fechado comprimindo as pérolas.

- Pré-pressurização - A pré-pressurização aumenta a pressão do ar contido nas células das pérolas. Isso é feito deixando-se as pérolas sob a ação de ar comprimido e temperatura de 60° a 80°C por várias horas. As técnicas de enchimento descritas acima também são utilizadas com as pérolas pré-pressurizadas. A menor densidade do moldado que se pode atingir é um pouco maior que a densidade aparente do produto original.

Estágio 2 - Moldagem

As pérolas aprisionadas no molde são aquecidas com vapor, que provoca a soldagem delas. A pressão de entrada do vapor saturado deve ser em torno de 4.2 a 6,0 bar. A pressão máxima na câmara de vapor é de 3.2 - 5.0 bar.

Estágio 3 - Resfriamento

As peças moldadas são resfriadas até que não haja mais risco de inchaço e formação de rachaduras no momento do desmoldagem. O tempo depende da densidade e da espessura da parede do moldado.

Estágio 4 - Desmoldagem

A desmoldagem é feita com o auxílio de ejetores mecânicos ou ar comprimido, ou ainda, uma combinação dos dois.

Estágio 5 - Condicionamento

Dependendo da densidade do produto formatado, ele deverá ser condicionado por pelo menos 6 horas em ar quente (preferencialmente a 80°), para que recuperem parcialmente seus volumes e para que a água intersticial seja removida. Deve haver uma boa circulação de ar, por isso a estufa não deve ficar muito cheia. Normalmente abaixo de 40 g/l já é necessário esse condicionamento, acima dessa densidade, o produto poderá ser condicionado à temperatura ambiente.

O condicionamento não recupera totalmente o volume das peças para o tamanho do molde. A contração permanente esperada para o moldado é de 1,5 à 2,5 %. O nitrogênio está presente, em maior parte, na biosfera na forma de gás N₂ atmosférico. Esse reservatório é bem homogeneizado, com uma composição isotópica que é, essencialmente, constante a 0‰ (Figura 5). Por outro lado, pode ser encontrado um grande contraste nos valores isotópicos em lagos em que a produção primária é limitada por N (sem fracionamento do fitoplâncton) versus P (N abundante, na qual ocorre grande fracionamento durante a tomada de N pelo fitoplâncton). Em ambientes aquáticos, em que o **fitoplâncton tem valores de d¹⁵N** diferentes da vegetação terrestre, os isótopos de nitrogênio podem funcionar como marcadores para matéria orgânica de origem autóctone ou alóctone (PETERSON; FRY, 1987).

MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de se reduzir os resíduos de polipropileno expandido (Neopolen-BASF) originários do processo industrial de produção de autopeças foi apresentada a proposta de utilização de um moinho tipo faca em que os resíduos sofrem uma redução de tamanho por meio de um sistema uniforme de picotamento, obtendo-se grânulos plásticos com até 17 mm de diâmetro, correspondente ao diâmetro de abertura do bico injetor da máquina injetora utilizada na produção das peças.

O polipropileno expandido, obtido da moagem dos resíduos, foi adicionado à matéria-prima original de produção, em diferentes proporções, confeccionando peças que foram testadas quanto às características físicas relacionadas à resistência a fim de se determinar qual seria a melhor porcentagem do resíduo que poderia ser utilizado para a obtenção de peças com características de resistência semelhantes àquelas em que se utilizou somente a matéria-prima original e mantendo, dessa forma, a mesma qualidade do produto final.

Esse processo contribui para a redução de custos de fabricação, pois toda a matéria-prima utilizada pode ser transformada em peças.

A máquina injetora utilizada para a produção das autopeças com as miniespumas de polipropileno expandido possui uma câmara de moldagem com um volume de 81,6 l em que é adicionada a massa de 4.080,0g. A principal aplicação da produção de peças com essa máquina de injeção é para a confecção de pára-choques, cuja densidade é de 50 g/l.

Os testes de reciclagem foram realizados misturando-se diferentes porcentagens de resíduos, previamente moídos no moinho tipo "faca", com dimensões de até 17 mm de diâmetro.

Tratamentos-testes utilizados no estudo:

Tratamento 1 - Teste com 0% de material reciclado na peça.

Tratamento 2 - Teste com 3% de material reciclado na peça.

Tratamento 3 - Teste com 5% de material reciclado na peça.

Tratamento 4 - Teste com 10% de material reciclado na peça.

