

Referência bibliográfica

Balestieri, J.A.P. et al, “Metodologias para Análise de Sistemas Energéticos”, paper apresentado no XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, São Paulo, Novembro, 1999.

Campo,E.R.B., “Análises Energética e Exergética do Sistema de Cogeração da Usina Vale do Rosário”, paper apresentado no VII ENCIT, Rio de Janeiro, Novembro, 1998.

Carril,T.P., Nebra,S.A. e Prieto, M.G.S., “Análise do Custo Exergético do Sistema de Geração de Vapor da Usina Cruz Alta”, XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM, 2001.

Correia,P.B., Perez,S.A.N. e Modesto,M., “Otimização de um Sistema de Cogeração com Turbina a Gás com Caldeira de Recuperação”, XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM, 2001.

Costa,C.E.S.M.C., “Irreversibilidade e Custos em Trocadores de Calor”, dissertação de mestrado, departamento de engenharia mecânica, PUC-Rio, 1986.

S.A.Klein,F.L.Alvarado.,”EES-Engineering Equation Solver”,Academic version 6564, Mechanical Engineering Department, Texas A & M University-College Station, Tx, 1992.

Fontoura,J.A.F, “Simulação Termodinâmica de Plantas de Cogeração”, dissertação de mestrado, departamento de engenharia mecânica, PUC-Rio, 1990.

Gomes,M.S.P., “Notas de aula da disciplina Controle da Poluição Atmosférica, curso de mestrado, departamento de engenharia mecânica, PUC-Rio, 2001.

Leal,P.M., Cortez,L.A.B. e Nebra,S.A. “Avaliação Exergética de Processos Psicrométricos”, publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p. 421-428, Campina Grande, Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, 2000.

Modesto,M. et al, “Análise Energética e Exergética em um Sistema de Cogeração de Potência com Aproveitamento de Gases Siderúrgicos”, 1º Congresso Internacional de Biomassa Plantada para Produção de Potência e Metais, Outubro, Belo Horizonte, 2001.

Nebra,S.A., Prieto,M.S. e Vitoriano,C., “Análise Energética do Sistema de Geração de Vapor da Usina Severina”, X Congresso Interno de Iniciação Científica da UNICAMP, São Paulo, Setembro, 2001.

Nebra,S.A., Prieto,M.G.S., “Análise do Custo Exergético do Sistema de Cogeração de uma Usina Açucareira”, XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM, 2001.

Siqueira,C.E.R.,”Análise Teórica –Experimental de um Ciclo de Refrigeração a Ar”, tese de doutorado, departamento de engenharia mecânica, PUC-Rio, 2000.

Sanchez,M.G., Nebra,S.A., “Thermoeconomic Analysis of a Cogeneration System of a Sugar Mill Plant”., Proceedings of ECOS 2002, Berlim, Germany, July, 2002.

Silva,M.G.A.J., “A terra e sua atmosfera”, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Novembro, 1998.

Silva,R.J. e Nebra,S.A., “Análise Exergética Comparativa entre um Forno Rotativo com Pré-aquecedor de Quatro Estágios e um com Pré-aquecedor e Pré-calcinador”, Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM, São paulo, 1997.

6.1

Bibliografia

Batchelor, “Introduction to Fluid Dynamics”, Cambridge University Press, Cambridge, 1967.

Currie, I. G. “Fundamental Mechanics of Fluids”, McGraw-Hill, New York, 1974.

Seinfeld, J.H. e Pandis, S.N. “Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change”, John Wiley & Sons, New York, 1997.

Slattery, J. C. “Advanced Transport Phenomena: Momentum, Energy and Mass Transfer in Continua”, McGraw-Hill-Kogakusha ed., Tokio, 1972.

Wyllen,G.V., Sonntag,R. e Borgnakke,C., “Fundamentos da Termodinâmica Clássica”, tradução da quarta edição americana, Editora Edgard Blücher Ltda, 1995.

Apêndice A

Dados do aquecedor

Neste apêndice são apresentados os dados operacionais do aquecedor. Os dados aqui apresentados são considerados sigilosos e são cortesia da empresa.

Tabela A.1- Dados do aquecedor

Condições de operação	Unidade	Lado externo	Lado interno
Fluido		Ar	Vapor
Pressão de trabalho	kgf/cm ²	1,033	10
Pressão de projeto	kgf/cm ²	X	12
Pressão de teste	kgf/cm ²	X	18
Temperatura de trabalho	°C	14/120	183
Temperatura de projeto	°C	150	200
Perda de carga		32,01 mmH ₂ O	0,01kg/cm ²
Número de passes		1	1
Vazão	kg/h	55347	2880
Área de troca	m ²	390,1	
Capacidade de troca térmica		1413578kcal/h	
Peso vazio aproximado		960kg	

Tabela A.2 - Dados do pré-aquecedor

Condições de operação	Unidade	Aletas	Tubos
Pressão de projeto	kgf/cm ²	X	12
Pressão de teste	kgf/cm ²	X	18
Pressão de trabalho	kgf/cm ²	X	3
Temperatura de projeto	°C	50	50
Temperatura de trabalho	°C	6/14	25/22,26
Vazão	kg/h	56934	39895
Número de passes		1	4
Dimensão	Mm	215x1600x2000	
Capacidade de troca	kcal/h	111800,00	
Área de troca	m ²	243,5	

Apêndice B

Secagens 2 e 3

Neste apêndice, serão apresentadas as secagens 2 e 3, apenas como forma ilustrativa, de como se comportam alguns dados durante a secagem, em regime transiente e que foram fornecidos pela fábrica. As secagens 2 e 3 são repetitivas. A diferença só existe na secagem 2 porque a caçamba A agora está secando o fermento úmido e a caçamba B está descarregando o fermento que já se encontra seco. A secagem 3 é idêntica a secagem 1.

