

---

# Balanço de massa e energia da Caldeira de Recuperação 3 da Fábria - Jacareí

---

24/05/12



## OBSERVAÇÃO INICIAL

Este trabalho faz parte da monografia do curso de Especialização em Celulose e Papel da UFV.

O trabalho foi entregue aos orientadores e ainda não ocorreu correções no texto.

# BALANÇO DE MASSA E ENERGIA DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO 3 DA FÁBRICA CELULOSE – JACAREÍ

A realização do balanço de massa e energia de uma caldeira de recuperação é bastante complexo, devido a:

multiplicidade dos fluxos de entrada e saída,

presença de diversas reações químicas em paralelo,

e a inconsistência de variáveis operacionais devido a falta de análises e de métodos de medição de vários parâmetros.

# BALANÇO DE MASSA E ENERGIA DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO 3 DA FÍBRIA CELULOSE – JACAREÍ

Balanço de massa e energia da caldeira de recuperação 3, da Fábria – Jacareí, de acordo com:

Adams, T.N., Frederick W.J., Grace T. M., Huppa M.,  
Lisa K., Jones A. K. and Tran H.  
Kraft Recovery Boilers, Tappi Press  
Atlanta (1997)

## **FLUXOS DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO 3 DA FÁBRICA – JACAREÍ**

Conhecer as variáveis de entrada e alguns parâmetros de saída de uma caldeira de recuperação é essencial para o desenvolvimento de seu balanço de massa e energia.

