

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

EDNA HITOMI HAMADA

**ESTUDO DE UM CICLO DE VAPOR UTILIZADO PARA
TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES METÁLICAS – ESTUDO PRELIMINAR
DE CASO**

Guaratinguetá
2012

EDNA HITOMI HAMADA

ESTUDO DE UM CICLO DE VAPOR UTILIZADO PARA TRATAMENTO DE
SUPERFÍCIES METÁLICAS – ESTUDO PRELIMINAR DE CASO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci

Guaratinguetá
2012

H198e	<p>Hamada, Edna Hitomi</p> <p>Estudo de um ciclo de vapor utilizado para tratamento de superfícies metálicas - estudo preliminar de caso / Edna Hitomi Hamada – Guaratinguetá : [s.n], 2012.</p> <p>60 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 58-59</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.</p> <p>Orientador: Prof Dr Luiz Roberto Carrocci</p> <p>1. Caldeiras Flamotubulares I. Título</p> <p>CDU 621.18</p>
-------	--

**ESTUDO DE UM CICLO DE VAPOR UTILIZADO PARA TRATAMENTO DE
SUPERFÍCIES METÁLICAS – ESTUDO PRELIMINAR DE CASO**


EDNA HITOMI HAMADA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. LUIZ ROBERTO CARROCCI
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI
UNESP-FEG


Prof. Dr. PETRONIO MASANOBU TANISHO
UNESP-FEG

Novembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos.

Agradeço ao meu orientador, *Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci* pela orientação, direcionamento e apoio para a realização desse trabalho.

Aos meus pais *Missako e Yonemitsu*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

A meu marido *Yuiti* que sempre me apoiou e cobrou o andamento deste trabalho.

HAMADA, E. H. **Estudo de um ciclo de vapor utilizado para tratamento de superfícies metálicas – estudo preliminar de caso.** 2012. 60 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

A utilização de calor a temperaturas relativamente baixas em diversos setores industriais é essencial nos principais processos de fabricação, como secagem, desidratação, concentração, cozimento, produção de reações químicas e esterilização microbiológica. Sem o calor, sem o aporte de energia térmica em quantidade generosa e com alta qualidade não existiria a sociedade moderna, com seu padrão de vida e seus altos níveis de consumo de bens e serviços. De um modo quase absoluto, estes fluxos de calor são conseguidos a partir de sistemas de vapor . Neste trabalho aborda-se a operação de um sistema de vapor composto por duas caldeiras flamotubulares, que foi dimensionado para fornecer vapor para três processos. Porém com a transferência de um dos processos para outra unidade fabril, o sistema ficou superdimensionado. Por comodidade as duas caldeiras são aproveitadas para fornecer vapor para os demais processos, o que provoca uso intermitente delas. A alternativa operacional adotada pela engenharia de manutenção da empresa para contornar a situação é apresentada, são levantados seu pontos positivos e negativos, assim como os pontos de possibilidade de melhoria.

PALAVRAS-CHAVE: Caldeiras flamotubulares. Operação intermitente.

HAMADA, E. H. **Study of a steam cycle used for metal surfaces treatment – a preliminary study of a case.** 2012. 60 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

The use of heat in parallel with relative low temperatures and applied to several areas of the industry is essential for the main manufacturing processes, like drying, dehydrating, concentration, annealing, production of chemical reactions, and microbiological sterilization. Without neither the heat nor the coming of a great quantity of thermal heat, with high quality, there would not be the “modern society”, with its high standards of living plus its high consumption levels; from services to goods in general. Within an almost absolute way, the heat flows are obtained from vapor systems. Thus, in this work we are going into the operation of a vapor system, composed of two firetube boilers dimensioned to supply vapor for three processes. However, with the transfer of one of the processes to another plant, the system got over-dimensioned. But, taking advantage of this scenario, the two boilers were used to supply vapor to further processes, causing their intermittent usage. Moreover, the operational alternative adopted by the maintenance engineering of the plant for a creating a solution has been presented; both the positive points and negative ones were disclosed, likewise the possibility of improvement points.

KEYWORDS: Firetube boilers. Intermittent operation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caldeira flamotubular	20
Figura 2 – Caldeira flamotubular - corte	21
Figura 3 – Caldeira flamotubular – detalhe em corte	21
Figura 4 – Incrustação em linha de água	24
Figura 5 – Esquema dos tanques do circuito de vapor e condensado	27
Figura 6 – Esquema de circuito de vapor e condensado, usinagem química e tratamento de superfície	27
Figura 7 – Esquema de circuito de vapor e condensado da área de pintura	27
Figura 8 – Esquema da casa de caldeiras	28
Figura 9 – Consumo de gás	33
Figura 10 – Média de consumo de gás	34
Figura 11 – Temperatura média mensal do ar para os anos de 2010 e 2011, normais e média climatológica	35
Figura 12 – Umidade relativa do ar média mensal para os anos de 2010 e 2011, além da normal e da média climatológica	35
Figura 13 – Consumo de água desmineralizada	36
Figura 14 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Setembro/2010	37
Figura 15 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Outubro/2010	38
Figura 16 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Novembro/2010	40
Figura 17 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Dezembro/2010	41
Figura 18 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Janeiro/2011	43
Figura 19 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Fevereiro/2011	44
Figura 20 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Março/2011	45

Figura 21 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Abril/2011	46
Figura 22 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Maio/2011	47
Figura 23 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Junho/2011	48
Figura 24 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Julho/2011	49
Figura 25 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Agosto/2011	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das caldeiras	30
Tabela 2 – Especificação dos parâmetros de operação das caldeiras	31
Tabela 3 – Dados para correções de parâmetros de controle das caldeiras 10 e 11	32
Tabela 4 – Dados relevantes do mês de Setembro/2010 registrados no diário da caldeira	37
Tabela 5 – Dados relevantes do mês de Outubro/2010 registrados no diário da caldeira	38
Tabela 6 – Dados relevantes do mês de Novembro/2010 registrados no diário da caldeira	40
Tabela 7 – Dados relevantes do mês de Dezembro/2010 registrados no diário da caldeira	42
Tabela 8 – Dados relevantes do mês de Janeiro/2011 registrados no diário da caldeira	43
Tabela 9 – Dados relevantes do mês de Fevereiro/2011 registrados no diário da caldeira	44
Tabela 10 – Dados relevantes do mês de Março/2011 registrados no diário da caldeira	45
Tabela 11 – Dados relevantes do mês de Abril/2011 registrados no diário da caldeira	46
Tabela 12 – Dados relevantes do mês de Maio/2011 registrados no diário da caldeira	47
Tabela 13 – Dados relevantes do mês de Junho/2011 registrados no diário da caldeira	48
Tabela 14 – Dados relevantes do mês de Julho/2011 registrados no diário da caldeira	50
Tabela 15 – Dados relevantes do mês de Agosto/2011 registrados no diário da caldeira	51
Tabela 16 – Procedimento de manutenção recomendado	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Motivação	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	Vapor	17
2.2	Caldeira	18
2.3	Caldeiras flamotubulares.....	19
2.4	Transferência de calor em caldeiras	21
2.5	Gás Natural	22
2.6	Água de alimentação das caldeiras	22
2.7	Tratamento de água das caldeiras	24
2.8	Purgadores de vapor	26
3	OBJETO DE ESTUDO.....	26
3.1	Características operacionais das caldeiras.....	29
4	DADOS TÉCNICOS DAS CALDEIRAS.....	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1	Gráficos para análise.....	33
5.2	Considerações ambientais.....	51
5.3	Considerações operacionais.....	52
5.4	Perda por operação intermitente	53
5.5	Inicialização de regime de queima de uma caldeira.....	54
5.6	Preservação de caldeira fora de serviço	55
5.7	Manutenção	55
5.8	Vida útil	56
6	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo de caso tem o objetivo de desenvolver uma análise crítica da atual situação de funcionamento das caldeiras de um ciclo térmico, utilizado para tratamento de superfícies metálicas, através de levantamento de dados do processo de geração de vapor contidos no diário da caldeira, entrevista com o operador da caldeira e pessoas da equipe de manutenção de fábrica, e sugerir adequações para uma configuração mais apropriada, visando o melhor aproveitamento de energia.

1.1 Motivação

Atualmente existem duas caldeiras ATA AWN-2 que a princípio forneciam vapor para dois processos: usinagem química e tratamento de superfícies. Com a transferência do processo de usinagem química para outra unidade fabril da mesma empresa, hoje, por comodidade, as duas caldeiras são aproveitadas para fornecer vapor apenas para os processos de tratamento de superfícies e pintura, situação que provoca uso intermitente delas. A idéia é promover o uso contínuo de uma caldeira visando o prolongamento de sua vida útil, com fornecimento de vapor mais adequado e deixando a outra de reserva ou desativando-a.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Vapor

Vapor é um recurso fundamental devido à grande disponibilidade, propriedades vantajosas e natureza não tóxica (KITTO; STULTZ, 2005).

Vapor de água é usado como meio de geração, transporte e utilização de energia desde os primórdios do desenvolvimento industrial. A água é o composto mais abundante da Terra e, portanto de fácil obtenção e baixo custo. Hoje já existem estudos para o uso racional desse recurso. Na forma de vapor, a água tem alto conteúdo de energia por unidade de massa. As relações temperatura e pressão de saturação permitem sua utilização como fonte de calor de larga utilização industrial com pressões de trabalho perfeitamente toleráveis pela tecnologia disponível (BIZZO, 2003).

Vapor saturado tem a grande vantagem de manter a temperatura constante durante a condensação a pressão constante. A pressão de condensação do vapor saturado controla indiretamente a temperatura dos processos. O controle de pressão, por ser um controle mecânico de ação direta é conseguido muito mais facilmente que o controle direto de temperatura. (BIZZO, 2003).

A faixa de temperaturas até 170 °C utiliza vapor saturado até 10 kgf/cm^2 . Nesta faixa está a grande maioria de pequenos e médios consumidores de vapor. (BIZZO, 2003).

A pressão de vapor saturado utilizado para o processo de aquecimento é tal que a correspondente temperatura de condensação do vapor é um pouco maior do que as dos materiais a serem aquecidos. Geralmente, superaquecimento não tem importância para este tipo de processo e é muitas vezes indesejável, pois interfere com o controle de temperatura. (KITTO; STULTZ, 2005).

Setores industriais, como metalúrgico, metal-mecânico, eletrônico, entre outros, podem utilizar vapor como fonte de aquecimento de diversos processos. (BIZZO, 2003).

Muitas indústrias necessitam de vapor para uma diversidade de aplicações. Aquecimento de ambientes da fábrica e ar condicionado, motores primários, tais como unidades de turbinas para sopradores e compressores, secagem, processos de reação a temperatura constante, prensas de grande porte, tanques de imersão, aquecimento de água para a cozinha e limpeza são exemplos de como o vapor é utilizado. (KITTO; STULTZ, 2005).

2.2. Caldeira

Pode-se definir como caldeira de vapor todo equipamento que, utilizando a energia química liberada durante a combustão promove a mudança de fase da água do estado líquido para o de vapor (LORA; NASCIMENTO, 2004).

Os geradores de vapor, ou caldeiras, utilizam calor para converter água em vapor para uma variedade de aplicações. As principais são a geração de energia elétrica e para fins de aquecimento em processos industriais (KITTO; STULTZ, 2005).

Caldeira é a principal gerador de energia térmica na maioria das unidades industriais.

Geradores de vapor industriais geralmente fornecem vapor para processos ou atividades de manufatura e são projetados levando-se em conta os seguintes aspectos: processos com pressão controlada (geralmente baixa), alta confiabilidade com mínima manutenção, capital inicial baixo e custos mínimos de operação.

Na indústria, as caldeiras de vapor operam com pressão de vapor geralmente inferior a 2 *MPa*, quando utilizada para fins térmicos.

Milhares de caldeiras são instaladas em plantas industriais, fornecendo vapor a pressão e temperatura menores de que caldeiras dedicadas a grandes centrais de geração de energia elétrica. Em uma planta industrial, a confiabilidade do equipamento de geração de vapor é crítica. Na maioria das vezes, a operação industrial deve ser muito confiável, pois a produtividade da planta depende muito de sua disponibilidade. A perda de uma caldeira por um curto período de tempo pode parar a produção por dias se, por exemplo, materiais sofrerem resfriamento e solidificarem na linha de produção. Por essa razão, algumas indústrias preferem múltiplas unidades menores (KITTO; STULTZ, 2005, tradução nossa).

As unidades industriais freqüentemente fornecem vapor para mais de uma aplicação. Para algumas aplicações, a demanda de vapor pode ser cíclica ou flutuante, complicando assim a operação da unidade e o controle do equipamento (KITTO; STULTZ, 2005, tradução nossa).

Como proprietários e operadores de unidades produtoras de vapor buscam o desempenho ótimo, eficiência e ciclo de vida para todos os equipamentos, questões relativas à manutenção e à disponibilidade tornaram-se cada vez mais importantes (KITTO; STULTZ, 2005, tradução nossa).

2.3. Caldeiras flamotubulares

Nas caldeiras flamotubulares os gases fluem por dentro de tubos imersos em água. Este tipo de caldeira é freqüentemente usada em aplicações de pequeno porte, como indústrias, lavanderias e aquecimentos distritais.

Constituem-se da grande maioria das caldeiras, utilizada para pequenas capacidades de produção de vapor saturado (da ordem de até 10 *ton/h*) e baixas pressões (até 10 bar),

chegando algumas vezes a 15 ou 20 bar (BIZZO, 2003). Segundo Taylor (1996), a operação desse tipo de caldeira é simples e pode ser utilizada água de alimentação de média qualidade.

As caldeiras flamotubulares horizontais constituem-se de um vaso de pressão cilíndrico, com dois tampos planos (os espelhos) onde estão afixados os tubos e a fornalha. Caldeiras modernas têm diversos passes de gases, sendo mais comum uma fornalha e dois passes de gases. A saída da fornalha é chamada câmara de reversão e pode ser revestida completamente de refratários ou constituída de paredes metálicas molhadas (BIZZO, 2003).