B.1

Secagem 2

Na secagem 2, serão indicados os dados coletados na fábrica, em toda a planta como mostram as Figuras abaixo.

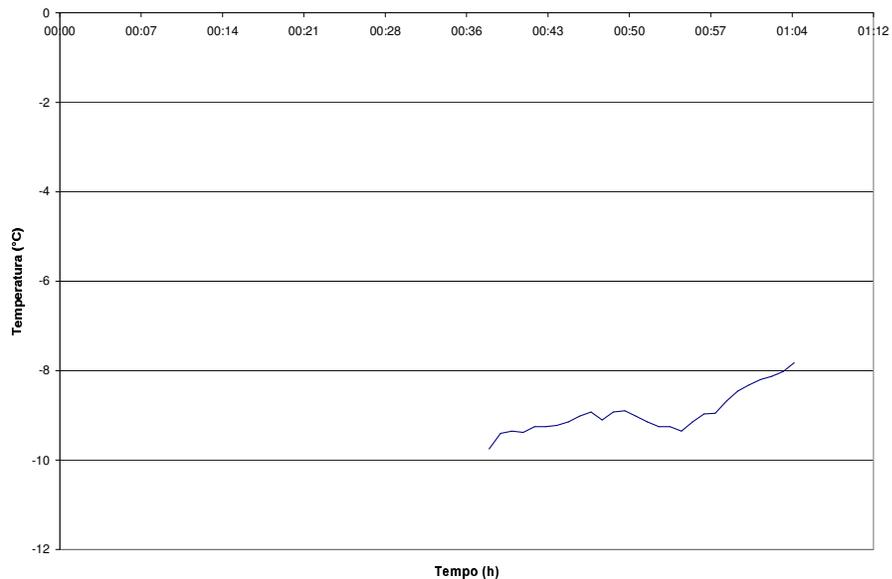


Figura B.1.1- Temperatura da salmoura na saída do circuito secundário e entrada no primeiro resfriador da planta de geração de vapor

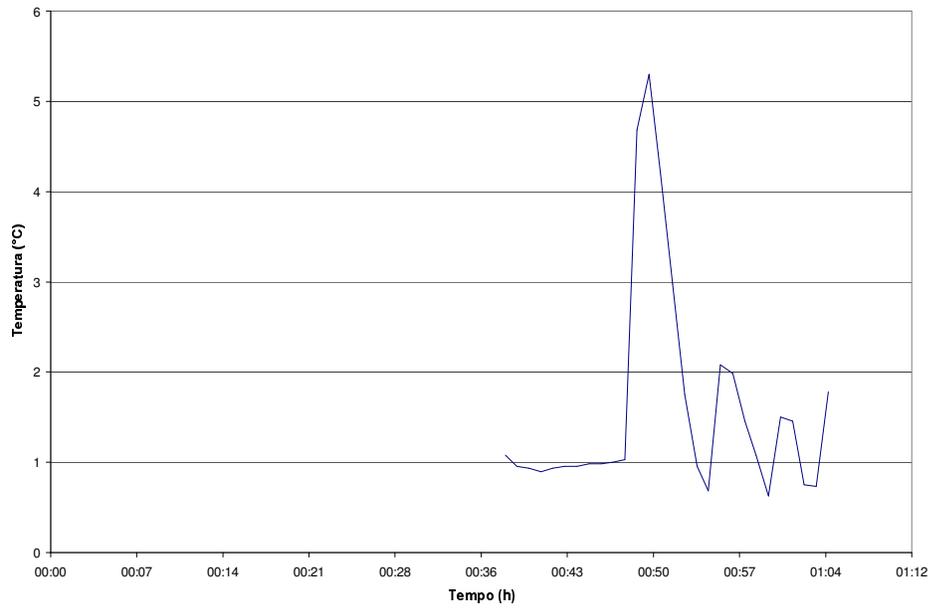


Figura B.1.2 - Temperatura da salmoura na entrada do circuito secundário e saída do primeiro resfriador da planta de geração de vapor.

