

ANÁLISE TERMOECONOMICA DE UM SECADOR FLASH DRYER

Edelweiss Felix da Silva

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE GUARATINGUETA
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Transmissão e Conversão de Energia
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, caixa postal 205
CEP: 12.516-410 Guaratinguetá SP
edelweis@feg.unesp.br

Luiz Roberto Carrocci

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE GUARATINGUETA
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Transmissão e Conversão de Energia
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, caixa postal 205
CEP: 12.516-410 Guaratinguetá SP
carrocci@feg.unesp.br

José Luz Silveira

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE GUARATINGUETA
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Transmissão e Conversão de Energia
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, caixa postal 205
CEP: 12.516-410 Guaratinguetá SP
joseluz@feg.unesp.br

Resumo: Nesse artigo aplica-se fundamentos Termoeconômicos na análise de um Sistema de Secagem Flash Dryer, buscando uma visão global para calcular o consumo de energia, perdas de calor em todas as fases do processo de secagem. É feito um balanço energético, o combustível é analisado pela primeira lei da termodinâmica. Fez-se uma análise exergetica ou disponibilidade em cada parte do secador, com objetivo de diminuir os custos de produção e o consumo de combustível, melhor funcionamento do sistema, durante a secagem de fécula de mandioca.
Palavras chave: Flash dryer, fécula de mandioca, termoeconomia, secagem, secador

1. Introdução

A Termoeconomia é uma nova área da Engenharia Térmica, e tem como propósito racionalizar decisões de investimentos, desenvolvimentos e de operação de sistemas energéticos. As técnicas de gerenciamento do consumo de energia se fundamentam em análises termoeconomicas para otimização do sistema como um todo e de cada unidade, tendo - se duas áreas básicas de aplicação: custos e projetos. (Silveira, 1998).

A termoeconomia combina princípios das Ciências Térmicas (Termodinâmica, Transmissão de Calor e Mecânica dos Fluidos) e de Engenharia Econômica com o propósito de racionalizar decisões de investimento, desenvolvimento e operação de sistemas energéticos.

Com este objetivo, foram realizados vários trabalhos sobre técnicas de gestão do consumo de energia. Entre estas, são interessantes aquelas que desenvolvem análises Termoeconômica para otimização de sistemas térmicos complexos, buscando a determinação matemática cuidadosa da função no sistema como um todo e em cada unidade individualmente (Luz-Silveira e Nogueira, 1992).

A estrutura geral da Teoria de Termoeconomia de acordo com o método de Valero tenta incluir qualquer teoria termoeconomica, ou como um caso particular ou como uma teoria equivalente, a teoria não é tema no conceito de produção final e não depende de que tipo de relações existe entre os componentes ou na complexidade do sistema.

A teoria de Valero parte de 3 premissas que são gerais e de possível aceitação:

- 1) A existência de uma matriz incidente que matematicamente descreve sua estrutura.
- 2) Cada relação entre componentes é completamente definida usando uma magnitude extensiva, que é a quantidade x qualidade. Energia, entropia, exergia, dinheiro, etc, ou alguma combinação entre eles são exemplos de magnitude.

- 3) Cada componente tem um comportamento conhecido e pode ter muitas equações características, para as relações e funções existentes na entrada de cada componente.

A teoria termoeconômica tem uma estrutura geral, que procura relacionar os fluxos e seus custos nos componentes da planta. Os resultados dos custos estão em função das formulas que são dependentes da estrutura do sistema, as técnicas de computação são necessárias para resolver os cálculos do modelo matemático. O custo tem uma estrutura baseada nos dados de origem, cujos valores são introduzidos no sistema. Esta é a essência do processo de custo de formação. Sendo uma teoria geral ela não depende da espécie de relações existentes entre os componentes ou da complexidade do sistema. (Valero, 1996).

A termoeconomia combina princípios das Ciências Térmicas (Termodinâmica, Transmissão de Calor e Mecânica dos Fluidos) e de Engenharia Econômica com o propósito de racionalizar decisões de investimento, desenvolvimento e operação de sistemas energéticos.

Com este objetivo, são realizados vários trabalhos sobre técnicas de gestão do consumo de energia. Entre estas, são interessantes aquelas que desenvolvem análises Termoeconômica para otimização de sistemas térmicos completos, buscando a determinação matemática cuidadosa da função no sistema como um todo e em cada unidade (Luz-Silveira e Nogueira, 1992).

Segundo Nogueira e Silveira (1989) a exergia inclui além das parcelas relacionadas ao equilíbrio termodinâmico, parcelas devidas à diferença de concentração entre espécies químicas, ao potencial químico associado às reações, etc., isto é:

$$ex = (h_i - h_r) - T_o(s_i - s_r) + \frac{V^2}{2} + gz + \Delta G_f^o + RT_r \sum_{i=1}^n v_i \ln X_i^o + \dots \quad (1)$$

onde, ex – exergia (kW) ; h – entalpia (kW); T – temperatura (K); V – velocidade do fluxo de ar (m/s); g – aceleração da gravidade (m/s²); z – altura (m); ΔG_f^o energia de formação (kJ/kgK) ; R – constante universal dos gases (J/molK); v – número de moles; X^o – concentração molar, os índices: i – inicial; r, o – referencia.

