

**ESTUDO ENERGÉTICO E ECONÔMICO APLICADO A UM PROCESSO
DE RECICLAGEM DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ISOPOR)****Zilmara Volpe Grote**

UNESP Campus de Guaratinguetá - Departamento de Energia - Av. Ariberto Pereira da Cunha,333 – CEP: 12516-410 -
Guaratinguetá, SP, Brasil
[e-mail: zilmara@feg.unesp.br](mailto:zilmara@feg.unesp.br)

José Luz Silveira

UNESP Campus de Guaratinguetá - Departamento de Energia - Av. Ariberto Pereira da Cunha,333 – CEP: 12516-410 -
Guaratinguetá, SP, Brasil
[e-mail: joseluz@feg.unesp.br](mailto:joseluz@feg.unesp.br)

Resumo: *O aproveitamento dos rejeitos de Isopor (materiais a base de poliestireno expandido) que hoje em dia são descartados por fábricas, setores comerciais e residenciais, podem vir a contribuir na redução dos consumos energéticos primários (combustível, eletricidade) e na redução da poluição ambiental. Deste modo, realiza-se, neste trabalho, estudos energéticos e exergéticos associados a um processo de reciclagem de resíduos de Isopor, considerando diversas aplicações e dados reais de uma indústria. A análise consiste em verificar a relação do benefício da reciclagem considerando a produção de materiais moldados com os rejeitos (reciclando-os) e materiais moldados com matéria prima nova (virgem). Descreve-se soluções para o uso final dos materiais rejeitados, reciclando-os e adequando-os a suas novas aplicações, considerando suas qualidades e suas propriedades. Conclui-se com a análise de 1ª Lei da Termodinâmica e econômica, comparando os processos de fabricação de blocos de EPS com e sem reciclagem e seus custos associados.*

Palavras chave: *reciclagem de EPS, poliestireno expandido, análise termodinâmica, análise econômica*

1. Introdução

Na busca de novos métodos e materiais alternativos mais eficientes, justificados pela necessidade da redução de custos e aumento de competitividade da indústria, a reciclagem de materiais que são rejeitados (resíduos de processos que usam materiais a base de poliestireno expandido) vem a contribuir com essas necessidades de mercado e consequentemente ajudar no desenvolvimento do país.

Esta contribuição ocorre evitando o mau uso dos resíduos, que atualmente são depositados em aterros sanitários ou lixões sem nenhum controle, e que devido ao grande volume ocupado e a dificuldade de se evitar que esses se espalhem por ação eólica, causam danos ao meio ambiente. Outro aspecto é o gasto com energia associado ao processo de fabricação de poliestireno expandido (Isopor), que no caso da reciclagem, pode permitir redução de insumo (eletricidade, combustível, etc.) já que várias etapas iniciais da fabricação da matéria prima virgem podem ser eliminadas. Deve-se considerar que o poliestireno expandido é obtido a partir do petróleo, que é um recurso mineral natural esgotável, e sua reciclagem implica em uma melhor utilização deste insumo energético.

Assim, o objetivo desse trabalho consiste em comparar energeticamente e economicamente a reciclagem de materiais a base de poliestireno expandido em relação a processos utilizando matéria prima virgem, de modo a traduzir os resultados dos benefícios da reciclagem, incorporando unicamente os fatores associados a energia e custos, complementando os trabalhos desenvolvidos anteriormente (Grote & Silveira, 2000)

2. Poliestireno Expandido – Isopor**2.1. Aplicações dos materiais a base de poliestireno expandido**

O poliestireno expandido tem como sigla internacional o EPS e o nome ISOPOR é uma marca registrada. De acordo com a norma ISO-1043/78, esse material é identificado como celular rígido, resultante da polimerização do estireno (um derivado de petróleo) em água e pertencendo ao grupo dos termoplásticos (Technical Information, 1992).

O EPS é composto de 98% de ar e 2% de matéria prima (em massa), que desde a sua criação, aproximadamente a 50 anos atrás, tem sido amplamente aplicado de diversas formas como embalagens industriais, conservação de produtos alimentícios, proteção de equipamentos, artigos de consumo, materiais para construção civil, isolante térmico, aplicação em processos de fundição de blocos de motores na indústria automobilística, etc. (Silveira et al, 1998).

A seguir é detalhada algumas aplicações na construção civil, baseados nos manuais técnicos da Central EPS – Tecnologia e Serviços (sd):

- Caixão Perdido e Formas para concreto;
- Isolamento Térmico de Lajes Impermeabilizadas;
- Isolamento Térmico de Dutos de Ar Condicionado;
- Drenagem em Muro de Arrimo;
- Forros Isolantes e Decorativos;
- Isolamento Térmico de Telhados;
- Pisos Compostos;
- Concreto Leve;
- Painéis Divisórios;
- Juntas de Dilatação;
- Fundação para Estradas;
- etc.

A produção mundial de poliestireno expandido, de acordo com Franca et al (1997), era de aproximadamente 2 milhões de toneladas anuais e no Brasil o segmento que mais consome é o de embalagens com 50% da produção total, seguido da construção civil com 35%, e utilidades domésticas com 15%.

Os dados de um artigo do Grupo Polimex (1997) com o nome de “Reciclabilidade y Ecologia”, mostram que o EPS é um material inerte quimicamente, não é biodegradável, isto é, não se decompõe, não se desintegra, não desaparece no ambiente e não contém CFC; com isso não contamina quimicamente o solo, a água ou o ar, mas constitui de um problema ambiental se não reciclado pois é um material considerado eterno e ocupa muito espaço devido a sua baixa densidade, causando problemas nos lixões ou aterros sanitários municipais como já mencionado.

2.2. O processo de fabricação do EPS

A Fig. (1) ilustra o processo de fabricação da matéria prima e a Fig. (2) mostra o processo de fabricação para o processo de transformação da matéria prima em artigos finais conforme a utilização.