# VOLUME DE CONTROLE DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO DA FÍBRIA - JACAREI

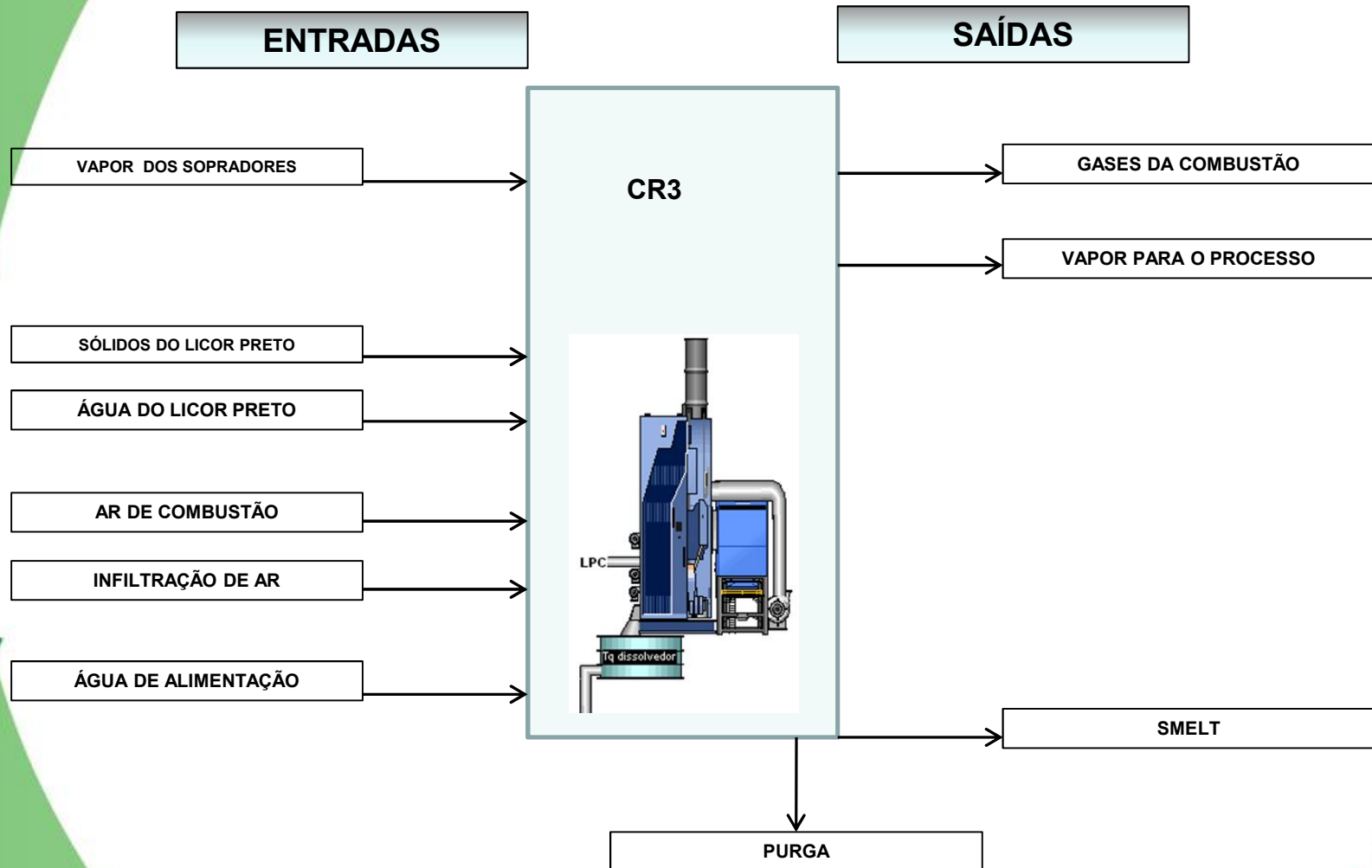


Figura 1 – Volume de controle da caldeira de recuperação.

## BALANÇO DE MASSA E ENERGIA

- Possibilita comparação de padrões calculados com parâmetros medidos por instrumentos de campo.
- Define as massas e o destino dos elementos químicos do licor preto.
- Possibilita realizar um balanceamento teórico na caldeira de recuperação para depois implantar na prática buscando aproveitar ao máximo sua massa e energia.
- Com os cálculos podemos realizar simulações de condições operacionais buscando o ponto ótimo.

## ANÁLISE ELEMENTAR DOS SÓLIDOS SECOS PRESENTES NO LICOR PRETO

Tabela 1 – Análise elementar dos sólidos secos do licor preto da saída de evaporação.

Análise Elementar do licor preto		
Elemento	Sigla	% massa do licor
Carbono	C	40,1%
Hidrogênio	H	3,2%
Oxigênio	O	30,60%
Sódio	Na	19,50%
Potássio	K	2,00%
Enxofre	S	4,30%
Cloreto	Cl	0,70%
Inertes	Si, Al, Fe, Ca, etc...	1,3%



# DADOS OPERACIONAIS DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO DA FÍBRIA – JACAREI – OBTIDOS NO DIA 07/02/2012.

Tabela 2 – Dados operacionais para o desenvolvimento do balanço de massa e energia.

Item	Descrição	Valores	Unidades
Ar	Temperatura ambiente	27	°C
	Temp. ar pré-aquecido	152,3	°C
Licor Preto	Temperatura do licor concentrado	136,25	°C
	Queima em Kg de sólidos secos	1000	Kg SS
	Temperatura do smelt	900	°C
	Sólidos do licor preto	77,27	%
	Poder Calorífico Superior do licor preto	13869	Kj/Kg BLS
	Grau de Redução	94,69	%
Gases	Temp. gases saída Eco	166,45	°C
	TRS	0,91	ppm fluxo gás seco
	SO2	1,91	ppm fluxo gás seco
	CO	938,68	ppm fluxo gás seco
Água e Vapor	Temperatura Água de Alimentação	126,43	°C
	Temperatura Vapor principal	468,31	°C
	Pressão Vapor principal	87,11	bar
	Entalpia do vapor	3309,09	kJ/kg
	Temperatura de referência	25	°C
	recirculação de cinzas	8	%
	Descarga Contínua	1%	% Por sólidos secos



## **RESULTADOS DO BALANÇO DE MASSA E ENERGIA DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO 3 – FÍBRIA - JACAREI.**

## BALANÇO DE MASSA DO FUNDIDO “SMELT” (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 3 – Balanço de massa no fundido “Smelt” para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

Compostos do smelt	Massa em kg
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	296,46
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	11,72
$\text{K}_2\text{CO}_3$	35,35
$\text{Na}_2\text{S}$	114,76
$\text{NaCl}$	11,68
Inertes	13,00

## BALANÇO DE AR DE COMBUSTÃO (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 4 – Balanço de ar de combustão para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

Distribuição do ar de combustão	Massa em kg
Ar estequiométrico	4557,53
N <sub>2</sub> estequiométrico	3500,19
Total de ar para ventilador forçado	4830,98
Infiltração de ar	273,46
Total de excesso de ar	546,90
Massa de ar total	5104,44

