



## Seminário STAB-Fenasucro Agroindustrial



22ª Feira Internacional de Tecnologia Sucroenergética

**Local: Pavilhão Exposição Fenasucro - Espaço Conferências**

Experiências com a Queima da Palha em Caldeiras

*José Campanari Neto*

**MCE** Engenharia e Sistemas

[Campanari@mceprojetos.com.br](mailto:Campanari@mceprojetos.com.br)

019 08178 1553

# Tópicos

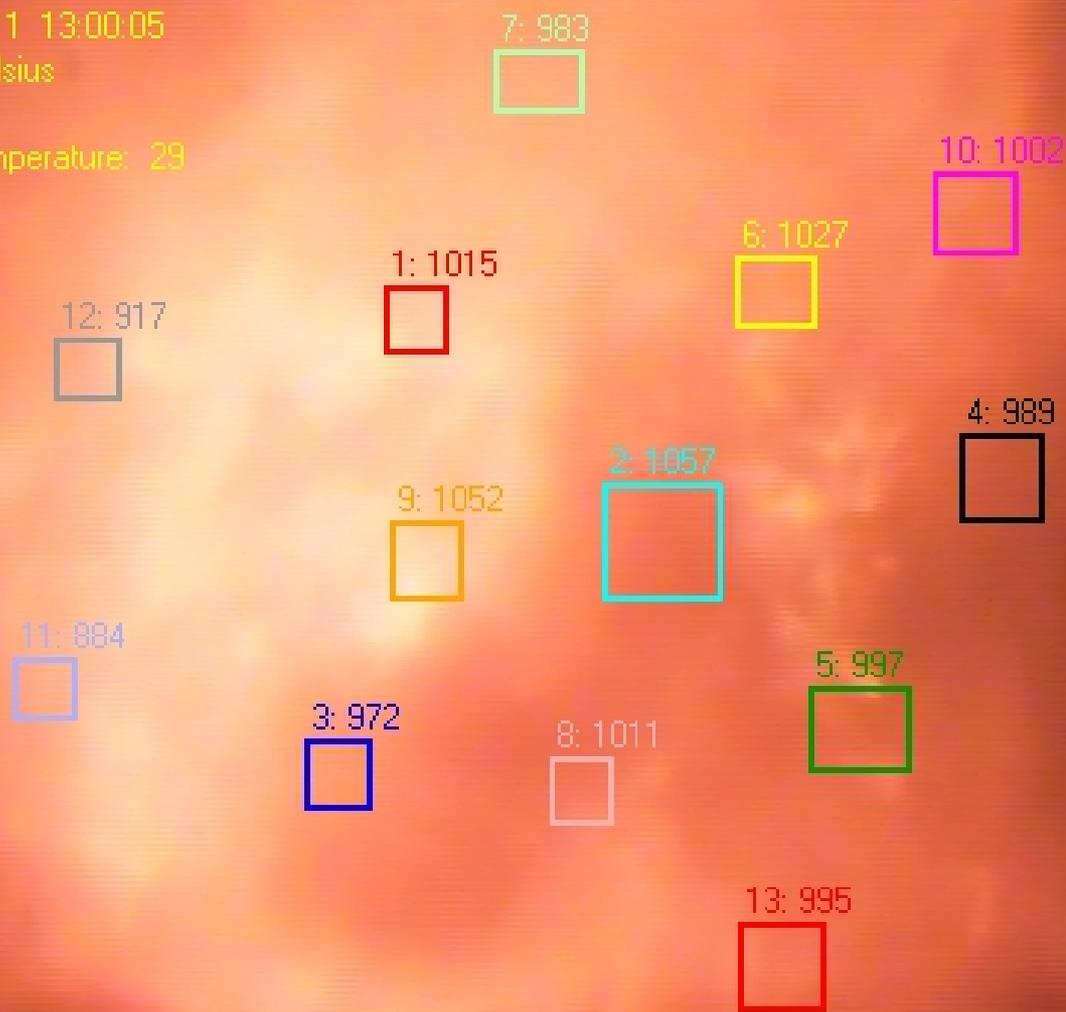
- Lado positivo da utilização da palha
- Problemas observados
- Palha em fardos recuperada no campo, com umidade sempre abaixo de 25%;
- Palha recuperada no sistema de separação no preparo da moenda, incluindo matéria verde;
- Soluções

# Lado Positivo da Utilização da Palha

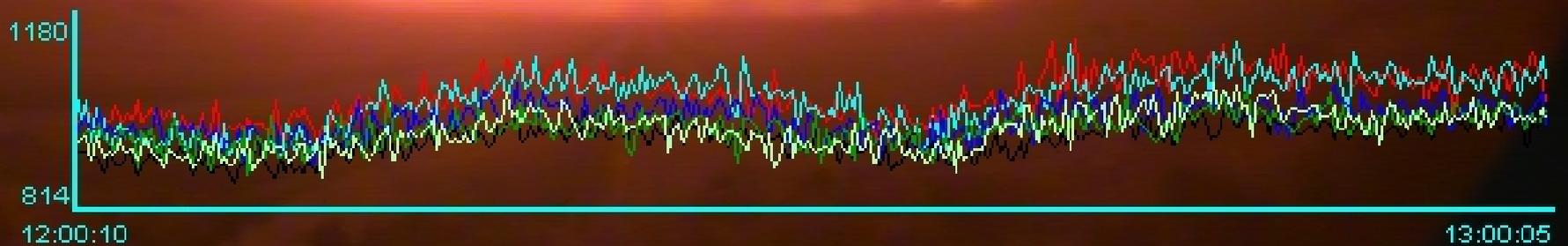
- Aumento substancial na capacidade de geração de energia elétrica da unidade;
- É uma biomassa gerada naturalmente no processo e está sob o controle da unidade;
- Aumenta a produção de energia limpa;
- A palha seca melhora a combustão;