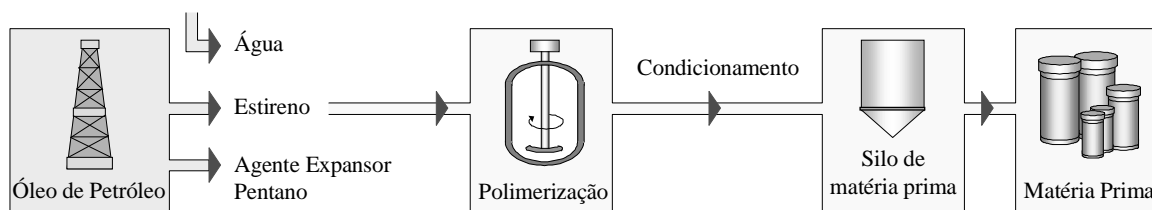


Figura 1. Processo de fabricação da matéria prima de poliestireno

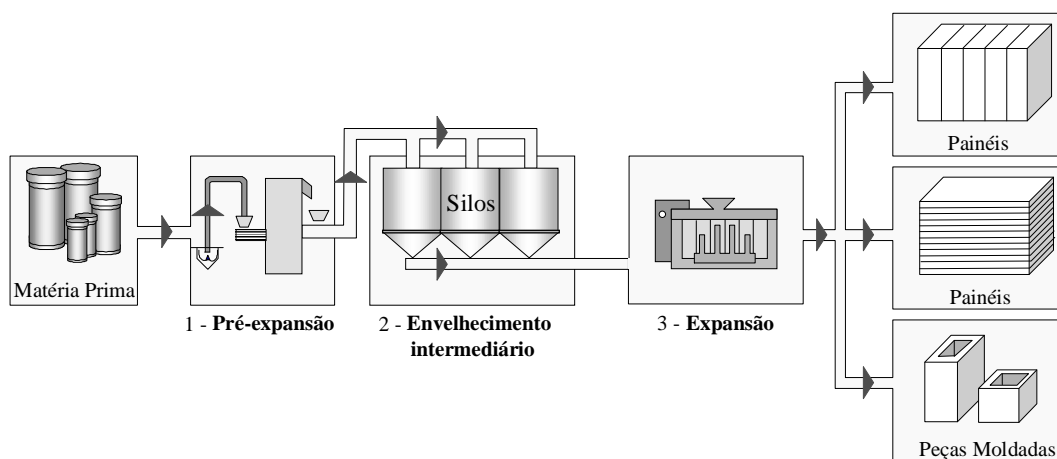


Figura 2. Processo de transformação da matéria prima (poliestireno)

2.3. A reciclagem de EPS

Existem alguns processos para a reciclagem dos materiais a base de EPS, estes são aplicados conforme a utilização final do produto. Os rejeitos podem ser processados para serem novamente moldados em forma de blocos, injetados para formar peças para embalagens, serem usados como substratos para melhoramento de solo, para drenagens e jardineiras, na aeração de substâncias para melhoria da decomposição, podem ser reutilizados na construção civil ou até gerar energia elétrica ou calorífica por combustão direta, também podem ser aplicados como complemento em moldes de peças injetadas ou fundição no ramo industrial (automobilístico, metalúrgico, etc.)

A Fig. (3) ilustra os processos de transformação dos resíduos em seus usos finais conforme o catálogo Informação Técnica (1992). Verifica-se existir vários processos para se reciclar o EPS (Isopor).

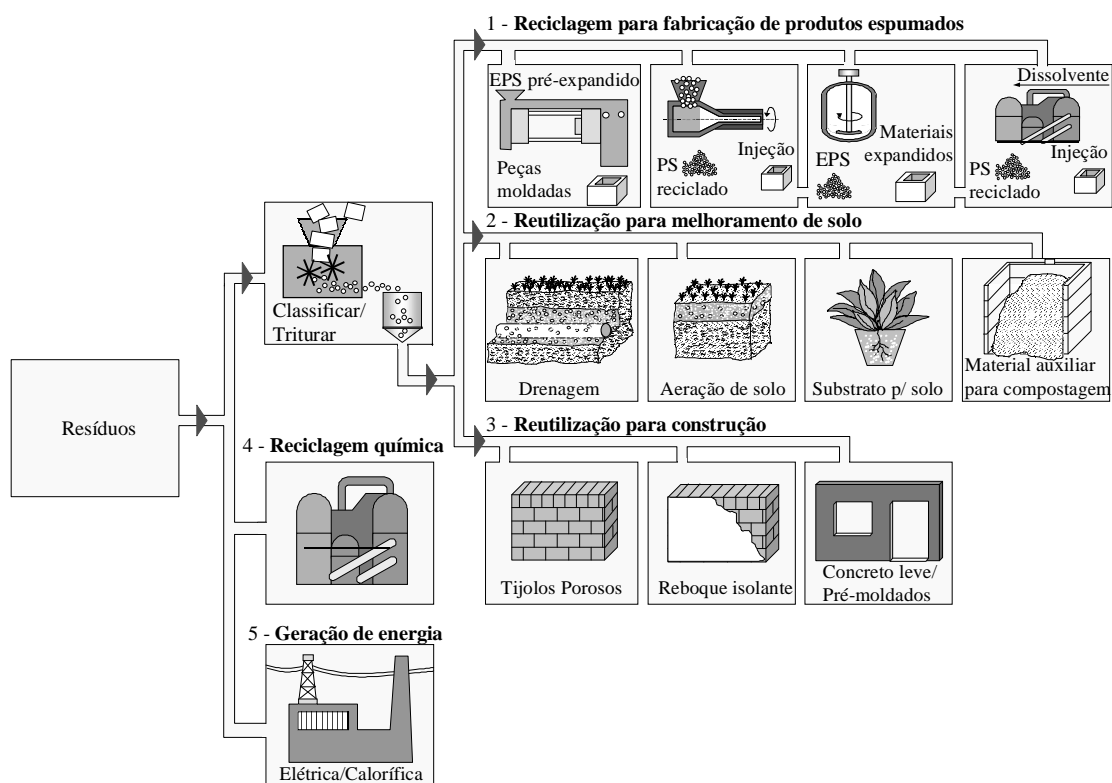


Figura 3. Processos de reciclagem de resíduos a base de poliestireno expandido

Acredita-se que qualquer forma de reciclagem deve estar relacionada com o meio ambiente e não somente interligada à relação econômica tradicional, isto é, ao se quebrar a cadeia de produção de um produto inserindo matéria prima reciclada, diminui-se parte do processo de fabricação, o que conseqüentemente traz economias, tanto em termos de custos diretos e conservação de energia (energia gasta no processo, combustível, eletricidade) como em termos de preservação do meio ambiente, pois este produto quando não reciclado estará poluindo locais de despejo (aterros sanitários, rios, mares, etc.), e por sua vez se o processo usar algum tipo de combustível haverá poluição devido a queima inerente,

A Fig. (4) esquematiza o ciclo de vida do EPS (isopor) considerando a sua reciclagem, se baseando no texto acima citado.

