

ANÁLISES ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE CENTRAIS DE CO-GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAIS

Marcelo Rodrigues de Holanda

José Antonio Perrella Balestieri

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Energia
Cx. P. 205 - 12500-000 - Guaratinguetá, SP, Brasil

***Resumo.** Atualmente, em face da sempre potencial escassez dos combustíveis fósseis, tem-se discutido muito sobre a pertinência de serem avaliadas novas fontes energéticas, como os resíduos sólidos municipais e a biomassa. Dessa forma, se forem considerados os custos diferenciais das diferentes fontes combustíveis num contexto de transformação da realidade atual quanto à disponibilidade e preço, é razoável imaginar-se que, em futuro próximo, a viabilidade dos sistemas de co-geração a partir da destruição de lixo urbano possa justificar uma importante solução não só para os problemas causados pela simples deposição destes insumos em áreas economicamente rentáveis como para muitos outros. Este artigo tem como objetivos apresentar análises de 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica em configurações propostas para a geração combinada de calor útil e eletricidade a partir da destruição de resíduos sólidos municipais, visando o atendimento prioritário de empresas de reciclagem de produtos localizadas em um pólo industrial próximo às instalações da unidade termelétrica.*

***Palavras-chave:** Co-geração, Resíduos, Exergia*

1. INTRODUÇÃO

Em vários países, a questão do suprimento energético tem sido discutida nas últimas décadas em termos de opções viáveis para médio e longo prazos; deve ser lembrado que as centrais hidroelétricas não podem ser consideradas em algumas delas, já que não há quedas d'água e/ou correntezas suficientes para garantir nem um atrativo financeiro e nem um retorno econômico ao investimento e o fato de que a geração nuclear está sendo, hoje em dia, severamente rejeitada pelos ambientalistas.

O gás natural tem sido especificado como a melhor solução para a geração de energia em centrais termelétricas, por causa das suas baixas emissões de poluentes e da sua disponibilidade relativamente ampla para os próximos sessenta anos; seu uso na indústria em substituição ao óleo combustível nos processos de aquecimento e na geração de eletricidade

em sistemas de co-geração está tornando-se obrigatório, embora o seu preço, em alguns casos, não esteja correspondendo ao valor desejável.

A combustão de resíduos sólidos em centrais municipais está sendo proposta não somente como uma possível solução para resolver o problema da deposição destes insumos mas também para produzir eletricidade a ser adicionada à rede; este artigo discute esta questão no contexto brasileiro e propõe algumas soluções a serem consideradas num estudo de caso real segundo revisão da experiência internacional.

2. CONCEITOS

O atrativo econômico de uma empresa é dependente de alguns parâmetros como a taxa de juros considerada e o período de empréstimo; contudo, quando tecnologias diferentes e/ou competitivas estão sob análise, o custo diferencial deve ser avaliado para determinar a diferença econômica entre as mesmas. A “Fig. 1” apresenta uma ilustração das tecnologias competitivas com os seus respectivos custos de investimento; capacidade é a quantidade disponível de cada tecnologia em um determinado custo.

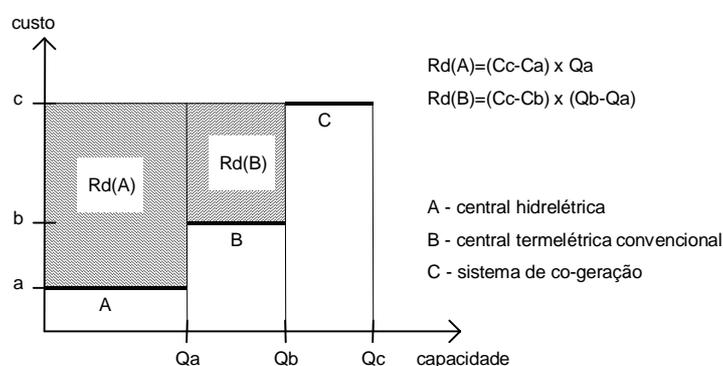


Figura 1 - Custos diferenciais entre três tecnologias competitivas.