No tratamento com 0% não houve adição de resíduos, no de 3%, foram adicionados 122,4g de resíduo e 3.957,6g do polipropileno original, no de 5%, adicionaram-se 204,0g de resíduo e 3.876,0g de polipropileno original e no de 10%, adicionaram-se 408,0g do resíduo e 3.672,0g do produto original. Todos os tratamentos foram realizados com cinco repetições.

A mistura do resíduo com a matéria-prima, para todos os testes, foi feita por meio da homogeneização manual com 20 movimentos e mecânica, por turbilhonamento na máquina injetora.

Optou-se por utilizar essas porcentagens de materiais reciclados nas peças, porque o índice médio de resíduo gerado nas indústrias transformadora de EPP, é de 3%, e o índice médio de mistura nas mesmas indústrias é de 5%. A quarta hipótese (testes com 10%), foi uma

escolha aleatória, na tentativa de se determinar o máximo de mistura que poderia ser utilizada sem alterar os resultados finais da aplicação das peças.

A avaliação da qualidade dos produtos obtidos com a aplicação das hipóteses-tratamentos foi feita pelos parâmetros físicos referentes à densidade, utilizando-se amostras de peças com densidade de 50 g/l por ser a mais aplicada pelos transformadores de EPP, e os testes foram: resistência à tração; alongamento até ruptura; compressão a 25%, 50% e 75% de deformação (kPa); rigidez à compressão (kPa); absorção de água/1dia (%volume) e absorção de água/7dias (%volume) do material plástico utilizado na confecção das peças. Os dados das análises foram obtidos com a utilização de um dinamômetro eletrônico no laboratório Neopolen-BASF. A análise estatística foi feita com a aplicação dos testes de variância e Tukey de comparação de médias (GOMES, 1987) por meio do programa SANEST (SARRIÉS et al, 1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Avaliação da qualidade técnica

Observou-se no processo de reciclagem dos resíduos que, por serem extremamente leves no momento da fabricação das peças, as pérolas de polipropileno expandido do resíduo se misturaram com o produto normal e se situaram no centro das peças formatadas, não interferindo na soldagem, aparência e aplicação delas. (figura 3).

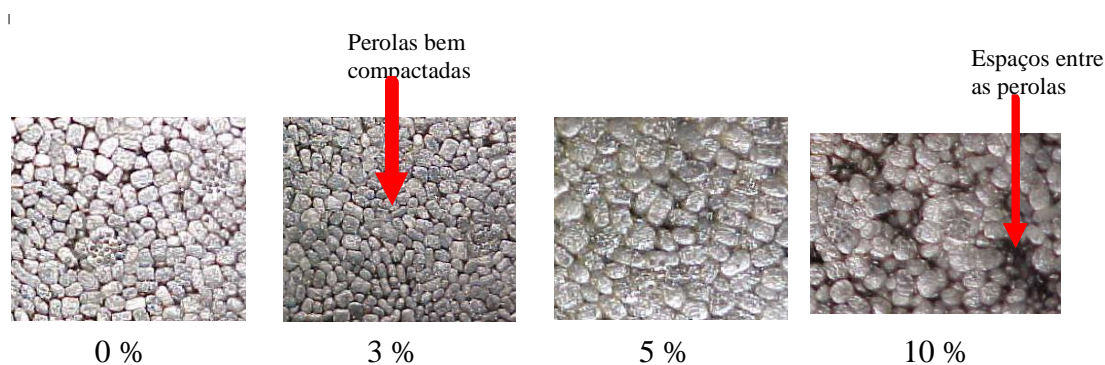


Figura 3 – Visão do arranjo das pérolas.

a) Avaliação da qualidade técnica dos parâmetros físicos da compressão a 25, 50 e 75% de deformação (kPa), para as diferentes misturas de material reciclado na peça.

Tabela 1 – Aplicação do teste Tukey de comparação de médias para as variações da compressão a 25, 50 e 75% de deformação em peças fabricadas com misturas de 3, 5 e 10% do resíduo.

Porcentagem de resíduos	Compressão a 25% de deformação (MPa)	Compressão a 50% de deformação (MPa)	Compressão a 75% de deformação (MPa)
0	0,29 A	0,47 A	0,85 A
3	0,29 A	0,4 7 ^a	0,85 A
5	0,28 B	0,46 B	0,81 B
10	0,28 B	0,46 B	0,81 B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade.

