

Henriete Lima Seixas

Análise Termodinâmica e de Emissões
de uma Planta para Secagem de Fermento

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Departamento de Engenharia Mecânica
**Programa de Pós-
Graduação em
Engenharia Mecânica**

**Rio de Janeiro
Setembro de 2003**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO**



Henriete Lima Seixas

**Análise Termodinâmica e de Emissões de uma
Planta para Secagem de Fermento**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Marcos Sebastião de Paula Gomes
Co-Orientador: Prof. Carlos Eduardo Reuther de Siqueira

Rio de Janeiro, 30 de setembro de 2003

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO**



Henriete Lima Seixas

**Análise Termodinâmica e de Emissões de uma
Planta para Secagem de Fermento**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marcos Sebastião de Paula Gomes

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Prof. Carlos Eduardo Reuther de Siqueira

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica – UCP

Prof^a. Gisele Maria Ribeiro Vieira

Departamento de Engenharia Mecânica – UCP

Prof. José Alberto dos Reis Parise

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de setembro de 2003

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e dos orientadores.

Henriete Lima Seixas

Graduou-se em Engenharia Mecânica na Universidade Católica de Petrópolis em 1976. Especializou-se em formação de professores em 1989. Realizou cursos de especialização na área de educação. Atualmente é professor na Universidade Católica de Petrópolis, no departamento de engenharia mecânica e no instituto de ciências exatas e naturais

Ficha Catalográfica

Seixas, Henriete Lima

Análise termodinâmica e de emissões de uma planta para secagem de fermento / Henriete Lima Seixas; orientador: Marcos Sebastião de Paula Gomes; co-orientador: Carlos Eduardo Reuther de Siqueira – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Mecânica, 2003.

3 v. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Análise energética. 3. Análise exergética. 4. Poluição atmosférica. 5. Emissões. I. Gomes, Marcos Sebastião de Paula. II. Siqueira, Carlos Eduardo Reuther de. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

CDD: 621

A meus pais, in memoriam, Vivaldi
Seixas e Perciliana Lima Seixas

A minha filha Júlia e meus irmãos
Valdeck e Velania.

A minha tia, in memoriam, Nylde
Seixas da Cunha

Ao meu amigo Carlos Eduardo
Reuther de Siqueira.

Agradecimentos

A Deus pela minha existência..

A meus pais Vivaldi e Perciliana por todo amor.

Ao Professor Marcos Sebastião de Paula Gomes, meu orientador e mestre pela atenção, paciência e apoio durante o curso.

Ao Professor Carlos Eduardo Reuther de Siqueira, meu co-orientador e amigo por toda sua dedicação e tolerância com minhas falhas.

Ao Professor Nelson Panza por me mostrar o caminho da PUC.

A Universidade Católica de Petrópolis por viabilizar o curso de mestrado através do convênio PUC-Rio/UCP.

Ao Professor Ricardo Grecchi, diretor da escola de engenharia da UCP por ocasião do início do mestrado, pela oportunidade, apoio e confiança.

Ao Professor Aldo Falconi que motivou este tema de dissertação e ao funcionário da UCP e amigo, Gilson Sousa.

Aos ex-alunos João Marcos Machado e Rodrigo Azara funcionários da Fleischmann pelo fornecimento dos dados e por toda atenção.

A professora Monica Nacache por sua generosidade e incentivo.

Aos professores Alcir, Cesário, Hélio Kohler, Luiz Fernando, Marcos Sebastião e Monica, por seus brilhantes ensinamentos.

A meu irmão Valdeck pelo apoio e incentivo.

As Professoras da UCP e amigas Gisela, Maria Cristina, Gisele e Sheila pelas inestimáveis colaborações.

A professora Silvia Nebra da UNICAMP, pelos valiosos papers enviados.

Aos companheiros e amigos do mestrado André, Luiz Antônio, Marcos, Renata e Sueli pela qualidade da convivência, carinho e apoio inesquecíveis.

A minha filha Júlia pelo companheirismo e cumplicidade.

Ao Dr. Carlos Augusto e minha amiga Gertraud pelos momentos encorajadores.

Resumo

Lima Seixas, Henriete; Gomes, Marcos Sebastião de Paula; Siqueira, Carlos Eduardo Reuther de. **Análise termodinâmica e de emissões de uma planta para secagem de fermento**. Rio de Janeiro, 2003. 102p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho desenvolveu uma análise termodinâmica e de emissões em uma planta industrial para secagem de fermento. Esta análise foi feita através da otimização energética de uma planta de geração de vapor com objetivo de contribuir com a diminuição de emissões de gases pela redução do uso do combustível fóssil, o óleo BPF. A redução de emissões visa a diminuição da poluição atmosférica no que diz respeito à emissão de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa. Foi desenvolvida uma análise energética e exergética da planta de geração de vapor e a verificação dos parâmetros operacionais da mesma através de um modelo termodinâmico, em regime permanente, utilizando-se da primeira lei e segunda lei da termodinâmica. Nesta análise, foram verificados os equipamentos da planta onde ocorreram as maiores perdas térmicas e as maiores irreversibilidades, indicando quais as medidas para melhorar o desempenho da planta e reduzir o consumo de combustível, o que significará uma redução nas emissões de poluentes para a atmosfera.