A tecnologia C é denominada marginal porque, dentre as três possibilidades consideradas, é aquela que apresenta um custo mais elevado; a tecnologia de menor custo é a A e seria recomendada até que sua capacidade Q_a não seja totalmente alcançada. Quando isto ocorre, a tecnologia B é a próxima possibilidade a ser explorada até que sua capacidade Q_b seja alcançada; os custos diferenciais de A e B são as capacidades Q_a e $(Q_b - Q_a)$ multiplicadas pela diferença entre os custos da tecnologia marginal e o correspondente.

Sob os pontos de vista da conservação de energia e ambiental, é importante explorar várias possibilidades de recuperação da energia oriunda da máquina térmica utilizada para gerar eletricidade - e a co-geração é um caminho especial para o desenvolvimento desta tarefa. Co-geração é definida como a produção combinada de mais de uma forma de energia tendo como combustível de entrada a mesma fonte primária e é um empreendimento próspero, desde o início dos anos de 1980 nos Estados Unidos, sob ação induzida de leis como o PURPA.

Atualmente, as centrais de co-geração a partir de resíduos sólidos apresentam custos maiores se comparadas às centrais termelétricas ou hidroelétricas que operam com gás natural; alguns valores coletados na literatura e apresentados em Balestieri (1994) ressaltam que o mesmo ciclo a vapor tem um custo de investimento de 850-1000 US\$/kW queimando óleo combustível, 1300-1800 US\$/kW para o carvão e em torno de 4500 US\$/kW para os resíduos sólidos municipais.

Hoje, a discussão ambiental está tendo a mesma importância que a conservação de

energia teve nas duas últimas décadas e está impondo uma nova visão do problema ao mundo. A eletricidade é mais e mais requerida nos países desenvolvidos e em desenvolvimento por causa da fácil utilização e o uso intensivo de sistemas eletrônicos nos setores industrial, residencial e comercial; conforme a Segunda Lei da Termodinâmica, apenas parte da energia que entra em um transformador de energia ou máquina térmica é usada para produzir energia útil (como eletricidade/trabalho mecânico) e a parte remanescente é disposta como calor e perdas.

3. ESTADO DA ARTE

A América Latina tem uma história recente no que diz respeito à classificação de resíduos para uso econômico; uma revisão da experiência internacional é de grande interesse para estabelecer as soluções que são mais promissoras nos esquemas de geração de energia a partir de resíduos sólidos municipais.

Nos Estados Unidos, a seleção de resíduos e reciclagem estão associadas aos sistemas de geração de energia (Smith, 1990). As emissões de poluentes na geração de energia a partir de resíduos sólidos são de grande importância nos projetos aprovados. Berenyi (1996) apresenta como características das usinas a resíduos sólidos municipais na América do Norte os seguintes dados: capacidade de combustão de 13 até 4000 t/dia (média: 786 t/dia); eletricidade produzida de 0,5 até 935 MW (média: 176 MW); produção de vapor de 1,25 até 1159 t/hora (média: 115 t/h).

Na Europa, os resíduos sólidos municipais devem ser queimados a fim de eliminar os efeitos indesejáveis causados pela sua deposição; Hartenstein & Horvay (1996) apresentam, para alguns países, uma revisão desta questão por meio da porcentagem de incineração, como mostrado na “Fig. 2”. No Japão, a incineração de resíduos sólidos municipais faz-se por causa principalmente da falta de espaço; Haneda (1995) estima que 82% das 50.10^6 t/ano de resíduos urbanos gerados são destinados à produção de energia; 253.10^6 t/ano de resíduos industriais são descartados, sendo que 39% são orgânicos e 6% são outros tipos de resíduos com um poder calorífico considerável (óleos, plásticos, etc.). Os sistemas de aquecimento distrital recebem a água quente produzida através da incineração de resíduos municipais e o vapor também obtido é utilizado para produzir eletricidade em unidades múltiplas; 108 unidades de incineração em 1991 foram responsáveis pela geração de 320 MW.