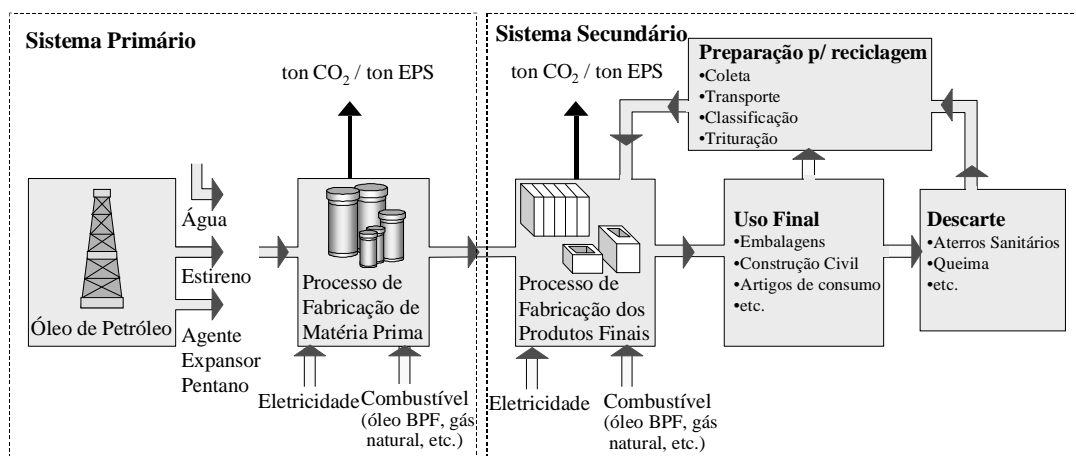


Figura 4. Esquema do ciclo de vida do EPS (isopor) considerando sua reciclagem

Ao se produzir produtos com os resíduos de Isopor, no caso da reciclagem através de processo térmico para produção de blocos, placas e/ou painéis, necessita-se que na composição haja também uma parte de matéria prima virgem para efetivar a união entre as partículas dos resíduos. Essa composição é de aproximadamente 60 a 70% de matéria prima virgem e respectivamente 40 a 30% de resíduos de isopor, como já verificado experimentalmente em ensaios para se obter uma composição ideal, conforme as características desejadas e exigíveis para cada produto final, em função das densidades exigidas que variam em faixas entre 12 a 45 kg/m³.

Como se diminui praticamente um terço da matéria prima virgem para a produção de produtos reciclados, existe também uma economia no processo de produção. Conseqüentemente todos os gastos relacionados com essa etapa serão minimizados, isto é, serão usados menos combustível e eletricidade na realização do processo produtivo e assim ter-se-á redução na emissão de gases poluentes, pela queima de combustível; menos tempo de mão de obra; serão usados menos derivados de petróleo (agente expander e estireno), e ainda reduzido a emissão em ton CO₂/ton EPS, conforme mostra a Fig. (4). Em relação ao uso racional dos derivados de petróleo, deve-se salientar a importância dessa economia, pois o petróleo é um insumo esgotável e quanto mais se prolongar a sua utilização melhor será para a sociedade.

No processo de fabricação, deve-se considerar que com os produtos reciclados haverá uma etapa no sistema primário, Fig. (5), com os devidos custos) para a preparação da reciclagem, onde estão incluídos a coleta dos resíduos de isopor, a classificação ou seleção, o transporte do local de despejo ou de utilização até o local de processamento do produto, e a trituração quando necessária.

3. Estudo de caso

Trata-se da modelagem termodinâmica de uma indústria localizada no Sul de Minas Gerais que produz blocos de EPS de diferentes densidades para serem cortados em forma de placas ou painéis, conforme a utilização final de cada cliente. As densidades dos blocos de EPS produzidos são divididas em cinco grupos: P1 (12 a 16 kg/m³), P2 (16 a 20 kg/m³), P3 (20 a 25 kg/m³), P5 (32 a 38 kg/m³) e P6 (38 a 45 kg/m³). A produção anual de blocos é de aproximadamente 8.000 m³ de blocos de EPS; o consumo anual de óleo combustível é de 100.000 litros e o consumo de energia elétrica é de aproximadamente 4500 kWh/mês conforme dados coletados pelos autores na própria empresa (2001).

A Fig. (5) esquematiza o processo de fabricação dos blocos, painéis e placas de EPS onde tem-se os fluxos energéticos e o fluxo de material. Na caldeira é produzido vapor saturado para alimentar o pré-expansor e a bloqueira, componentes nos quais ocorre a expansão das pérolas de poliestireno. O material virgem, poliestireno (PS), entra no pré-expansor para uma primeira expansão, depois vai para um tanque de descanso, perdendo calor para o meio ambiente e depois vai para a bloqueira para a segunda e última expansão. Quando o bloco está pronto, no devido tempo este irá para o corte. Esses tempos são variáveis conforme a densidade desejada, tanto no pré-expansor como na bloqueira (em função da pressão), isto é, no pré-expansor o tempo varia de 140 a 225 segundos para as densidades de P1 e P6, respectivamente, e na bloqueira de 80 a 120 segundos para as P6 a P1, respectivamente.