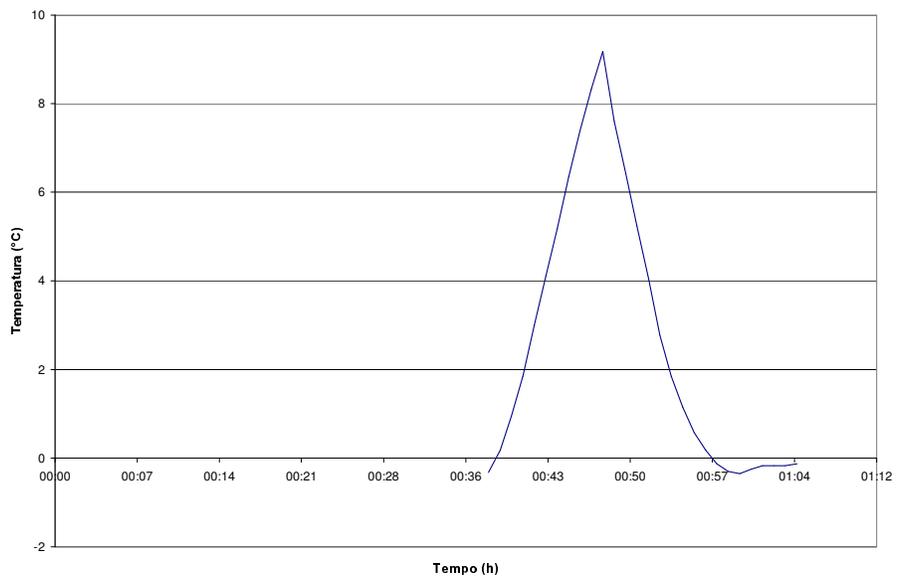


Figura B.1.3 - Temperatura do brometo de lítio antes de entrar no secador de *spray* de brometo de lítio da planta de geração de vapor.

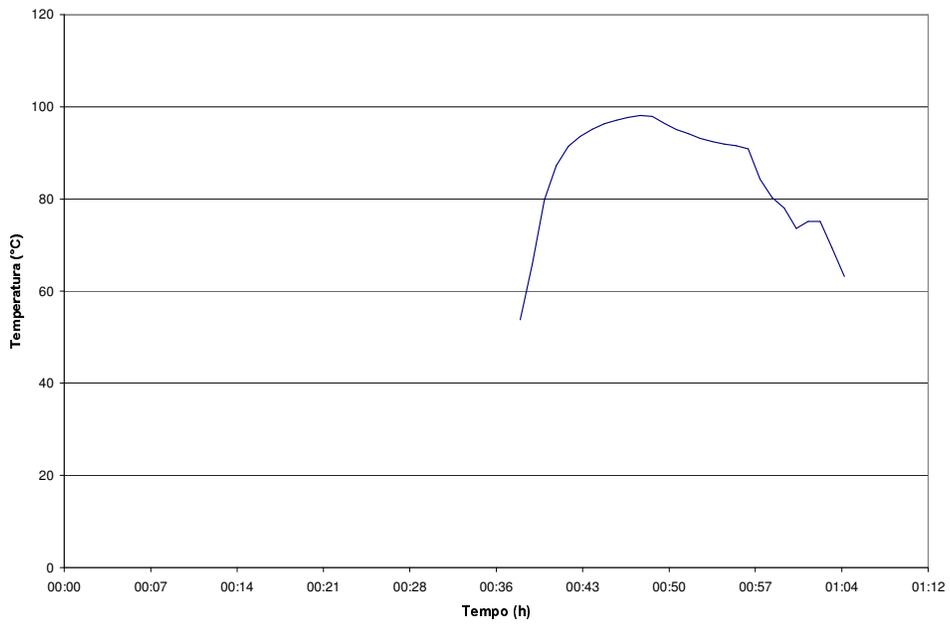


Figura B.1.4 - Temperatura do ar na saída do aquecedor, ponto 5 da planta de geração de vapor.

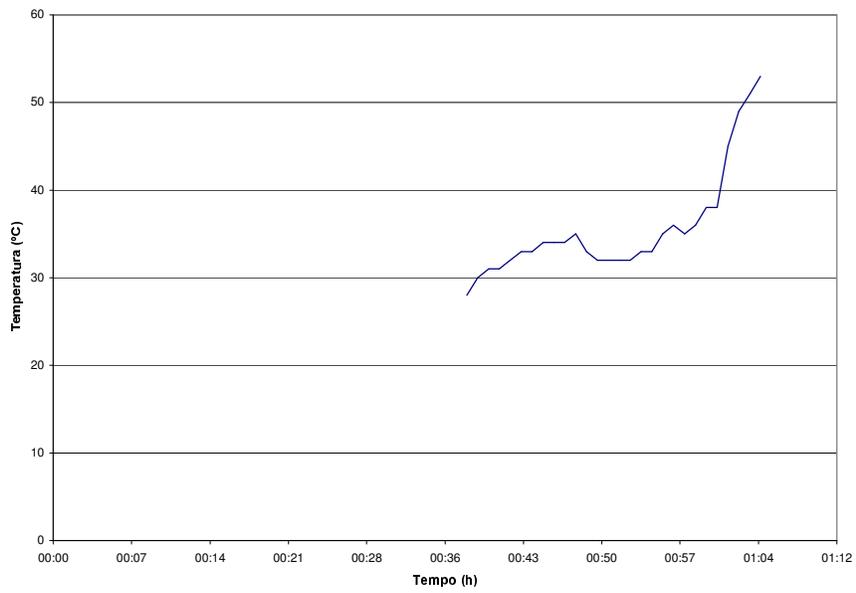


Figura B.1.5 – Temperatura do ar no fundo da caçamba A, no secador do leito fluidizado da planta de geração de vapor