A água acumulada no corpo da caldeira flamotubular pode funcionar como um pulmão de vapor, respondendo a súbitas flutuações de demanda com pouca queda de pressão da rede de vapor, sendo adequada, portanto para aplicações onde o consumo é variável (BIZZO, 2003).

Caldeiras flamotubulares são geralmente equipamentos montados em base única e poucos acessórios além dos necessários são acrescentados (BIZZO, 2003).

De acordo com Nogueira (2005) uma caldeira simples, sem recuperação de calor, pode ter sua eficiência em torno de 70%.

Na Figura 1 temos um exemplo de caldeira flamotubular e nas Figuras 2 e 3 temos exemplos de caldeira flamotubular em corte.



Figura 1 – Caldeira flamotubular (AALBORG INDUSTRIES S.A., 2012)

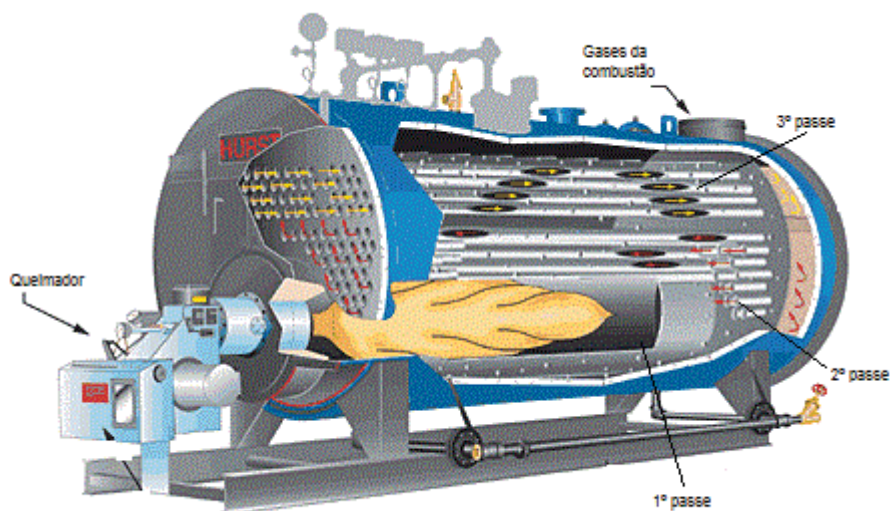


Figura 2 – Caldeira flamotubular - corte (CICI BOILER ROOMS INC, 2012)

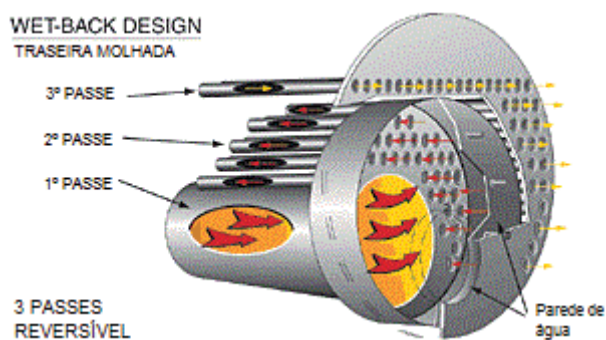


Figura 3 – Caldeira flamotubular – detalhe em corte (CICI BOILER ROOMS INC, 2012)

2.4. Transferência de calor em caldeiras

A transferência de calor em geradores de vapor é um complexo conjunto de fenômenos que envolvem troca de calor por radiação, convecção e condução térmica. O equacionamento teórico deste conjunto é complicado e exaustivo e grande parte do conhecimento adquirido e aplicado a troca de calor em caldeiras e fornos em geral é fruto de relações empíricas obtidas por tentativa e erro. Muitas informações e dados sobre a troca de calor em caldeiras são propriedades dos fabricantes de equipamentos e, por razões óbvias, não estão disponíveis na literatura aberta (BIZZO, 2003).

2.5. Gás Natural

Gás natural é todo hidrocarboneto ou mistura de hidrocarbonetos que permaneça em estado gasoso ou dissolvido no óleo nas condições originais do reservatório, e que se mantenha no estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros.

De todos os combustíveis químicos, gás natural é considerado o mais vantajoso para a geração de vapor. É canalizado diretamente ao consumidor, eliminando a necessidade de armazenamento. É isento de cinzas e se mistura facilmente com o ar, proporcionando uma combustão completa, sem fumaça.

O gás natural tem menos restrições de projeto que os demais combustíveis, porque é relativamente limpo e fácil de queimar. Se somente o gás natural é queimado, instalações de armazenamento de combustível, funis de cinzas, poços de cinzas e equipamentos de manuseio de cinzas são desnecessários.

Em uma unidade de queima de gás natural, a necessidade de armazenamento e manejo de combustível é mínima. Apenas uma pequena fornalha é necessária para a combustão, e superfícies de transferência de calor pouco espaçadas podem ser utilizadas por causa da ausência de cinzeiros. O resultado é um projeto relativamente pequeno, compacto e econômico (KITTO; STULTZ, 2005).

2.6. Água de alimentação das caldeiras

A água de alimentação é normalmente uma mistura de condensado de vapor de retorno e água de reposição. Para as caldeiras, a maior parte do vapor retorna como condensado, e é necessário apenas de 1 a 2% de água de reposição. Entretanto, para alguns processos industriais, há pouco condensado de retorno, de maneira que são necessários 100% de água de reposição (KITTO; STULTZ, 2005).

A água de alimentação não deve ser fria, pois pode causar tensões térmicas prejudiciais para a caldeira. A temperatura da água de alimentação deve ser de no mínimo de 70°C a 80°C. Este aumento de temperatura tem a vantagem de acelerar algumas reações de tratamento de

água, e também ajuda a remover o oxigênio e outros gases contidos na água de alimentação. Uma vez que o sistema está em funcionamento, este aumento de temperatura pode ser obtido com o retorno de condensado, mas esta condição não é eficaz até que o sistema já esteja operando há algum tempo. Assim um sistema de aquecimento do tanque deve ser instalado para minimizar o problema (SNOW, 2003).

Uma vez que o calor latente foi utilizado no processo, o vapor condensa em líquido, o que é conhecido como condensado de vapor. O condensado de vapor precisa ser coletado e retornado para a caldeira, minimizando o desperdício de água, de produtos químicos e de energia.

Para Richardson (2010) condensado é um recurso muito valioso em um sistema de caldeiras, não apenas por causa de seu conteúdo energético, mas também devido à sua alta pureza. Portanto, quanto mais condensado retornar como parte da água de alimentação, mais economicamente eficiente será o sistema.

A água de reposição de caldeiras provém de fontes naturais, como poços, lagos, córregos, rios e de outros mananciais que contêm reservas deste fluido. Conforme a sua procedência, essa água pode conter diferentes produtos dissolvidos ou em suspensão, em concentrações bem diversas (PERA, 1990).

Os requisitos químicos para a água de reposição dependem da quantidade e da qualidade do condensado de retorno. Quando grande parte da água de alimentação é composta por condensado não contaminado, a água de reposição geralmente pode apresentar pureza menor, desde que a mistura de condensado e água de reposição atendam os requisitos de água de alimentação (KITTO; STULTUZ, 2005).

O emprego direto da água “in natura” como água de reposição de caldeiras implica um processo de evaporação da fase líquida, com conseqüentes concentrações dos produtos minerais dissolvidos. Outros produtos, entretanto, também são liberados, como gases dissolvidos existentes na fonte fornecedora ou, mesmo, resultante da decomposição de matérias orgânicas igualmente presentes (PERA, 1990).

Os resíduos, após a evaporação da fase líquida, formam depósitos sobre as superfícies metálicas das caldeiras, com aderências de diferentes tipos, de acordo com a natureza do material acumulado. Certos produtos depositados permanecem na forma de um lodo de fácil remoção, outros se incorporam a própria parte metálica na forma de resíduos resistentes, de remoção mais difícil, constituindo um depósito denominado pelos caldeireiros de incrustações (PERA, 1990). Na Figura 4 temos um exemplo de incrustação em linha de água.

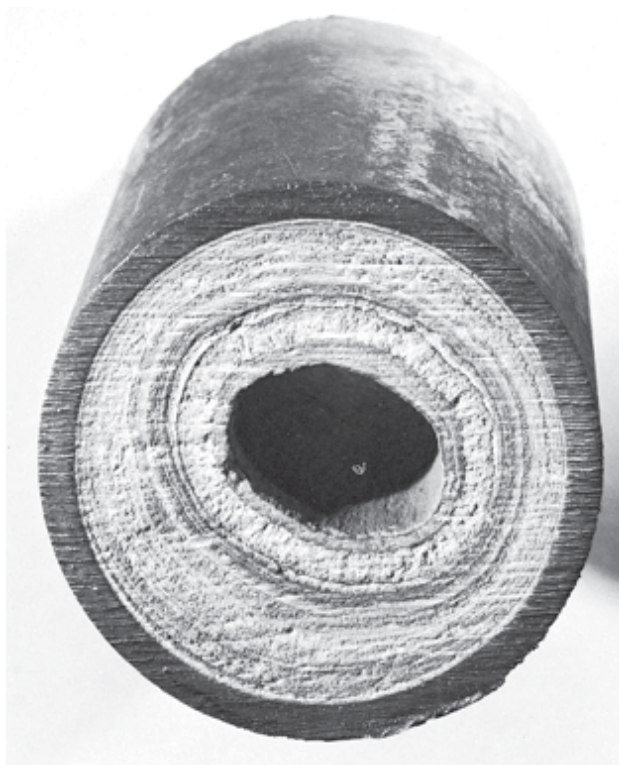


Figura 4 – Incrustação em linha de água (MEYERS, 2003)

Como esses depósitos incrustantes são fracos condutores de calor, seu acúmulo sobre as superfícies metálicas tende a criar maiores resistências ao escoamento de calor, contribuindo para uma sensível diminuição do coeficiente de condutividade entre os gases quentes e a água situada no exterior da tubulação. Evidentemente, diante de uma condição de trabalho que prejudica a troca de calor entre os fluidos do processo, a caldeira passa a produzir menor quantidade de vapor e a apresentar uma diminuição na sua eficiência térmica (PERA, 1990).

2.7. Tratamento de água das caldeiras

O tratamento da água da caldeira é fator importante na sua conservação. Os métodos de tratamento variam conforme a qualidade da água de alimentação e o porte da instalação de vapor. Caldeiras de pequeno porte têm a água geralmente tratada por introdução de produtos químicos diretamente na água interna da caldeira. Tais produtos visam à precipitação dos sólidos dissolvidos e em suspensão para posterior eliminação por descargas de fundo periódicas da caldeira (BIZZO, 2003).

Os objetivos gerais do tratamento da água são:

- Realizar a prevenção em alta escala de depósitos de sólidos e efluentes que coíbem a taxa de transferência de calor, que pode levar a um superaquecimento do metal e, conseqüentemente, a reparos de alto custo e interrupções de operação, além de operação insegura;
- Eliminar gases corrosivos na água de alimentação ou da caldeira;
- Realizar a prevenção do craqueamento intercrystalino e da fragilização caustica do metal; e
- Realizar a prevenção do transporte de materiais estranhos e formação de espuma.

O cumprimento destes objetivos geralmente requer o tratamento anterior e posterior da introdução da água na caldeira. A seleção dos processos de pré-tratamento depende das fontes de água, das características químicas, das quantidades necessárias de água de reposição, das práticas de operação da central, etc. (PERA, 1990).

Os métodos de tratamento anterior incluem filtragem, amaciamento, desmineralização, desaeração e pré-aquecimento, enquanto o tratamento posterior envolve a adição de produtos químicos à água da caldeira. O processo posterior é necessário para compensar as variações presentes no pré-tratamento e no sistema pré-caldeira para assegurar a proteção desta (PERA, 1990).

O método de tratamento anterior aplicado no sistema de vapor estudado é o processo de desmineralização, que remove todos os íons (cátions e ânions) e substitui por hidrogênio ou íons hidroxila (OH^-), e ocorre em uma série de trocadores de íons. Uma unidade para suprimento de água desmineralizada contém os aparelhos de troca aniônicos e catiônicos, conforme a exigência da qualidade da água (PERA, 1990).

O tratamento posterior aplica-se em água de baixa dureza, não turvas, adicionando-se produtos químicos, que reagem no interior da caldeira. Existem várias composições no mercado, cujas doses são prescritas pelos fabricantes em função das impurezas encontradas pela análise da água. O produto básico destas composições, porém, é o trifosfato de sódio (PERA, 1990).

É o método mais econômico, que consiste em adicionar uma solução de sais de tratamento no próprio tanque de alimentação de água ou no tubo de injeção no interior da caldeira, mediante um dosador contínuo. As reações do fosfato no interior da caldeira precipitam os sais de cálcio, numa forma não aderente à superfície metálica e tornam altamente solúveis os sais que davam dureza à água. O precipitado formado pelas reações, sob

a forma de lodo, deposita-se nas partes inferiores da caldeira, de onde são eliminados por meio de descargas intermitentes (PERA, 1990).

2.8. Purgadores de vapor

A perda de calor em linhas de vapor saturado produz a formação de condensado. A densidade do condensado aliado às altas velocidades de fluxo de vapor faz com sua presença seja indesejável nas linhas de distribuição, já que, o condensado acelerado pelo vapor pode provocar erosões e golpes de aríete nas linhas, além de diminuir a secção transversal útil para condução do fluido. A drenagem das linhas de vapor, bem como dos equipamentos que utilizam vapor condensado é feita pelos purgadores de vapor. Estes acessórios têm como finalidade principal descarregar líquido saturado para fora da linha de vapor. A descarga pode ser feita diretamente ao ambiente externo, ou, se for economicamente viável, pode ser feita numa tubulação ou tanques especialmente projetados para o retorno de condensado a caldeira. A utilização de condensado na alimentação das caldeiras provoca grande economia de energia e economia operacional no tratamento da água de alimentação (BIZZO, 2003).

Numa linha de distribuição de vapor, os purgadores devem ser aplicados em todos os pontos onde possa haver acúmulo de líquido, tais como, os pontos mais baixos da tubulação, os finais de linha, antes de válvulas de bloqueio e derivações ascendentes (BIZZO, 2003).

3. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo são duas caldeiras flamotubulares de três passes, ATA AWN-2 que inicialmente forneciam vapor saturado para os processos de usinagem química, tratamento de superfície apresentados na Figura 5 e Figura 6, e cabine de pintura apresentado na Figura 7. Com a transferência do processo de usinagem química para outra unidade fabril da mesma empresa, hoje, por comodidade, as duas caldeiras são aproveitadas para fornecer vapor apenas para os processos de tratamento de superfície e cabines de pintura. Os equipamentos do processo de usinagem química permanecem no local, porém o sistema foi isolado.

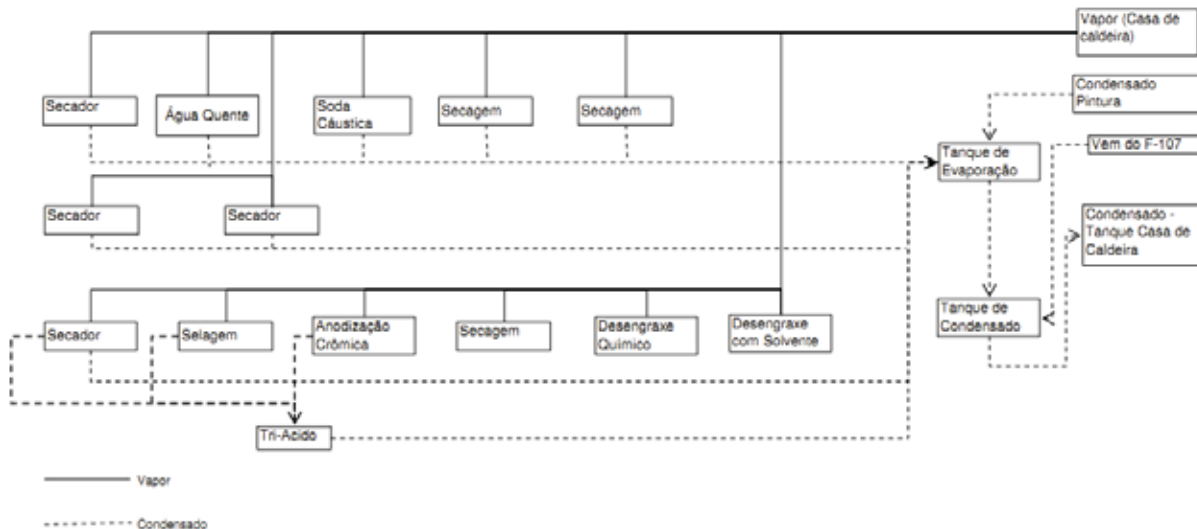


Figura 5 – Esquema dos tanques do circuito de vapor e condensado (Fonte: adaptado dos desenhos fornecidos pela Área de Manutenção de Fábrica da empresa)

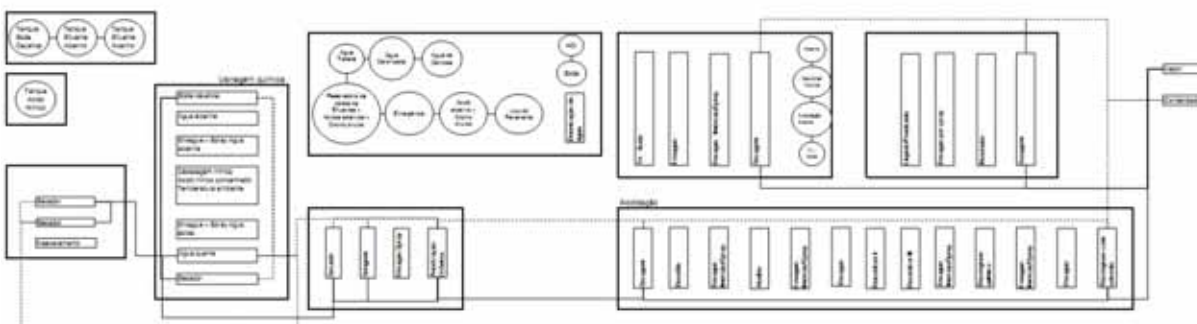


Figura 6 – Esquema de circuito de vapor e condensado, usinagem química e tratamento de superfície (Fonte: adaptado dos desenhos fornecidos pela Área de Manutenção de Fábrica da empresa)

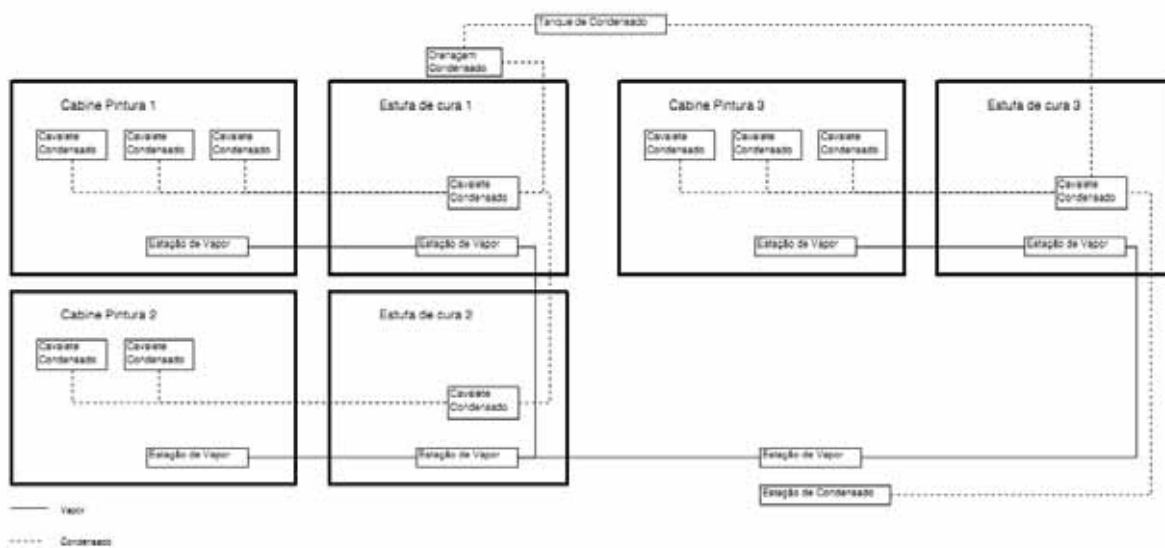


Figura 7 – Esquema de circuito de vapor e condensado da área de pintura (Fonte: adaptado dos desenhos fornecidos pela Área de Manutenção de Fábrica da empresa)

As caldeiras são denominadas “Caldeira 10” e “Caldeira 11”, apresentadas na Figura 8, e os dados utilizados neste estudo de caso são provenientes de registros do diário da caldeira, que é um livro próprio, com páginas numeradas onde são registradas, pelo operador da caldeira, todas as ocorrências importantes e também as informações dos horímetros (digital centesimal) das caldeiras, das bombas, da bomba de água desmineralizada, e do consumo do hidrômetro e do gasômetro. Foram compilados os dados de Setembro de 2010 a Agosto de 2011, apresentados mais adiante na seção 5.

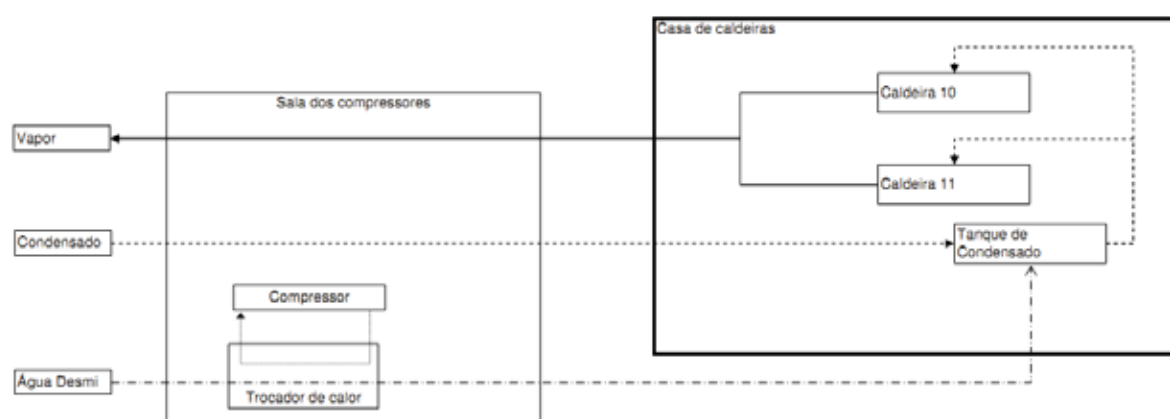


Figura 8 – Esquema da casa de caldeiras (Fonte: adaptado dos desenhos fornecidos pela Área de Manutenção de Fábrica da empresa)

Os registros no diário da caldeira são feitos em dois turnos: das 6h às 18h30min e das 18h30min às 6h.

As caldeiras são alimentadas por gás natural e fornecem vapor saturado a uma pressão entre 90 psi a 115 psi ($6,33 \text{ kgf/cm}^2$ a $8,08 \text{ kgf/cm}^2$). Utilizam sistema de retorno de condensado e a água de reposição utilizada é desmineralizada (processo de osmose reversa). Conforme mostrado na Figura 4, a água desmineralizada é pré-aquecida, até a temperatura de 60°C , em um trocador de calor que aproveita calor rejeitado por um compressor, localizado na sala de compressores, que fornece ar comprimido para outros sistemas da fábrica.

O operador da caldeira é responsável por preparar o produto químico para tratamento da água das caldeiras e adicioná-lo em um reservatório sempre que o nível diminui. Toda vez que a bomba de alimentação de água repõe a água, o produto é adicionado automaticamente à caldeira.

A cada duas horas é feita automaticamente a descarga de fundo.

O volume de vapor produzido não é controlado devido à variação na demanda de vapor. Os queimadores das caldeiras modulam de acordo com a necessidade da produção. Os tanques possuem termopares que enviam sinal para válvulas pneumáticas da linha de vapor abrirem ou fecharem.

3.1. Características operacionais das caldeiras

O processo de usinagem química foi desativado no dia 01 de Setembro de 2010, e a partir de então a operação das caldeiras proposta pela Engenharia de Manutenção da planta definiu que cada caldeira deve operar como principal por aproximadamente 15 dias, enquanto a outra, definida como caldeira auxiliar, permanece pressurizada e aquecida em stand-by, pronta para fornecer vapor caso haja uma demanda maior.

Nos horários em que não há demanda de vapor as caldeiras são completamente desligadas, porém permanecem pressurizadas e não há consumo de combustível. Geralmente nos finais de semana as caldeiras são completamente desligadas às 18h30min do sábado e ligadas no máximo às 4h da segunda-feira. São necessárias 3h para aquecer o tanque de hipercloro (desengraxe com solvente) e cerca de 40min a 50min para aquecer os demais equipamentos.

Em todos os turnos é feita verificação de todo o sistema, caso sejam encontrados vazamentos, a manutenção é acionada. Nas verificações eventualmente são encontrados purgadores desregulados e até travados. Não há manutenção programada dos purgadores, a manutenção é feita à medida que os problemas são identificados. Anualmente é feita a inspeção periódica de acordo com a NR-13.

4. DADOS TÉCNICOS DAS CALDEIRAS

A área de Manutenção de fábrica da empresa forneceu os dados apresentados nas tabelas seguintes.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas informações técnicas das caldeiras estudadas.

Tabela 1 – Informações técnicas das caldeiras (Fonte: Adaptado do Prontuário Técnico das caldeiras)

Caracterização das caldeiras	
Marca	ATA
Ano de fabricação	1999
Categoria	B
Modelo / Tamanho	AWN-2
Pressão de projeto	170 <i>psig</i>
Fabricante	Aalborg Industries S.A. (ex ATA Combustão Técnica S.A.)
Capacidade de produção de vapor saturado com água a 20°C	2000 <i>kg/h</i>
PTMA	11,95 <i>kgf/cm²</i> (170 <i>psig</i>)
Combustível	Gás natural
Tiragem	Forçada por insuflação
Alimentação de água	Alimentação intermitente
Automatização	Alimentação de água
	Combustão
	Acendimento
	Proporção ar/combustível
	Apagamento de fogo
	Intensidade do fogo – modulação contínua
Número de passes	03
Volume de água durante uso normal	4,7 <i>m³</i>
Pressão de teste hidrostático	17,93 <i>kgf/cm²</i> (255 <i>psig</i>)
Área superficial de aquecimento	55 <i>m²</i>
Pressão atual de trabalho	7,03 <i>kgf/cm²</i> (100 <i>psi</i>)
Pressão abertura da válvula de segurança	11,6 <i>kgf/cm²</i> (165 <i>psi</i>)
Pressão fechamento da válvula de segurança	10,8 <i>kgf/cm²</i> (153,61 <i>psi</i>)
Fornalha corrugada excêntrica	
Tubos de gases espiralados	
Câmara de reversão traseira totalmente imersa em água	
Isolamento térmico total	
Painel de comando com sistema eletrônico	

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de operação das caldeiras. Caso os valores saiam da especificação, o operador segue as orientações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2 – Especificação dos parâmetros de operação das caldeiras (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Parâmetro	Especificação
Temperatura da chaminé	Operação principal: 160 a 200°C Operação auxiliar: 70 a 200°C
Temperatura do tanque de condensado	70 a 80°C
Pressão de vapor da caldeira	Operação principal: 6,33 kgf/cm^2 a 8,08 kgf/cm^2 (90 a 115 psi) Operação auxiliar: 3,51 kgf/cm^2 a 8,08 kgf/cm^2 (50 a 115 psi)

Tabela 3 – Dados para correções de parâmetros de controle das caldeiras 10 e 11 (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados para correções de parâmetros de controle			
Parâmetro	Local	Especificação	Correções
Temperatura	Tanque de condensado	70 a 98°C	Se estiver abaixo avaliar possível contaminação dos sistema por água industrial.
			Se estiver acima avaliar possível queda no consumo.
	Chaminé da caldeira	Operação principal: 160 a 200°C Operação auxiliar: 70 a 200°C	Se estiver acima verificar regulagem de chama, limpeza da caldeira e estado do refratário da câmara de reversão traseira. Em caso extremo acionar assistência técnica.
			Se estiver abaixo verificar vazão de ar e vazão/pressão de gás na linha principal do combustor.
Pressão	Manômetro da linha principal de gás	1200 a 1300 mmca	Se estiver for a destas faixas, acionar a manutenção para verificar a calibração/aferição dos instrumentos e checar a vazão de gás no cavalete de entrada. Qualquer anormalidade no cavalete, acionar a supervisão.
	Manômetro linha piloto de gás	1400 a 1500 mmca	
	Manômetro combustor de gás	480 mmca	
	Pressostato de baixa de gás	300 mmca	Se estiver for a destas faixas, acionar a manutenção para verificar a calibração/aferição dos instrumentos.
	Pressostato de alta de gás	3000 mmca	
	Pressostato ventilador	250 mmca	
	Vapor na caldeira		Operação principal: 90 a 115 psi Operação auxiliar: 50 a 115 psi
Abaixo: verificar pressão das linhas de gás, ar de atomização, purgadores e excesso de consumo no cliente.			