# OXIGÊNIO REQUERIDO PARA FORMAÇÃO DO SMELT E DO GÁS DE COMBUSTÃO (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 5 – Oxigênio requerido para formação do smelt do gás de combustão para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

Oxigênio requerido para reação química	Massa em kg
O <sub>2</sub> para Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,28
O <sub>2</sub> para Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	134,25
O <sub>2</sub> para K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	12,28
O <sub>2</sub> para CO <sub>2</sub>	968,99
O <sub>2</sub> para H <sub>2</sub> O	256
Total de O <sub>2</sub>	1376,79

## COMPOSIÇÃO DO GÁS DE COMBUSTÃO (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 6 – Composição do gás de combustão para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

<b>Compostos presentes nos gases de combustão</b>	<b>Massa em kg</b>
CO <sub>2</sub>	1332,35
H <sub>2</sub> O da massa de hidrogênio	288,00
N <sub>2</sub>	3500,19
Total de água adicionada ao gás	759,52
Total de excesso de ar	546,90
Massa total do gás de combustão	6426,96

## UMIDADE NO GÁS DE COMBUSTÃO (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 7 – Umidade no gás de combustão para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

<b>Fontes de umidade nos gases de combustão</b>	<b>Massa em kg</b>
Vapor de água no licor Preto	294,16
Vapor do aquecedor de licor direto	22,00
Umidade do ar	66,36
Vapor dos sopradores	377,00
Total de água adicionada ao gás	759,52

## DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO E HIDROGÊNIO NA COMBUSTÃO DO LICOR PRETO (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 8 – Distribuição de carbono e hidrogênio na combustão do licor preto para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

Compostos nos gases de Combustão	Massa em kg
H <sub>2</sub> no gás de combustão	0,07
CO no gás de combustão	4,58
CO <sub>2</sub> no gás de combustão	1332,35
Carbono no smelt	4,83
Total de carbono disponível para combustão	363,37



# EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DO CARBONO E HIDROGÊNIO NA COMBUSTÃO DO LICOR PRETO (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 9 – Eficiência de conversão do carbono e hidrogênio na combustão do licor preto para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

Conversões	%
Carbono convertido em CO <sub>2</sub>	98,13
Carbono residual no smelt	1,33
Carbono convertido em CO	0,54
Conversão do H <sub>2</sub> em H <sub>2</sub> O	99,78

## DISTRIBUIÇÃO DE ENXOFRE E SÓDIO NO GÁS DE COMBUSTÃO (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 10 – Distribuição de enxofre e sódio no gás de combustão para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

<b>Elementos da combustão</b>	<b>Massa em kg</b>
Total de enxofre na caldeira	49,72
Enxofre para o SO <sub>2</sub>	0,01
Enxofre para TRS	0,01
Enxofre no material particulado	0,08
Total de sódio na caldeira	204,72
Sódio no material particulado	0,27

# PERDA DE ENXOFRE E SÓDIO NO GÁS DE COMBUSTÃO (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 11 – Perda de enxofre e sódio no gás de combustão para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

Perdas	%
Perda de enxofre no gás de combustão	0,19
Enxofre no gás de combustão não oxidado	0,05
Perda de sódio no gás de combustão	0,00062

## PERCENTUAIS DE ENTRADAS DE CALOR NA CALDEIRA (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 12 – Percentuais de entradas de calor na caldeira para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

<b>Entradas de calor</b>	<b>Representação em %</b>
Sólidos secos do licor preto	92,20
Aquecedor de licor preto	2,54
Ar de combustão	0,07
Pré-aquecedor de ar	4,06
Calor da água de alimentação utilizada pelos sopradores	1,07
Calor da água de alimentação para purga contínua	0,07
<b>Calor total de entrada</b>	<b>100,00</b>

## PERCENTUAIS DE SAÍDAS DE CALOR NA CALDEIRA (PARA ENTRADA DE 1TSS)

Tabela 13 – Percentuais de saídas de calor na caldeira para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

Saídas de calor	Representação em %
Gás seco de combustão	5,16
Perda de calor para o hidrogênio do licor preto	5,18
Perda de calor pela água do licor preto	5,29
Calor sensível do smelt	4,33
Calor para formação do sulfeto	9,84
Perda de calor pelo vapor dos sopradores	6,78
Perda de calor na purga	0,20
Perda por radiação	0,30
Não queimados e outras perdas	1,98
Total de Perdas	39,05
Calor total de saída	100,00