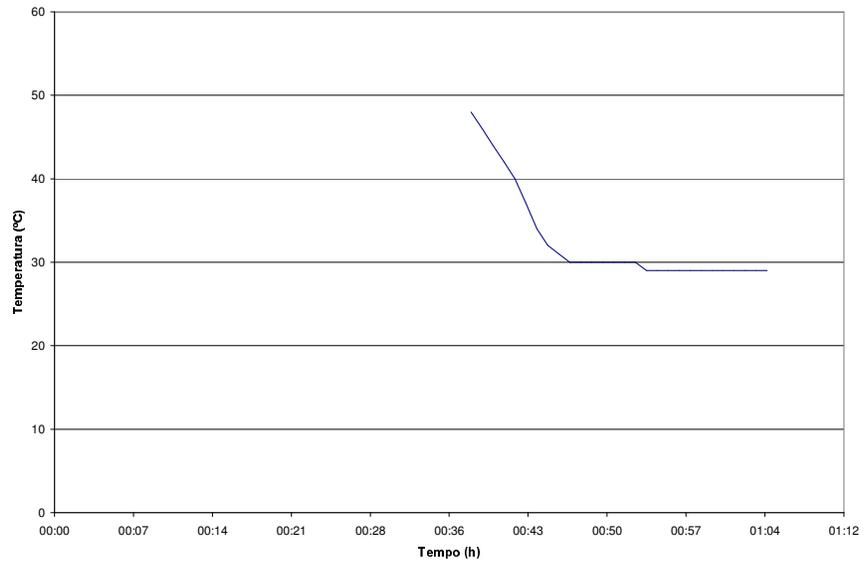


Figura B.1.6 - Temperatura do ar no fundo da caçamba B, no secador de leito fluidizado, da planta de geração de vapor

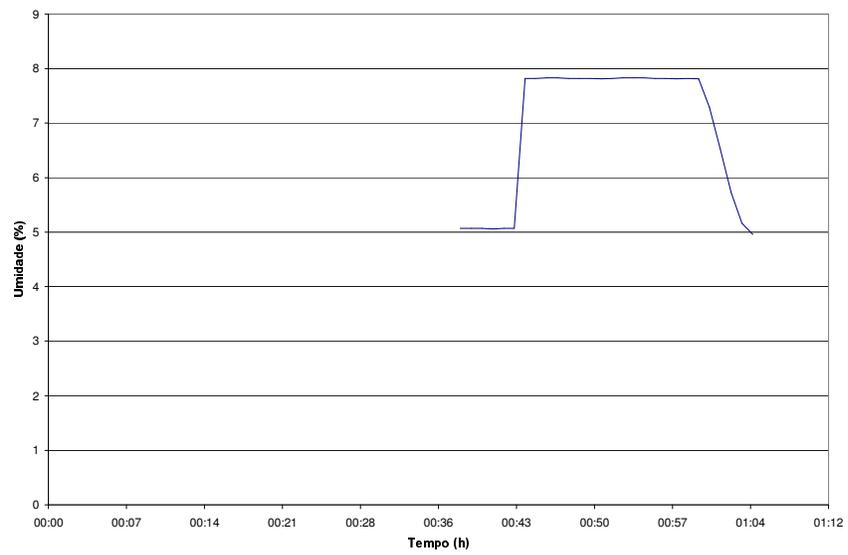


Figura B.1.7 - Umidade do fermento dentro do secador de leito fluidizado da planta de geração de vapor

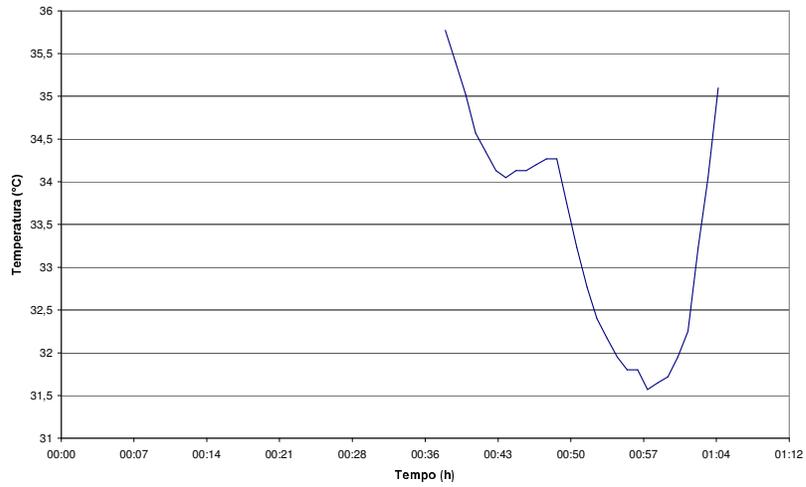


Figura B.1.8 - Temperatura do ar na saída do secador de leito fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor

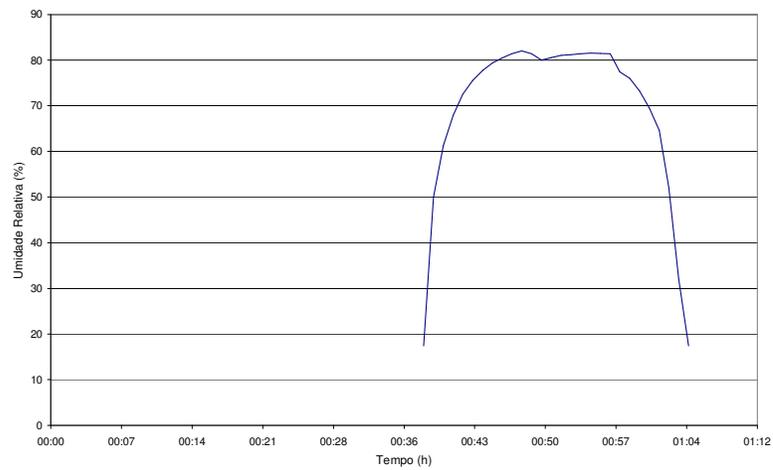


Figura B.1.9- Umidade relativa do ar na saída do secador de leito fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor

