

## **REPROCESSAMENTO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO EM POLIESTIRENO UTILIZANDO ENERGIA TÉRMICA E BAIXA PRESSÃO**

Emerson Figueiredo Guimarães<sup>1</sup>, Thiago Braz Pessoa<sup>1</sup>, Celso Carlino Maria Fornari Junior<sup>2</sup>

1- Acadêmico de Engenharia de Produção e Sistemas – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus-BA.  
golaefg@hotmail.com, thiago-epes@hotmail.com

2- Coordenador do LAPOS – Lab. De Polímeros e Sistemas – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus-BA. celso@uesc.br

### **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo viabilizar uma alternativa de reprocessamento do EPS (poliestireno expandido) através da sua reciclagem a baixa pressão usando como fonte energética o calor oriundo do gás liquefeito. A meta deste projeto é alcançar no PS (poliestireno) reciclado propriedades físicas e mecânicas que se aproximem ao máximo as propriedades do PS virgem. É abordada uma nova técnica de reaproveitamento do EPS transformando-o em PS. Este processo permite que seja reduzido em aproximadamente 95% o volume inicial do EPS. O rendimento deste novo processo de reciclagem varia entre 99 á 93% de eficiência em massa do polímero, tendo uma relação direta com o tempo e a temperatura de processamento. É feita relação de consumo de combustível e produção de PS reciclado a partir do EPS, além do perfil de aquecimento do reator em função do tempo.

### **1 Introdução**

A produção de materiais e bens de consumo tem se multiplicado nos últimos anos, trazendo a preocupação ecológica com o descarte e reciclagem destes materiais. Segundo Ribas (2007), a preocupação em preservar o meio ambiente iniciou-se na década de 80, e principalmente tornou-se mais visível nos anos 90, seja porque realmente houve conscientização na preservação, seja pelo marketing ecológico que muitas empresas passaram a realizar para ganhar credibilidade de seus clientes. Embalagens de vários materiais têm encontrado lugar na indústria quando reprocessadas e misturadas a materiais virgens para confecção de novos produtos. Um exemplo clássico é a reciclagem de garrafas PET, que podem ser reprocessadas após moagem ou micronização, dando origem a artefatos termoplásticos dos mais diversos tipos. Segundo Guelbert et al (2007), para as empresas que utilizam matéria-prima reciclado na composição de outros produtos, a facilidade de serem processadas e o baixo custo viabilizam a utilização das matérias-primas recicladas. Entretanto alguns materiais têm encontrado dificuldade em serem incorporados novamente no ciclo produtivo, como é o caso de embalagens laminadas, plásticos metalizados, poliestireno expandido (EPS) entre outros.

O EPS por apresentar uma baixa densidade apresenta grandes dificuldades de ser reprocessado em equipamentos convencionais, pois ocupa grande volume e pequena quantidade mássica, inviabilizando economicamente a produção de artefatos. Dados da Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX) apontam que a produção de EPS em todo o mundo no ano de 2000 foi da ordem de 2,95 milhões de toneladas

que trata-se de um fator preocupante para o meio ambiente devido ao grande volume que o EPS ocupa.

A expansão do poliestireno é conseguida utilizando-se isômeros de pentano como agente expensor que fazem com que haja um aumento em torno de 98% do seu volume inicial. Porém a utilização de hidrocarbonetos voláteis no processo de expansão do EPS contribui para impactos ambientais e possíveis riscos de incêndios. De acordo com Neves (2002) existem pesquisas que tem como objetivo substituir o pentano por outros produtos como, por exemplo, a água, para a produção do Water Expandable Polystyrene W(EPS). Para o processamento de artefatos de EPS, a matéria-prima é inicialmente aquecida no interior de uma matriz, tomando sua forma por aumento de volume proporcionado pelo aquecimento e amolecimento do poliestireno e vaporização do pentano. Isto resulta em um plástico poroso, multicelular, com baixa densidade e relativa resistência mecânica. De acordo com a Associação Industrial do Poliestireno Expandido (ACEPE), os valores da resistência mecânica do EPS estão relacionados com a massa volumétrica do EPS. No processo de compactação ou compressão mecânica o EPS comporta-se de forma elástica até a deformação atingir cerca de 2% da espessura da placa. Devido as suas propriedades mecânicas, processamento e o seu baixo custo, o EPS é muito utilizado em embalagens de proteção de utensílios diversos além do acondicionamento para alimentos, Oliveira (2006) apud (SARANTÓPOULOS 1995).