### EFICIÊNCIA TÉRMICA CALCULADA

**Calor total de saída – Total de perdas = 60,95%**

## AUMENTO DA EFICIÊNCIA DA CALDEIRA COM A REDUÇÃO DO CONSUMO DE VAPOR PARA OS SOPRADORES.

Tabela 14 – Balanço de massa no fundido “Smelt” para entrada de 1 tonelada de sólidos secos.

	Vazão de vapor (ton/h)	Eficiência da caldeira pelo cálculo teórico (%)
<b>Sopragem normal com três sequências</b>	30 (12,5% da geração de vapor)	60,95
<b>Sopragem econômica com duas sequências</b>	20 (9,09% da geração de vapor)	62,95

**Na sopragem com dois sopradores tem-se uma economia de aproximadamente R\$500,00 por hora, de acordo com valores estabelecidos para o gás natural do dia 13/02/2012 onde uma tonelada de vapor a base de gás natural estava em um custo de R\$50,00.**

# AUMENTO DA EFICIÊNCIA A PARTIR DA CONCENTRAÇÃO DO LICOR PRETO.

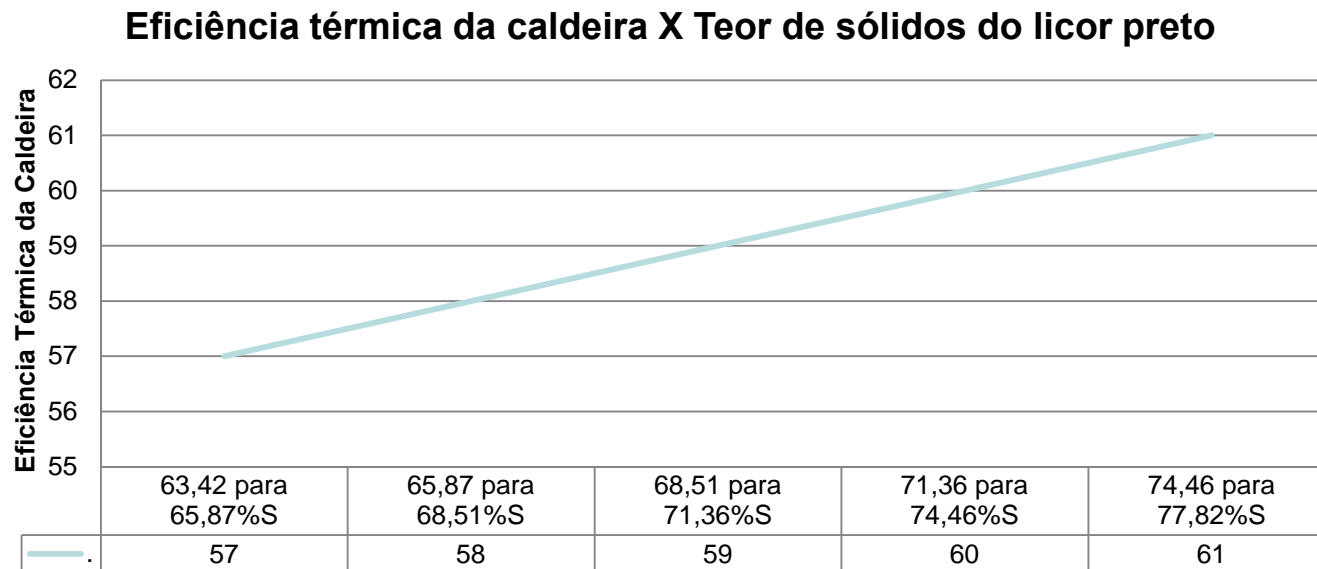


Figura 2 – Gráfico do aumento da eficiência térmica da caldeira com o aumento do teor de sólidos do licor preto.