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Gráficos para análise

Os gráficos apresentados a seguir foram obtidos a partir de informações provenientes de registros do diário da caldeira. Foram compilados os dados de Setembro de 2010 a Agosto de 2011.

A Figura 9 apresenta a quantidade total de combustível consumida, em Normal metro cúbico (Nm^3), nos meses de Setembro de 2010 a Agosto de 2011, assim como o consumo por turno de cada mês.

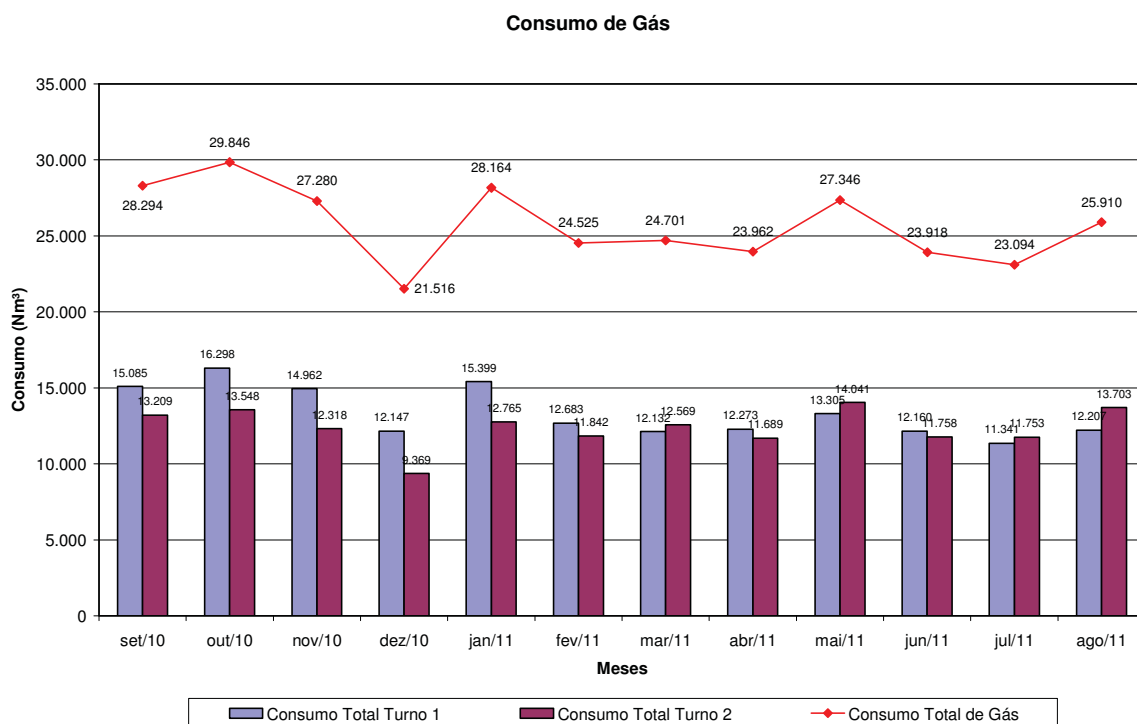


Figura 9 – Consumo de gás (Fonte: Dados compilados do Diário da caldeira)

A Figura 10 apresenta os valores de média de consumo de combustível, que foram obtidos desconsiderando-se os turnos em que as caldeiras não funcionaram. Há uma queda no mês de Julho, porém não há nenhum registro relevante para justificá-lo, caracterizando a variação na demanda de vapor pela produção.

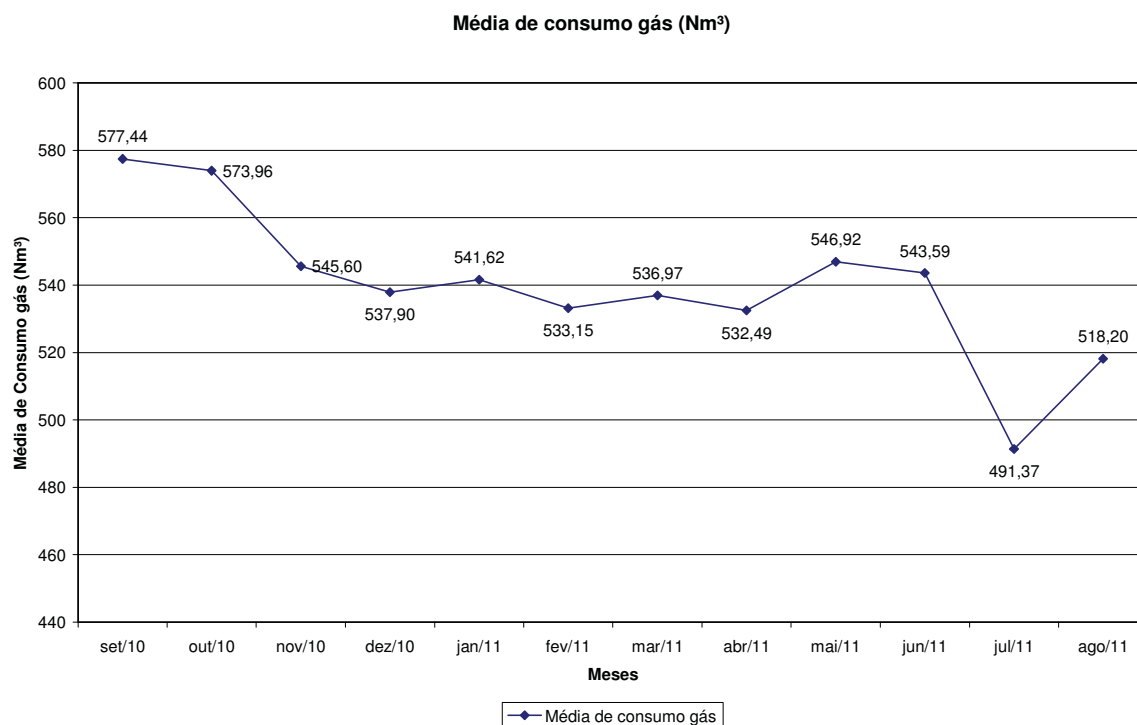


Figura 10 – Média de consumo de gás (Fonte: diário da caldeira)

A Figura 11 apresenta a temperatura média mensal do ar e a Figura 12 apresenta a umidade relativa do ar, para os anos de 2010 e 2011. Inicialmente esperava-se que as condições climatológicas influenciassem o consumo de combustível, porém ao contrário do que se esperava a influência não é tão evidente. Esperava-se que o consumo de combustível nos meses mais frios fosse maior que nos meses mais quentes, mas como vemos na Figura 9 a média de consumo de combustível nos meses de Junho, Julho e Agosto de 2011 não é maior do que nos meses de Novembro e Dezembro de 2010.

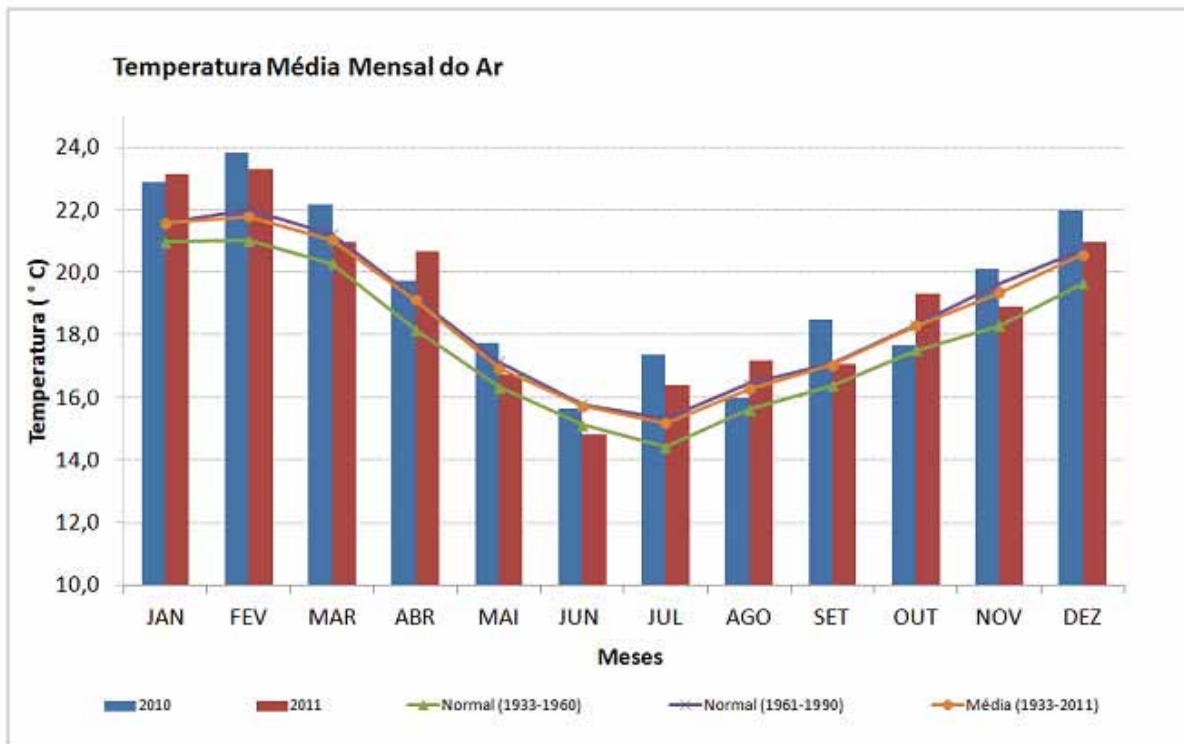


Figura 11 – Temperatura média mensal do ar para os anos de 2010 e 2011, normais e média climatológica (Fonte: IAG/USP, 2011)

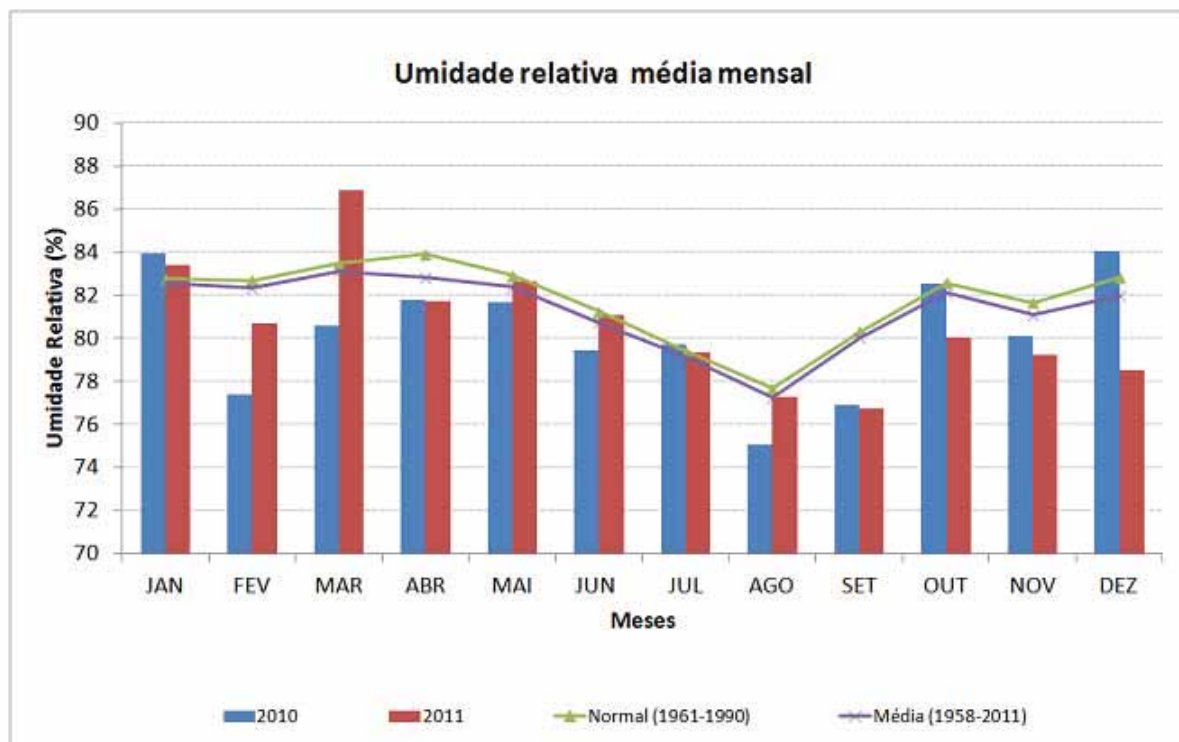


Figura 12 – Umidade relativa do ar média mensal para os anos de 2010 e 2011, além da normal e da média climatológica (Fonte: IAG/USP, 2011)

A Figura 13 apresenta a variação do consumo de água desmineralizada.