De acordo com Tessari & Rocha não há muitas alternativas de reproprocessamento para este material, sendo o descarte uma solução comumente adotada.

Alguns estudos apontam para a reciclagem do EPS através de solubilização por solvente como é o caso da patente N°. 5.891.403 de 6 de Abril de 1999 que apresenta um aparelho portátil com um sistema utilizando percloroetileno capaz de reduzir o volume de EPS. Entre vários estudos, existe também o seu reaproveitamento na indústria da construção civil.

O maior problema relacionado ao descarte do poliestireno expandido (EPS) conhecido como isopor é o fato deste necessitar de um longo tempo de degradação além do volume que ocupa. Segundo dados da Folha de Londrina (2005), os plásticos em geral demoram cerca de 450 anos para serem decompostos naturalmente. Outro fator preocupante é o grande volume ocupado pelo EPS, ocasionando poluição visual e também possíveis superlotações dos lixões e aterros sanitários, onde no Brasil segundo Oliveira 2002 apud (Calderoni 1999) aproximadamente 20% destes é ocupado por material termoplástico.

Neste trabalho foi avaliado uma alternativa de transformação do EPS de modo a aumentar sua densidade possibilitando a sua utilização em equipamentos convencionais de processo, como extrusão, sopro e injeção. O processo realizado a pressão atmosférica, permite transformar o EPS em poliestireno com densidade muito próxima ao poliestireno virgem e com pequenas perdas de suas propriedades.

## **2 Materiais e métodos**

Para a determinação da densidade do PS reciclado foram utilizados uma balança Bel Bioprecisa, modelo JH 2102, e o picnômetro de laboratório. Inicialmente foram colhidas 10 amostras (PS reciclado), as quais foram pesadas e anotadas as massas de cada amostra. Posteriormente, o picnômetro foi preenchido com água até apontar a marca zero no bastão do picnômetro. Logo após, cada amostra de PS reciclado foi introduzida no picnômetro e foi anotado o volume de água deslocada por cada uma. Portanto, através da relação massa/volume foi possível determinar a densidade do PS

reciclado e compará-la ao do PS virgem. Para conferir maior confiabilidade aos resultados, foram feitos os cálculos para a incerteza da massa e do volume e também a propagação de incertezas para a densidade já que esta propriedade foi encontrada através de uma relação matemática e que, portanto, neste caso, trata-se de uma grandeza derivada. Estudos desenvolvidos por Caraschi e Leão (2002) a respeito das propriedades dos plásticos reciclados apresentaram também um resultado a respeito da densidade do PS que foi de  $1,01 \text{ g/cm}^3$ . A densidade do PS comercial apresenta valores entre  $1,04$  e  $1,09 \text{ g/cm}^3$ . Estes resultados serviram como parâmetros comparativos para o estudo em questão. A fim de fazer um estudo a respeito do consumo de combustível para o processo foi ensaiado o perfil de aquecimento, com um termômetro de mercúrio graduação máximo de  $300^\circ\text{C}$ , de um reator em aço inox especialmente idealizado para a reciclagem de Isopor® (EPS) e termoplásticos. O reator foi especialmente desenvolvido para o estudo da reciclagem do EPS e tem tamanho ideal para o trabalho em laboratório. O perfil de aquecimento do reator auxiliou na determinação de parâmetros para todo o processo de reciclagem de EPS.

Para a determinação da diferença de volume entre o PS reciclado e o EPS, foi extraído um cubo de EPS de forma que seu volume pode ser determinado através de um paquímetro digital de marca Mitutoyo e modelo Digimatic Caliper. Após o cubo de EPS foi processado no reator e o produto desse processo teve seu volume mensurado no picnômetro.

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Densidade do PS reciclado.