De acordo com Wall(1990), Ebinuma et al(1990), Silveira(1992) e Silveira e Lacava(1992) para os sistemas energéticos apresentados neste trabalho, é suficiente considerar apenas a parcela referente ao equilíbrio termodinâmico, ou seja:

$$ex = (h_i - h_r) - T_o(s_i - s_r) \quad (2)$$

onde ex- exergia (kJ/kgK); h - entalpia (kJ/kg); T - temperatura (K)

Para Valero, Lozano e Bartolomé, (1996), o custo exergético diferencial ajuda-nos compreender e corrigir as causas de mal funcionamento de uma unidade em uma planta. De acordo com a teoria do custo exergético o mal funcionamento de cada componente tem uma causa e um impacto no consumo adicional de recursos. Se nós conhecemos esta informação poderemos isolar as causas e concentrar na solução dos problemas, planejar uma seqüência de soluções em ordem de importância e resolver os problemas que forem possíveis.

A secagem ocorre em um curto período de tempo, em torno de 0,5 a 3,5 segundos, daí vem o nome *flash dryer*, que significa secagem rápida. O tempo de residência no secador diminui com um aumento do fluxo das fases sólida e gasosa. Esses tipos de secadores operam de forma concorrente, ou seja, o material a ser seco e o ar de secagem se movimentam na mesma direção.

A seção de secagem de um sistema pode ser um duto vertical, de seção quadrada ou circular, em que os sólidos são transportados por um fluxo de ar quente. Para uma operação satisfatória, as partículas devem apresentar um tamanho uniforme. Para a maioria das aplicações, a velocidade no duto varia entre 15 e 30m/s, e o secador terá comprimento na extensão de 5 a 50 metros (MUJUMDAR, 1995).

2. Objetivos

Aplicar fundamentos Termoeconômicos em um sistema de secagem Flash Dryer, para se ter uma visão global do sistema em função do consumo de energia, perdas de calor em todas as fases do processo e custos de produção e outros que forem necessários ser especificados, para calcular o custo do ar aquecido na secagem da fécula de mandioca, com o fim de gestão de consumo de combustível e investimentos no sistema. O consumo de combustível é analisado com base em um balanço energético, Primeira Lei da Termodinâmica, e de uma análise exergética ou disponibilidade em cada parte sob efeito térmico do secador, tendo em vista uma avaliação qualitativa e quantitativa das perdas através da Segunda Lei da Termodinâmica.

3. Material e Métodos

Foram utilizados os dados experimentais do secador *flash dryer*, apresentados no Mestrado de (Silva, 2001) veja referencias, sem o isolamento térmico, combinados com os dados levantados com o secador com isolamento térmico no Doutorado. O secador é mostrado na Fig. 1 onde se enumera cada componente e os fluxos.