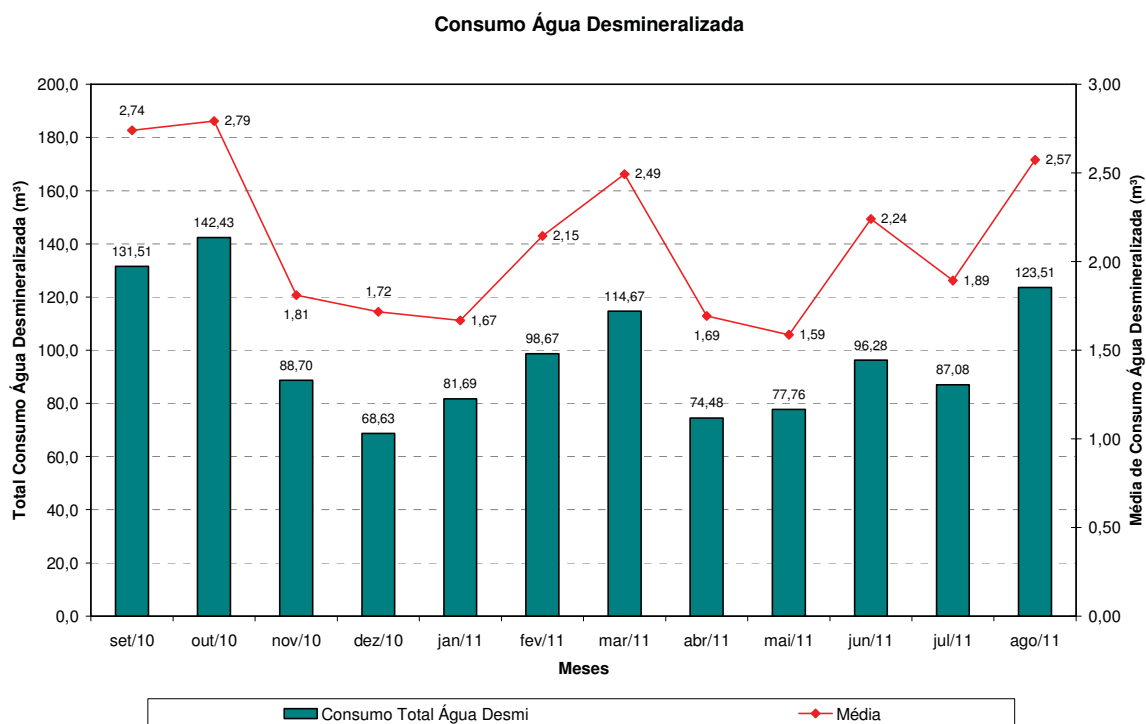


Figura 13 – Consumo de água desmineralizada (Fonte: diário da caldeira)

O gráfico de consumo de vapor não é apresentado devido à impossibilidade de colher esses dados, pois os esses valores não são controlados e registrados. Não é possível fazer o balanço pelo consumo de água desmineralizada, pois a água de alimentação é composta pela água desmineralizada e pelo condensado de retorno, que também não é medida.

As Figuras 14 até 25 apresentam os gráficos de horas de funcionamento das caldeiras versus consumo de gás, em Normal metro cúbico (Nm^3), dos meses de Setembro de 2010 a Agosto de 2011. Os gráficos mostram a inversão das caldeiras em operação, de maneira que uma das caldeiras opera como principal e a caldeira auxiliar participa pouco da operação.

As Tabelas 4 até 15 apresentam os dados relevantes anotados como observações no diário da caldeira de Setembro de 2010 a Agosto de 2011.

As variações apresentadas no consumo de combustível são consequência da demanda variável de vapor pelo processo produtivo.

Há dias em que as anotações de turno extrapolam doze horas, isso normalmente ocorre quando as caldeiras são desligadas e o operador registrar as horas finais em que a caldeira estava ligada no início de um turno no turno anterior.

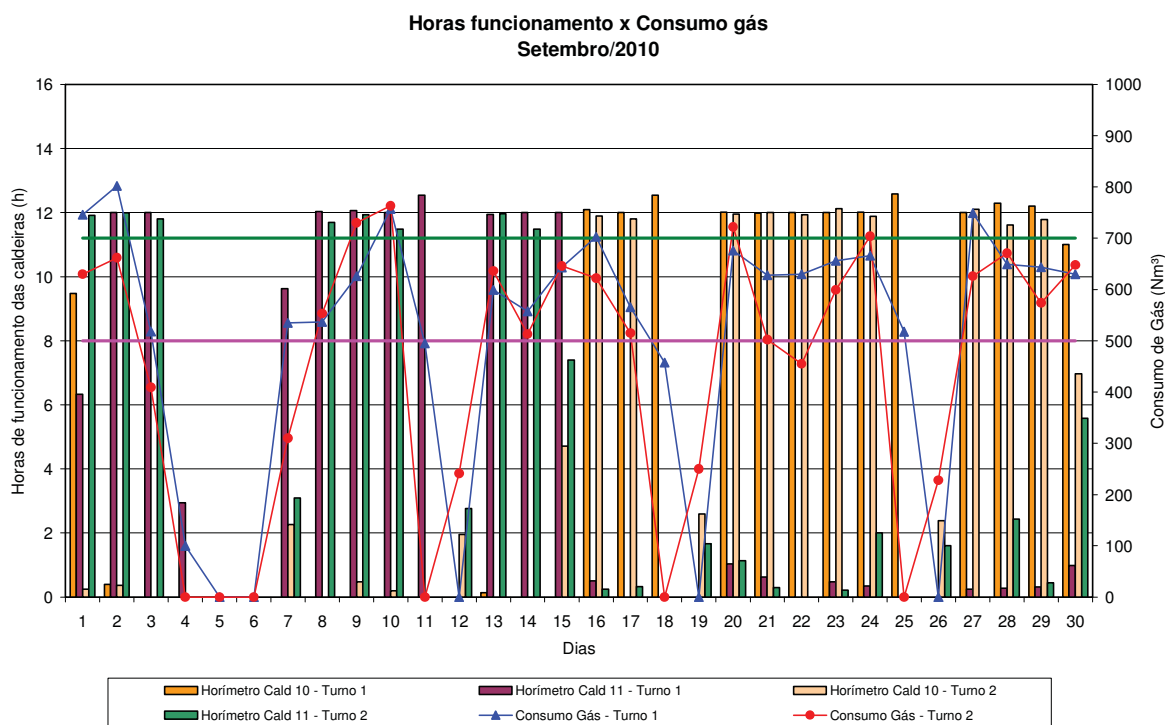


Figura 14 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Setembro/2010 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 4 – Dados relevantes do mês de Setembro/2010 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Setembro/2010		
Dia	Turno	Observação
01/Setembro (Quarta)	1	- Inversão das caldeiras, caldeira 10 passa a operar como auxiliar e caldeira 11 como principal.
07/Setembro (Terça) – feriado	1	- Produção pediu para ligar as caldeiras devido a pedido de peças. A produção começou atividade às 12h. - As peças seriam tratadas e pintadas.
	2	- Desligadas as caldeiras às 18h40min. - Ligada caldeira às 1h15min para aquecer tanques e equipamentos.
09/Setembro (Quinta)	1	- Trocados os visores retentores de fluxo da estufa de pintura 1. - Trocado 2 vezes o visor retentor de fluxo da estufa 2. - Há necessidade de trocar duas válvulas, próximo a visor de fluxo.
11/Setembro (Sábado)	1	- Visor retentor da estufa 2 está quebrado, pois a parte interna do conjunto Y está danificada e a esfera de retenção está quebrando o visor do mesmo. - A estufa 2 está operando em by-pass. - Desligada caldeira às 17h20min.
	2	- Ligada caldeira às 21h30min. - Desligada caldeira às 22h40min.

Dados relevantes do mês de Setembro/2010 (continuação)		
Dia	Turno	Observação
12/Setembro (Domingo)	1	- Trocada válvula de retenção do visor de fluxo da estufa 2.
15/Setembro (Quarta)	2	- Inversão das caldeiras, caldeira 10 passa a operar como principal e caldeira 11 como auxiliar.
29/Setembro (Quarta)	2	- Tubulação de retorno de condensado das estufas está furada (setor de pintura).
30/Setembro (Quinta)	1	- Eliminado vazamento no retorno de condensado próximo à cabine de pintura.
	2	- Inversão das caldeiras, caldeira 10 passa a operar como auxiliar e caldeira 11 como principal.

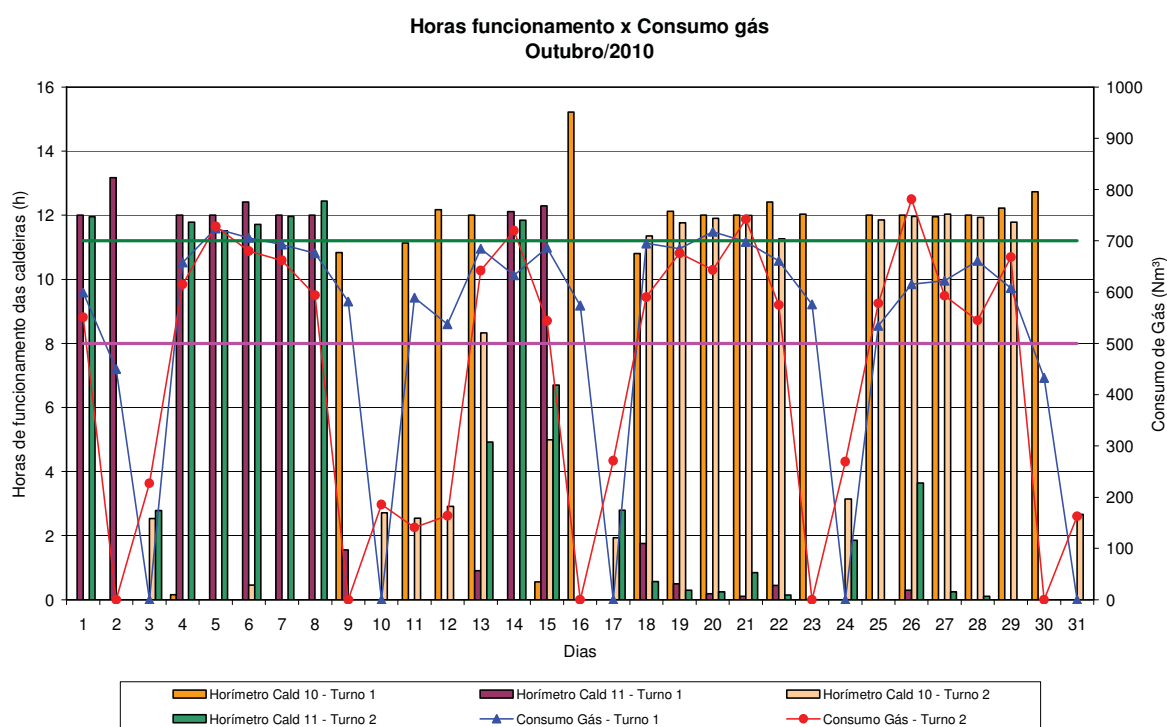


Figura 15 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Outubro/2010 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 5 – Dados relevantes do mês de Outubro/2010 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Outubro/2010		
Dia	Turno	Observação
03/Outubro (Domingo)	2	Vazamento de vapor no purgador de bóia do tanque de desengraxe.
04/Outubro (Segunda)	1	Aberta solicitação de manutenção para eliminar vazamento de dois purgadores de bóia livre do Tanque de desengraxe.

Dados relevantes do mês de Outubro/2010 (continuação)		
Dia	Turno	Observação
09/Outubro (Sábado)	1	Desligada caldeira 11 às 7h devido a vazamento de água na parte frontal da caldeira, é possível que tenha rompido algum tubo interno da caldeira.
	2	Caldeira 11 apresentando vazamento de água em sua parte frontal.
11/Outubro (Segunda)	1	- Caldeira 10 auxiliar e caldeira 11 principal. - Devido a problema na caldeira 11, a caldeira 10 está operando. - Vai haver produção normal amanhã dia 12/Outubro. - Desligada caldeira às 18h a pedido da produção.
12/Outubro (Terça) – feriado.	1	- Caldeira 11 aguardando manutenção. - Desligada caldeira às 17h30min a pedido da produção.
	2	- Ligada caldeira às 2h30min para aquecer tanques.
13/Outubro (Quarta)	1	- Eliminado vazamento de água no tubo interno da caldeira 11. Serviço executado por soldador. - Pressurizada a caldeira e não apresentou vazamento.
	2	- Ligada caldeira 11 à 0h. - Desligada caldeira 10 à 0h.
16/Outubro (Sábado)	1	- Desligada caldeira às 20h45min, por essa razão o horímetro da caldeira 10 marcou 15,22 horas.
18/Outubro (Segunda)	1	- Caldeira 10 funcionou 1,12 horas a menos neste turno devido ao início do horário de verão.
22/Outubro (Sexta)	2	- Vazamento de condensado no flange na entrada do coletor.
23/Outubro (Sábado)	2	- Eliminado vazamento de condensado na entrada do coletor.
27/Outubro (Quarta)	1	- Aberta solicitação de manutenção para eliminar vazamento de vapor no purgador de bóia no Tanque de desengraxe. - Manutenção informou que está aguardando a compra de outro para substituir.
28/Outubro (Quinta)	1	- Feita análise de vibração nos motores das bombas d'água e ventiladores das caldeiras 10 e 11.