Para a determinação da densidade do PS reciclado foram utilizadas dez amostras. Inicialmente foram medidas as massas do material reciclado. O volume das amostras foi determinado utilizando-se o picnômetro. Utilizando a relação massa/volume, encontrou-se o valor para a densidade do PS reciclado. Foi calculada a propagação de incerteza através de derivadas parciais, visto que trata-se de uma grandeza derivada. O valor médio da densidade do PS reciclado a partir do EPS e a respectiva variação estão apresentados na tabela 1.

Para o cálculo da média foi utilizado a fórmula de média aritmética a seguir descrita.

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

Onde o N é o número de medições feitas.

Para o cálculo do desvio padrão foi usada a fórmula a seguir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

Sendo  $y_i$  cada medida de densidade realizada.

Tabela 1: Densidade média e respectivo desvio padrão do PS reciclado a partir do EPS.

Densidade média	Incerteza padrão
0,97 g/cm <sup>3</sup>	0,14

A densidade média das amostras ficou 9% abaixo do PS comercial e 4% acima do PS reciclado no estudo de Caraschi e Leão. Foi observada também a diferença de volume entre o EPS e o PS reciclado. A tabela a seguir mostra o volume dos dois materiais em análise.

Tabela 2 – Volume do EPS e do PS reciclado

Volume do EPS	Volume do PS reciclado
12,47 cm <sup>3</sup>	0,41 cm <sup>3</sup>

Ao analisar os dados experimentais observa-se uma redução do PS para 3,28% do valor original do EPS alcançando-se uma diminuição de 96,72% do valor original.

A diminuição acentuada de volume em relação ao material expandido aponta para uma perspectiva positiva neste processo de reaproveitamento. Por outro lado a densidade próxima aos valores comerciais possibilita o seu reprocessamento em processos convencionais.

### 3.2 Perfil de aquecimento do reator de reciclagem de EPS.

No desenvolvimento do processo de reciclagem de EPS, um reator foi especialmente desenvolvido. Este reator, fabricado em aço inoxidável, consiste em dois vasos concêntricos separados por um material de baixa condutividade térmica e possui moderado controle de temperatura. É importante que a fonte de calor seja de forma mais uniforme possível evitando que o material no interior do reator entre em contato direto com a fonte de calor e degrade por temperatura elevada. A fim de avaliar o perfil de aquecimento do reator foram feitos quatro experimentos com o reator vazio acompanhando o comportamento do processo. O tempo total de aquecimento durou em média 35 minutos para aquecer o reator até a temperatura de 200°C. A cada cinco minutos eram anotadas as temperaturas as quais o reator se encontrava. Para conferir maior confiabilidade aos resultados foi feito um controle na abertura válvula de gás combustível, fazendo com que a vazão de gás não variasse de forma significativa em cada experimento. Para determinar o consumo de gás do processo, o botijão de gás era pesado antes e depois de cada experimento e anotadas a massa de gás que havia sido consumida. Na tabela abaixo estão apresentados os resultados para o perfil de aquecimento do reator. O resultados demonstram que a cada experimento realizado os tempos medidos em relação as temperaturas do processo encontram-se próximas umas das outras, determinando o perfil de aquecimento do reator. É importante ressaltar que qualquer variação de temperatura no ambiente afeta diretamente os resultados do processo. Isto foi constatado experimentalmente em diferentes condições climáticas quando o experimento foi realizado ao ar livre. No experimento 2, em um dia mais quente cuja temperatura inicial estava um grau maior que nos demais dias, foram notadas algumas variações das temperaturas a cada cinco minutos.

Tabela 2: Temperaturas (E) do reator em intervalos de cinco minutos dos experimentos e suas respectivas médias.

TEMPO (min)	E1 (°C)	E2 (°C)	E3 (°C)	E4 (°C)	Média das Temperaturas (°C)
0	28	29	27	28	28
5	35	36	32	33	34
10	51	62	55	53	55,25
15	85	97	88	81	87,75
20	110	131	124	99	116
25	154	160	150	144	152
30	170	183	177	173	175,75
35	200	200	200	200	200

Um gráfico da temperatura de aquecimento do reator pelo tempo de aquecimento foi confeccionado. O gráfico demonstra como se comporta o aquecimento do reator a medida que o tempo do processo varia. Para a confecção do gráfico foram utilizadas as médias dos resultados, tanto para a temperatura como para o tempo de processo. Através do perfil da figura 1 pode-se observar que o aquecimento do reator mostrou um comportamento linear com o tempo