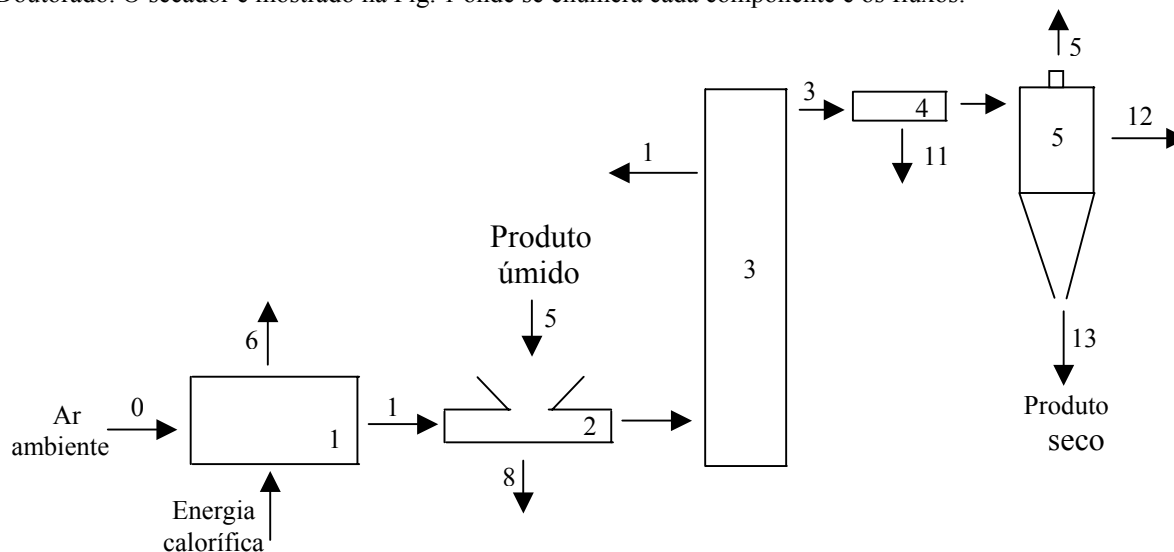


Figura 1. Sistema de Secagem *Flash Dryer* 0 - entrada de ar ambiente, 1 - trocador de calor; 2 - tubo condutor de ar aquecido e entrada do produto a ser secado; 3 - tubo de secagem; 4 - tubo condutor de ar e pó para o ciclone; 5 - ciclone separador

Tabela 1 - Fluxos de entrada e saída nos componentes do secador flash dryer durante a operação com n = 5 componentes e m = 12 equações

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
A	+1	-1	0	0	0	0	-1	+1	0	0	0	0	0	0	1
	0	+1	-1	0	0	0	0	0	-1	+1	0	0	0	0	2
	0	0	+1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	3
	0	0	0	+1	-1	0	0	0	0	0	0	-4	0	0	4
	0	0	0	0	+1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	5

componentes

Tabela 2 Exemplo de equações características para o secador *flash dryer*

Componentes	v_l	v_g	Equação característica
1	1	2	$E_o = \overset{>}{E}_o(G_1, G_6, \chi_1)$
2	2	2	$E_1 = \overset{>}{E}_1(G_2, G_7, \chi_2)$
3	1	2	$E_2 = \overset{>}{E}_2(G_3, G_9, \chi_3)$
4	1	2	$E_3 = \overset{>}{E}_3(G_4, G_{10}, \chi_4)$
5	1	3	$E_4 = \overset{>}{E}_4(G_5, G_{11}, \chi_5)$

Onde, E – entrada; G – saída; χ - parâmetro endógeno do componente l

Se isolarmos cada unidade e resolver os problemas que forem possíveis, observarmos que no tubo de secagem e no trocador de calor ocorrem muitas perdas de energia, que podem ser diminuídas. Nesse projeto a secagem foi feita com o tubo de secagem e o trocador de calor sem isolante térmico e com isolante térmico de plástico (polietileno) e papel (jornal); observa-se que com o isolamento térmico a eficiência de secagem foi maior e a secagem atingiu os 12% de umidade para uma velocidade do fluxo de 21,1 m/s, com a fonte fornecendo a mesma quantidade de energia.

A secagem da fécula foi feita sob a seguinte condição climática: Pressão atmosférica em torno de 711 mmHg e Umidade Relativa do ar na faixa de 62% a 65 %, condições da cidade de Guaratinguetá, Estado de São Paulo; o clima foi analisado com base nos dados do CPTEC-INPE, e foi utilizado um barômetro e um psicrômetro. Os resultados obtidos com o modelo de secador são apresentados na tabela 1.

Nesta tabela, verifica-se que as perdas de energia diminuem com o isolamento térmico, e a secagem da amostra com 45% de teor de umidade inicial atinge um teor de umidade esperado, ou seja, em torno de 12%, que é um valor usado para comercialização da fécula de mandioca.

A secagem foi feita com o tubo de secagem e o trocador de calor sem isolante térmico e com isolante térmico de plástico (polietileno) e papel (jornal), observa-se que com o isolamento térmico a eficiência de secagem foi maior e a secagem atingiu os 12% de umidade para a velocidade do fluxo de 21,1 m/s, com a fonte fornecendo uma quantidade de energia constante.

A secagem da fécula foi feita sob a seguinte condição climática: Pressão atmosférica em torno de 711 mm de Hg e Umidade Relativa do ar na faixa de 62% a 65 %, na cidade de Guaratinguetá SP, o clima foi analisado com base nos dados do CPTEC-INPE, e foi utilizado um barômetro e um psicrometro. Os resultados obtidos com o modelo de secador são apresentados na tabela 3

A umidade das amostras diminuem durante a secagem, nesta tabela analisa-se a velocidade do fluxo de ar onde o maior rendimento térmico. Este fluxo será utilizado para o calculo do consumo e perdas de energia e custo termoeconomico do ar seco em função do preço da lenha, óleo diesel e eletricidade.

As amostras com entram no secador em, (9) produto úmido, veja fig. 1 cujo teor de umidade da fécula de mandioca está indicado na tab. 3 como Ai e Af.

Tabela 3 – Teor de umidade da fécula de mandioca em função do fluxo de ar, da temperatura, e do teor de umidade inicial das amostras.