# AUMENTO DA EFICIÊNCIA A PARTIR DA CONCENTRAÇÃO DO LICOR PRETO.

## Geração de vapor X teor de sólidos do licor negro

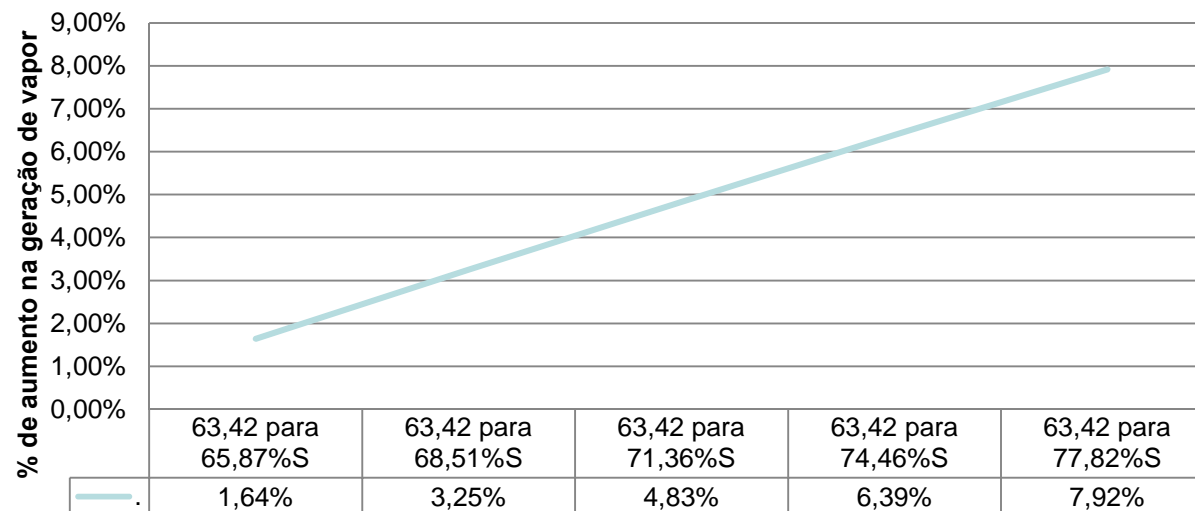


Figura 3 – Gráfico do aumento da geração de vapor com o aumento do teor de sólidos do licor preto.

Um aumento na concentração do licor preto de 71,36% para 77,82%, numa queima de 80tss/h de LPC, aumentaria 3,06% na geração de vapor, o que representaria uma economia de gás natural nas caldeiras auxiliares de R\$370,00 por hora, de acordo com os valores de gás natural cotados pela empresa no dia 13/02/2012 onde uma tonelada de vapor a base de gás natural estava em um custo de R\$50,00.