Palavras-chave

Análise energética, análise exergética, poluição atmosférica, emissões.

Abstract

Lima Seixas, Henriete; Gomes, Marcos Sebastião de Paula; Siqueira, Carlos Eduardo Reuther de. **Analysys and Control of Pollutants Emissions from a boiler Operating with Fuel Oil**. Rio de Janeiro, 2003. 100p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present work developed a thermodynamic and emissions analysis in an industrial plant for ferment drying. This analysis was made through the energy optimization of a plant of steam generation with the objective of contributing to the decrease of emissions of gases through the reduction of the use of fossil fuel, the BPF oil. The reduction of emissions seeks the decrease of the atmospheric pollution with respect to the emission of gases that contribute to the increase of the greenhouse effect. It was included the energy and exergetic analysis of the steam generation plant and the verification of the performance of the plant by a thermodynamic model, in permanent regime, through the first and second laws of thermodynamics. In this analysis, it is verified the equipment of the plant where occurs the largest thermal losses and the largest irreversibility. It is also indicated which measures should be taken to improve the performance of the plant and for reducing the consumption of fuel, which will lead to a reduction in the emission of atmospheric pollutants.

Keywords

Energetic analisys; exergetic analisys; atmospheric pollution; emissions.

Sumário

1. Introdução	14
1.1. Breve histórico	14
1.2. Revisão Bibliográfica	17
1.3. Objetivos	26
1.4. Conteúdo do trabalho	26
2. Descrição da planta	28
2.1. Descrição do processo de secagem	28
2.2. Descrição dos equipamentos da planta	31
2.3. A instrumentação da planta	33
2.4. Dados de entrada	35
3. A análise energética e exergética da planta	36
3.1. A planta para análise	37
3.2. Hipóteses	37
3.3. Primeiro resfriador	38
3.4. Secador de <i>spray</i> de brometo de lítio	41
3.5. Pré-aquecedor	43
3.6. Aquecedor	46
3.7. Secador do leite fluidizado	48
3.8. Exaustor	50
3.10. Simulação numérica da planta	53
3.11. Irreversibilidade na planta	54
3.12. Consumo de combustível da caldeira	56
4. Resultados	57
4.1. Análise dos dados coletados da planta	57
4.2. Análise geral da planta	69
4.3. Otimização do processo de aquecimento do ar	74
5. Conclusões e sugestões	84
Referência bibliográfica	86
Apêndice A	88
Apêndice B	89
Apêndice C	100

Lista de Figuras

Figura 2.1 –	Planta de geração de vapor	29
Figura 2.2 –	Instrumentação da planta de geração de vapor.	34
Figura 3.1 –	Primeiro resfriador.	38
Figura 3.2 –	Secador de <i>spray</i> de brometo de lítio.	41
Figura 3.3 –	Pré-aquecedor.	44
Figura 3.4 –	Aquecedor.	46
Figura 3.5 –	Secador de leite fluidizado.	49
Figura 3.6 –	Exaustor.	51
Figura 3.7 –	Queda de pressão nos equipamentos.	53
Figura 4.1 –	Temperatura da salmoura na saída do circuito secundário e entrada no primeiro resfriador da planta de geração de vapor.	58
Figura 4.2 –	Temperatura da salmoura na entrada do circuito secundário e saída do primeiro resfriador da planta de geração de vapor.	59
Figura 4.3 –	Temperatura do brometo de lítio antes de entrar no secador de <i>spray</i> de brometo de lítio da planta de geração de vapor.	60
Figura 4.4 –	Temperatura do ar na saída do aquecedor, ponto 5 da planta de geração de vapor.	61
Figura 4.5 –	Temperatura do ar no fundo da caçamba A, no secador de leite fluidizado da planta de geração de vapor.	62
Figura 4.6 –	Temperatura do ar no fundo da caçamba B, no secador de leite fluidizado da planta de geração de vapor.	63
Figura 4.7 –	Umidade do fermento dentro do secador de leite fluidizado da planta de geração do vapor.	64
Figura 4.8 –	Temperatura do ar na saída do secador de leite fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor.	65
Figura 4.9 –	Umidade relativa do ar na saída do secador de leite fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor.	66
Figura 4.10 –	Pressão diferencial entre o ponto 6 e o ponto 7 da planta de geração de vapor.	67
Figura 4.11 –	Vazão de ar na saída do secador de leite fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor.	68
Figura 4.12 –	Diagrama $T \times s$ indicando os pontos <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> e <i>d</i> com suas respectivas pressões e temperaturas.	70
Figura 4.13 –	Carta psicrométrica com a evolução das temperaturas do fluxo de ar da tabela 4.1.	71
Figura 4.14 –	Irreversibilidade nos equipamentos.	72
Figura 4.15 –	Planta de geração de vapor para uso exclusivo do aquecimento do ar.	74
Figura 4.16 –	Diagrama $T \times s$ indicando a temperatura no ponto <i>f</i> entre as temperaturas nos pontos <i>e</i> e <i>d</i> .	75
Figura 4.17 –	Circuito das parcelas de vazão de vapor em <i>d</i> , em <i>e</i> e a mistura em <i>f</i> .	76