V(m/s)	m kg/s	Temperatura			Fécula de Mandioca		\bar{m} kg/kg
		Tb °C	Tsi °C	Tsf °C	Ai %UB.S.	Af %UB.S.	
sem o isolante térmico							
19,1	0,195	86	65	60	40	12,85	1,686
21,5	0,219	86	66	60	40	12,67	1,630
19,1	0,195	86	66	58	45	15,93	1,732
21,5	0,219	86	64	58	45	24,78	1,485
com o isolante térmico							
19,1	0,195	85	80	75	40	12,13	16,67
21,1	0,216	85	80	75	40	9,77	16,67
19,1	0,195	84	80	73	45	15,26	18,64
21,1	0,216	84	80	73	45	12,32	18,64

em que, %UB.S.- umidade da amostra em base seca; Ai – amostra inicial de fécula de mandioca antes da secagem (%U.B.S.); Af – amostra final de fécula de mandioca após a secagem (%U.B.S.); \dot{m} - vazão em massa do ar de secagem (kg/s); \bar{m} - kg de produto úmido por kg de produto seco; Tb(K) - temperatura do ar na base do secador (2)*; Tsi(K) - temperatura inicial do ar, antes da secagem, no topo do secador (3) *; Tsf (K) - temperatura final do ar, após a secagem, no topo do secador (3) *; V - velocidade do ar na saída do tubo de secagem(m/s); (* : mostrados na fig. 1).

Na tabela 4 verifica-se que as perdas de energia diminuem com o isolamento térmico, e a secagem da amostra com 45% de teor de umidade inicial atinge um teor de umidade esperado, ou seja, em torno de 12%, que é um valor usado para comercialização da fécula de mandioca.

Para elevar a temperatura da água de 25 a 78°C – 86°C são necessários uma quantidade de energia, mostrada na coluna E.ar1, parte dessa energia é perdida por convecção pela superfície do secador, tubulação e pelo trocador de calor, sem isolamento térmico, mostrada na coluna E.ar2, que é um valor maior que a energia dissipada pela água do produto

durante a secagem, com o isolante térmico as perdas de energia diminuem conforme mostrado na coluna R2 e E.ar2,. O isolamento térmico no tubo de secagem foi feito com 4 camadas de plástico e 9 de papel.

Tabela 4 - Energia fornecida , perdida e consumida durante o processo de secagem

V(m/s)	Fécua de Mandioca		Tb °C	E.ar1 kW	E.água kW	E.ar2 kW	R1 %	R2 %
	Ai %UB.S.	Af %UB.S.						
sem isolante térmico								
19,10	40	12,85	86	11,018	0,903	3,793	38,33	34,43
21,50	40	12,67	86	12,426	1,222	4,074	38,33	32,78
19,10	45	15,93	86	11,018	1,445	3,613	39,66	32,79
21,50	45	24,78	86	12,426	1,222	4,482	39,66	36,07
com isolante térmico								
19,1	40	12,13	85	10,838	0,903	0,903	16,67	8,33
21,1	40	9,77	85	11,982	0,903	0,998	16,67	8,33
19,1	45	15,26	84	10,657	1,264	0,723	18,64	6,78
21,1	45	12,32	84	11,782	1,398	0,799	18,64	6,78

Onde: Ai – amostra inicial de fécula (%U.B.S.); Af – amostra final de fécula (%U.B.S.); E.água – energia consumida pela água (kW); E.ar1 - Energia para elevar a temperatura do ar de 25 °C a 78 °C ou 86 °C(kW); E.ar2 - Energia perdida para o ar no tubo de secagem(kW); Tb - Temperatura do ar na entrada do secador(K); R1 - Rendimento do secador (%) (PUZZI, 1997); R2 – Perdas de energia para o ar, no tubo de secagem (%).