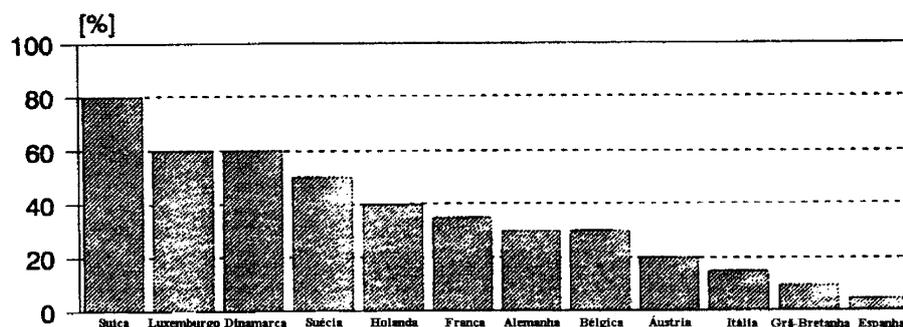


Figura 2 - A incineração de resíduos sólidos municipais em alguns países europeus.

A população de mais de um bilhão de habitantes da China gera 200.10^6 t/ano, que é equivalente a 0,55 kg/pessoa/dia, segundo Hunsicker, Crockett & Labode (1996); desta quantidade, somente uma parcela pequena é incinerada. A Índia apresenta mais de 90% dos resíduos sólidos municipais dispostos em aterros sanitários.

O mais importante desenvolvimento brasileiro foi feito pela Companhia Energética do

Estado de São Paulo - CESP, em 1989; Takiishi (1989) apresenta algumas informações interessantes sobre um estudo para a construção de duas unidades de incineração de resíduos sólidos municipais para a cidade de São Paulo: 12000 t/dia de resíduos a serem queimados a fim de gerar eletricidade para suprir aproximadamente 400000 residências.

4. SISTEMA DE CO-GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAIS

A experiência internacional ressalta o fato de que as centrais termelétricas que incineram resíduos sólidos municipais estão sendo propostas como uma solução para o problema da disposição destes insumos juntamente com a geração de energia; é importante lembrar que a eletricidade gerada por tal meio tem um custo de investimento maior do que o gerado por algumas outras tecnologias concorrentes.

A Região de Guaratinguetá é um grupo de oito cidades localizadas na região Sudeste do Estado de São Paulo, Brasil (ver "Fig. 3"); as seguintes cidades compõem-na: Guaratinguetá, Cachoeira Paulista, Aparecida, Cunha, Lorena, Piquete, Roseira e Potim. Ela está localizada na parte mais industrializada do Estado de São Paulo; vários setores importantes estão representados nesta região: indústrias químicas importantes nas cidades de Guaratinguetá e Piquete, algumas indústrias pesadas em Cruzeiro (papel e produtos afins/indústrias de metais fabricados) e algumas novas indústrias de alimentos estão sendo instaladas em Lorena.

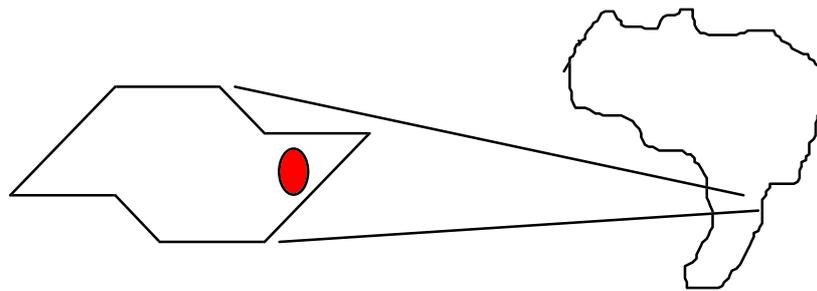


Figura 3 - Localização da Região de Guaratinguetá no Estado de São Paulo, Brasil.

Em 1993, Wehenpohl & Pfaff-Simoneit (1993) analisaram a estrutura da geração de resíduos na região num programa de cooperação entre a Alemanha e o Brasil; concluíram que são produzidas 66500 t/ano de lixo urbano na Região de Guaratinguetá como um resultado das contribuições comercial, residencial e pública, assim como resíduos provenientes de hospitais. Conforme o relatório elaborado por esses dois pesquisadores, o resíduo sólido ali gerado tem um perfil de 53% de matéria orgânica, 22% de papel e papelão, 10% de plásticos; esses dados podem ser vistos como valores médios, considerando que os autores não analisaram o conteúdo do resíduo municipal durante um longo período de tempo.