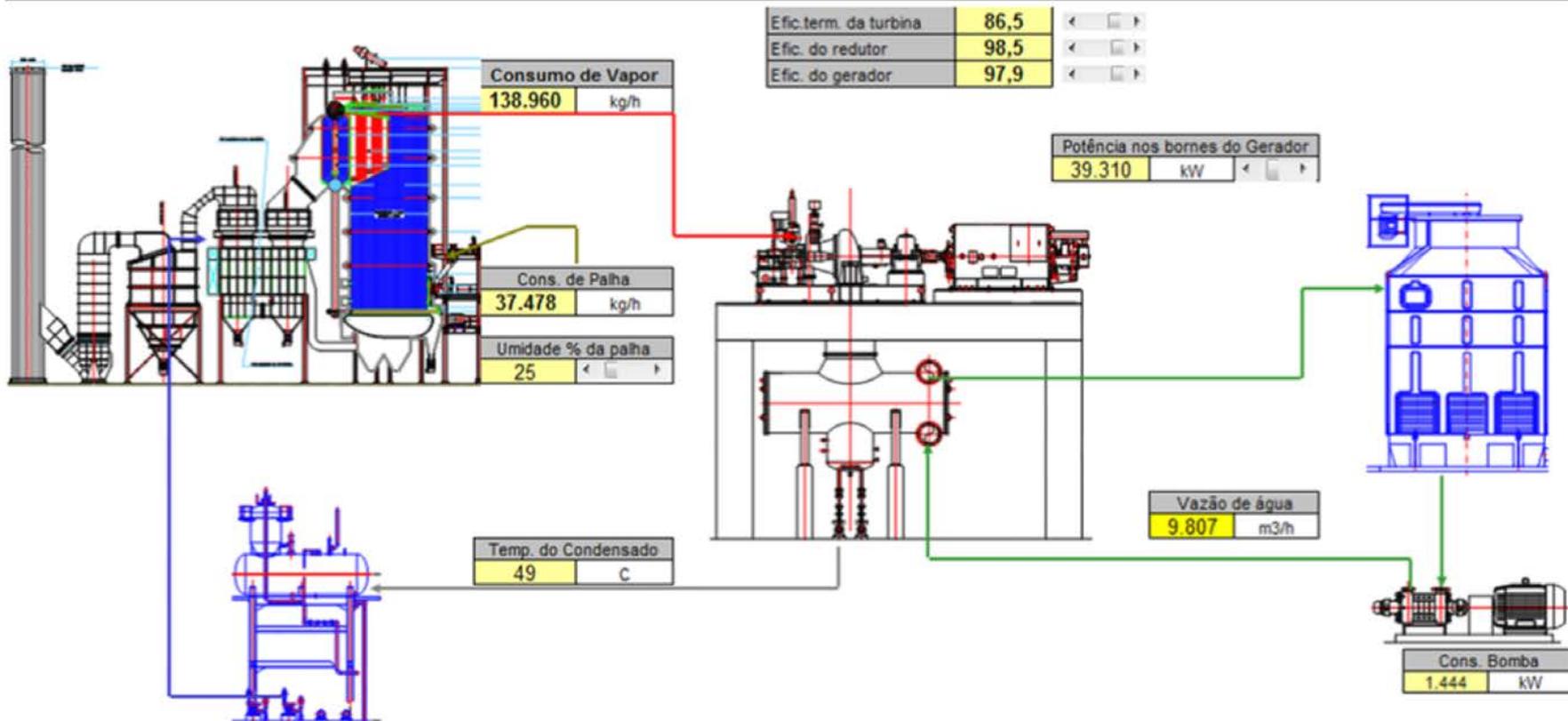
ITEM	UNID.	BAGAÇO	PALHA	MISTURA	% mistura
				PALHA%	<b>35</b>
				BAGAÇO%	<b>65</b>
CARBONO	% PESO	23,9	42,5	30,41	
HIDROGENIO	% PESO	3,3	5,9	4,21	
OXIGENIO	% PESO	21,9	39,4	28,03	
NITROGENIO	% PESO	0	0	0,00	
CINZAS	% PESO	0,9	2,2	1,36	
UMIDADE	% PESO	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>36,00</b>	
TOTAL		100,00	100,00	100,00	
<b>PCI</b>	<b>Kcal/kg</b>	<b>1.794</b>	<b>3.564</b>	<b>2.414</b>	
<b>PCS</b>	<b>Kcal/kg</b>	<b>2.262</b>	<b>3.936</b>	<b>2.848</b>	

30 June 2011 13:00:05  
Degrees Celsius  
Camera: A  
Camera Temperature: 29

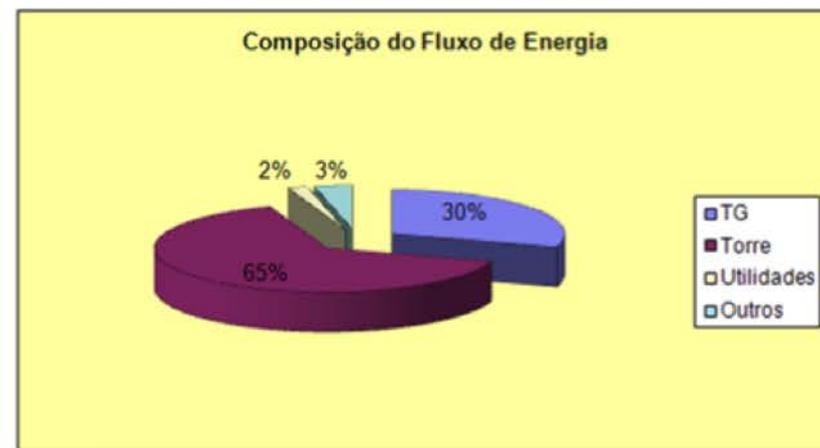


35% palha seca e 65%  
bagaço





Pressão de Admissão do vapor	kgf/cm <sup>2</sup> G	65
Temperatura do vapor	C	530
Pressão absoluta de condensação	kgf/cm <sup>2</sup> a	0,12
Temp. da água de alim. da caldeira	C	110
Eficiência térmica da caldeira	%	88,88
Consumo de palha a 25 % de umidade	kg <sub>vapor</sub> / kg <sub>palha</sub>	3,7078
Eficiência do conj. Turbo Redutor Gerador	%	83,41
Salto entálpico teórico	kcal/kg	297,61
Consumo de água para o condensador	m <sup>3</sup> /h.kW	0,25
Potência Bruta	kW/ t vapor	282,89
Consumo específico da Turbina	kgvapor / kW	3,53
Eficiência térmica ( bruta ) do ciclo	%	29,92
<b>Kg palha / kW</b>		<b>0,95</b>
Consumo de energia para o Desaerador	kcal / kW	214,07
Potencia consumida em bombeamentos	kW /kW gerado	3,19
Eficiência líquida do ciclo	%	29,56