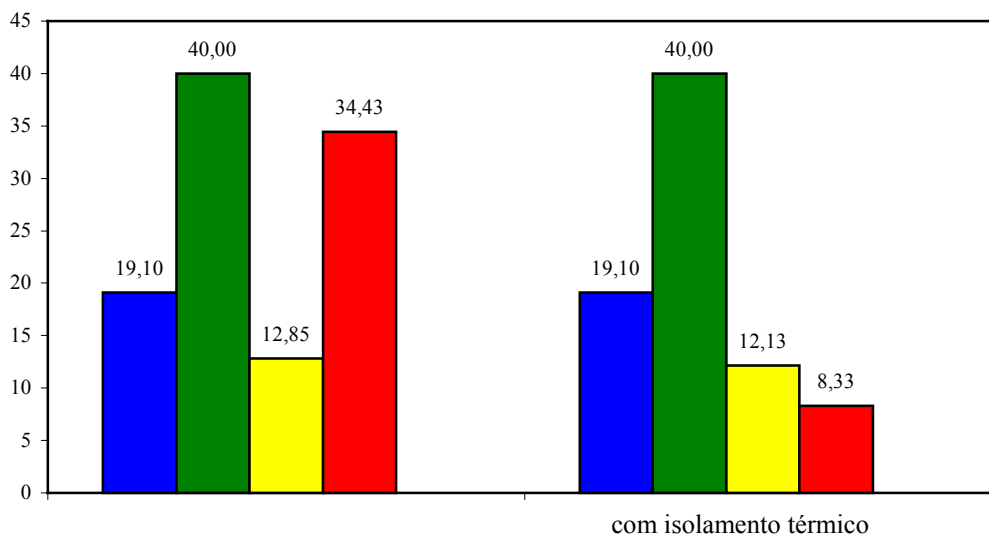


Figura 2. Perda de energia no tubo de secagem



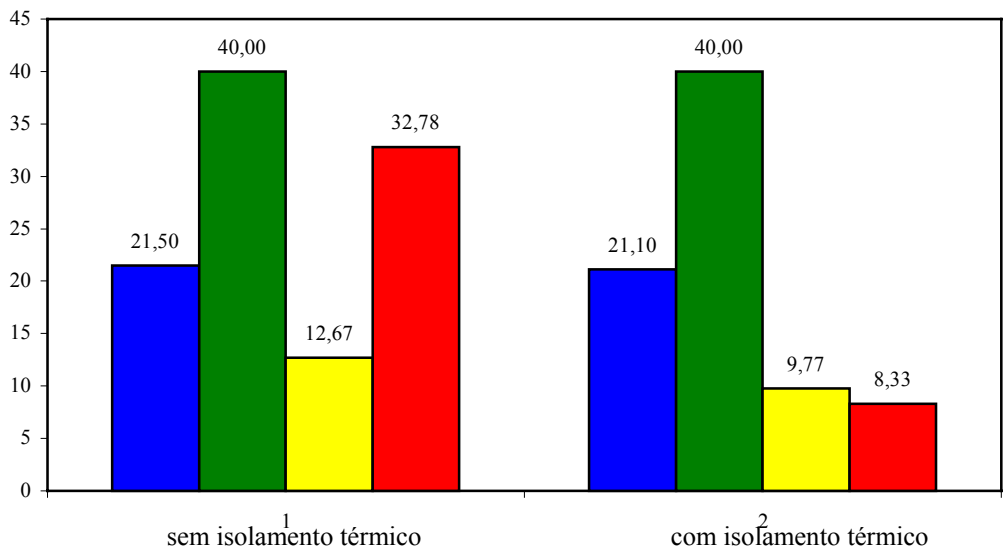


Figura 3. Perda de energia no tubo de secagem

As perdas de energia ocorrem na superfície do tubo de secagem, observa-se que estas diminuem significativamente com o isolamento térmico, permitindo uma redução no consumo de combustível, diminuindo assim o custo de produção, e a emissão de poluentes para o ar.

- Velocidade do fluxo de ar - V(m/s)
- Umidade Final da amostra - % U.B.S.
- Umidade inicial da amostra - % U.B.S.
- Perda de energia para o ar no tubo de secagem - %