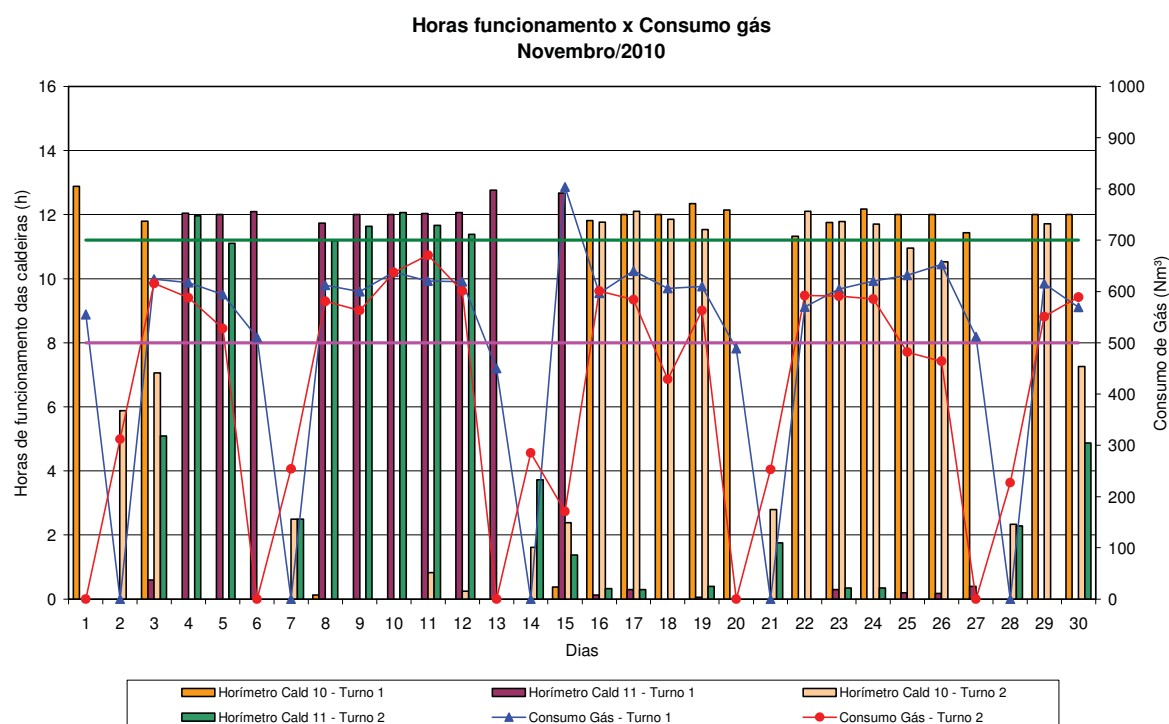


Figura 16 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Novembro/2010 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 6 – Dados relevantes do mês de Novembro/2010 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Novembro		
Dia	Turno	Observação
01/Novembro (Segunda)	2	- Produção consumiu vapor até as 21h. - Desligada caldeira 10 e despressurizada a linha de vapor para manutenção programada para o dia 02/Novembro.
02/Novembro (Terça)	2	- Ligada caldeira às 2h30min para aquecer tanques e equipamentos.
04/Novembro (Quinta)	1	- Trocada gaxeta da bomba d'água da caldeira 10.
06/Novembro (Sábado)	1	- Desligada caldeira às 17h45min a pedido da produção.
07/Novembro (Domingo)	1	- Retirados a válvula de segurança e o manômetro do tanque de vapor flash para calibração. - No lugar da válvula foi colocado um registro manual. De acordo com a manutenção os mesmos serão recolocados amanhã pela manhã.
08/Novembro (Segunda)	1	- A válvula de segurança e o manômetro do tanque de vapor flash não foram recolocados como havia prometido a manutenção.
14/Novembro (Domingo)	2	- Ligada caldeira às 3h para aquecer tanques e equipamentos.

15/Novembro (Segunda)	1	- Desligada caldeira às 18h.
	2	- Ligada caldeira às 2h30min, para aquecer tanques e equipamento.
28/Novembro (Domingo)	1	- Foram trocados dois purgadores que estavam com vazamento no tanque de desengraxe.
	2	- Bomba de retorno de condensado travou às 3h. - Início da manutenção às 3h30min e término às 4h05min. - Às 2h30min caldeira 11 em operação auxiliando na produção de vapor, para aquecimento dos tanques.
29/Novembro (Segunda)	2	- Às 2h30min caldeira 11 em operação para aquecer tanques. - Às 4h temperatura do tanque de condensado foi de 40°C e às 5h foi de 50°C, fora de parâmetro. - Bomba de retorno de condensado travada. - Manutenção iniciou às 3h30min e terminou às 4h05min.

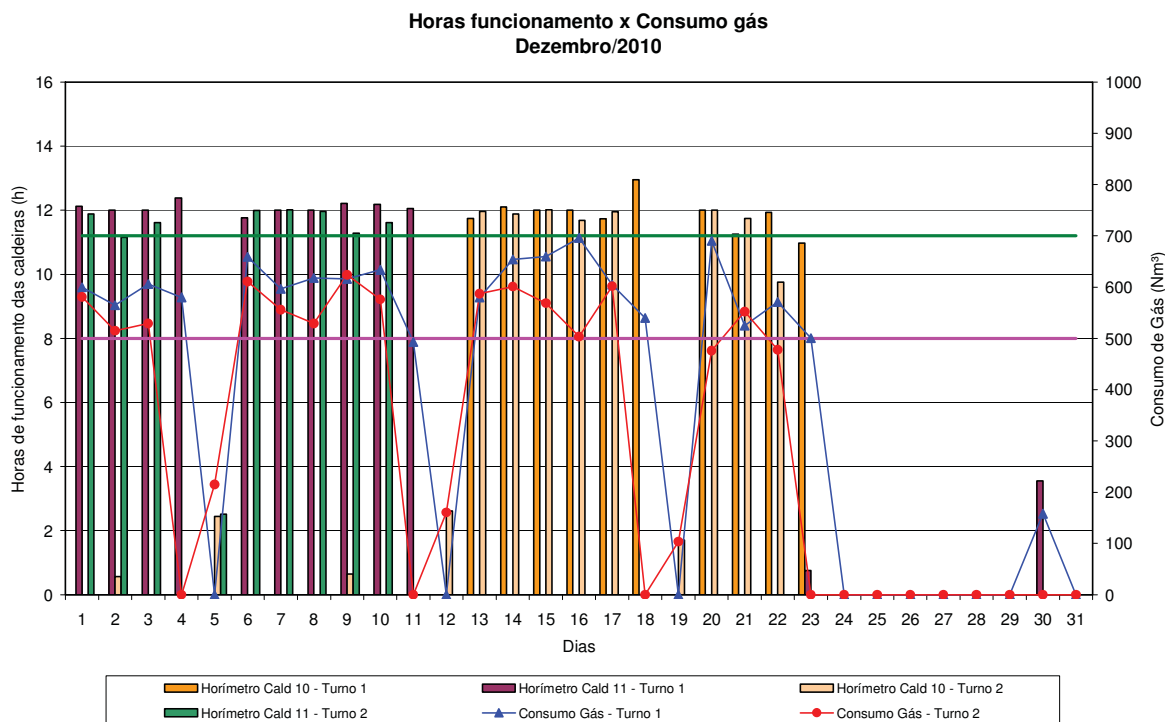


Figura 17 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Dezembro/2010 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 7 – Dados relevantes do mês de Dezembro/2010 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Dezembro/2010		
Dia	Turno	Observação
06/Dezembro (Segunda)	2	- Purgador de bóia da estufa 1 está dando passagem direta de vapor.
12/Dezembro (Domingo)	1	- Vazamento interno na caldeira 11, a mesma foi aberta, e foi constatado que há um tubo rompido. - Manutenção solicitou que a caldeira fique aberta, pois amanhã será feita manutenção da mesma.
13/Dezembro (Segunda)	1	- Equipe de manutenção esteve na área para checar caldeira 11. - Foi combinado que a caldeira será resfriada e amanhã deverá entrar em manutenção. - Operador, deixar caldeira cheia de água fria (nível máximo).
14/Dezembro (Terça)	1	- Consumo alto de água devido à manutenção da caldeira 11. - Foram trocados os dois tubos danificados e feito teste hidrostático.
20/Dezembro (Segunda)	1	- Caldeira 11 em manutenção. - Caldeira 11 inspecionada e já fechada. - Dosar 3 medidas de Nalco 5020 (pó) 1 medida de Nalco 5012 1 medida de Nalco 22352 - Fazer as mesmas aplicações na caldeira 10. - Evitar choques térmicos na parada.
22/Dezembro (Quarta)	2	- Caldeira 11 em manutenção. - Caldeira fora de operação das 2h45min às 4h55min devido à produção estar sem atividade.
23/Dezembro (Quinta)	1	- Pressurizada caldeira 11 e efetuada dosagem de choque na caldeira conforme recomendação da engenharia da Nalco. - Desligada caldeira às 16h10min a pedido da produção. - Programação de revisão nas caldeiras – NR13: Caldeira 11 – concluída revisão, limpeza, escovação, trocados dois tubos. Caldeira 10 – dia 27/Dez (Segunda) está programada abertura na parte da manhã com acompanhamento da Nalco e da Energás.
27/Dezembro (Segunda)	1	- Caldeira 10 em manutenção, falta finalizar o serviço. - Feita vistoria pela Nalco e pela Energás conforme programação.
28/Dezembro (Terça)	1	- Foi utilizado 2h30min de vapor para teste de solda em um dos tanques. - Caldeira 10 liberada, falta fazer o teste de choque.
30/Dezembro (Quinta)	1	- Vazamento na linha de vapor acima do mezanino. - Ligada caldeira às 10h30min para aquecer tanque de desengraxe alcalino. - Desligada caldeira às 12h30min.

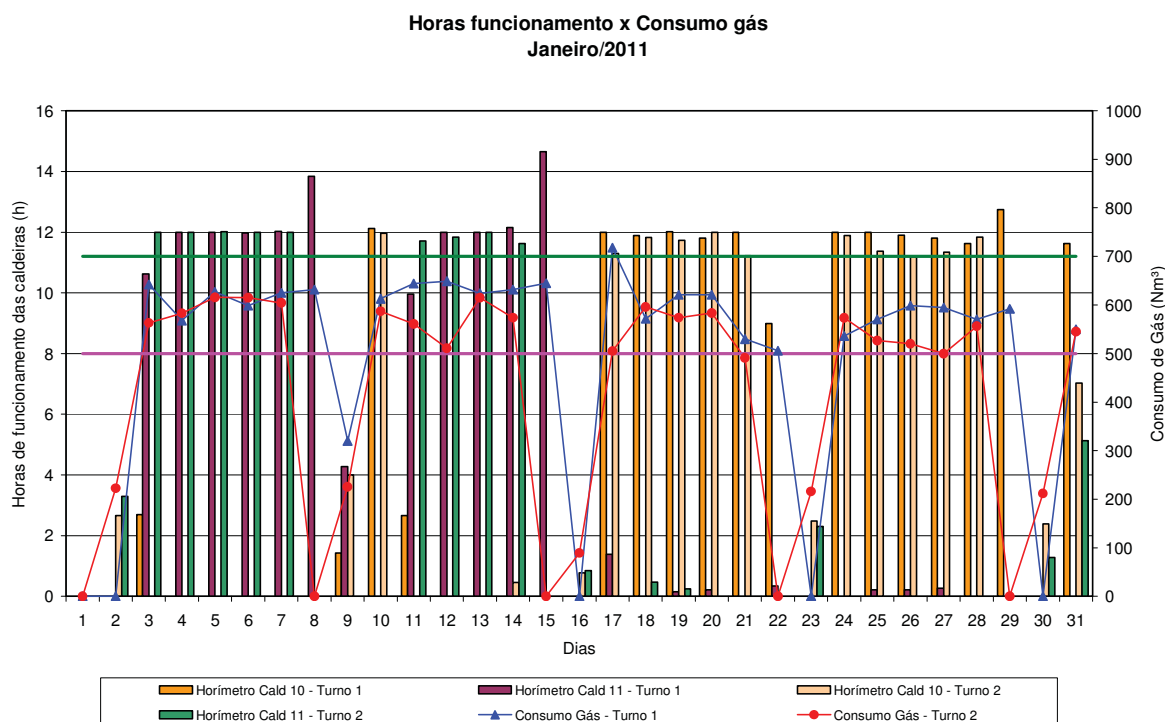


Figura 18 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Janeiro/2011 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 8 – Dados relevantes do mês de Janeiro/2011 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Janeiro/2011		
Dia	Turno	Observação
04/Janeiro (Terça)	2	- Vazamento de vapor no visor de fluxo do tanque de desengraxe, lado direito e na válvula que controla o fluxo no tanque de anodização crômica, quando entra em operação.
07/Janeiro (Sexta)	1	- Retirados todos os manômetros, termômetros, pressostatos e válvulas de segurança da caldeira 10 para calibração. - Segundo a equipe de manutenção, serão reinstalados somente amanhã na parte da tarde. - Caldeira 10 está com nível de água abaixo do normal, foi drenado a pedido dos mecânicos.
09/Janeiro (Domingo)	1	- Recolocados os manômetros e pressostatos da caldeira 10. - Desligada caldeira 11 às 10h. - Ligada caldeira 10, pois serão retirados os instrumentos da caldeira 11 para aferição em laboratório. - Desligada caldeira 10 às 11h a pedido da produção.
11/Janeiro (Terça)	1	Caldeira 11 foi liberada para produção por volta das 7h30min, a mesma está sendo utilizada como caldeira principal a partir das 8h.
14/Janeiro (Sexta)	1	Foi dado aperto na gaxeta da bomba de alimentação da caldeira 11, porém não resolveu.
24/Janeiro (Segunda)	1	Foi dado aperto novamente nas gaxetas das bombas de água das caldeiras.
28/Janeiro (Sexta)	1	- Retirado manômetro do ventilador da caldeira 11 para efetuar reparo ou troca.