A análise do comportamento dos dados das variações de compressão a 25, 50 e 75% de deformação, (tabela 1) das peças produzidas com a reciclagem do resíduo de EPP gerados no processo de fabricação, foi feita com a aplicação do teste de variância e Tukey de comparação de médias a 1% de probabilidade. Demonstrou-se que a mistura de 0% foi a que apresentou a maior compressão a 25% de deformação e com valores próximos aos da mistura de 3% seguida da mistura de 10%, não diferindo, porém, estatisticamente entre si em nível de 1% de probabilidade. A mistura em que foram utilizados 5% de resíduo, na produção das peças, foi a que apresentou a menor compressão à deformação, diferindo estatisticamente das outras misturas testadas. Os índices obtidos para os valores de energia absorvida na compressão foram em média superiores aos dados obtidos por Oliveira, (2006), quadro 1 e próximos ao de Ohta et al., (2002), quadro 1, demonstrando a possibilidade de utilização de resíduo do processo de produção em mistura com a matéria prima original.

Na análise da variação da compressão a 50% de deformação, observou-se um comportamento semelhante à de 25% de deformação, diferindo somente para o fato de que a mistura com utilização de 3% de resíduo, na produção das peças, foi a que apresentou o maior valor. O estudo realizado com a variação da compressão a 75% de **deformação apresentou valores semelhantes para todas as misturas de resíduo utilizadas na produção de peças e não diferiram estatisticamente entre si.**

Podemos concluir, com relação ao comportamento de dados, que a mistura de 3% de resíduos, na produção de peças, foi a que apresentou os maiores valores de compressão para as diferentes deformações estudadas. Acima dessa mistura os valores tendem a decrescer.

b) Avaliação da qualidade técnica dos parâmetros físicos da resistência à tração (kPa), alongamento à ruptura (? e), resistência à compressão (kPa) e absorção de água em 7 dias (% volume) para as diferentes misturas de material reciclado na peça.

Tabela 2 – Aplicação do teste Tukey de comparação de médias para as variações da resistência à tração, alongamento à ruptura, rigidez à compressão e absorção de água (7 dias) para peças fabricadas com misturas de 3, 5 e 10% do resíduo.

Porcentagem de resíduos	Resistência à tração	Alongamento à ruptura	Resistência à compressão	Absorção de água (7 dias)
	(MPa)	(Å ç) (mm)	(MPa)	(% volume)
0	0,67 AB	18,00 AB	0,31 AB	4,43 A
3	0,71 A	18,20 A	0,32 A	4,56 A
5	0,62 B	16,40 B	0,30 B	4,60 A
10	0,62 B	16,20 B	0,31 AB	4,72 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade.

Da mesma forma que no estudo anterior a análise do comportamento dos dados das variações da resistência à tração, alongamento à ruptura, rigidez à compressão e absorção de água, (tabela 2) das peças produzidas com a reciclagem do resíduo de EPP, gerados no processo de fabricação, foi feita com a aplicação do teste de variância e Tukey de comparação de médias. As variações das propriedades físicas da resistência à tração, alongamento à ruptura, resistência à compressão e absorção de água do tratamento em que foram adicionados resíduos apresentaram resultados que demonstram boas qualidades à capacidade de suportar impactos conforme dados de DE OLIVEIRA, (2006), quadro 1 de OHTA et al., (2002).

A resistência à tração apresentou maior valor para a mistura de 3%, seguida da de 0%, com valores próximos, não diferindo estatisticamente entre si. As misturas de 5% e 10% apresentaram os menores valores e também não diferiram entre si. Para essa variável também ficou evidenciado o melhor resultado para a mistura de 3% de resíduo na produção de peças. Para o alongamento à ruptura também se observou que a mistura com 3% de resíduo na peça apresentou o maior valor, seguido da de 0%, não diferindo, porém, estatisticamente entre si. As de 5 e 10% tiveram os menores valores e não diferiram entre si. Semelhante ao comportamento da variável anterior, o alongamento à ruptura teve maior resultado para a mistura de 3% de resíduo na produção de peças.

Com relação à rigidez à compressão, observou-se maior valor também para a mistura de 3% de resíduo na peça, seguida da de 0%, não diferindo, porém, estatisticamente entre si. As misturas de 5 e 10% tiveram os menores valores, não diferiram estatisticamente entre si. Para essa variável também ficou evidenciado o melhor resultado para a mistura de 3% de resíduo na produção

de peças. Para o alongamento à ruptura também se observou que a mistura com 3% de resíduo na peça apresentou o maior valor, seguido da de 0%, não diferindo, porém, estatisticamente entre si. As de 5 e 10% tiveram os menores valores e não diferiram entre si. Semelhante ao comportamento da variável anterior, o alongamento à ruptura teve maior resultado para a mistura de 3% de resíduo na produção de peças.