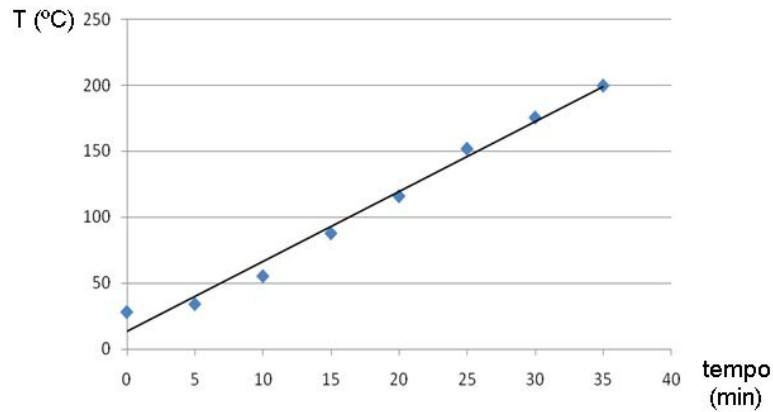


Figura 1: Perfil da temperatura média em função do tempo que aquecimento do reator vazio.

O consumo de gás também foi avaliado no processo de aquecimento do reator. O valor total de consumo de gás representa a quantidade necessária para aquecimento até 200 °C do reator. Os resultados estão próximos uns aos outros e são apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Consumo de gás em cada experimento

	E1	E2	E3	E4
CONSUMO DE GÁS	250g	250g	210g	212g

A média do consumo e respectiva incerteza padrão estão apresentados na tabela 4. Para esses cálculos foram usadas as fórmulas de média aritmética e de incerteza padrão como mostrada a seguir:

$$\sigma_p^2 = \sigma_m^2 + \sigma_r^2$$

Onde:

$$\sigma_r = \sigma_B \simeq \frac{L_r}{2}$$

$L_r$  é a resolução do aparelho usado para obter a medida. Sabendo também que  $\sigma_m$  é o desvio padrão do valor médio definido pela equação a seguir.

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Tabela 4: Média do consumo de gás com sua respectiva incerteza padrão.

**Média do Consumo de gás**

$(230,50 \pm 11,26)g$

O processamento de EPS pelo processo desenvolvido demonstrou que após uma hora de trabalho nas condições experimentais já mencionadas, atingimos a quantidade de 2,2 Kg de PS reciclado. Pelas características do reator a reciclagem do poliestireno exige o equivalente a 0,19 Kg de gás / Kg de PS.

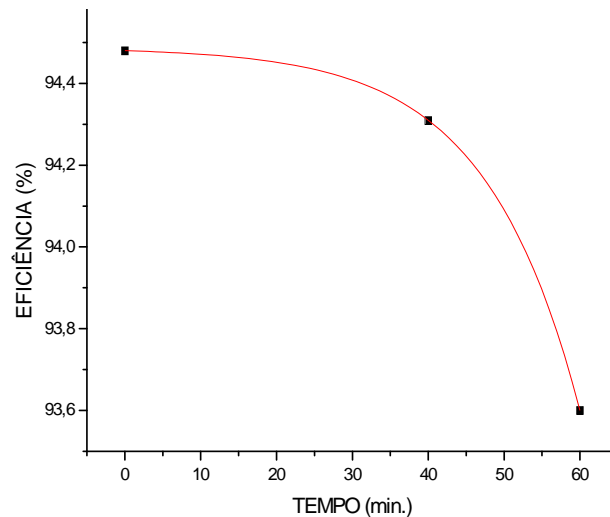


Figura 2: Comparação entre a eficiência a 280°C, em tempos diferentes de processo.