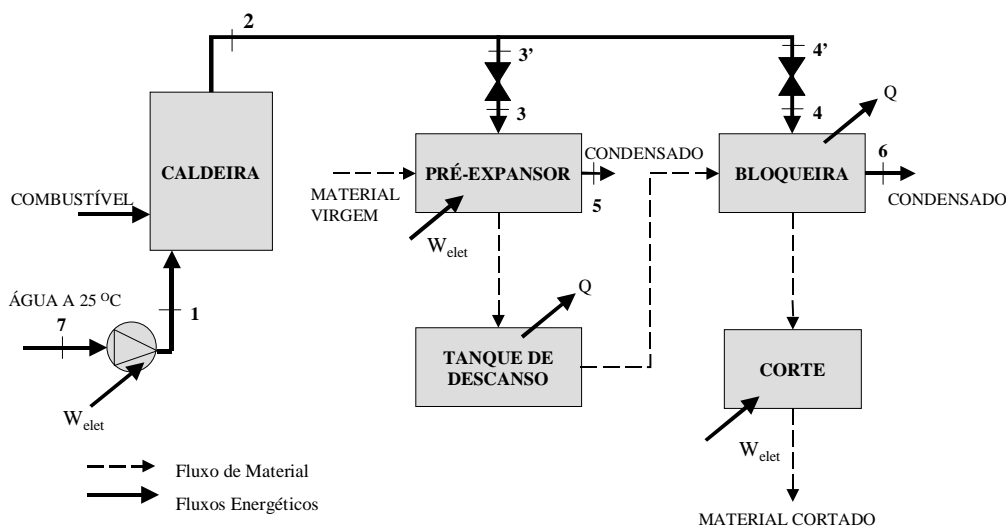


Figura 5. Esquema do processo de fabricação de blocos, painéis e placas de EPS

O processo estudado opera em um ciclo aberto, não tendo retorno de condensado para a caldeira. Os dados e resultados obtidos do processo são fornecidos e calculados por m³ de EPS produzido. A captação de água é feita em um poço aberto por uma bomba, o consumo de água no processo é de 4,37 m³/dia. Na caldeira é usado óleo BPF tipo 1A (PCI = 41553,056 kJ/kg) e antes de ser queimado, sua temperatura é elevada de 25°C a 125°C por resistência elétrica de 20 kW. Os dados de vapor, pressão e temperatura usados na bloqueira estão citados na Tab. 1 e Tab. 4; no pré-expansor, além do vapor para essa primeira expansão é necessário um motor elétrico de agitação de 4 HP (4 x 0,746 kW); no tanque de descanso o material perde calor para o meio ambiente atingindo a temperatura ambiente. No corte a potência usada é de aproximadamente 1,1 kW.

3.1. Sistema de reciclagem proposto

O processo de reciclagem analisado está esquematizado na Fig. (6). Este mostra a inserção de resíduos junto com material virgem na bloqueira, isto é, é misturado uma porcentagem de material virgem pré-expandido junto com resíduos, selecionados e cortados num tamanho adequado ao processo; depois é feita a expansão para permitir a união dos resíduos com o material virgem, formando assim um bloco para ser cortado conforme as necessidades do cliente. O fluxo de vapor é o mesmo no caso de processo sem reciclagem, porém o tempo de uso do pré-expansor é reduzido. Os

blocos de EPS reciclados produzidos são divididos em dois novos grupos, isto é, P1R (12 a 16 kg/m³) que usa o rejeito mais limpo, proveniente da produção e REC (12 a 16 kg/m³), que usa rejeitos gerados de outras indústrias, construção civil, etc.

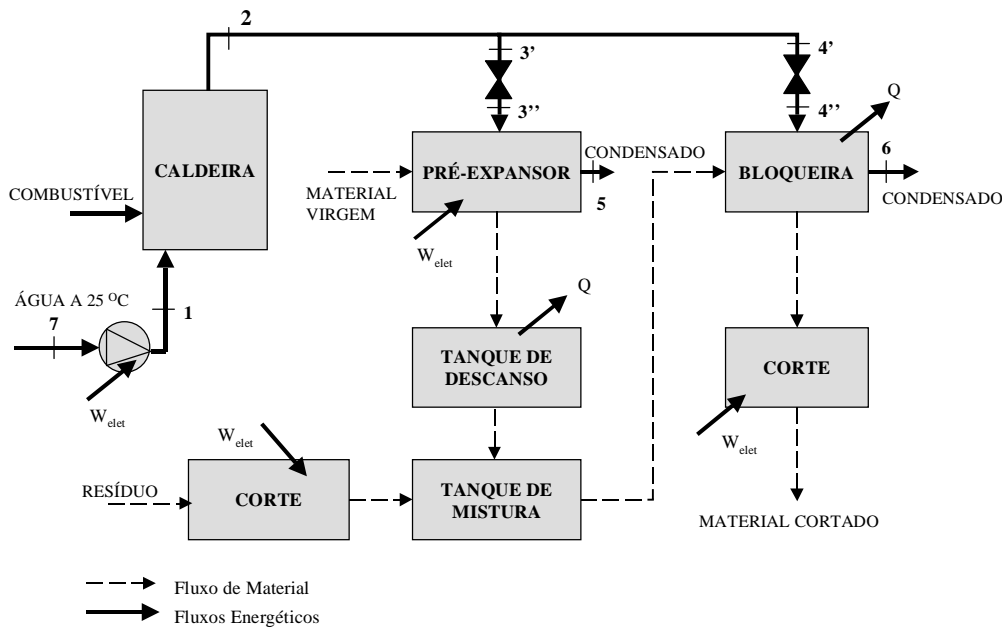


Figura 6. Esquema do processo de fabricação de blocos de EPS inserindo a reciclagem de resíduos

3.2. Análise Termodinâmica

O balanço energético sobre o volume de controle considerado em torno de cada componente da Fig. (5) é dado pela Eq. (1):

$$Q - W = \Delta H + \Delta Ec + \Delta Ep \quad (1)$$

sendo Q [kW] o calor transferido no equipamento, W o trabalho no equipamento [kW], ΔH a variação de entalpia [kW], ΔEc a variação na energia cinética [kW] e ΔEp a variação na energia potencial [kW]. Desprezando-se as variações nas energias cinética e potencial, a Primeira Lei pode ser escrita como: (Wark Jr. K., 1995):

$$Q - W = \Delta H \quad (2)$$

A transferência de calor do material para o ar, neste caso, foi no tanque de descanso e na bloqueira, pode ser calculada por convecção livre. A convecção livre ou convecção natural ocorre sobre um fluido no qual existe gradiente de densidade. A transferência de calor (Q) do material para o ar pode ser dado por (Incropera & DeWitt, 1998):

$$Q = h' A (T_{sup} - T_{inf}) \quad (3)$$

sendo, h' o coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m^2K], A área superficial [m^2], T_{sup} a temperatura na superfície [K] e T_{inf} a temperatura do ar livre da ação viscosa [K].