Ainda que uma avaliação mais precisa do poder calorífico e do conteúdo de umidade dos resíduos sólidos municipais na Região de Guaratinguetá não tenha sido feita, foi estimado por amostras coletadas que tais valores giram em torno de 4000-5000 kJ/kg e de 40-50%, respectivamente. Esses autores também concluíram que a incineração não é apropriada para a Região de Guaratinguetá por causa da composição e do baixo poder calorífico do lixo. Apesar de tais conclusões, seria importante, a nosso ver, considerar o uso de tais resíduos em sistemas de aproveitamento energético com co-geração.

O objetivo deste artigo é apresentar análises energética e exergética para um ciclo a vapor, que visa a geração combinada de calor útil e energia elétrica, através da incineração de resíduos sólidos municipais, para os valores obtidos para a Região de Guaratinguetá.

5. ANÁLISE ENERGÉTICA

A configuração proposta consta de um sistema de co-geração que opera segundo um ciclo a vapor com caldeira convencional para a queima de resíduo sólido municipal; emprega-se, também, uma turbina a vapor do tipo contrapressão para produzir 3,6 t/hora de vapor saturado a 0,7 MPa e gerar energia elétrica, com a finalidade de suprir as necessidades de uma unidade de processo industrial (ver “Fig. 4”). Deve-se salientar que as análises energética e exérgica verificarão para três caldeiras convencionais com diferentes condições de vapor superaquecido, (6,3 MPa a 450° C; 4,2 MPa a 400° C e 2,1 MPa a 350° C), as condições de resposta deste sistema quanto ao aproveitamento do conteúdo energético dos resíduos sólidos municipais.