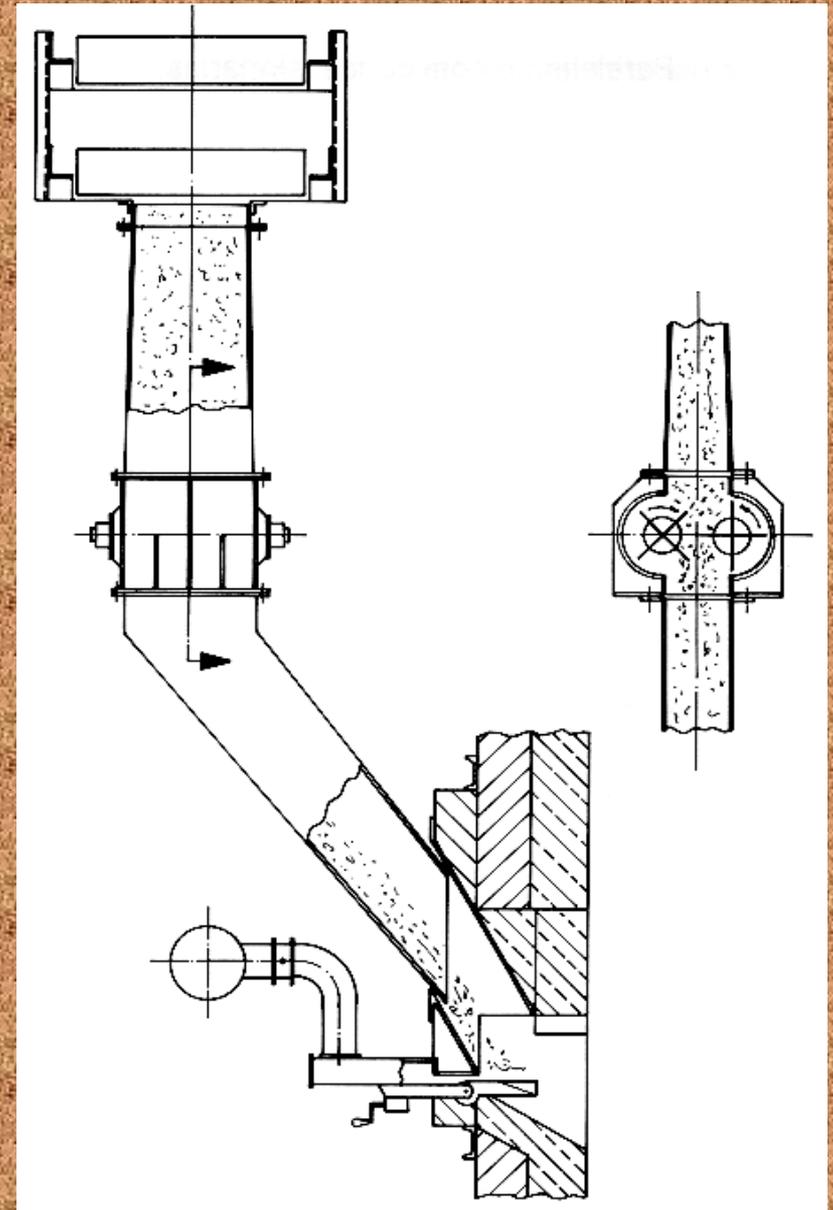
# Referência sobre o potencial de Geração de E. El. Considerando o adicional da Palha

- Produção de cana por hectare considerado.....90 TC
- Produção de E. El. para exportação.....0,1 MW/TC
- Produção de palha por hectare considerado.....18 T
- Coleta de palha considerada (1/3).....6 T
- E. El exportada na cogeração com bagaço.....9 MW/Hec
- Adicional de geração com 33% da palha.....6,31 MW/Hec
- Preço da Energia considerado.....170 R\$/MWh
- Faturamento bruto com a energia elétrica.....2.603,27 R\$/Hec
- Preço aproximado para o fardo posto Usina.....90 R\$/T
- Faturamento Bruto com a palha.....540,00 R\$/Hec
- Adicional proporcionado pela palha.....1.072,70 R\$/Hec

# Principais problemas observados

- Não foi possível alimentar a caldeira exclusivamente com a palha;
- Baixa densidade  $30 < d < 45 \text{ kg/m}^3$
- O sistema de alimentação de bagaço não opera somente com a palha;
- Foram constatados elementos indesejados na matéria inorgânica, ( S e Cl ), ( ao que parece não é uma exclusividade da palha, mas sim uma consequência da colheita mecanizada).
- Corrosão acentuada nos componentes pós caldeira.
- Cuidados ao armazenar grandes volumes de palha;
- Material de fácil decomposição quando úmido.

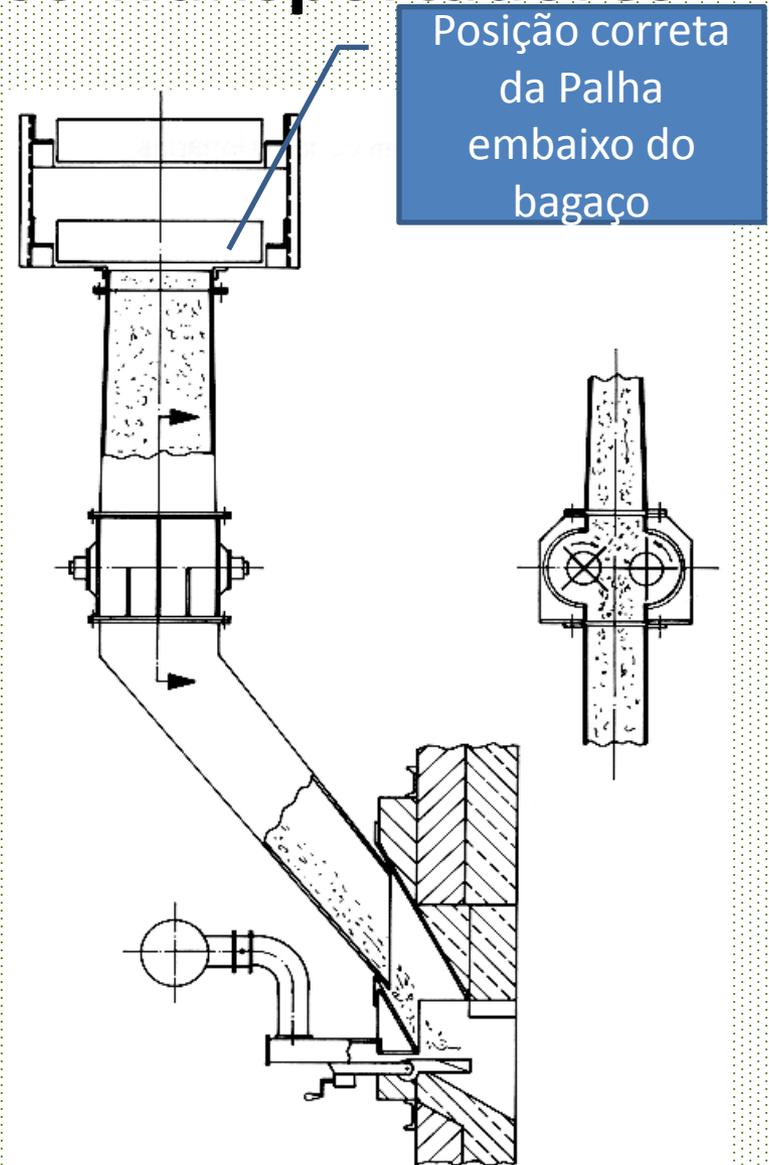
# Sistema de alimentação e dosagem do bagaço



# Mistura Bagaço / Palha nos Transportadores

## Posicionamento da Palha

- Ajustar o arranjo dos transportadores de modo a forçar que a palha permaneça sempre no fundo do transportados de taliscas, logo na chegada das caldeiras.
- Essa medida resulta na menor sobra de palha no pátio.