O coeficiente de transferência de calor por convecção pode ser calculado a partir de (Incropera & DeWitt, 1998):

$$\frac{h' L}{k} = C Ra_L^n \quad (4)$$

onde Ra_L é o número de Rayleigh. A constante C e o coeficiente n têm valores em função do intervalo de Ra_L , foi adotado para estes cálculos escoamento turbulento, sendo $C = 0,1$ e $n = 1/3$ (Incropera & DeWitt, 1998). O número de Rayleigh é obtido pela Eq. (8) conforme Incropera & DeWitt (1998):

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_{sup} - T_{inf}) L^3}{\nu \alpha} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{2}{(T_{sup} - T_{inf})} \quad (6)$$

sendo, L o comprimento característico [m], k o condutividade térmica [W/mK], g aceleração da gravidade [m/s^2], β coeficiente volumétrico de expansão térmica [K^{-1}], ν a viscosidade cinemática [m^2/s] e α a difusividade térmica [m^2/s].

3.3. Resultados

A metodologia apresentada neste trabalho, engloba conceito relativo a 1ª Lei da Termodinâmica, aplicada para a análise dos processos de produção de EPS com e sem reciclagem. Levando-se em consideração o fluxo mássico (m), temperatura (T), entalpia (h) em cada ponto do processo, a Tab. (1) mostra os resultados obtidos para os pontos indicados na Fig. (5). Na Tab. (2) são mostrados os resultados da análise energética para o processo sem incorporar a reciclagem e a Tab. (3) mostra os resultados de performance energética desse mesmo processo.

As seguintes considerações foram feitas para a análise termodinâmica pretendida:

- Tempo de operação do processo de 160 h/mês (informações coligidas pelos autores - 2000)
- Cp dos gases de exaustão de 1,08 kJ/kg K (Dias, 1999).

As nomenclaturas usadas nas tabelas são: Ecomb - Energia do combustível, Rt(óleo) - energia para aquecimento do óleo de 25 °C a 125 °C, Wbomba - trabalho da bomba de água, Qpreéx - calor fornecido ao material no pré-expansor, Qperd1 - calor perdido no condensado do pré-expansor, Wmotor - trabalho do motor de agitação, Qbloc - calor fornecido ao material na bloqueira, Q perd2 e Q perd3 - calor perdido no condensado e no material ao meio, Wcorte - trabalho necessário para o corte do material, Qperd 4 - calor perdido ao meio no tanque de descanso e I - irreversibilidade.

Tabela 1. Dados para os pontos da Fig. (5), processo de produção de EPS sem incorporar a reciclagem

Tipo	Pontos	Pressão [MPa]	Temp. [°C]	Massa [kg/s]	h [kJ/kg]
P1 a P6	1	0,863	25,0	0,152	105,7
P1 a P6	2	0,863	173,6	0,152	2772,0
P1	3	0,069	110,0	0,076	2700,0
P2	3	0,059	110,0	0,076	2701,0
P3	3	0,049	110,0	0,076	2702,0
P5	3	0,029	110,0	0,076	2704,0
P6	3	0,025	110,0	0,076	2705,0
P1 a P6	4	0,539	154,7	0,076	2752,0
P1 a P6	5	0,101	100,0	0,076	419,0
P1 a P6	6	0,101	100,0	0,076	419,0
P1 a P6	7	0,101	25,0	0,076	104,8

Tabela 2. Resultados de performance energética para o processo de produção de EPS sem incorporar a reciclagem

Tipo	Caldeira		Bomba	Pré-expansor			Bloqueira			Corte	Tanque
	Ecomb [kW.h/m³]	Rt(óleo) [kW.h/m³]	Wbomba [kW.h/m³]	Qpreéx [kW.h/m³]	Qperd1 [kW.h/m³]	Wmotor [kW.h/m³]	Qbloqu [kW.h/m³]	Qperd2 [kW.h/m³]	Qperd3 [kW.h/m³]	Wcorte [kW.h/m³]	Qperd4 [kW.h/m³]
P1	25,828	0,8285	0,0052	8,584	1,182	0,148	5,910	0,796	0,047	0,0894	1,593
P2	25,454	0,8165	0,0052	8,861	1,220	0,152	5,418	0,729	0,043	0,0894	1,393
P3	24,226	0,7771	0,0049	8,663	1,192	0,149	4,925	0,663	0,039	0,0894	1,194
P5	27,090	0,8690	0,0055	10,749	1,478	0,185	4,433	0,597	0,035	0,0894	0,597
P6	42,368	1,3590	0,0086	19,750	2,714	0,339	3,940	0,531	0,031	0,0894	0,398

A Tab. (3) mostra os resultados obtidos para os pontos indicados na Fig. (6) correspondente ao processo de fabricação do EPS incorporando a reciclagem. As Tab. (4) mostra os resultados de performance energética .