Figura 4.18 –	Tanque <i>flash</i> indicando as parcelas de vazão de vapor que seguem para o pré-aquecedor e para a caldeira.	77
Figura 4.19 –	Diagrama T x s indicando o processo isoentálpico.	78
Figura 4.20 –	Diagrama T x s indicando a localização do ponto <i>d</i> com a otimização.	79
Figura B.1.1 –	Temperatura da salmoura na saída do circuito secundário e entrada no primeiro resfriador da planta de geração de vapor.	89
Figura B.1.2 –	Temperatura da salmoura na entrada do circuito secundário e saída do primeiro resfriador da planta de geração de vapor.	90
Figura B.1.3 –	Temperatura do brometo de lítio antes de entrar no secador de <i>spray</i> de brometo de lítio da planta de geração de vapor.	90
Figura B.1.4 –	Temperatura do ar na saída do aquecedor, ponto 5 da planta de geração de vapor.	91
Figura B.1.5 –	Temperatura do ar no fundo da caçamba A, no secador de leite fluidizado da planta de geração de vapor.	91
Figura B.1.6 –	Temperatura do ar no fundo da caçamba B, no secador de leite fluidizado da planta de geração de vapor.	92
Figura B.1.7 –	Umidade do fermento dentro do secador de leite fluidizado da planta de geração do vapor.	92
Figura B.1.8 –	Temperatura do ar na saída do secador de leite fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor.	93
Figura B.1.9 –	Umidade relativa do ar na saída do secador de leite fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor.	93
Figura B.1.10 –	Pressão diferencial entre o ponto 6 e o ponto 7 da planta de geração de vapor.	94
Figura B.1.11 –	Vazão de ar na saída do secador de leite fluidizado , ponto 6 da planta de geração de vapor.	94
Figura B.2.1 –	Temperatura da salmoura na saída do circuito secundário e entrada no primeiro resfriador da planta de geração de vapor.	95
Figura B.2.2 –	Temperatura da salmoura na entrada do circuito secundário e saída do primeiro resfriador da planta de geração de vapor.	96
Figura B.2.3 –	Temperatura do brometo de lítio antes de entrar no secador de <i>spray</i> de brometo de lítio da planta de geração de vapor.	96
Figura B.2.4 –	Temperatura do ar na saída do secador de <i>spray</i> de brometo de lítio da planta de geração de vapor	97
Figura B.2.5 –	Temperatura do ar na saída do aquecedor , ponto 5 da planta de geração de vapor	97
Figura B.2.6 –	Temperatura do ar no fundo da caçamba A, no secador de leite fluidizado da planta de geração de vapor.	98
Figura B.2.7 –	Pressão diferencial na saída do secador de leite	

	fluidizado, entre os pontos 6 e 7 da planta de geração de vapor.	98
Figura B.2.8 –	Vazão de ar na saída do secador de leito fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor.	99

Lista de tabelas

Tabela 2.1 -	Dados de entrada para o programa.	35
Tabela 4.1 -	Parâmetros dos fluxos da planta.	69
Tabela 4.2 -	Resultados da otimização.	82
Tabela 4.3 -	Resultados otimizados para a vazão de combustível e emissões de poluentes.	83

Lista de símbolos

\dot{m}	- vazão mássica [kg/s]
h	- entalpia [kJ/kg]
p	- pressão total do ar [kPa]
\dot{Q}	- calor retirado do ar pela salmoura [w]
s	- entropia [kJ/kgk]
T	- temperatura [°C]

Subscritos

a	- vapor saturado
as	- ar seco
b	- vapor saturado
BL	- brometo de lítio
c	- vapor saturado
d	- vapor saturado
L	- líquido
o	- meio ambiente ou estado morto
sat	- saturação
v	- vapor
vf	- vapor fornecido pelo fermento
w	- vapor d'água recolhido
1,2,3,4,5,6 e 7	- entradas e saídas na planta

Letras gregas

α	- entrada no secador de spray de brometo de lítio
β	- saída no secador de spray de brometo de lítio
ϕ	- umidade relativa do ar [%]
ψ	- exergia [kJ/kg]
ω	- umidade absoluta do ar [kg vapor d'água/kg ar seco]

A sociedade deve mostrar-se capaz de assumir novos hábitos e de projetar um tipo de desenvolvimento que cultive o cuidado com os equilíbrios ecológicos e funcione dentro dos limites impostos pela natureza. Não significa voltar ao passado, mas oferecer um novo enfoque para o futuro comum.

Leonardo Boff