Com relação à rigidez à compressão, observou-se maior valor também para a mistura de 3% de resíduo na peça, seguida da de 0%, não diferindo, porém, estatisticamente entre si. As misturas de 5 e 10% tiveram os menores valores, não diferiram estatisticamente entre si e demonstraram que comportamento dessa variável continua seguindo a tendência das anteriores apresentando melhor resultado para a mistura de 3% do resíduo na fabricação das peças. A análise do comportamento da variável absorção de água apresentou valores semelhantes entre as misturas testadas, demonstrando a não existência de uma variação estatisticamente significativa entre elas. Tal comportamento evidenciou que, para a absorção de água, não existe muita influência das porcentagens de reciclagem de resíduos.

3.2 – Avaliação financeira e ambiental

Comparando os resultados dos testes, as peças com 3% de material reciclado apresentaram resultados melhores, porém os resultados encontrados, até mesmo quando se adiciona 10% de material reciclado, são satisfatórios para as indústrias transformadoras e indústrias automobilísticas, principalmente nos testes de compressão, que é o teste mais realizado, uma vez que a maioria das peças é utilizada para absorção de impacto nos automóveis.

A capacidade mundial instalada de formatadores de Polipropileno Expandido é de 60.000.000 kg ou 60.000 Mg, com uma geração anual em média de 3% de resíduo, ou seja, 1.800.000 kg/ano de matéria-prima perdida nos processos de produção.

Com a técnica desenvolvida de reciclagem dos resíduos gerados pelos processos, podemos transformar o total desse percentual em produtos com as mesmas características de qualidade do processo original, isto é, totalmente comercializável, gerando economia de matéria-prima e lucro para a empresa, bem como evitar a contaminação do Meio Ambiente.

Ganho Ambiental:

- 1 kg de EPP possui um volume de 40 litros em média, portanto 1.800Mg de resíduos, ocupando um volume de 72.000 m³/ano de aterro sanitário industrial;
- Resistência à degradação: o EPP leva, em média, 240 anos para sua degradação na natureza;
- Descartabilidade – Custo elevado para incineração.

Ganho energético:

- Para a produção de 1 kg de EPP há o consumo de 83.00 MJoule/kg de energia. Em um consumo de 60.000Mg de produção anual de EPP, teremos um total de consumo de energia da ordem de 49,8.108 MJoule.
- Com a redução média de 3% de resíduos para 0%, resultará em um ganho energético de 1,494.108 MJoule, correspondente ao valor que a indústria deixa de consumir e, conseqüentemente, contribuir na redução do impacto ambiental com construção de hidrelétricas;
- O óleo cru (petróleo), que seria utilizado originalmente na cadeia de fabricação do EPP, poderá ser destinado às outras aplicações;
- O processo poderá ser utilizado na orientação ambiental às indústrias para atuarem com o programa de Atuação Responsável (Responsible Care - ABIQUIM/2001).

Ganho Financeiro:

- 1 Kg de EPP custa R\$ 14,00 em média, portanto 1.800Mg de EPP reciclado gera uma economia de recursos financeiros de R\$ 25.200.000,00/ano;
- O custo médio de incineração é de R\$ 3,00/Kg, portanto 1.800Mg de resíduo de EPP, gerando uma economia no aporte de R\$ 5.400.000,00/ano.

CONCLUSÃO

Após a realização de testes para a reciclagem de resíduos resultantes do processamento do polipropileno expandido na fabricação de peças automotivas, chegaram-se as seguintes conclusões:

- a) Tecnicamente é possível a utilização de misturas do resíduo de polipropileno expandido à matéria-prima na fabricação de peças, conservando-se suas qualidades físicas, até uma quantidade de 3%.
- b) A prática da reciclagem de resíduo de polipropileno expandido produz um ganho ambiental, quanto à economia de matéria-prima, referente a 1.800 Mg/ano e de volume a ser utilizado para sua disposição em aterros industriais de 72.000 m³/ano.
- c) Em relação ao total de polipropileno expandido produzido, a reciclagem do resíduo gera um ganho financeiro de R\$ 25.200.000,00.