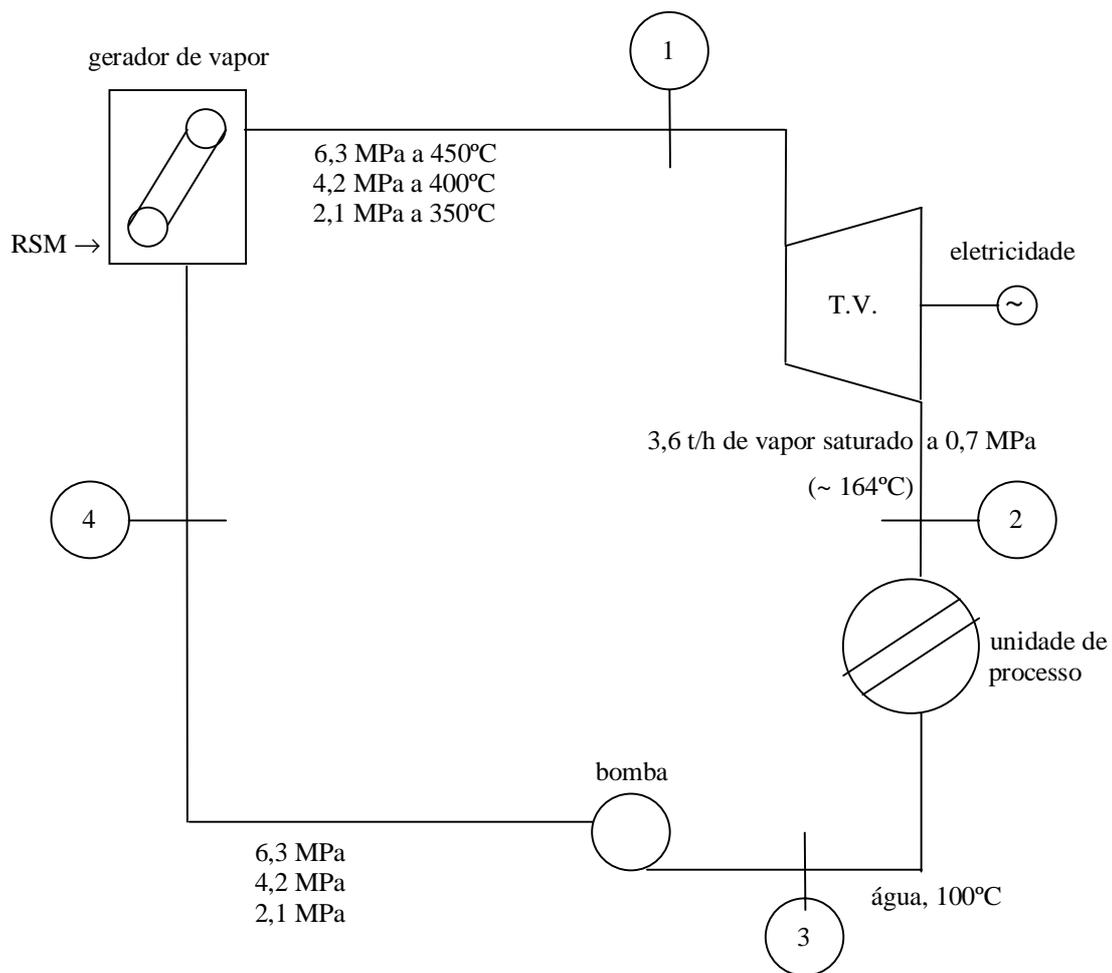


Figura 4 - Ciclo a vapor com caldeira convencional e turbina de contra pressão.

A seqüência de cálculos da análise energética é apresentada a seguir e os valores empregados na análise termodinâmica constam da “Tabela 1”.

$$E_{comb} = (\dot{m}_v \cdot (h_1 - h_4')) / 0,85 \quad (1)$$

$E_{comb} \Rightarrow$ potência suprida pelo combustível

$\dot{m}_v \Rightarrow$ vazão em massa de vapor

$h_1 \Rightarrow$ valor ideal da entalpia no ponto (1)

$h_4' \Rightarrow$ valor real da entalpia no ponto (4)

$$\dot{m}_{comb} = (E_{comb} / PCI) \quad (2)$$

$\dot{m}_{comb} \Rightarrow$ vazão em massa de combustível
 $PCI \Rightarrow$ poder calorífico inferior

$$\dot{W}_{eixo} = (h_1 - h_2') \cdot \dot{m}_v \quad (3)$$

$\dot{W}_{eixo} \Rightarrow$ potência de eixo da turbina
 $h_2' \Rightarrow$ valor real da entalpia no ponto (2)

$$E_p = 0,95 \cdot (\dot{W}_{eixo}) \quad (4)$$

$E_p \Rightarrow$ energia elétrica produzida na co-geração

$$E_c = \dot{m}_v \cdot (h_2' - h_3) \quad (5)$$

$E_c \Rightarrow$ energia térmica produzida na co-geração e consumida pelo processo
 $h_3 \Rightarrow$ valor ideal da entalpia no ponto (3)

$$\dot{W}_{bomba} = (\dot{m}_v \cdot (h_4' - h_3) / 0,80) \quad (6)$$

$\dot{W}_{bomba} \Rightarrow$ potência da bomba

$$\eta_{ge} = (E_p - \dot{W}_{bomba}) / E_{comb} \quad (7)$$

$$\eta_{gc} = (E_c / E_{comb}) \quad (8)$$

$$\eta_{global} = (E_p + E_c) / E_{comb} \quad (9)$$

$\eta_{ge} \Rightarrow$ eficiência de geração de energia elétrica
 $\eta_{gc} \Rightarrow$ eficiência de geração de energia térmica (calor)
 $\eta_{global} \Rightarrow$ eficiência global

Tabela 1. Dados da análise termodinâmica

Estado termodinâmico	Pressão (MPa)	Temperatura (°C)	Entalpia (kJ/kg)	Entropia (kJ/kg . °C)	
(1)	6,3	450,00	3297,40	6,6932	
	4,2	400,00	3210,00	6,7432	
	2,1	350,00	3134,80	6,9330	
(2)	0,7	(6,3)	164,97	2890,80	6,6890
		(4,2)	164,64	2874,70	6,7070
		(2,1)	164,64	2844,70	6,8860
(3)	0,7	100,00	419,50	1,3063	
(4)	6,3	100,40	427,23	1,3368	
	4,2	100,24	424,30	1,3305	
	2,1	100,10	421,38	1,3253	

Observação: as entalpias calculadas nos estados (2) e (4) são reais, enquanto que as entalpias calculadas nos estados (1) e (3) são ideais, com eficiência de expansão na turbina estimada em 75%.