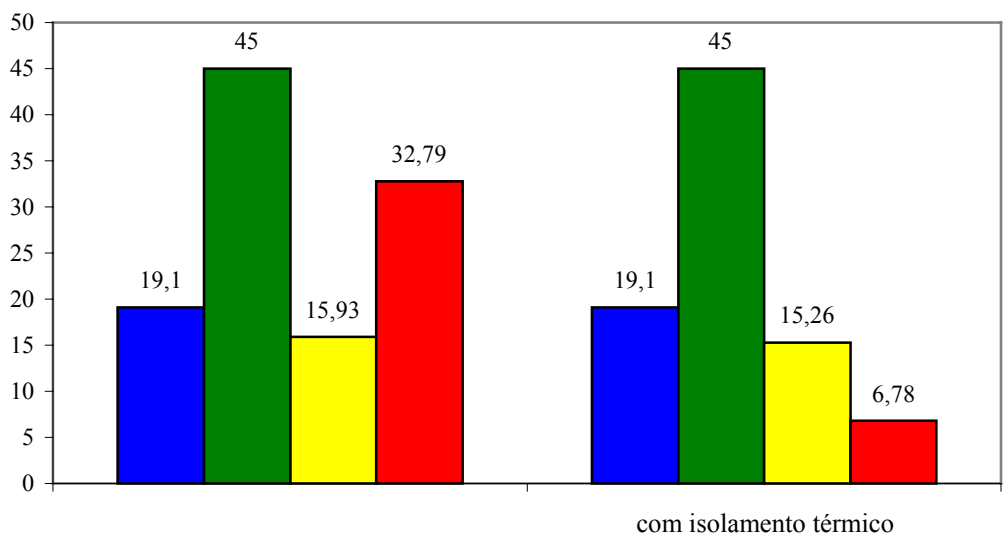


Figura 4. Perda de energia no tubo de secagem

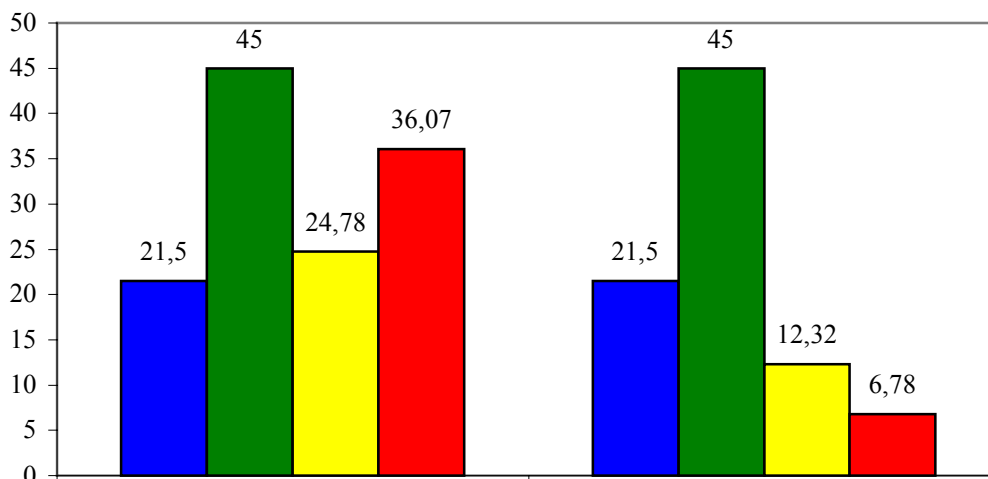


Figura 5. Perda de energia no tubo de secagem



A amostra com teor de umidade inicial maior, 45 % U.B.S. (% de umidade em base seca) com a redução das perdas de energia no tubo de secagem pelo isolamento térmico, foi possível atingir o teor de umidade necessário à comercialização que é de 12 a 13 % U.B.S.

4 Analise Exergética

Baseando-se na equação 2, tem-se que a exergia é a entalpia menos as perdas causadas pela entropia, onde se considera apenas o equilíbrio termodinâmico, e se analisa as perdas devido a entropia no sistema.

Equações em relação à fig. 1

4.1 Equações Termoeconomicas e Análise dos Fluxos

O custo do ar quente é calculado, através da energia utilizada na entrada do ar e energia no trocador de calor, mostradas na fig. 1, com as seguintes equações:

4.1.1 consumo de óleo diesel por segundo

$$fodk = \frac{E_{tc} * 1kg \text{ oleo}}{PCI \text{ oleo diesel}} = \frac{36,388kJ / s * 1kg \text{ oleo diesel}}{43.308kJ / kg} = 0,000838 \text{ kg / s} \quad (3)$$

fodk = Calculo do consumo de óleo diesel em kg por segundo (kg/s)

E_{tc} = energia fornecida ao trocador de calor (kJ/s)

PCI óleo diesel = Poder calorífico inferior do óleo diesel (kJ/kg)

4.1.2 Consumo de óleo em litros por segundo

$$fodl = fodk / \rho_o \quad (4)$$

$$fodl = \frac{0,000838 \text{ kg / s}}{0,86 \text{ kg / l}} = 0,000974 \text{ litros / s}$$

fodl = Consumo de óleo em litros por segundo (l/s)

4.1.3 Custo do óleo diesel por segundo

$$Cod = (pod).(fod) \tag{5}$$

$$Cod = \frac{R\$1,242 * 0,000974}{1 \text{ litro}} = R\$0,0012097 / s$$

Cod = Custo do óleo diesel por segundo (R\$/s)

4.1.4 Equação geral para cálculo do custo da energia dissipada por hora no secador

Ces = custo da energia dissipada por hora no secador (R\$/h)

$$Ces = (Pr.e. * (\frac{Edtc}{Hc}) / \rho_o) * 3600 \tag{6}$$

Pr - preço da energia (R\$/kW) ; Edtc - energia dissipada no trocador de calor (kW); Hc - entalpia de combustão ou poder calorífico do combustível (kJ/kh); ρ_o - massa específica do óleo (kg/m³)

A tabela 5 foi feita considerando a eficiência do trocador de calor em 50%, vazão mássica do ar de 0,22 kg/s , 1US = R\$ 3,67 em 15 novembro 2002. Nesta tabela os fluxos de ar e fécula de mandioca no secador flash dryer representados na figura 1, e são analisados em função do consumo e perdas de energia, sem o isolamento térmico durante a secagem, e na tabela 5 com o isolamento térmico.