Tabela 3. Dados para os pontos da Fig. (6), processo de produção de EPS incorporando a reciclagem

Pontos	Pressão [MPa]	Temp. [°C]	Massa [kg/s]	h [kJ/kg]
1	0,863	25,0	0,152	105,7
2	0,863	173,6	0,152	2772,0
3	0,069	110,0	0,076	2700,0
4	0,539	154,7	0,076	2752,0
5	0,101	100,0	0,076	419,0
6	0,101	100,0	0,076	419,0
7	0,101	25,0	0,076	104,8

Tabela 4. Resultados de performance energética para o processo de produção de EPS incorporando a reciclagem

Tipo	Caldeira		Bomba	Pré-expansor			Bloqueira			Cortes	Tanque
	Ecomb [kW.h/m ³]	Rt(óleo) [kW.h/m ³]	Wbomba [kW.h/m ³]	Qpréex [kW.h/m ³]	Qperd1 [kW.h/m ³]	Wmotor [kW.h/m ³]	Qbloqu [kW.h/m ³]	Qperd2 [kW.h/m ³]	Qperd3 [kW.h/m ³]	Wcorte [kW.h/m ³]	Qperd4 [kW.h/m ³]
P1R	21,197	0,6799	0,0043	6,009	0,827	0,103	5,910	0,796	0,047	0,1073	1,115
REC	19,654	0,6304	0,0040	5,150	0,709	0,089	5,910	0,796	0,047	0,1073	0,956

A Tab. (5) mostra a totalização da análise energética dos dois processos de produção do EPS considerados, indicando também a redução percentual. A Fig. (7) mostra graficamente os resultados obtidos da análise para os tipos de blocos P1, P1R e REC.

Tabela 5. Totalização da análise energética dos dois processos e a redução percentual energética no caso da reciclagem do tipo P1 (P1R e REC)

Total (sem reciclagem)					Total (com reciclagem)				
Tipo	Ecomb [kW.h/m ³]	Q _T [kW.h/m ³]	W _T [kW.h/m ³]	Q _P [kW.h/m ³]	Tipo	Ecomb [kW.h/m ³]	Q _T [kW.h/m ³]	W _T [kW.h/m ³]	Q _P [kW.h/m ³]
P1	25,828	14,494	1,0708	3,617	P1R	21,197	11,919	0,8949	2,785
P2	25,454	14,279	1,0634	3,385	REC	19,654	11,060	0,8303	2,507
P3	24,226	13,588	1,0203	3,088	Comparação				
P5	27,090	15,181	1,1485	2,707	Tipo	Ecomb [%]	Q _T [%]	W _T [%]	Q _P [%]
P6	42,368	23,690	1,7961	3,674	P1R -P1	17,9	17,8	16,4	23,0
					REC-P1	23,9	23,7	22,5	30,7

Obs: Ecomb - Energia do combustível, W_T - trabalho total no ciclo, Q_T - calor total fornecido, Q_P - calor total perdido para o meio.

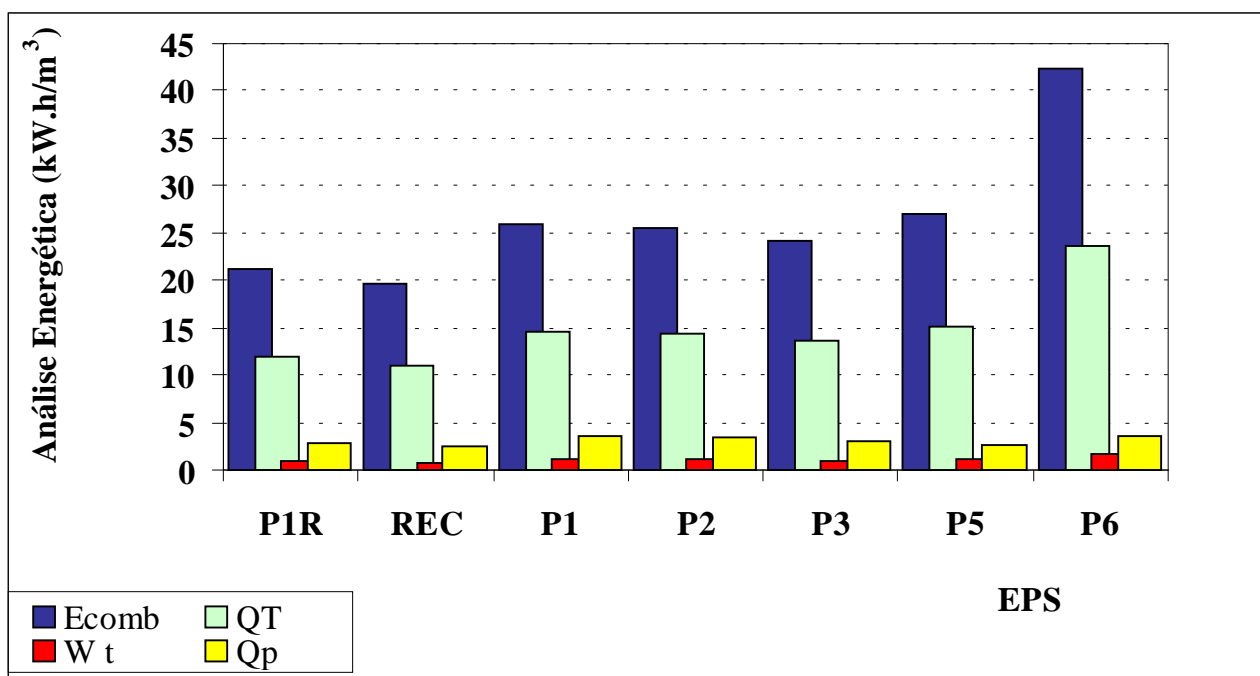


Figura 7. Gráfico comparativo das análises energéticas associadas às produções dos blocos de EPS com material virgem e com reciclagem de resíduos na proporção de 30% (P1R) e de 40% (REC).

3.4. Análise de Viabilidade Econômica

Os cálculos dos custos da reciclagem foram desenvolvidos com base no estudo de viabilidade econômica realizado por Silveira et al (1998). Deve-se salientar que esses resultados buscam a viabilidade da reciclagem em relação a produção de blocos de EPS com matéria prima virgem.

Fazendo-se as considerações para a apresentação dos resultados tem-se:

- Valor fixo para a tarifa de eletricidade (Pel) é de R\$ 0,182829;
- Custo do salário por m³ de EPS produzido é de R\$ 0,089705;
- Custo de transporte associado ao m³ de EPS produzido com matéria prima virgem é de R\$ 2,13, esse valor está considerando um raio de ação dessa indústria de 150 km e transportando em média 20 m³ de blocos. No caso dos blocos reciclados, parte dos resíduos são gerados na própria produção e a outra parte é retirada nos locais de uso, portanto o custo de transporte associado ao m³ de resíduos calculado é de R\$ 3,19;
- Custo de manutenção foi estimado em 10% do custo de operação;
- Custo de material está associado a quantidade de PS (matéria prima virgem) utilizado para a fabricação de cada faixa de densidade dos blocos de EPS e são mostrados na tabela x;

A seguir, mostra-se o equacionamento para o estudo de viabilidade econômica dos materiais propostos.