A “Tabela 2” apresenta os resultados obtidos para a análise energética do ciclo a vapor proposto, considerando os três casos decorrentes de diferentes pressões e temperaturas do

vapor superaquecido. Observa-se uma eficiência de geração de energia elétrica relativamente baixa, a despeito de a eficiência térmica se apresentar com valores consideráveis; isso se deve principalmente à estratégia adotada para dimensionamento do projeto, baseada na paridade térmica para o atendimento integral às necessidades de um polo industrial a ser constituído nas imediações desse empreendimento. Vale acrescentar que, face ao baixo poder calorífico do lixo local, deve-se considerar a possibilidade do uso associado do gás natural, disponível na Região.

Tabela 2. Dados da análise energética para o ciclo a vapor

Condições do vapor superaquecido	P = 6,3 MPa T = 450 °C	P = 4,2 MPa T = 400 °C	P = 2,1 MPa T = 350 °C
E_{comb} [kW]	3376,67	3277,29	3192,26
\dot{m}_{comb} [kg/h]	2431,08	2359,80	2298,60
\dot{W}_{eixo} [kW]	406,58	335,32	290,12
E_p [kW]	386,25	318,56	275,62
E_c [kW]	2471,18	2455,35	2425,38
\dot{W}_{bomba} [kW]	9,66	6,0	2,35
η_{ge} [%]	11,2	9,5	8,6
η_{gc} [%]	73,2	74,9	76,0
η_{global} [%]	84,6	84,6	84,6

6. ANÁLISE EXERGÉTICA

A exergia pode ser entendida como o trabalho obtido quando um material é trazido ao equilíbrio termodinâmico e químico com os componentes comuns da natureza, através de processos reversíveis e envolvendo apenas interações com estes mencionados componentes. A exergia conta com uma parcela física e outra química, a despeito de essa última não ser considerada nesse artigo pela indisponibilidade da composição gravimétrica do resíduo produzido na Região de Guaratinguetá; a disponibilidade ou exergia para um certo volume de controle é calculada pela seguinte expressão, que representa sua parcela física:

$$Ex = \dot{m} \cdot [(h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0)] \quad (10)$$

sendo:

- Ex ⇒ exergia associada aos processos de estado e fluxo estáveis
- \dot{m} ⇒ vazão em massa
- h ⇒ entalpia específica
- h_0 ⇒ entalpia da água na pressão e temperatura de referência
- T_0 ⇒ temperatura de referência
- s ⇒ entropia específica
- s_0 ⇒ entropia da água na pressão e temperatura de referência

Admitindo-se a pressão e temperatura do meio a saber, 0,1 MPa e 25 °C, a água é um líquido levemente comprimido e suas propriedades são essencialmente iguais às do líquido saturado a 25 °C, isto é: $P_0 = 0,1$ MPa, $T_0 = 25$ °C = 298,15K, $h_0 = 104,96$ kJ/kg, $s_0 = 0,3673$

kJ/kgK para regime permanente. Realizar-se-ão os cálculos da eficiência exergética ou racional (ψ), que relaciona a saída de exergia pela entrada de exergia no equipamento (Kotas, 1985), e da irreversibilidade (I). Para tais, serão utilizadas as “Eq. (11)” e “Eq. (12)” representadas na seqüência:

$$\psi = (\Sigma Ex_{saída} / \Sigma Ex_{entrada}) \quad (11)$$

$$I = (\Sigma Ex_{entrada} - \Sigma Ex_{saída}) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \Sigma Ex_{entrada} &\Rightarrow \text{somatório das exergias na entrada do volume de controle} \\ \Sigma Ex_{saída} &\Rightarrow \text{somatório das exergias na saída do volume de controle} \end{aligned}$$

Para o sistema de co-geração que opera com caldeira de 6,3 MPa e 450°C, assumindo uma relação média teórica de $(\dot{m}_{ar}/\dot{m}_{comb}) = 15/1$ e dado que $\dot{m}_{comb} = 0,6753$ kg/s com 30% de excesso de ar, tem-se que $\dot{m}_g = 13,8436$ kg/s.