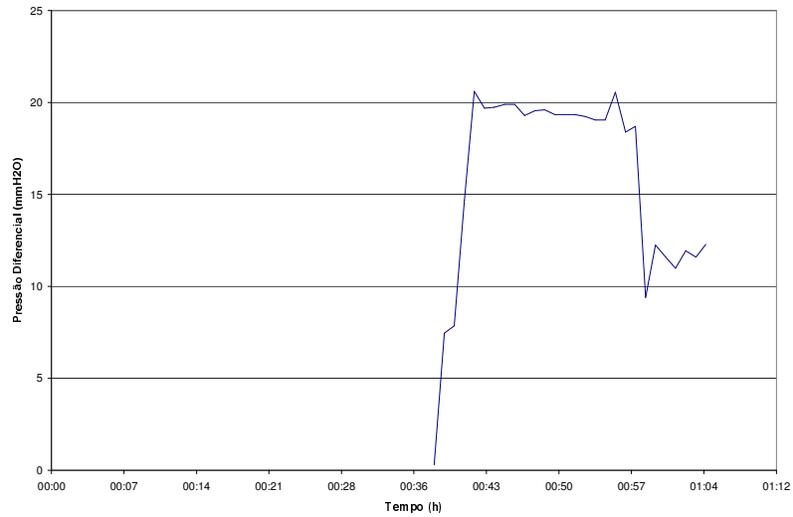


Figura B.1.10 - Pressão diferencial, entre o ponto 6 e o ponto 7 da planta de geração de vapor.

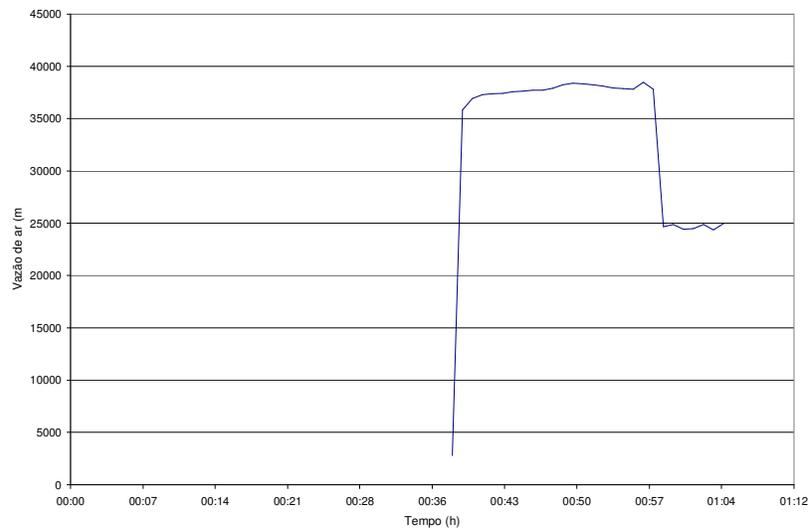


Figura B.1.11 - Vazão de ar na saída do secador de leito fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor.

B.2 Secagem 3

Na secagem 3, serão indicados os dados coletados na fábrica em toda a planta como mostra a Figura 2.1.

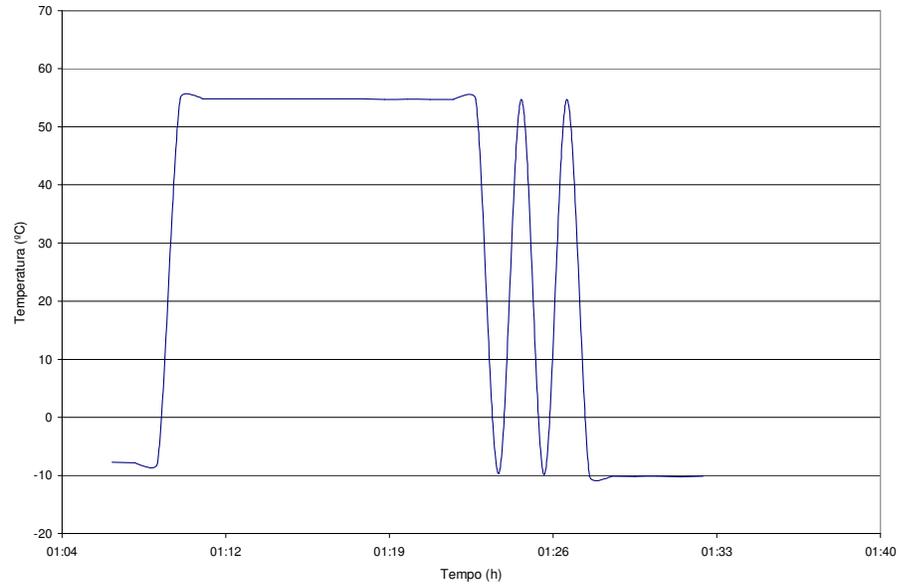


Figura B.2.1 - Temperatura da salmoura na saída do circuito secundário e entrada no primeiro resfriador da planta de geração de vapor