O custo total (Ct) dado em R\$/m³ é obtido pela somatória do custo de operação (Cop) mais o custo do material (Cmat), mais o custo da manutenção (Cmn):

$$Ct = Cop + Cmat + Cmn \tag{7}$$

Por sua vez o custo de operação é dado por:

$$Cop = Ccomb \times Ecomb + Cel \times Wt + Csal + Ctrans \tag{8}$$

Sendo Ccomb [R\$/kWh] o custo do combustível, Ecomb [kWh/m³] é Energia do combustível, Cel [R\$/kWh] é o preço de compra de eletricidade, WT [kWh/m³] é o trabalho total gasto ciclo, Csal [R\$/m³] é o salário associado ao m³ de blocos de EPS produzido e Ctrans [R\$/m³] é o custo do transporte.

O resultado dos cálculos econômicos são dados na tabela (6) e representados graficamente pela Fig. (8).

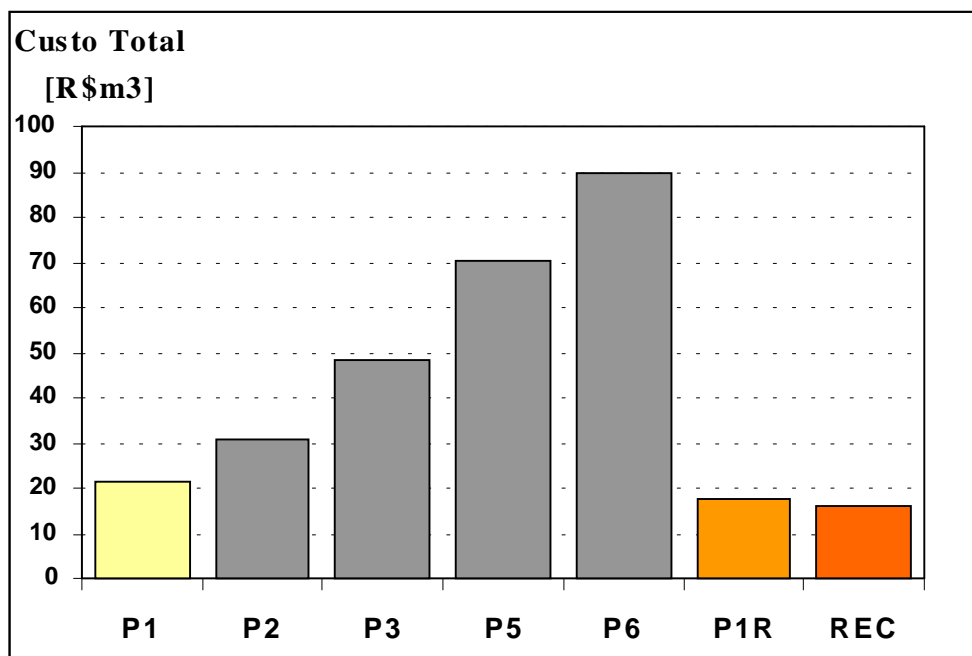


Figura 8. Gráfico comparativo da análise econômica associada as produções dos blocos de EPS com material virgem e com reciclagem de resíduos na proporção de 30 % (P1R) e de 40% (REC).

Tabela 6. Dados e Resultados da análise econômica para o processo de produção de EPS incorporando a reciclagem

Tipo	Ecomb	Wt	Ccomb	Cel	Csal	Ctrans	Cmn	Cmat	Ct
Normal	[kWh/m ³]	[kWh/m ³]	[R\$/kWh]	[R\$/kWh]	[R\$/m ³]	[R\$/m ³]	[10% Cop]		[R\$/m ³]
P1	25,828	1,071	0,0128	0,182829	0,089705	2,125	0,274	18,45	21,46
P2	25,454	1,063	0,0128	0,182829	0,089705	2,125	0,273	27,95	30,96
P3	24,226	1,020	0,0128	0,182829	0,089705	2,125	0,271	45,38	48,36
P5	27,090	1,148	0,0128	0,182829	0,089705	2,125	0,277	67,08	70,13
P6	42,368	1,796	0,0128	0,182829	0,089705	2,125	0,308	86,24	89,63
Reciclado									
PIR	21,197	0,895	0,0128	0,182829	0,089705	3,1875	0,371	13,55	17,63
REC	19,654	0,830	0,0128	0,182829	0,089705	3,1875	0,368	11,92	15,97

4. Discussão dos resultados e Conclusão

Este estudo mostra e deixa em evidência a vantagem da reciclagem do EPS, tanto pelo aspecto da redução indireta dos impactos ambientais associados ao sistema primário, em termos de emissões de CO₂, como também pelo aspecto de redução de uso de insumos energéticos (petróleo, combustível e eletricidade).

Em termos energéticos, os resultados indicam que no caso da reciclagem P1R (caso de EPS com densidade tipo P1, com resíduos mais limpo na proporção de mistura 30%), ocorrem consideráveis reduções de uso de combustível, cerca de 17,9 %; de calor fornecido ao material (calor de processo), cerca de 17,8 %; de eletricidade cerca de 16,4 %, com considerável redução de perdas de calor de processo (condensado, tanque de descanso e bloqueira) ao meio ambiente, num percentual de 23,0 %. No caso da reciclagem REC (caso de EPS com densidade tipo P1, com uso de resíduos mais sujos na proporção 40 %), os percentuais de redução são mais significativos, com valores de 23,9 % no uso de combustível, 23,7% de calor de processo fornecido ao material, 22,5 % de eletricidade e 30,7 % nas perdas de calor. Fica evidente o benefício energético oriundo da reciclagem.