# AUMENTO DA EFICIÊNCIA A PARTIR DO PODER CALORÍFICO DO LICOR PRETO

## Eficiência térmica da caldeira X PCS

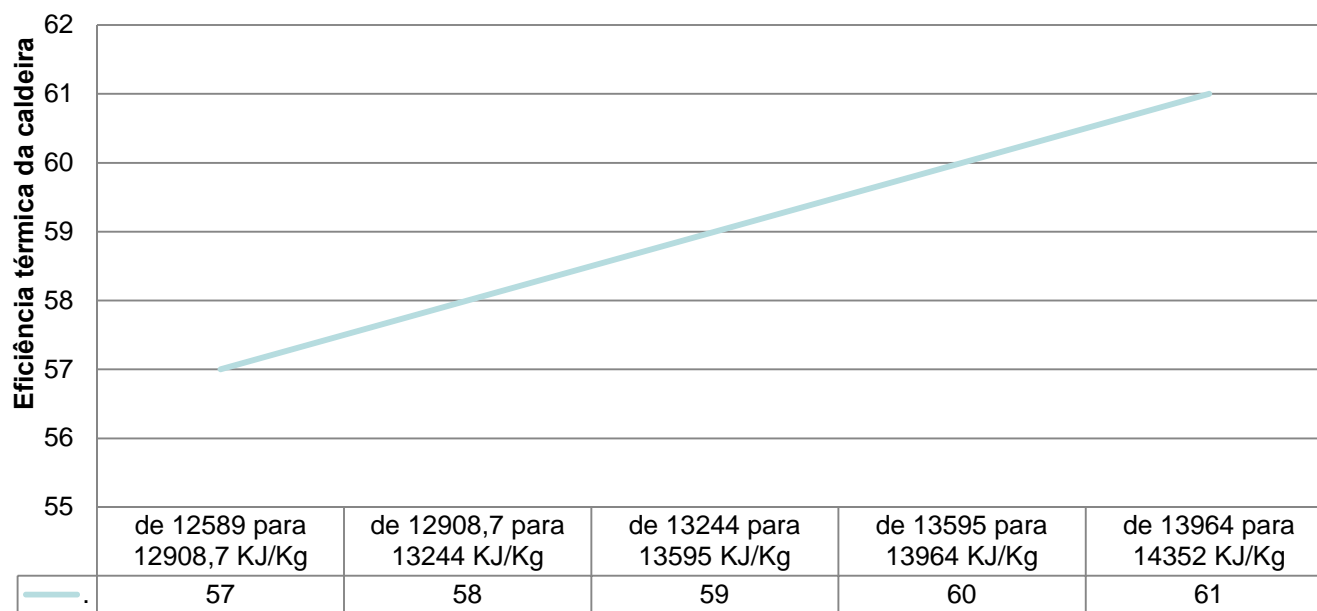


Figura 4 – Gráfico do aumento da eficiência térmica da caldeira com o aumento do poder calorífico do licor preto.

# AUMENTO DA EFICIÊNCIA A PARTIR DO PODER CALORÍFICO DO LICOR PRETO

## Geração de vapor X PCS

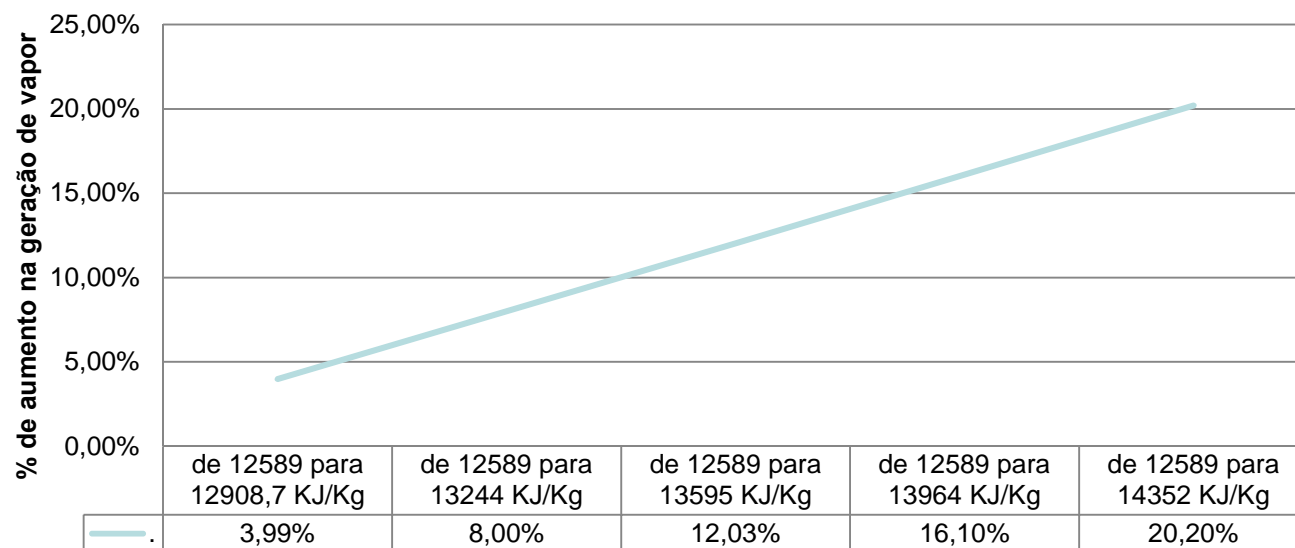


Figura 5 – Gráfico do aumento da geração de vapor com o aumento do poder calorífico do licor preto.

**Com o aumento do PCS de 12589 para 14352 kJ/kg teve-se um aumento de 5% na eficiência da caldeira (56% para 61%) que representou 20,2% na geração de vapor.**

**??? PERGUNTAS ???**



# FIM



**Fibria**

Rod. Gal. Euryale de Jesus Zerbine,  
Km. 84 - PP, SP 66  
12340-010 | Jacareí – SP  
Tel 55 12 2128 1444  
[www.fibria.com.br](http://www.fibria.com.br)