RAIZEN ENERGIA  
PIRACICABA - SP

Oper.: CESAR

Assi.: \_\_\_\_\_

ECIL 4045

N. série: 1641

Data: 28/05/12

Hora: 14.47

Comb.: Bagaço de Cana

Altitude: 600 m

U.R. ar: 50 %

VALORES MEDIDOS

T gás	167.9 °C
T ar	32.8 °C
O <sub>2</sub>	6.6 %
CO	22 PPM
NO	180 PPM
SO <sub>2</sub>	11 PPM

VALORES CALCULADOS

CO <sub>2</sub>	14.0 %
λ <sub>n</sub>	1.46
Q <sub>s</sub>	10.7 %
h <sub>s</sub>	89.3 %
h <sub>c</sub>	0.0 %
h <sub>t</sub>	89.3 %
ΔT	135.1 °C

NO <sub>x</sub> /NO:	1.03
NO <sub>x</sub>	185 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
CO	32 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
NO	263 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
SO <sub>2</sub>	16 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
NO <sub>x</sub>	270 PPM

Nota: \_\_\_\_\_

Saida  
PRE

CAL B

RAIZEN ENERGIA  
PIRACICABA - SP

Oper.: CESAR

Assi.: \_\_\_\_\_

ECIL 4045

N. série: 1641

Data: 28/05/12

Hora: 15.29

Comb.: Bagaço de Cana

Altitude: 600 m

U.R. ar: 50 %

VALORES MEDIDOS

T gás	308.9 °C
T ar	32.0 °C
O <sub>2</sub>	6.6 %
CO	55 PPM
NO	203 PPM
SO <sub>2</sub>	13 PPM

VALORES CALCULADOS

CO <sub>2</sub>	14.0 %
λ <sub>n</sub>	1.46
Q <sub>s</sub>	21.9 %
h <sub>s</sub>	78.1 %
h <sub>c</sub>	0.0 %
h <sub>t</sub>	78.1 %
ΔT	276.1 °C

NO <sub>x</sub> /NO:	1.03
NO <sub>x</sub>	209 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
CO	80 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
NO	297 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
SO <sub>2</sub>	19 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
NO <sub>x</sub>	306 PPM

Nota: \_\_\_\_\_

Entrada  
PRE

RAIZEN ENERGIA  
PIRACICABA - SP

Oper.: CESAR

Assi.: \_\_\_\_\_

ECIL 4045

N. série: 1641

Data: 28/05/12

Hora: 15.33

Comb.: Bagaço de Cana

Altitude: 600 m

U.R. ar: 50 %

VALORES MEDIDOS

T gás	142.5 °C
T ar	32.4 °C
O <sub>2</sub>	6.7 %
CO	48 PPM
NO	185 PPM
SO <sub>2</sub>	12 PPM

VALORES CALCULADOS

CO <sub>2</sub>	13.9 %
λ <sub>n</sub>	1.47
Q <sub>s</sub>	8.8 %
h <sub>s</sub>	91.2 %
h <sub>c</sub>	0.0 %
h <sub>t</sub>	91.2 %
ΔT	110.1 °C

NO <sub>x</sub> /NO:	1.03
NO <sub>x</sub>	191 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
CO	71 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
NO	272 PPM

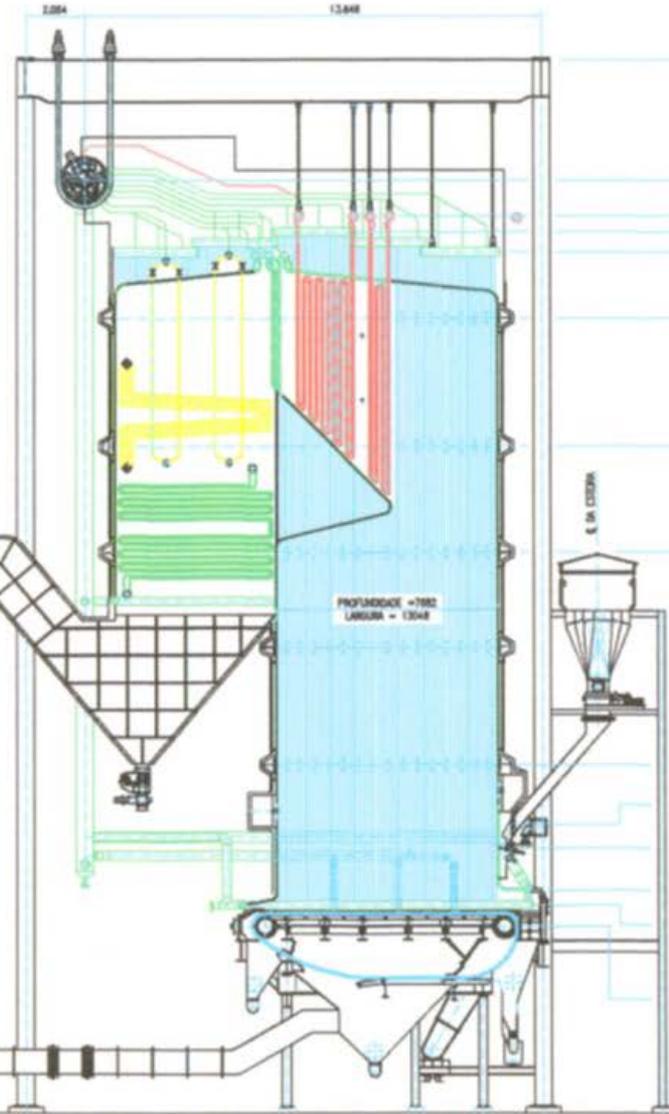
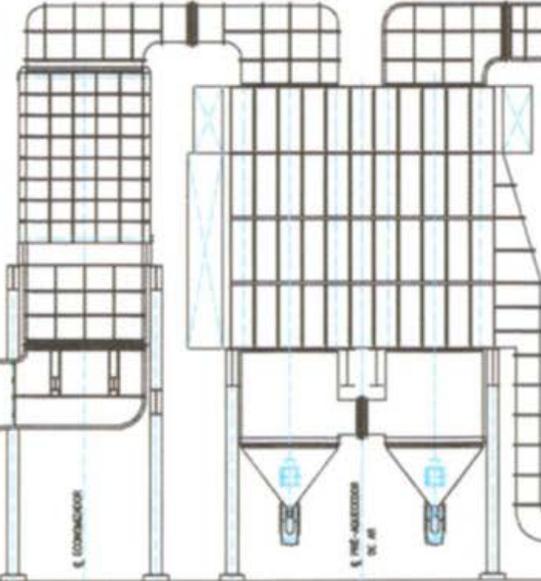
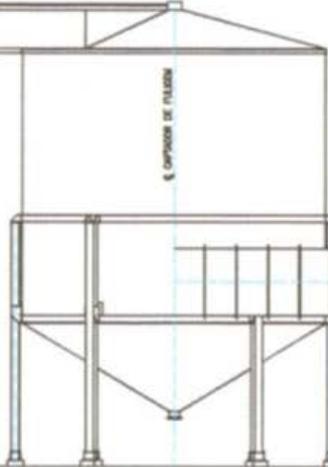
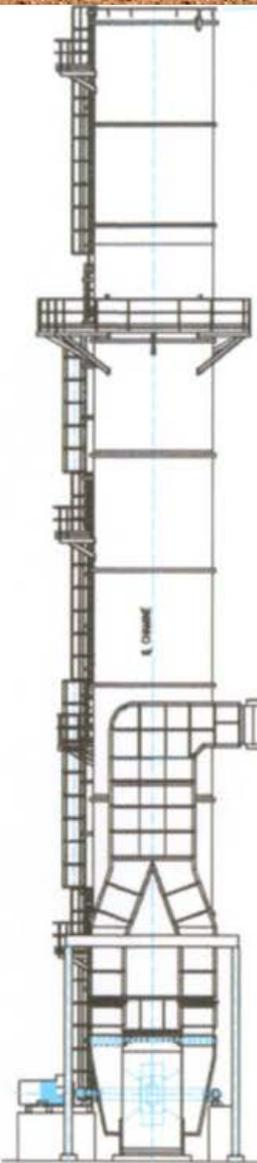
Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
SO <sub>2</sub>	18 PPM