Assumindo para os gases um calor específico a pressão constante ($C_p = 1,5$ kJ/kgK) e temperatura na ordem de 155 °C (428 K) na chaminé, tem-se que sua exergia será:

$$Ex_g = \dot{m}_g \cdot C_p \cdot [(T_g - T_0) - T_0 \cdot \ln(T_g / T_0)] \quad (13)$$

$$T_g \Rightarrow \text{temperatura dos gases de escape na chaminé}$$

resultando no valor de $Ex_g = 459,05$ kW.

Assumindo um Poder Calorífico Inferior para o resíduo sólido municipal estimado de 5000 kJ/kg, a exergia do mesmo será aproximada pela expressão que segue, visto que para tais combustíveis há pouca variação entre o poder calorífico e sua exergia química (Shieh & Fan, 1982):

$$Ex_{comb} = \dot{m}_{comb} \cdot PCI \quad (14)$$

Para esse caso ter-se-á $Ex_{comb} = 3376,67$ kW; sendo $\dot{m}_{ar} = 13,1683$ kg/s e adotando-se $\dot{m}_{água} = 1,0$ kg/s (regime permanente), a exergia do ar e da água serão, respectivamente:

$$Ex_{ar} = \dot{m}_{ar} \cdot [(h_4' - h_0) - T_0 \cdot (s_4' - s_0)] \quad (15)$$

$$Ex_{água} = \dot{m}_{água} \cdot [(h_4' - h_0) - T_0 \cdot (s_4' - s_0)] \quad (16)$$

resultando, respectivamente, nos valores: $Ex_{ar} = 437,32$ kW e $Ex_{água} = 33,21$ kW. Sabendo-se que a $\dot{m}_v = \dot{m}_{água} = 1,0$ kg/s, a exergia do vapor será:

$$Ex_v = \dot{m}_v \cdot [(h_1 - h_0) - T_0 \cdot (s_1 - s_0)] \quad (17)$$

obtendo-se um valor de $Ex_v = 1306,37$ kW.

Analisando a caldeira como um volume de controle, tem-se, na entrada da caldeira os seguintes valores: $Ex_{comb} = 3376,67$ kW, $Ex_{ar} = 437,32$ kW e $Ex_{\acute{a}gua} = 33,21$ kW, enquanto que na saída da caldeira obtém-se $Ex_g = 459,05$ kW e $Ex_v = 1306,37$ kW.

Portanto, a eficiência exergética e a irreversibilidade da caldeira serão, respectivamente, $\psi = 0,46$ e $I = 2081,78$ kW. Para os dois outros sistemas de co-geração segue-se a mesma memória de cálculo, com as alterações devidas em alguns valores. Deste modo, na “Tabela 3” encontram-se ilustrados os resultados finais desse balanço exergético, apresentados para diferentes níveis entálpicos.

Tabela 3. Dados da análise exergética para o ciclo a vapor

Equipamento	pressão/temperatura	$\Sigma Ex_{entrada}$ (kW)	$\Sigma Ex_{saída}$ (kW)	I (kW)	ψ (%)
Turbina	6,3 MPa / 450°C	1306,37	1287,28	19,09	98,5
	4,2 MPa / 400°C	1204,07	1198,12	5,95	99,5
	2,1 MPa / 350°C	1072,28	1071,81	0,47	99,9
Bomba	6,3 MPa / 450°C	34,58	33,21	1,37	96,0
	4,2 MPa / 400°C	34,58	32,16	2,42	93,0
	2,1 MPa / 350°C	34,58	30,79	3,79	89,0
Caldeira	6,3 MPa / 450°C	3847,20	1765,42	2081,78	46,0
	4,2 MPa / 400°C	3720,53	1649,66	2070,87	44,0
	2,1 MPa / 350°C	3606,41	1506,31	2100,10	42,0

7. CONCLUSÕES

Foram apresentadas algumas questões envolvidas na geração de energia, indicando que os combustíveis fósseis são recursos finitos e que é de suma importância considerar a viabilidade da combustão de resíduos sólidos municipais e biomassa em centrais termelétricas - especialmente em sistemas de co-geração - para médio e longo prazos.