Tabela 5 - Análise energética, exergetica e econômica de um secador flash dryer

sem isolamento térmico no tubo de secagem							
Fluxos	T K	h (kJ/kg)	s(kJ/kgK)	Fxe(kW)	Pe(kW)	Fxex(kW)	Sp(kW)
0	298,15	298,6	6,863	36,96		5,038073	31,922
1	398,15	399,4	7,155	22,176	14,784	3,022844	19,153
2	359,15	360	7,05	13,508	8,668	1,242109	12,266
3	338,15	338,8	6,99	8,844	4,664	0,513689	8,330
3	333,15	333,8	6,975	7,744	1,1	0,397584	7,346
4	entrada de ar, vapor d'água e fécula de mandioca no ciclone						
5	saída de ar do ciclone						
6					14,784		
7	entrada de energia no sistema						
8					8,668		
9	entrada de fécula de mandioca com teor de umidade em torno de 40 a 45% UB.S.						
10					4,664		
13	saída de fécula de mandioca seca, teor de umidade em torno de 12% UB.S.						

onde, h - entalpia (kJ/kg), s - entropia (kJ/kgK), Fxe - fluxo de energia (kW), Pe - perdas de energia (kW), Fxex - fluxo de exergia (kW) , Sp - perdas por entropia (kW)

Tabela 6 - Analise energetica, exergetica e econômica de um secador flash dryer

com isolamento térmico no tubo de secagem							
Fluxos	T K	h (kJ/kg)	s(kJ/kgK)	Fxe(kW)	Pe(kW)	Fxex(kW)	Sp(kW)
0	298,15	298,6	6,863	34,104		4,648768	29,45523
1	398,15	399,4	7,155	20,4624	13,6416	2,789261	17,67314
2	357,15	358	7,045	12,0582	8,4042	1,04275	11,01545
3	353,15	354	7,033	11,2462	0,812	0,957044	10,28916
3	346,15	346,9	7,013	9,8049	1,4413	0,726233	9,078667
4	entrada de ar, vapor d'água e fécula de mandioca no ciclone						
5	saída de ar do ciclone						
6					13,642		
7	entrada de energia no sistema						
8					8,404		
9	entrada de fécula de mandioca com teor de umidade em torno de 40 a 45% UB.S.						
10					0,812		
11					*		
12					*		
13	saída de fécula de mandioca seca, teor de umidade em torno de 12% UB.S.						

Com o isolamento térmico observa-se, no fluxo 3, que as perdas de energia no tubo de secagem diminuíram

Tabela 7 Custo do ar quente utilizando óleo, lenha e eletricidade como fonte de energia

	Óleo	Lenha	Eletricidade
consumo de combustível	0,000937 l/s		
preço do combustível	0,455 U\$/l data: 11/02/2003	0,0545 U\$/kg data: 11/02/2003	U\$/kwh data: 11/02/2003
custo do ar quente U\$/h	0,540	0,125	0,344