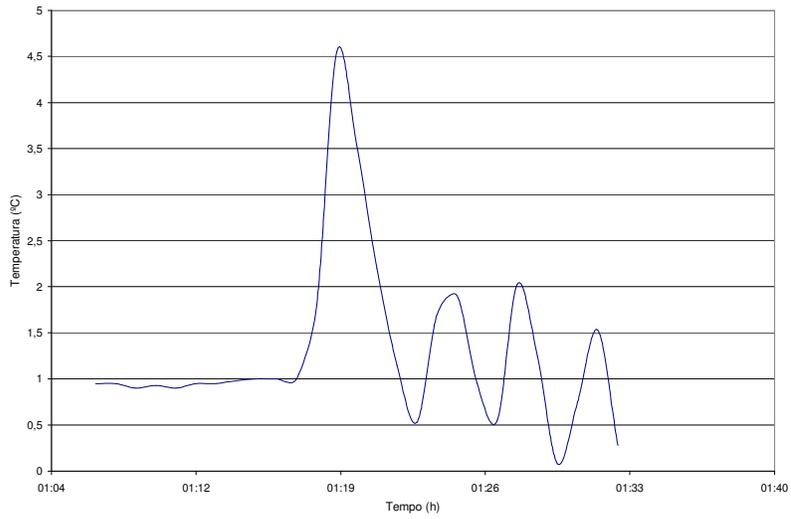


Figura B.2.2 - Temperatura da salmoura na entrada do circuito secundário e saída do primeiro resfriador da planta de geração de vapor

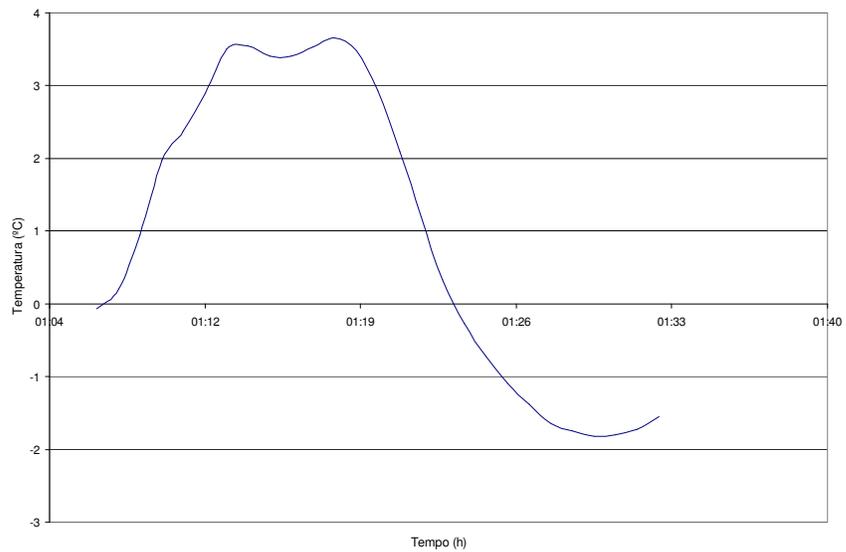


Figura B.2.3 - Temperatura do brometo de lítio antes de entrar no secador de spray de brometo de lítio da planta de geração de vapor

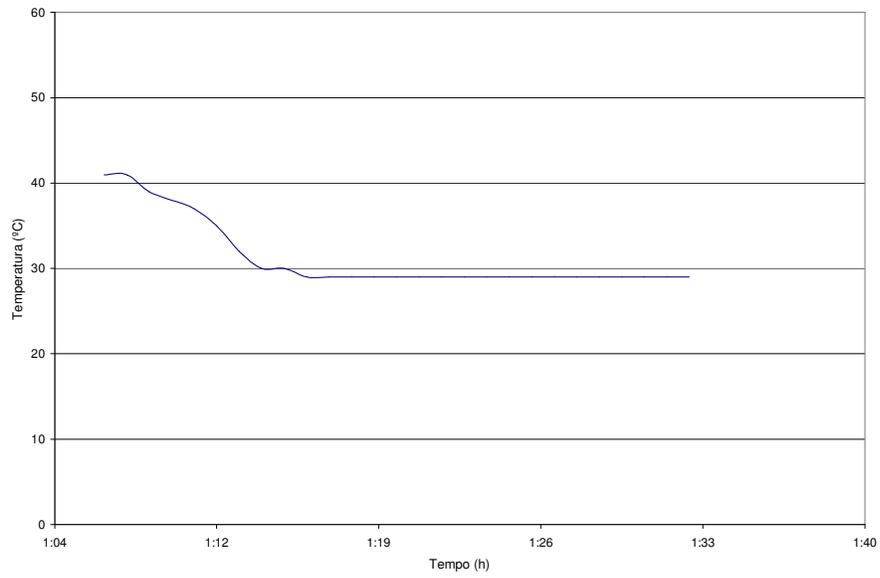


Figura B.2.4 – Temperatura do ar na saída do secador de *spray* de brometo de lítio da planta de geração de vapor