Em termos econômicos tem-se que o uso de resíduos na produção de blocos de EPS diminui o custo em 17,8% comparando o P1R (30% de resíduo) ao P1 de mesma densidade e comparando o REC (40% de resíduo) com P1 o custo diminui em 25,6%. Em relação às outras densidades a economia é maior mas como são materiais para outras finalidades não é certo fazer essas comparações.

Finalmente, conclui-se que a contribuição da reciclagem se consolida a partir do momento que ela evita o descarte dos resíduos no meio ambiente, reduções nos consumos de energéticos e a redução de emissão de CO₂ (relativamente ao sistema primário). No caso do Petróleo como matéria prima extraída da natureza, a reciclagem permite reduzir o uso desse insumo esgotável, tendo em vista que neste caso, o processo produtivo de EPS é iniciado em um estágio secundário. Considerando ainda que as previsões de extinção das atuais reservas mundiais de petróleo propicia aumentos nos custos dos seus derivados, somadas ao crescente risco de colapso energético no Brasil e ao constante aumento da poluição, a reciclagem do poliestireno expandido, propicia cenários ideais para minimizar os danos causados por estes fatores, com inerentes benefícios para sociedade em geral.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro a pesquisa em escopo. Também agradecem a Polinco Indústria e Comércio de Polímeros Ltda e a General Motor do Brasil pelo fornecimento de dados e auxílio nos ensaios experimentais realizados.

6. Referências

- Bedringås, K. W.; Ertesvåg, I. S.; Byggstøyl, S. and Magnussen, B. F., 1997, "Exergy Analysis of Solid-Oxide Fuel-Cell (SOFC) Systems", Energy, Vol. 22, pp.403-412.
- Central EPS - Tecnologia E Serviços. "Características Exigíveis para o Poliestireno Expandido". São Paulo: Catálogo Técnico da Basf, Shell, Resinor e Tupy, (sd).
- Dias, R. A., 1999, "Impactos da Substituição de Equipamentos na Conservação de Energia", Agosto 1999. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.
- Franca, A.B.M.; Viana, M.F.A.; Rodrigues, M.F., 1997, "Estudo Comparativo Entre Laje Convencional e Lajes Com Blocos de EPS nas Modernas Construções de Concreto Armado". João Pessoa, UFP - Universidade Federal da Paraíba.
- Grote, Z. V.; Silveira. J.L., 2000, "Processo térmico de reciclagem de poliestireno expandido (isopor): uma realidade

- para a redução de custos e a conservação de energia": Conservação de Energia. In: JORNADA 2000 Jornada de Iniciação Científica e de Pós-graduação, 4o, Guaratinguetá-SP – Brasil. Anais do JORNADA'2000. Guaratinguetá: UNESP – Campus de Guaratinguetá, 2000. p.196-201.
- Grupo Polimex, 1997, "Reciclabilidade y ecologia" [on line]. México: Grupo Polimex. Available from Word Wide Web: <<http://www.Polimex.com.mx/reciclado.html>>.
- Incropera, F.; DeWitt, D. P., 1998, "Fundamentos da transferência de calor e massa", 4ª ed, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 494 p.
- Información Técnica, 1992, "Reciclar/Eliminar – Procedimientos de reciclado y eliminación de materiales expandidos de EPS usados" [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha: Catálogo Técnico da Basf. no 23734
- Informaciones Técnicas, 1992, "Propiedades – Resistência Química de los Materiais Expandidos de Styropor" [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha: Catálogo Técnico da Basf, Maio. no 33684.
- Silveira. J.L; Grote, Z. V.; Travassos; S.E.P., 1998, "Análise comparativa entre materiais empregados na construção de uma câmara frigorífica: Styrobloc e Alvenaria de tijolos maciços": Transferência de Calor. In: LATCYM - Congresso Latinoamericano De Transferencia De Calor Y Materia, 7o, Salta – Argentina. Anais do 7o LATCYM. Salta: INIQUI – Instituto de Investigaciones para la Industria Química, 1998. p.476-480.
- Technical Information, 1992, "Properties – General" [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha: Catálogo Técnico da Basf, no 22246.
- Utgikar, P.S. and Prasada Rao, P.J., 1995, "Thermoeconomic analysis of gas turbine cogeneration plant - a case study", Journal of Power and Energy. Part A.
- Wark Jr, K., 1995, "Advanced Thermodynamics for Engineers". McGraw-Hill, New York.

Economic and Energetic ANALYSIS ASSOCIATED TO THE RECYCLING PROCESS OF EXPANDED POLYSTYRENE - EPS

Zilmara Volpe Grote

UNESP Campus de Guaratinguetá - Departamento de Energia - Av. Ariberto Pereira da Cunha,333 – CEP: 12516-410
Guaratinguetá, SP, Brasil
e-mail: zilmaragrote@yahoo.com

José Luz Silveira

UNESP Campus de Guaratinguetá - Departamento de Energia - Av. Ariberto Pereira da Cunha,333 – CEP: 12516-410
Guaratinguetá, SP, Brasil
e-mail: joseluz@feg.unesp.br

Abstract: The use of residues of polystyrene-based materials, which nowadays are discarded from factories, commercial and residential sections, civil construction, may contribute to the energy reduction and the environmental pollution control. This contribution happens avoiding the inadequate use of the residues, which are now deposited in disposal sites, and due to the great volume occupied and the difficulty of avoiding them to be spread by wind, they cause damages to the environment. One important aspect is the use of energy associated with the production process, which may be translated into economy in the case of recycling, because several initial stages of the production of the raw materials are eliminated. Finally, we should consider that the expanded polystyrene is obtained from the petroleum (basically the styrene), which is a natural and exhaustible resource, and that its recycling implies in a better use for that product. This work aims to accomplish energetic studies associated to the recycling of expanded polystyrene-based materials, considering their several applications and the existing recycling processes. The analysis consists of verifying, mainly, the benefit relation of the recycling process, taking into consideration the manufacturing of products molded from recycled and raw materials. It is also intended to propose solutions for the final use of the rejected or recycled materials, adapting them to their new applications, considering their qualities and properties.

Keywords: Recycling process, polystyrene expanded, EPS, thermodynamics analysis, economic analysis