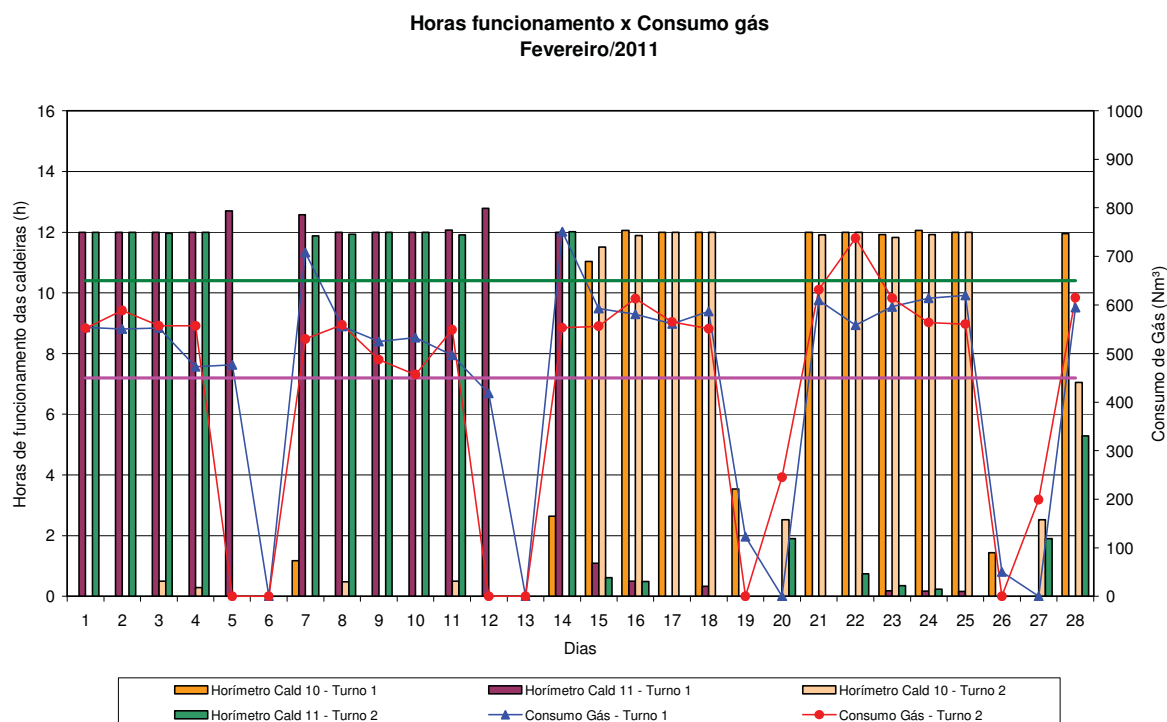


Figura 19 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Fevereiro/2011 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 9 – Dados relevantes do mês de Fevereiro/2011 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Fevereiro/2011		
Dia	Turno	Observação
14/Fevereiro (Segunda)	1	Substituído visor retentor da linha de condensado do tanque de desengraxa (percloro).
15/Fevereiro (Terça)	1	A partir das 6h a caldeira 10 passou a operar como principal e a caldeira 11 como auxiliar.
22/Fevereiro (Terça)	2	- Bomba de água da caldeira 11 não está desligando em automático.
23/Fevereiro (Quarta)	1	- Bomba de água da caldeira 11 estava ligada em manual, o funcionamento da mesma está ok.
26/Fevereiro (Sábado)	1	- Feita inspeção NR-13 extraordinária pela Energás.

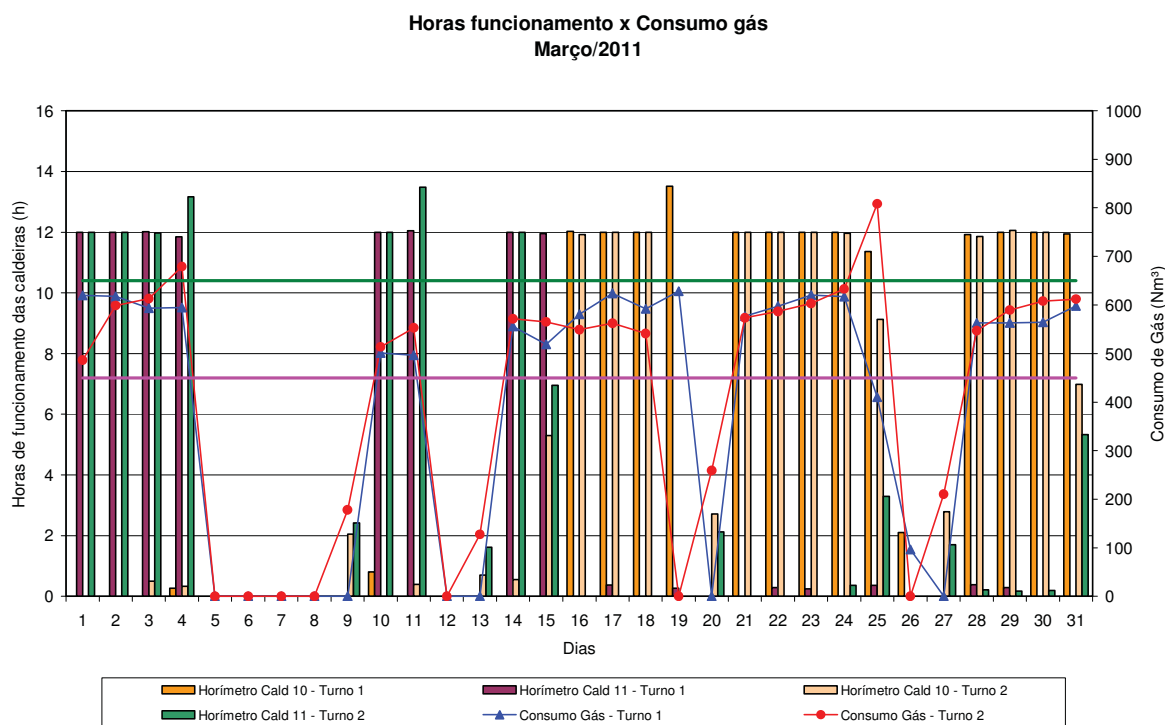


Figura 20 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Março/2011 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 10 – Dados relevantes do mês de Março/2011 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Março/2011		
Dia	Turno	Observação
13/Março (Domingo)	1	- Executada manutenção na válvula de vapor principal da usinagem química que estava com vazamento na junta do flange da mesma. Feito teste e não houve vazamento.
14/Março (Segunda)	1	- Aberta solicitação de manutenção para eliminar vazamento de vapor na linha principal.
17/Março (Quinta)	1	- Vazamento de vapor na junta da válvula de vapor principal.
20/Março (Domingo)	1	- Foram eliminados os vazamentos da válvula de saída da caldeira 11 e da válvula principal da usinagem química. Feito teste e não houve vazamento.
23/Março (Quarta)	2	- Vazamento de vapor na linha de retorno de condensado da estufa.
24/Março (Quinta)	1	- Aberta solicitação de manutenção para eliminar vazamento citado no dia 23.
31/Março (Quinta)	1	- Mecânicos deixaram ventiladores das torres de resfriamento ligados em manual, os mesmos não estão funcionando em automático.

Horas funcionamento x Consumo gás
Abril/2011

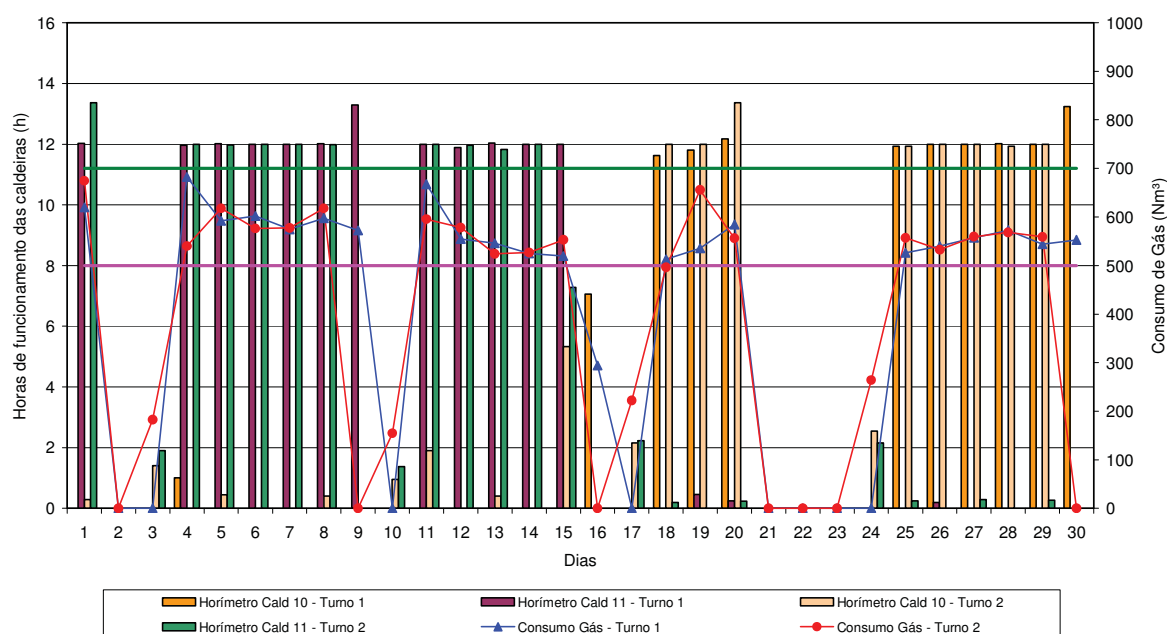


Figura 21 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Abril/2011 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 11 – Dados relevantes do mês de Abril/2011 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Abril/2011		
Dia	Turno	Observação
01/Abril (Sexta)	1	- Trocado display dos ventiladores da torre de resfriamento. Os mesmos estão ligados em manual. Display de temperatura, no automático liga com 27,5°C e desliga com 27°C.
02/Abril (Sábado)	1	- Eliminado vazamento de condensado acima do tanque de vapor flash. - Trocado o purgador de bóia da estufa 1, que estava dando passagem direta.
05/Abril (Terça)	2	- Vazamento de vapor em união da rede de vapor principal.
10/Abril (Domingo)	1	- Eliminado vazamento de vapor da união da rede de vapor principal.
15/Abril (Sexta)	2	- A partir da 0h a caldeira 10 passou a operar como principal e a caldeira 11 como auxiliar.
17/Abril (Domingo)	1	- Trocada junta de válvula da linha de vapor.
20/Abril (Quarta)	2	- Manômetro da bomba de retorno de condensado está com defeito.

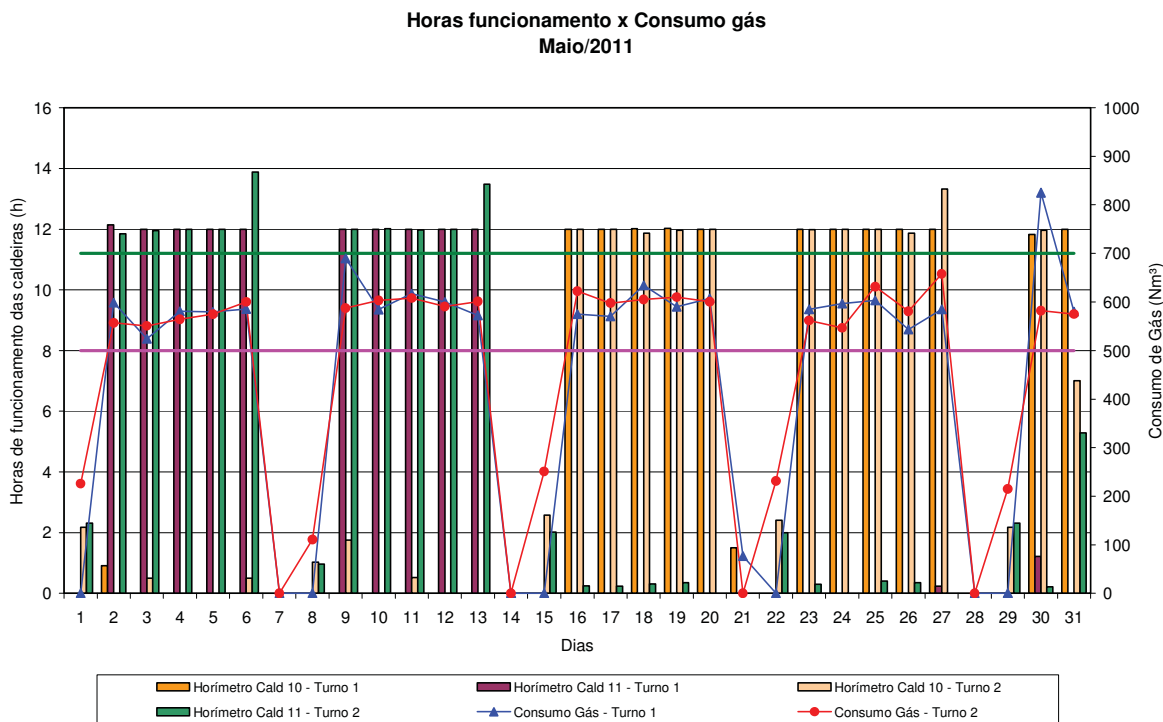


Figura 22 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Maio/2011 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 12 – Dados relevantes do mês de Maio/2011 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Maio/2011		
Dia	Turno	Observação
09/Maio	1	- Às 12h foi instalado novo hidrômetro na rede de água desmi. Após a troca de um novo hidrômetro na rede de água desmineralizada foi feita uma manobra no trocador de calor do compressor. - Antes a água desmi estava passando pelo by-pass, agora a mesma está passando pelo trocador de calor do compressor, elevando sua temperatura, tanque de condensado e sua temperatura.