Ref. O <sub>2</sub> :	0.0 %
NO <sub>x</sub>	281 PPM

Nota: \_\_\_\_\_

Saida  
PRE

ELEV. 40200



corrosão







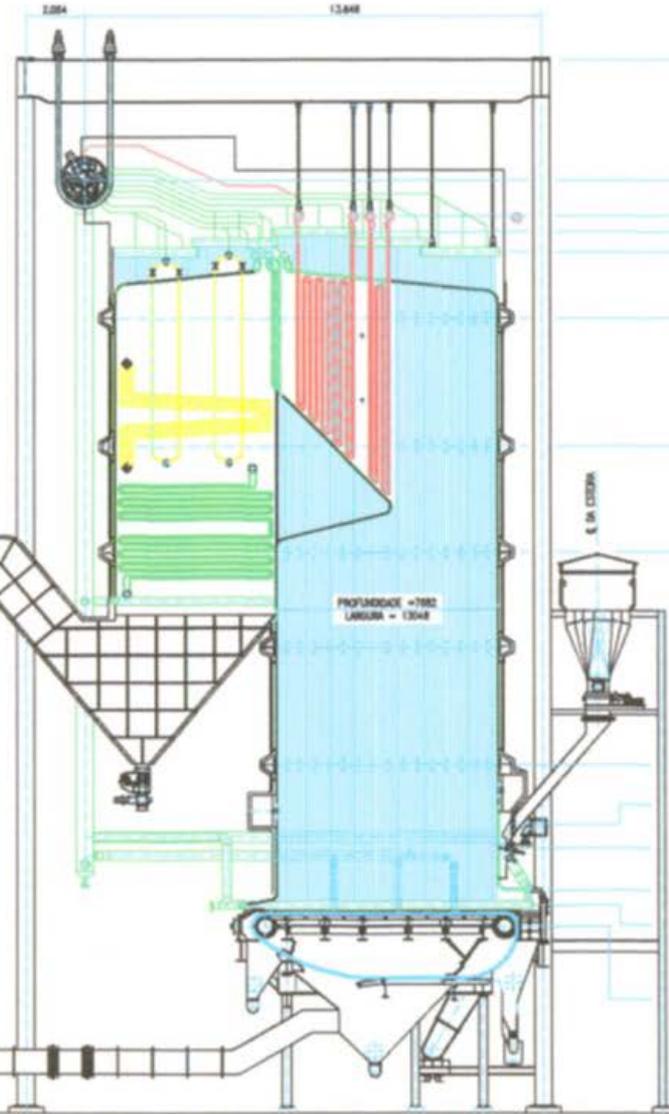
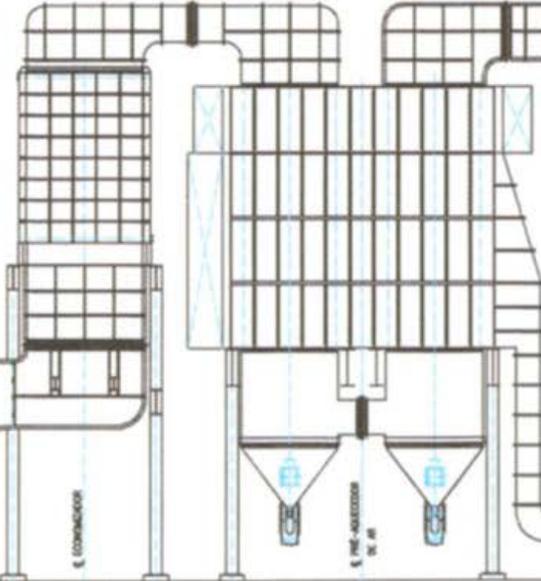
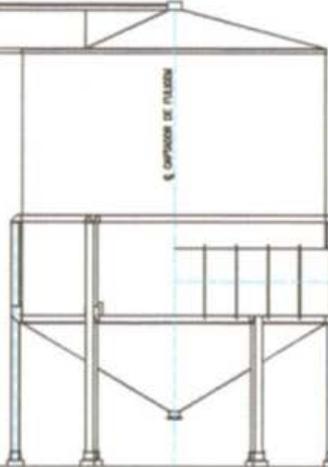
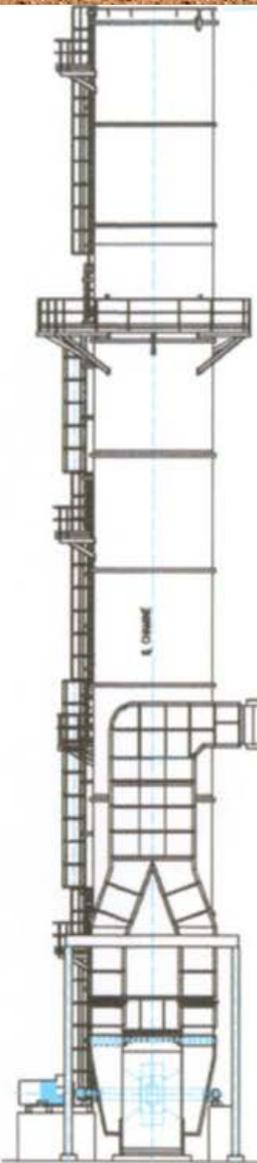