Em termos da análise energética, observou-se que os valores globais de conversão da energia disponível nos resíduos sólidos urbanos da Região em estudo resultaram em valores consideráveis (todos acima de 80%), ainda que com grande preponderância para os valores de eficiência térmica; do ponto de vista da análise exergética, confirmam-se os resultados previstos em literatura, de que as maiores irreversibilidades se verificam no processo de transferência de calor presente nas caldeiras a vapor; a minimização das irreversibilidades pode ser alcançada pela indicação de níveis mais elevados de pressão e temperatura do vapor superaquecido, que resultam em melhores resultados para a eficiência racional.

Desse modo, a partir dessas considerações e do fato de o empreendimento proposto se valer de financiamento captado junto a organismos de desenvolvimento econômico e social, foram realizados estudos aqui apresentados para a análise da proposta de aproveitamento conjunto da energia gerada a partir da incineração do lixo urbano de um possível consórcio entre oito cidades do fundo do Vale do Paraíba, o que nos permite afirmar ser a mesma exequível em quaisquer dos casos.

REFERÊNCIAS

- Balestieri, J. A. P., 1994, Planejamento de centrais de co-geração: uma abordagem multiobjetiva, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia, Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas.
- Berenyi, E. B., 1996, The status of municipal waste combustion in the United States, Journal of Hazardous Materials, vol. 47, pp. 1-17.

- Haneda, H., 1995, Efficiency improvement options for municipal waste-fired power generation - recent development activities in Japan: a review, Proc. Instn. Mech. Engrs., vol. 209, pp. 81-100.
- Hartenstein, H. U. & Horvay, M., 1996, Overview of municipal waste incineration industry in west Europe (based on the German experience), Journal of Hazardous Materials, vol. 47, pp. 19-30.
- Holanda, M. R., 1998, Avaliação do potencial de co-geração a partir de resíduos sólidos municipais na Região de Guaratinguetá, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá.
- Hunsicker, M. D., Crockett, T. R. & Labode, B. M. A., 1996, An overview of the municipal waste incineration industry in Asia and the former Soviet Union, Journal of Hazardous Materials, vol. 47, pp. 31-42.
- Kotas, T.J., 1985, Exergy method of thermal plant analysis, London, Butterworths.
- Shieh, J.H., Fan, L.T., 1982, Estimation of energy (enthalpy) and exergy (availability) contents in structurally complicated materials, Energy Sources, vol. 6, pp.1-45.
- Smith, D. J., 1990, Integrated waste management systems are the only solution, Power Engineering, vol. 94, pp. 18-25.
- Takiishi, M., 1989, Falta incentivo para o lixo gerar energia, Química e Derivados, pp. 42-46.
- Wehenpohl, G. & Pfaff-Simoneit, W., 1993, Conceito integrado de resíduos sólidos para a Região de Guaratinguetá - Brasil: análise e conceito, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá.

Energetic and exergetic analysis of a cogeneration system burning municipal solid wastes

Abstract. *Nowadays, face to the potential lack of fossil fuels in a near future, the discussion on the use of biomass and municipal solid wastes is increasing. When differential costs are considered in comparison to the other electricity generation options in a new scenery of availability and prices it is possible to wonder the feasibility of municipal solid wastes cogeneration systems not necessarily because of its economic attractiveness but specially by the solution of environmental impacts. This article aims to present a thermodynamic analysis of 1st and 2nd laws in a steam cycle cogeneration system proposed to supply electricity and saturated steam to an industrial park.*

Key words. *Cogeneration, Solid Wastes, Exergy*