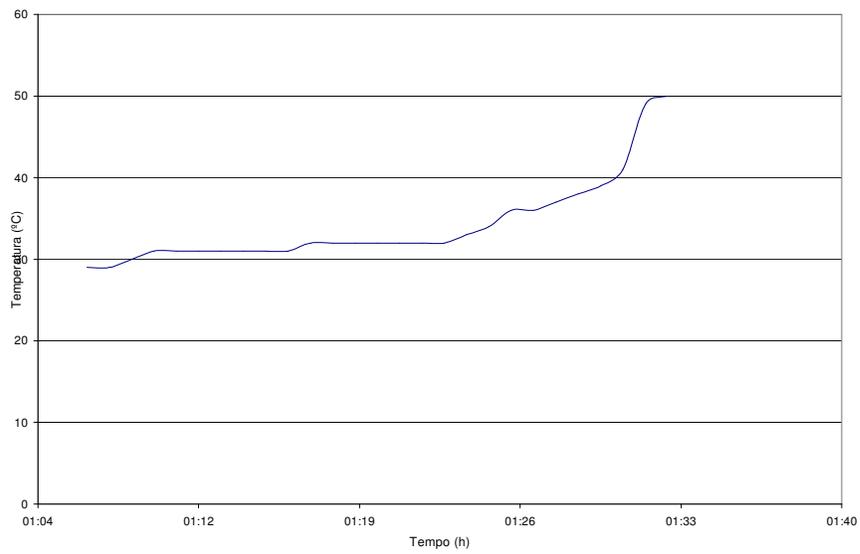


Figura B.2.5 - Temperatura do ar na saída do aquecedor , ponto 5 da planta de geração de vapor

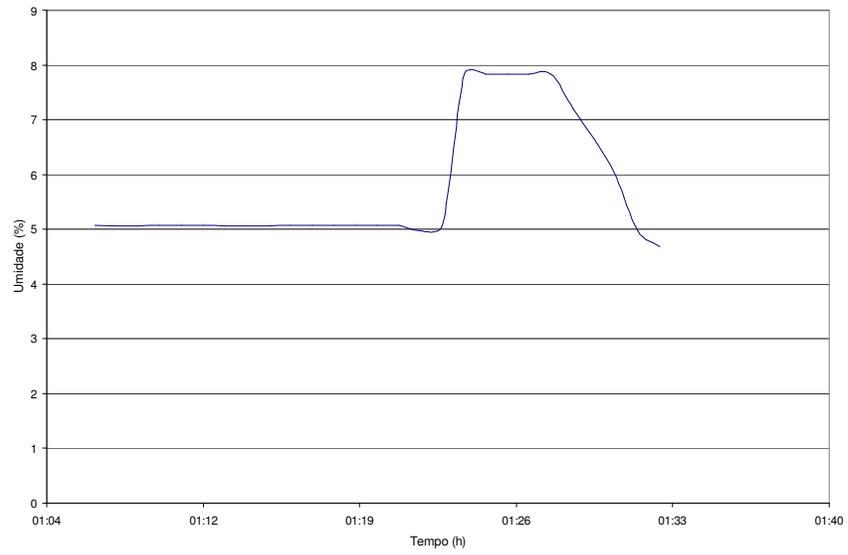


Figura B.2.6 - Temperatura do ar no fundo da caçamba A, no secador de leito fluidizado, da planta de geração de vapor

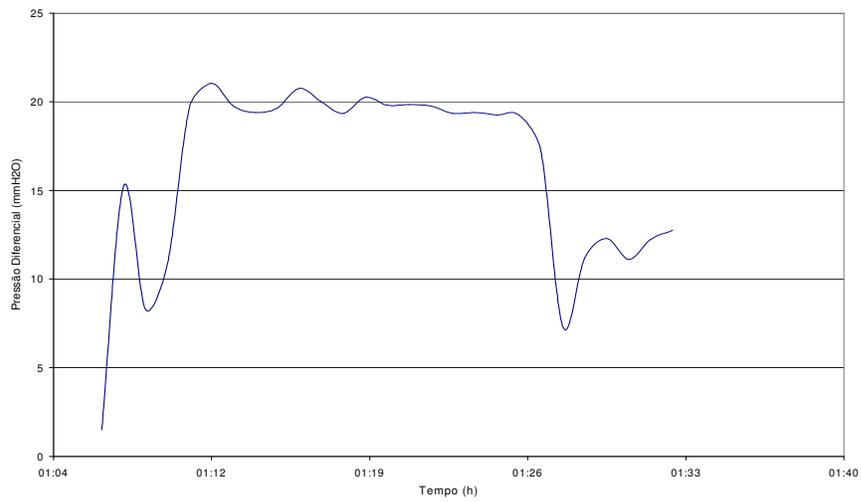


Figura B.2.7 - Pressão diferencial na saída do secador de leito fluidizado, entre os pontos 6 e 7 da planta de geração de vapor

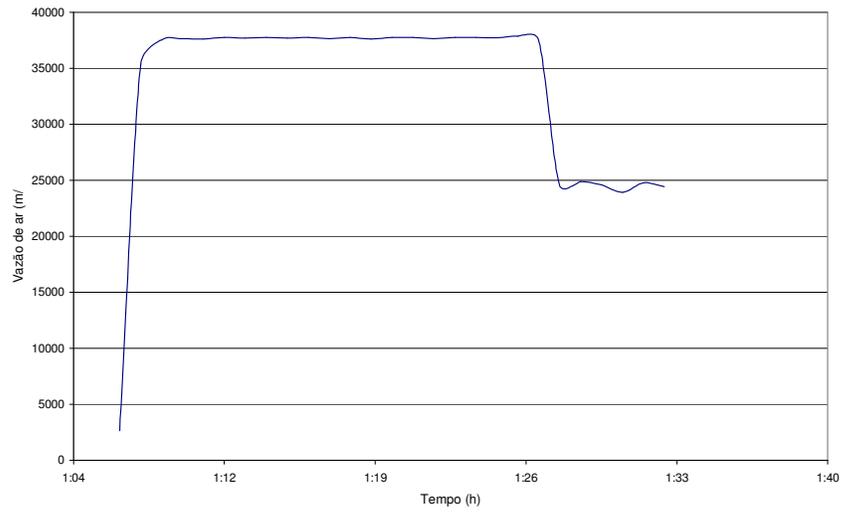


Figura B.2.8 - Vazão de ar na saída do secador de leito fluidizado, ponto 6 da planta de geração de vapor

Apêndice C

Óleo BPF

Em seguida, é apresentado uma breve descrição sobre o óleo BPF em que se destacam os gases poluentes que são liberados pela caldeira na geração de vapor.