Foi também observada a eficiência do rendimento da reciclagem em função do tempo de permanência no reator na temperatura de 280 °C. No ensaio com o tempo de permanência zero minuto, o PS ao atingir 280° C foi retirado imediatamente da fonte de aquecimento. Observou-se para este ensaio uma eficiência de aproximadamente 94,50 % no rendimento. O EPS foi mantido nas mesmas condições de temperatura por um período de 40 minutos, ao final do qual foi avaliado o rendimento do processo de reciclagem. As medidas mostraram um rendimento em torno de 94,3 %. No ensaio cujo tempo de permanência foi de 60 minutos, o PS apresentou um rendimento de aproximadamente 93,6 %. Os resultados mostraram que o tempo de permanência na temperatura de 280 °C influencia no rendimento do material reciclado. Experimentalmente observou-se que do reator desprendiam-se fumos tanto mais quanto maior era o tempo de permanência na temperatura de 280 °C.

Observa-se que o rendimento diminuiu em torno de 1% quando o tempo de permanência passou de 0 minuto para 60 minutos. Este resultado demonstra uma pequena queda no rendimento da reciclagem do EPS, pelo método desenvolvido neste trabalho. Ao mesmo tempo demonstra que a temperatura de 280 °C não afeta suficientemente a degradação mássica do polímero. Esta degradação ocorre provavelmente por causa da agitação que a energia térmica causa às moléculas do polímero. A adição da temperatura aumenta a entropia da massa polimérica, induzindo a uma pequena perda ou degradação do seu peso molecular. A pequena perda por degradação observada neste processo é devida à energia térmica que foi utilizada e a associação com o oxigênio atmosférico, excluindo outra forma de energia como, por exemplo, cisalhamento mecânico.

Observar o rendimento é de grande importância para o processo de reciclagem, porém a qualidade e a coloração do material reciclado também devem ser levadas em consideração, pois deverão apresentar as máximas propriedades originais para retornar ao ciclo produtivo de processamento. A partir de 250° C os ensaios mostraram certo amarelado no material reciclado, semelhantemente a um material ligeiramente queimado. Esta observação induz a acreditar que a temperaturas superiores a 250°C o PS inicia uma degradação mais agressiva, observada pela coloração mais forte que apresentaram as amostras recicladas.

Nos três tempos de ensaios realizados a 280°C a observação da coloração se tornou bastante evidente. Para o tempo 0, a coloração da amostra foi um marrom claro, ao passo que para os tempo de 40 e 60 minutos a coloração mostrou um marrom bastantes escurecido. A figura 3 apresenta as diferenças que ocorrem nas colorações das amostras que foram submetidas aos ensaios de degradação em função do tempo à temperatura de 280 °C.

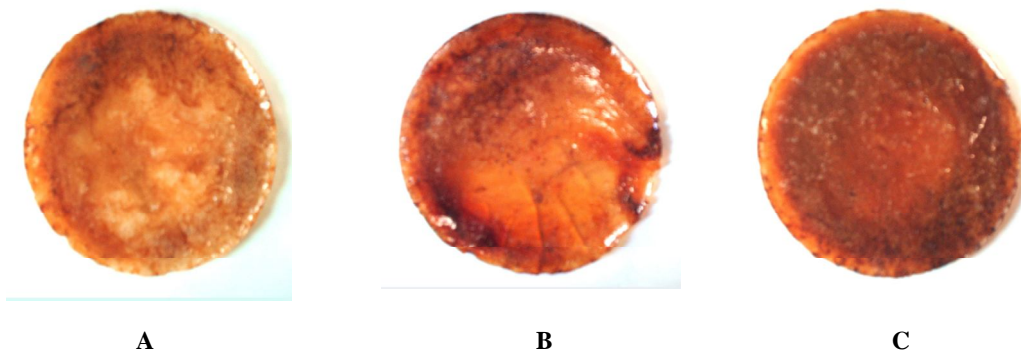


Figura 3: Amostras de PS confeccionadas a partir do EPS à temperatura de 280 °C com tempos de permanência nesta temperatura de a) 0 minutos, b) 40 minutos e c) 60 minutos