SOLUÇÕES

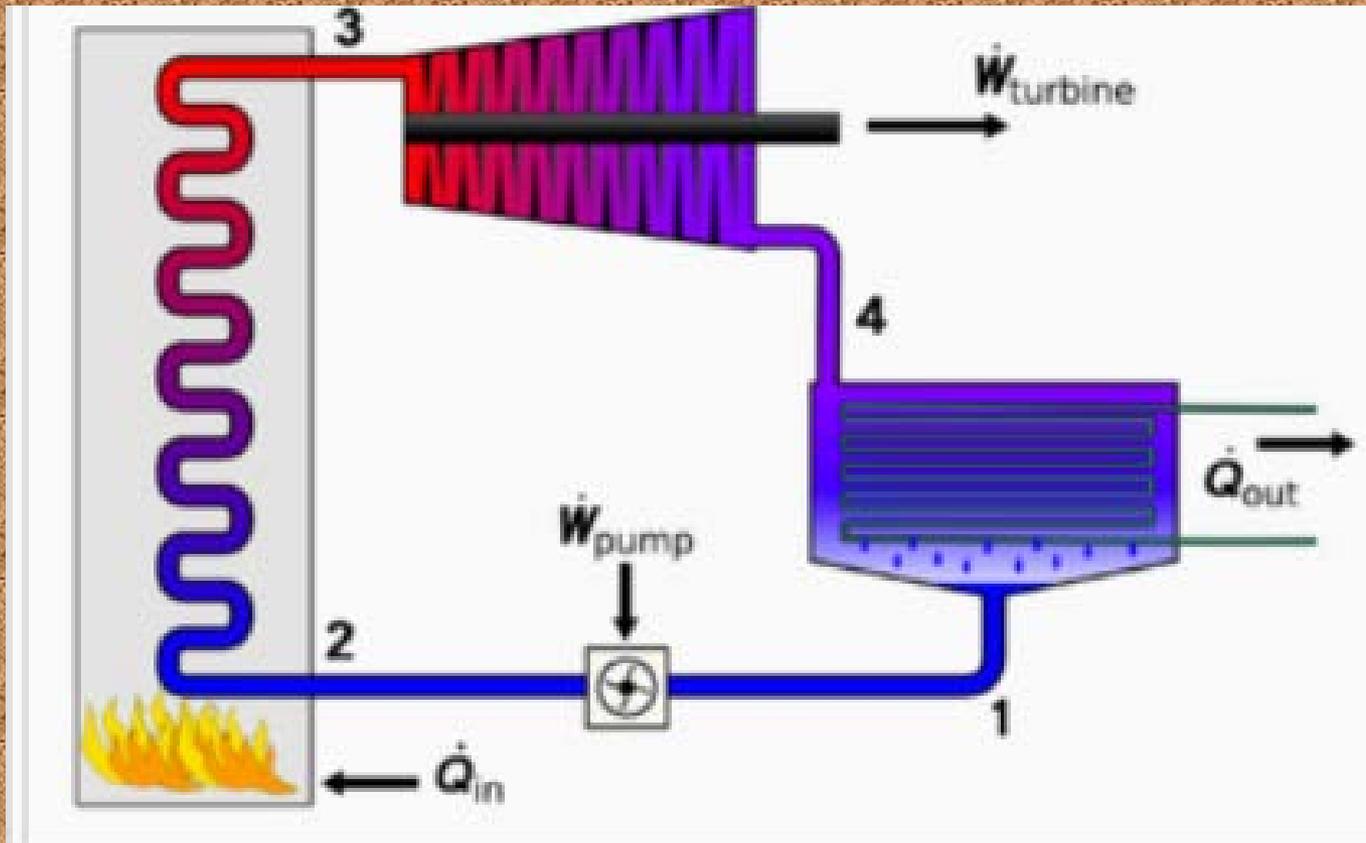
Reduzir a eficiência Térmica das Caldeiras para evitar a condensação de gases nas parte traseira da caldeira, considerando temperatura mínima na saída dos gases em 180 °C

ELEV. 40200



Para compensar a redução de eficiência das caldeiras, aplicar melhorias no ciclo térmico

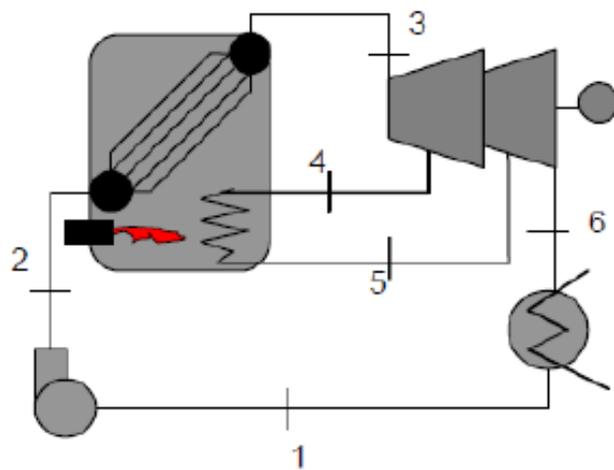
# Ciclo Rankine convencional



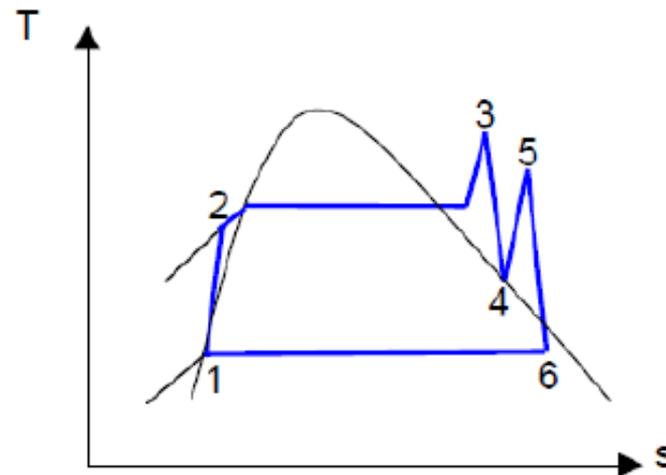
Apresentação física dos quatro processos termodinâmicos usados no ciclo Rankine

# Ciclo Térmico com Reaquecimento do Vapor

- Ciclo com reaquecimento: neste o vapor expande até uma pressão intermediária na turbina, e é então reaquecido na caldeira e retorna à seção de média pressão da turbina a vapor. Com isso, o rendimento aumenta devido ao emprego de temperaturas mais elevadas na entrada do segundo estágio da turbina, bem como se evita a umidade excessiva do vapor nos estágios de baixa pressão.