ABSTRACT

The recycle of plastic residues from productive process through returning it to the proper system of production is a technique which generates financial profits as well as environmental benefits contributing to the reduction of industrial costs and environmental impact. This work was proposed in order to evaluate the quality of expanded polypropylene obtained from recycle of the original residues from its proper system of production. Therefore four treatments were established and carried out within five repetitions: T1 – 0%, T2 – 3%, T3 - % and T4 – 10% of recycled residue in the part. The evaluation of the product quality was made through physical alterations referring to density (g/cm³); compression 25%, 50% and 75% of deformation (Kpa); rigidity to the compression (Kpa); dimensional variation 100° C (%); absorption of water / 1day (% volume) and absorption of water / 7 days (% volume) of the plastic material utilized in the manufacturing of the parts. It was possible to verify that the recycle of up to 3% of polypropylene residues in the manufacturing of parts, provided an increase in the physical quantity of the plastic material, generating environmental benefits with the reduction of residue production and diminution of volume of the material destined to landfill and also a financial gain reducing the consumption of raw material.

KEY-WORDS

Recycle. Residues. Expanded polypropylene. Plastics

REFERÊNCIAS

- BERKSON, S.E. The Kevlar importance in automotive industries. Dupont Corporation. 1995.
- CANEVAROLO Jr., S. V., Técnicas de caracterização de polímeros. Artliber editora: São Paulo, 2004, 448p
- COMMONER, B. The plastic and the Environment. Ed. Willey & Sons. New York, 1982.
- DE OLIVEIRA, A. J. Caracterização Mecânica e Reológica de Polipropileno Reciclado para a Indústria Automotiva. Dissertação de mestrado. Engenharia Mecânica. PUC-PR., 2006, 96p.
- DROSTE, T., Estudo compara resultados de simulação reológica com os obtidos na injeção real. Plástico Industrial, Ano VI, 68: 34-43, abril, 2004.
- GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. 12ª. Ed. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP, 1987, p.18-40.
- JARVIK, R. Artificial heart: a health alternative. In: International Semminary Health Development. New York, 2000
- JEFFERS, G. Plastic decoration in American Homes. Bekerly University, California, 1973
- KATZ, S. Green plastics produced by vegetables materials. Wellman Incorporated, 1993. 43p.
- MARANHÃO, M. ISO Série 9000. Rio de Janeiro, 3ª ed., Ed. Qualitymark, 1996.
- MEIKLE, J. Plástico na América. Uma história cultural. 1983. Editora Nobel, São Paulo. SP
- MULLER, M.S. Propriedades mecânicas das misturas polipropileno/polietileno e polipropileno/polipropileno reciclado. Dissertação de mestrado, 2004, Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Paraná.
- NAITOV, M. Plastics Technology Magazine. 2002.
- NORLING, P. Plastic history. Research development Center. Dupont Corporation, 1997.
- OHTA, H., TOHNO, H., URUJI, T. Use of Recycled Plastic as Truck and Bus, Mitsubishi Motor Technical Review, 14:51-55, 2002.
- PLATT HALL, L. Curso de divulgação dos recipientes plásticos "tupper ware". Central de Divulgação Externa da Tupperware Corporation. 1972.
- SARRIÉS, G.A.; OLIVEIRA, J.C.V. & ALVES, M.C. Sistema de Análise Estatística. SANEST. Centro de Informática na Agricultura - CIAGRI. ESALQ-USP. Série Didática No 6, 1992.
- SCHIPPER, H. Plastic technology history. National Plastic Museum. 1993
- WALLNUTT, P. Plastic production in America. G.E. Plastic. 1976
- WISE, B. Sistema de venda direta ao consumidor. Central de Divulgação Externa da Tupperware Corporation. 1968. www.basf.com.br - Produção e processamento do polipropileno expandido. Site acessado em 13/07/03. www.fagerdala.com.br - Resenha histórica do plástico. Site acessado em 28/05/03 www.jorplast.com.br - MVC expôs tecnologia para componentes automotivos na Tecnoplast 2003. Site acessado em 17/07/03. www.philippine.com.br - Plásticos na produção de peças automotivas. Site acessado em 13/07/03. www.polibrasil.com.br - Processamento de polímeros. Site acessado em 28/05/03. www.raitek.com.br - Qualidade e Tecnologia em Serviços de Composição, Industrialização e Reciclagem de Plásticos de Engenharia. Site acessado em 26/07/03. www.raitek.com.br – Processos de valorização dos rejeitos. Site acessado em 26/07/03.

Sergio Daniel Koleski
Rua Augusto de Paula Arantes nº 47
Pedregulho
Guaratinguetá - SP
CEP - 12500-000
e-mail: sergio.koleski@basf.com

TRAMITAÇÃO

Artigo recebido em: 25/07/2006
Aceito para publicação em: 06/03/2008