Foi também observado nesses ensaios a eficiência do processo em função do aumento da temperatura. Estes resultados estão apresentados na figura 4. O experimento realizado a 230 °C apresentou um rendimento elevado de 98,6 % porém o experimento realizado a 240° C apresentou um rendimento de 99 % de eficiência. O mesmo fato ocorreu com os experimentos realizados a 250 e 260° C. A 250°C o processo apresentou um rendimento próximo a 97,5 %, rendimento abaixo do experimento realizado a 260°C que apresentou rendimento em torno de 98 %. No gráfico a melhor curva ajustada mostra que o rendimento é decrescente com o aumento da temperatura. Nos experimentos realizados a 270, 280 e 290°C foi notado um decréscimo ainda maior no rendimento do processo de reciclagem, provavelmente em função do maior aumento da temperatura de processamento. A 270° C o rendimento foi de 95,7 % porém no experimento a 280° C o rendimento esteve em torno de 95 % e a 290° C constatou-se um rendimento de processo inferior a 93 %.

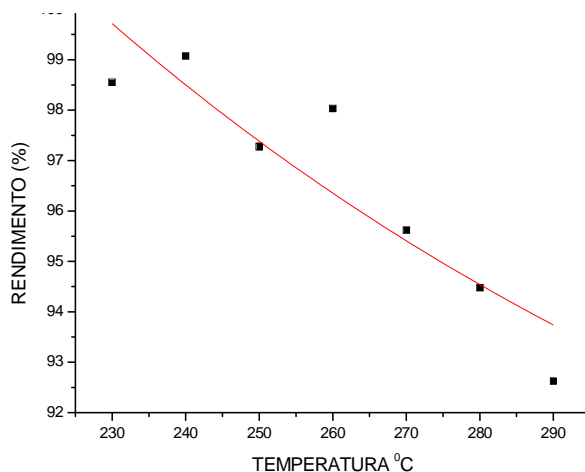


Figura 2: Relação entre a temperatura e o rendimento do processo

## 5 Conclusão

O processo de reciclagem desenvolvido para o EPS apresenta o consumo de 0,19 Kg de gás / Kg de poliestireno reciclado a partir do poliestireno expandido. O processamento deste material não exige técnica especializada, sendo o modo de operação do reator relativamente simples. Este processo permite que o EPS seja transformado em PS com uma redução maior que 95% do seu volume original, alcançando um valor de densidade muito próximo ao PS utilizado pela indústria de transformação. O tempo de exposição do EPS à temperatura de 280 °C demonstrou que ocorre uma perda de massa do PS reciclado quando o material ficou 40 e 60 minutos no interior do reator. O desenvolvimento do reator e do perfil de aquecimento foi importante visto que a definição dos parâmetros de processamento pôde evitar consumo excessivo de gás e também degradação das propriedades físico-químicas do PS reciclado.



## 6 Referências Bibliográficas

RIBAS, Fabrizzio F., **RECICLAGEM DE LIXO – UMA QUESTÃO DE SUSTENTABILIDADE**. Revista Científica. Ano I Vol. 01 N° 02 – janeiro-junho/2007.

GUELBERT, Tanatiana F; GUELBERT, M; CORREA, M; LESZCZYNSKI, Sonia Ana C; GUERRA, José Carlos C. **A EMBALAGEM PET E A RECICLAGEM: UMA VISÃO ECONÔMICA SUSTENTÁVEL PARA O PLANETA**. Enegep 2007.

NEVES, Carlos H., **ESTUDO DO PROCESSO PRODUTIVO DO POLIESTIRENO UTILIZANDO ÁGUA COMO AGENTE DE EXPANSÃO FÍSICA**. UFSC. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. (2002).

TESSARI, Janaina., ROCHA, Janaíde C. **UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO E POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE SEUS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Desempenho de Sistemas Construtivos. Chapecó (SC) 2006.

OLIVEIRA Patrícia F., **RECICLAGEM DE EMBALAGENS DE ALIMENTOS PRODUZIDAS A PARTIR DE POLIESTIRENO EXTRUSADO PÓS-CONSUMO**. (UFSC) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. (2006).

CARASCHI, José C., LEÃO, Alcides L., **Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos**. Acta Scientiarum. Maringá, v. 24, n. 6, p. 1599-1602, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). Mercado de EPS. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (ACEPE). Disponível em: <http://www.acepe.com.br>. Acesso em: 15 mar, 2009.

**JORNAL Folha de Londrina**. *Cidades precisam estimular reciclagem do lixo*. 26 jul. 2005.