O óleo BPF é um óleo combustível, previsto no Brasil como tipo A, pela norma CNP-05 (Instituto Brasileiro de Petróleo).

O óleo BPF, tem como função produzir calor e é utilizado em uma grande variedade de equipamentos destinados a geração de energia térmica. Assim, a geração de vapor requer propriedades especiais do óleo combustível e problemas de poluição atmosférica podem resultar de combustão de óleos combustíveis usados nessa aplicação.

Para o Estado do Rio de Janeiro, as especificações do óleo BPF, têm os seguintes valores, de acordo com a norma CNP-05, revisão 3.

Ponto de fulgor, mínimo: 66 °C

Ponto de fluidez superior, máximo: 21 °C – 27 °C

Teor de enxofre em peso, máximo: 4,5%

Água e sedimento em peso, máximo: 2,00%

Viscosidade Saybolt:

- Furol a 50 °C, máximo: 300
- Universal a 37,8 °C, mínimo: 150

Para este trabalho, é relevante, o teor de enxofre do óleo BPF, em relação ao impacto ambiental no que diz respeito a poluição atmosférica.

O teor de enxofre dos óleos combustíveis não depende somente do petróleo que lhes deu origem, mas também do processo de refinação que foram submetidos.

Um problema que o enxofre promove é a poluição atmosférica, quando na combustão, o enxofre se converte nos óxidos de enxofre (SO₂ e SO₃) e são emitidos para a atmosfera, nas áreas industriais povoadas. Estes óxidos de enxofre na atmosfera reagem com as gotículas de água em suspensão resultando em H₂SO₄, ácido sulfúrico, provocando a chuva ácida.

Uma análise de combustão apresentada pela Alborg está descrita abaixo:

Cálculo de Combustão

Combustíveis Líquidos e Sólidos

1- Combustível

Tipo		Óleo 1A
Composição Típica:		
Carbono		C = 86,50%
Hidrogênio		H = 10,70%
Oxigênio		O = 0,00%
Nitrogênio		N = 0,00%
Enxofre		S = 2,70%
Água		W = 0,10%
Poder Calorífico Inferior	Calculado	Hu = 10,136 kcal/kg
	Padrão	Hu _p = 9,750 kcal/kg
Temperatura de Queima		t ₀ = 120 °C
Calor Específico		Co = 0,50 kcal/kg/°C

2 - Cálculo da Combustão

2.1) Ar de Combustão

Temperatura Ambiente	t _a = 25 °C
Temperatura de Queima	t _{ac} = 105 °C
Calor Específico @ t _a	cp _a = 0,312 kcal/Nm ³ °C
Calor Específico @ t _{ac}	cp _c = 0,314 kcal/Nm ³ °C
Excesso de Ar	μ = 20%
Vazão Estequiométrica	L ₁ = 10,64 Nm ³ /kg
Vazão Real	L = 12,76 Nm ³ /kg

2.2) Gases da Combustão

Composição Volumétrica:		Seco	Úmido
Dióxido de Carbono Máximo	CO _{2max}	16,09%	14,37%
Dióxido de Carbono	CO ₂	13,28%	12,08%
Oxigênio	O ₂	3,67%	3,34%
Nitrogênio	N ₂	82,89%	75,46%
Dióxido de Enxôfre	SO ₂	0,16%	0,14%
Vapor D'água	H ₂ O	-	8,97%
Vazão Estequiométrica Gases Secos		G ₁ = 10,04 Nm ³ /kg	
Vazão Estequiométrica Vapor de H ₂ O		G ₂ = 1,20 Nm ³ /kg	
Vazão Estequiométrica Gases Úmidos		G ₃ = 11,24 Nm ³ /kg	

Vazão Real	$G = 13,36 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
Peso Específico (Gás Seco)	$\gamma_{gc_0} = 1,361 \text{ kg/ Nm}^3$
Peso Específico (Gás Úmido)	$\gamma_{gc_1} = 1,311 \text{ kg/ Nm}^3$
Calor Específico @ t_c	$c_{pgc_c} = 0,390 \text{ kcal/ Nm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura da Combustão	$t_c = 1,968 \text{ }^\circ\text{C}$
Entalpia da Combustão	$l_c = 10,249 \text{ kcal/kg}$

3 - Eficiência da Combustão

Temperatura de saída	$t_{sg} = 220 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura Líquida	$t_{sg_l} = 195 \text{ }^\circ\text{C}$
Calor Específico @ t_{sg_l}	$c_{pgc_l} = 0,336 \text{ kcal/ Nm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$
Entalpia na Saída	$l_{sg} = 877 \text{ kcal/kg}$
Perda nos gases	8,55%
Eficiência	$\eta_c = 91,45\%$