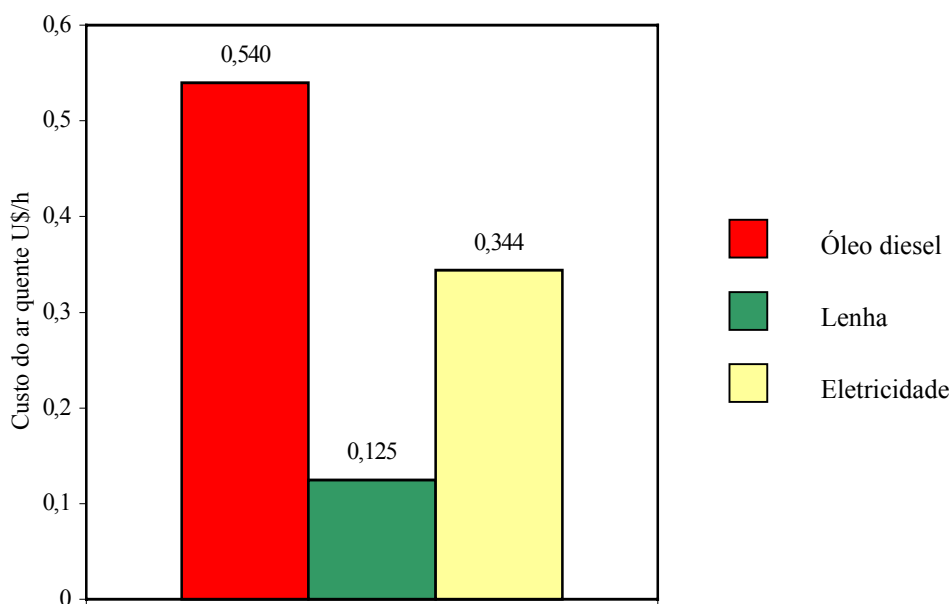


Figura 6. Custo do ar quente utilizando óleo, lenha e eletricidade

5. Conclusões

O método de Valero é muito útil na análise de um sistema energético simples ou complexo. No sistema de secagem *flash dryer*, o método permitiu uma visão global dos fluxos de ar, calor e fécula de mandioca, possibilitando uma análise termoeconômica, que nos permite uma gestão dos investimentos no projeto com o objetivo de diminuir custos de produção. Além disso uma análise dessa natureza permite uma visão do sistema na sua totalidade possibilitando uma visualização dos pontos onde ocorrem perdas desnecessárias de energia e nos permite fazer ajustes para um melhor funcionamento do sistema, para operar com mais eficiência, tanto em quantidade como em qualidade. O isolamento Térmico no tubo de secagem reduziu perdas significativas de calor no tubo de secagem conforme mostra a tab. 3, e isso implica em diminuição do custo de produção, tornando o produto mais competitivo no mercado. O custo de produção de ar quente usando lenha foi menor em relação a eletricidade e o óleo diesel. A redução das perdas de calor no implicam na diminuição da emissão de CO₂ e CO para a atmosfera, contribuindo assim com a diminuição do efeito estufa, conforme propõe o tratado de Kyoto. Estudos e pesquisas na área de ciências térmicas podem contribuir com a diminuição da poluição do meio ambiente.

6. References

- Castro, V. C., Aparecida, I., 1998, "Modelagem termoeconômica de sistemas de refrigeração: produção de água gelada para um laticínio", Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia UNESP, Guaratinguetá - SP, Brasil, 74p.
- Ebinuma, C. D., Silveira, J. L. and Balestieri, J. A. P., 1990, "Análise Exegética Para a Determinação do Desempenho Ótimo de uma Bomba de Calor", Anais do XI Seminário da Adunesp, Guaratinguetá, SP, Brasil, PP. 355-361
- Mujundar, A. S., 1995, "Handbook of industrial drying". 2nd ed. New York: Dekker, v.2
- Silveira, J. L. and Nogueira, L. A. H., 1992, "Thermoeconomic Functional Analysis Applied in Cogeneration Systems Associated to Cellulose Plants", Proceedings of the International Symposium ECOS'92 - On Efficiency, Costs, Optimization and Simulation of Energy Systems, ASME - American Society of Mechanical Engineers, Zaragoza, Spain, p.381-386.
- Puzzi, D., 1997, "Manual de armazenamento de grãos: armazéns e silos". São Paulo: Agronômica Ceres, 603 p.
- Silva, E.F., 2001, "Análise Teórica e Experimental de um Secador *Flash Dryer*", Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia, UNESP, Guaratinguetá-SP, Brasil, 2001. 75f.
- Silveira, J.L., "Uma Contribuição para a Modelagem Termoeconômica: Otimização da Operação e do Projeto de Sistemas Energéticos", Tese (Livro Docência, na disciplina Termodinâmica) Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- Silveira, J. L. and Lacava, P.T., 1992, "Análise Exergética de Sistema de Cogeração Aplicado à Fabricação de Papel e Celulose", Anais do III CEM-NNE Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste, João Pessoa, PB, Brasil pp.242-250.
- Silveira, J. L. and Nogueira, L. H. N., 1992, "Thermoeconomic Functional analysis Applied in Cogeneration Systems Associated to cellulose Plants", In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFICIENCY, COSTS, OPTIMIZATION AND SIMULATION OF ENERGY SYSTEMS - ECOS'92, ASME, Zaragoza, Spain, pp. 381-386.
- Valero, A., Lozano, M.A. and Bartolomé, J.L., 1996, "On-Line Monitoring of Power-Plant Performance, Using Exergetic Cost Techniques", Elsevier Science Ltd, Great Britain, v. 16, n.12, p. 933-948.
- Wall, G., 1990, "Optimization of Refrigeration Machinery", International Journal of Refrigeration, Vol. 14, pp. 336-340.
- Wylen, G.V., Sonntag, R. and Borgnakke, C., 1996, "Fundamentos da termodinâmica clássica". 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 537 p.

THERMOECONOMIC ANALYSIS OF THE FLASH DRYER

Edelweiss Felix da Silva

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE GUARATINGUETA

Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Transmissão e Conversão de Energia

Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, caixa postal 205

CEP: 12.516-410 Guaratinguetá SP

edelweis@feg.unesp.br

Luiz Roberto Carrocci

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE GUARATINGUETA
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Transmissão e Conversão de Energia
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, caixa postal 205
CEP: 12.516-410 Guaratinguetá SP
carrocci@feg.unesp.br

José Luz Silveira

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE GUARATINGUETA
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Transmissão e Conversão de Energia
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, caixa postal 205
CEP: 12.516-410 Guaratinguetá SP
joseluz@feg.unesp.br

Abstract:

In this article applies thermoeconomic foundation in the analysis of a System Dryer Flash, searching a global vision to calculate the energy consumption, losses of heat in all the phases of the drying process. An energy balance is made, the fuel is analyzed by the first law of the thermodynamics. A exergetic analysis or availability in each part of the drier became, with objective to diminish the costs of production and the fuel consumption, better functioning of the system, during the drying of cassava starch.

keywords: Flash dryer, cassava starch, thermoeconomic, drying, drier