(a)

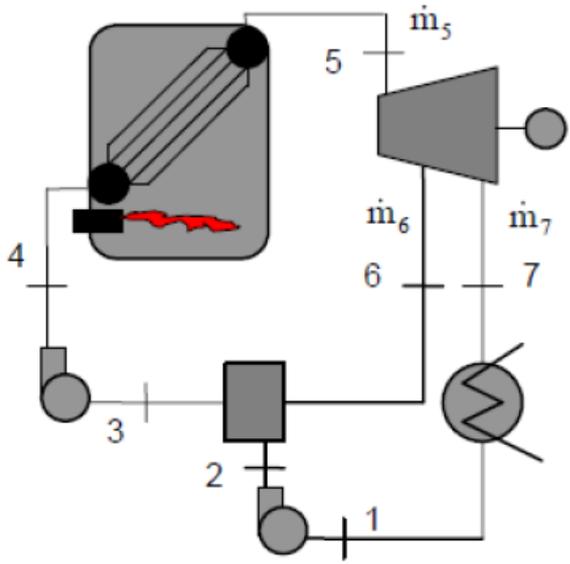


(b)

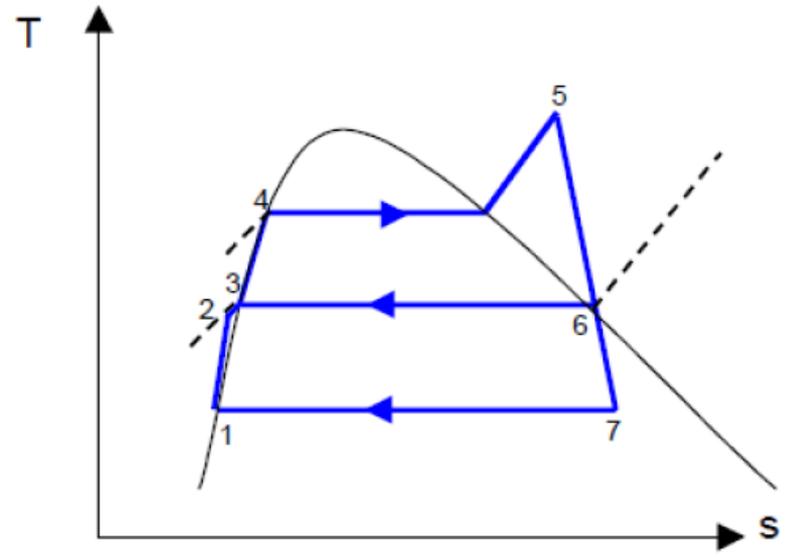
Figura 3.7 - Ciclo a vapor com reaquecimento (a) esquema; (b) diagrama T-s

# Ciclo Rankine com Regenerativo

- Emprego de regeneradores (ciclo regenerativo): neste, o vapor entra na turbina no estado 5. Após a expansão até o estado 6, parte do vapor é extraído e entra no aquecedor da água de alimentação. O vapor não extraído expande-se na turbina até o estado 7 e é então levado ao condensador. Esse condensado é bombeado para o aquecedor da água de alimentação, onde se mistura com o vapor extraído da turbina e sai como líquido saturado no estado 3. O aumento de rendimento é devido ao aumento da temperatura média na qual o calor é fornecido.



(a)



(b)

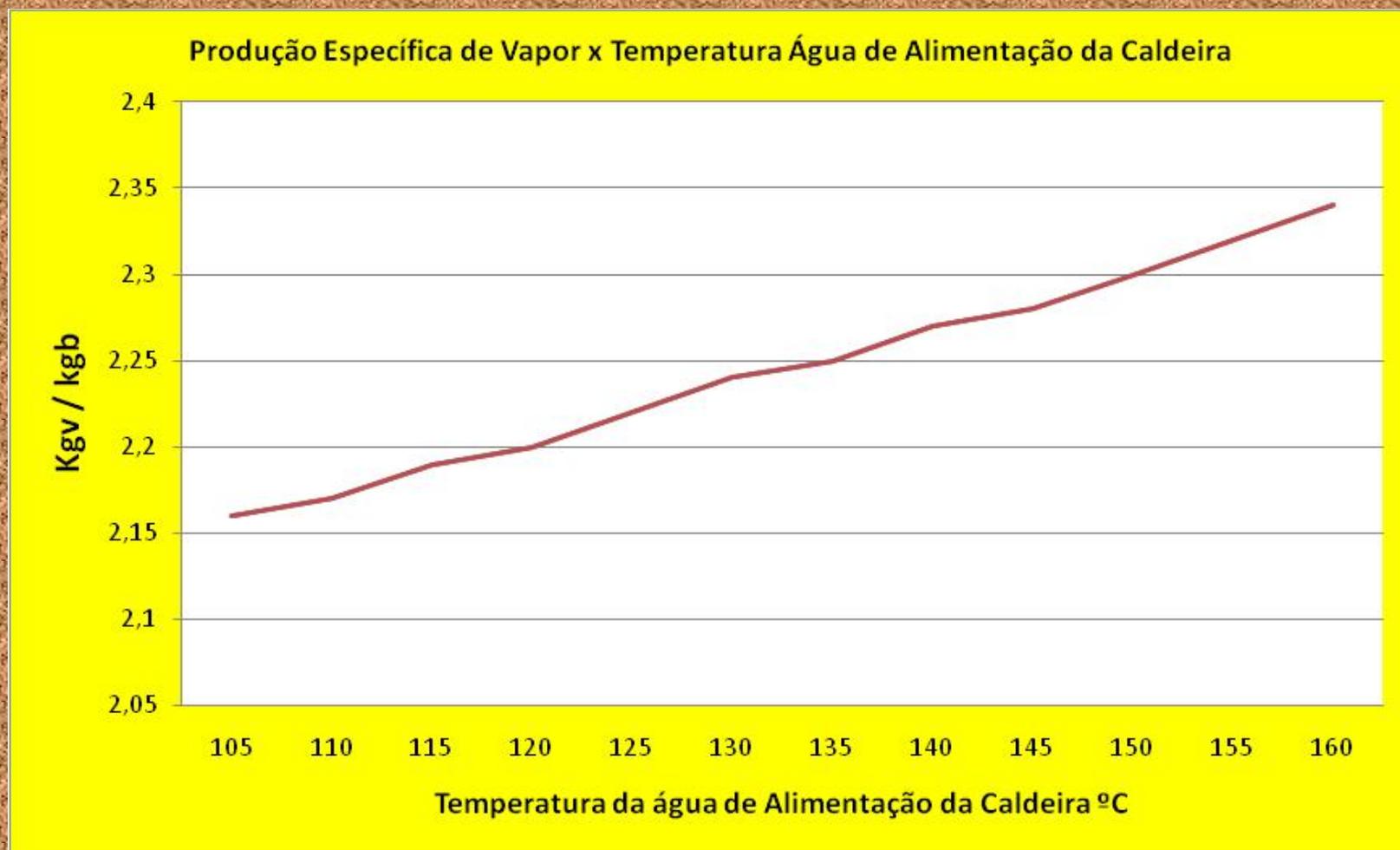
Figura 3.8 - Ciclo a vapor regenerativo (a) esquema; (b) diagrama T-s

# Resultado com aplicação de Regenerativos

## Premissas para análise:

- Eficiência da caldeira .....86%
- Pressão de Operação.....67 kgf/cm<sup>2</sup>;
- Temperatura do vapor.....520 °C
- Umidade do bagaço.....50%;
- Temp. da água de alimentação: variando conforme a aplicação do trocador regenerativo.

# Resultado quando aumentamos a temperatura da água de alimentação da caldeira



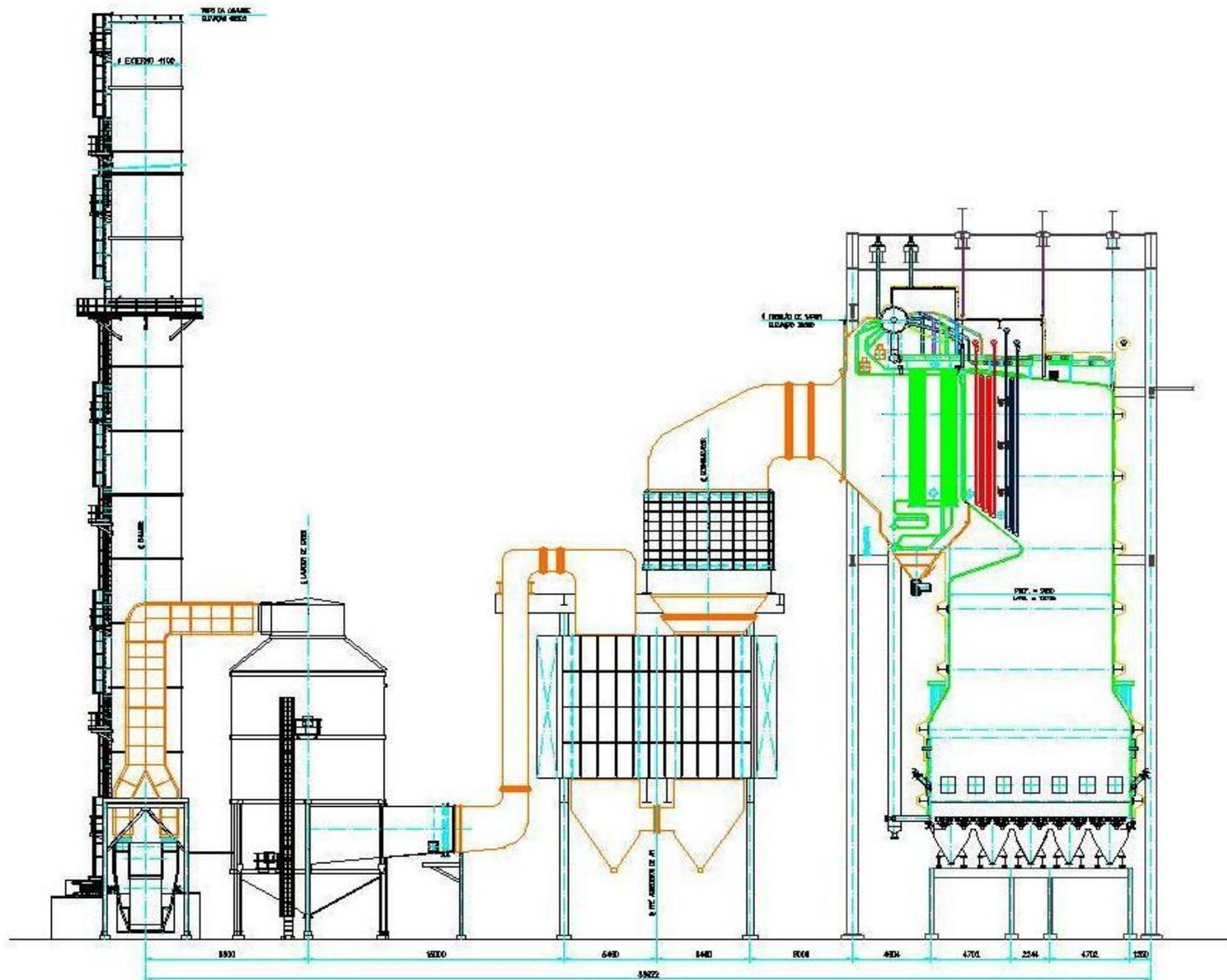


Solução para caldeiras que utilizam palha verde recuperada via sistema de separação no preparo.

- Refratamento parcial da fornalha, permite combustão estável até 54% de umidade da mistura;
- Aplicação de caldeiras de leito fluidizado, permite combustão estável, com umidade até 65%.



# Caldeira de leito fluidizado



Para finalizar, como falamos sobre energia alternativa,  
apresentamos solicitações do setor

## Cada um em seu Leilão

Representantes dos setores eólico, térmico, de Biomassa e PCH defendem leilões específicos e até regionais, alegando que as fontes tem características diferentes e não poderiam ser colocadas no mesmo páreo.

## Limite de 30 MW para energia incentivada

Constante solicitação do setor para ampliar esse limite para no mínimo 50 MW.

A photograph of a sugarcane field. In the foreground, a large, rusted metal harvester is positioned on a dirt path, with a tractor pulling two large metal trailers. The harvester is actively harvesting the sugarcane stalks. The background shows a vast expanse of green sugarcane fields stretching towards the horizon under a clear sky. The text 'A Itaipu alternativa' is overlaid in large, white, bold letters on the left side of the image.

# A Itaipu alternativa

Obrigado