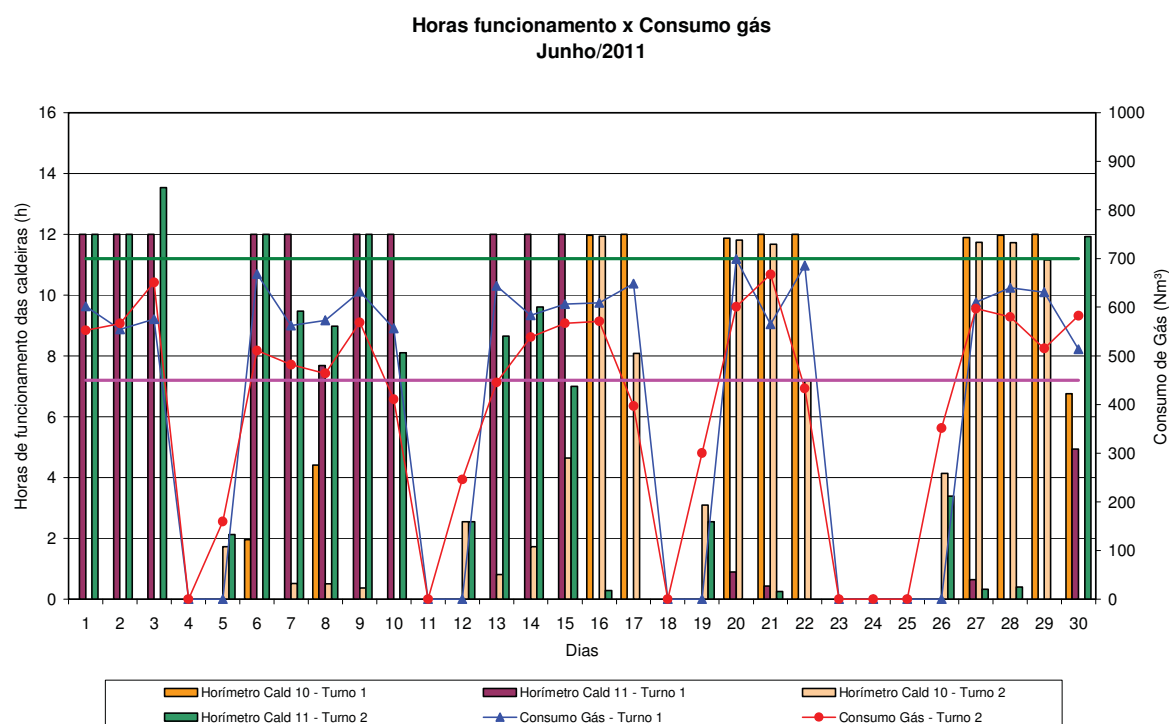


Figura 23 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Junho/2011 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 13 – Dados relevantes do mês de Junho/2011 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Junho/2011		
Dia	Turno	Observação
06/Junho (Segunda)	1	- Trocado visor de nível da caldeira 10 que estava quebrado.
07/Junho (Terça)	2	- À 1h estourou o vidro da garrafa de nível da caldeira 11.
08/Junho (Quarta)	1	- O visor da garrafa de nível da caldeira 11 foi trocado.
13/Junho (Segunda)	1	- Aberta solicitação de manutenção para eliminar vazamento de vapor na junta do flange da válvula que dá acesso à usinagem química.
16/Junho (Quinta)	1	- Consumo excessivo de água desmineralizada devido ao travamento da bomba de retorno de condensado.
	2	- Manutenção da bomba de retorno de condensado iniciou às 19h e terminou às 20h30min.
17/Junho (Sexta)	1	- Aberta solicitação de manutenção para eliminar vazamento de condensado acima do coletor da bomba de retorno de condensado.
19/Junho (Domingo)	1	- Foram eliminados alguns vazamentos de vapor na área.

Dados relevantes do mês de Junho/2011 (continuação)		
Dia	Turno	Observação
22/Junho (Quarta)	2	- Desligada caldeira à 1h devido ao término da produção. - Foram abertos os 4 drenos da linha de condensado embaixo do tanque de desengraxe (percloro) para ser feita manutenção na rede na quinta-feira. - A saída de vapor das 2 caldeiras estão abertas.
26/Junho (Domingo)	1	- Concluída manutenção do tanque de desengraxe, foi trocado o cavalete de entrada de vapor e também foram substituídas duas juntas da entrada da serpentina que estava com vazamento. - Manter a válvula by-pass aberta, pois a válvula pneumática não teve a parte elétrica instalada.
	2	- Ligada caldeira às 2h. - Aquecimento do tanque de desengraxe está sendo feito pela válvula by-pass.
30/Junho (Quinta)	2	- A partir da 0h a caldeira 10 passou a operar como auxiliar e a caldeira 11 como principal.

Horas funcionamento x Consumo gás
Julho/2011

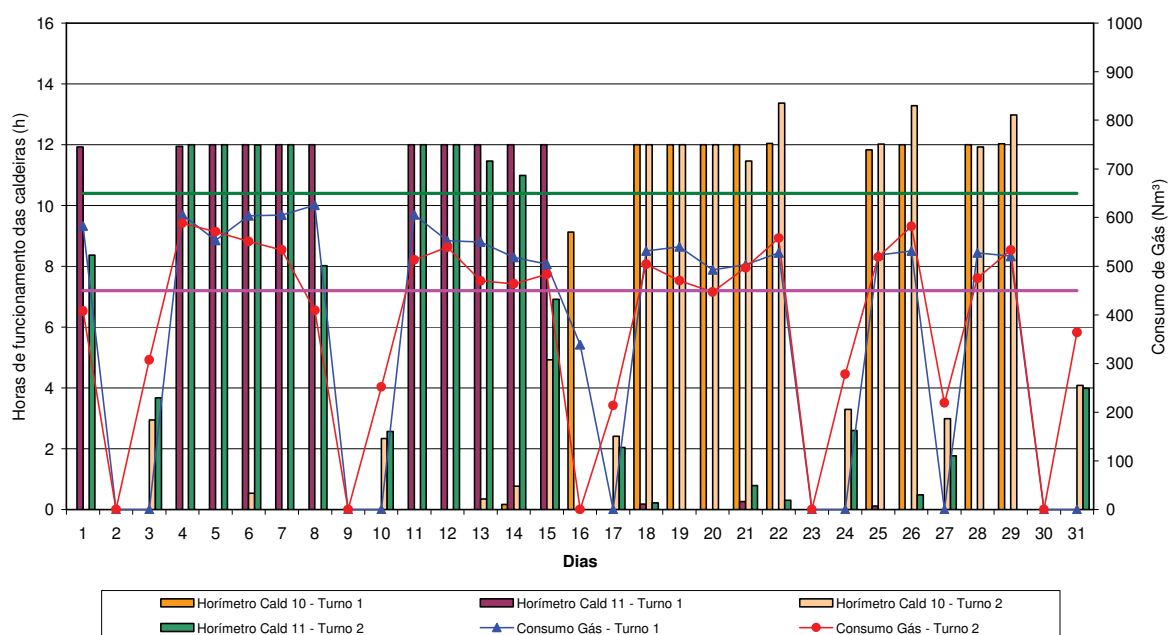


Figura 24 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Julho/2011 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 14 – Dados relevantes do mês de Julho/2011 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Julho/2011		
Dia	Turno	Observação
05/Julho (Terça)	2	- Vidro do visor do retentor do tanque de desengraxe alcalino foi trocado, pois estava estourado.
08/Julho (Sexta)	1	- Aberta solicitação de manutenção para trocar bucha refratária da caldeira 11 que está danificada. - Aberta solicitação de manutenção para trocar a prensa da prensa gaxeta da bomba de água da caldeira 10 que está quebrada.
14/Julho (Quinta)	2	- Válvula de retenção apresentou defeito após o hidrômetro, por esse motivo o mesmo foi danificado.
15/Julho (Sexta)	1	- Foi trocado o hidrômetro da rede de água desmineralizada que estava travado, também foi retirada a parte interna da válvula de retenção que estava danificado. - Água desmi estava passando pelo by-pass do trocador de calor do compressor, o hidrômetro que estava instalado não era para água quente.
17/Julho (Domingo)	1	- Foi fechada válvula by-pass da estufa 1, para eliminar passagem de vapor.

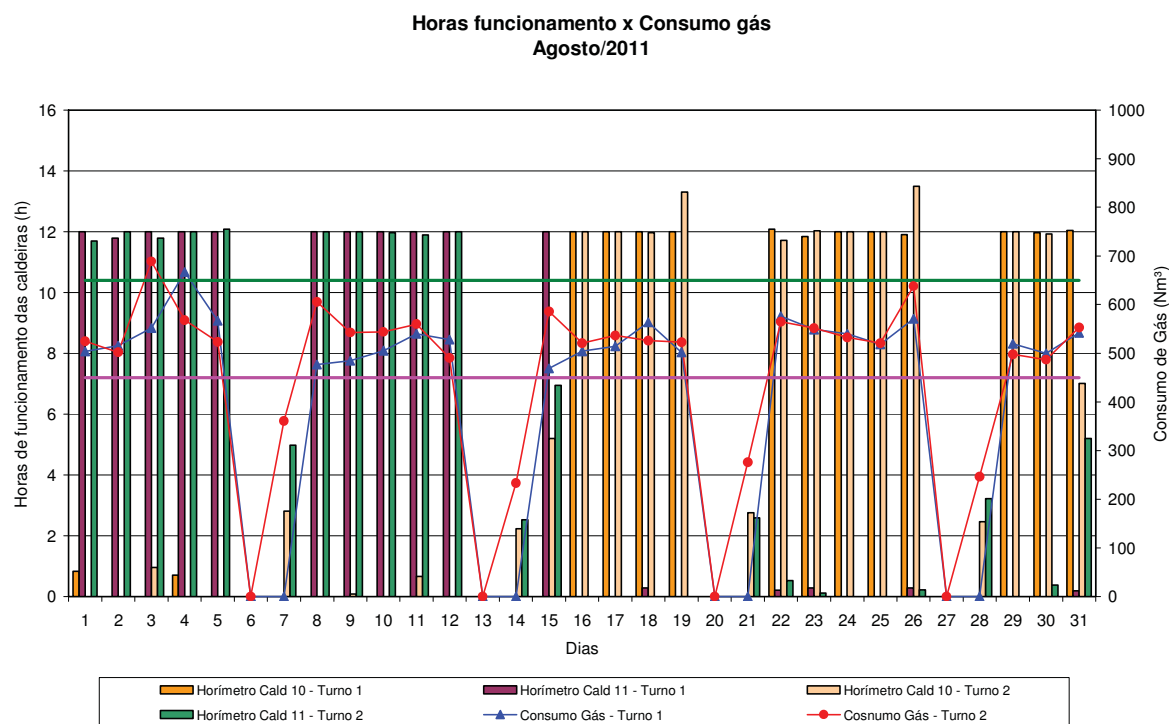


Figura 25 – Horas de funcionamento das caldeiras por turnos x Consumo de Gás – Agosto/2011 (Dados do diário da caldeira)

Tabela 15 – Dados relevantes do mês de Agosto/2011 registrados no diário da caldeira (Fornecido pela área de Manutenção de fábrica da empresa)

Dados relevantes do mês de Agosto/2011		
Dia	Turno	Observação
01/Agosto (Segunda)	1	- Eliminado vazamento na gaxeta da bomba de água da caldeira 10. - Eliminado vazamento no visor de nível da caldeira 11.
04/Agosto (Quinta)	1	- Bomba de retorno de condensado permaneceu travada das 9h30min às 12h50min. Após reparo a mesma voltou a funcionar.
11/Agosto (Quinta)	1	- Efetuada manutenção na bomba de retorno de condensado, a mesma estava travada.
15/Agosto (Segunda)	2	- Caldeira 10 passou a operar como principal e a caldeira 11 como auxiliar.
20/Agosto (Sábado)	1	- Feita manutenção na garrafa de nível da caldeira 10. - Trocada válvula da garrafa e parte da tubulação de descarga da garrafa de nível.
25/Agosto (Quinta)	1	- Vazamento de condensado na válvula by-pass da estufa 1.
29/Agosto (Segunda)	1	- Bomba de retorno de condensado com operação intermitente, às vezes trava.
31/Agosto (Quarta)	2	- Vazamento de vapor no vidro da garrafa de nível da caldeira 11.

5.2. Considerações ambientais

Desde os anos 1960, tem havido uma crescente conscientização mundial de que o crescimento industrial e a produção de energia a partir de combustíveis fósseis são acompanhados pela liberação de poluentes prejudiciais para o ambiente. Para Liao e Dexter (2003) o mundo tem testemunhado um crescimento consistente e rápido da demanda de energia, porém com reservas energéticas e recursos limitados.

A crescente preocupação com os poluentes atmosféricos está mudando o foco do projeto e operação de caldeiras e sistemas de combustão. A queima de combustíveis fósseis produz resíduos atmosféricos que tem sido responsáveis pela formação de chuva ácida, poluição do ar, mudanças na camada de ozônio, e o efeito estufa.

De acordo com Seneviratne (2006), há uma grande dependência de vapor em um ambiente de crescentes custos de energia e com grande foco nas mudanças ambientais. O aumento da eficiência dos sistemas a vapor permite que as empresas sejam competitivas,

criando-se a oportunidade para economizar água, energia e reduzir as emissões de gases poluentes.

5.3. Considerações operacionais

O combustível representa um custo importante na operação de caldeiras, por isso é importante minimizar o consumo de combustível e maximizar a produção de vapor.

Requisitos de energia térmica e a contribuição do custo do combustível para o custo global de produção de um produto diferem de um produto para outro. A eficiência da combustão de qualquer caldeira é um fator importante, pois controla diretamente o consumo de combustível, e sua importância é reconhecida.

De acordo com Maheshwari e Al-Hadban (2001) em uma unidade industrial, uma unidade de energia térmica é selecionada para atender as exigências do processo a plena carga e para a pior das condições meteorológicas. No entanto, raramente opera a plena capacidade de produção e as variações sazonais das condições climáticas afetam significativamente os requisitos para a energia térmica. Uma estratégia operacional para alcançar a eficiência aproximadamente normal de combustível durante o período de baixa demanda pode ser, portanto, crucial. Da mesma forma, para um processo de operação intermitente, ao contrário de um processo contínuo, uma estratégia operacional energeticamente eficiente tem de minimizar a exigência de energia para pré-aquecimento e seu desperdício pós-processo. Este importante aspecto da eficiência energética relacionada com a utilização da energia térmica pelo usuário final não é, entretanto, muito bem definido nas práticas operacionais das empresas.

As caldeiras apresentam nível máximo e mínimo de capacidade de geração de vapor dentre os quais se recomenda que sejam operadas. Segundo Cavalieri et al. (1972), a capacidade mínima de um gerador de vapor pode ser assumida como cerca de 20% da capacidade máxima. Além das questões técnicas relativas à eficiência, é prática operacional respeitar o limite mínimo devido às dificuldades de atuação dos geradores de vapor em baixas cargas. Dentro destes limites, a eficiência dos geradores de vapor é admitida constante; essa consideração é razoável, visto serem as oscilações de eficiência sob cargas variáveis pequenas (BALESTIERI, 2009). De acordo com Reznikov e Lipov (1985), testes e experiência adquirida na operação de caldeiras sinalizam as seguintes faixas para cargas mínimas: 40 –

50% da carga no ponto de projeto para a combustão de óleos, gás e carvões altamente voláteis; 50 – 60% para carvões de baixo poder de queima; a mais baixa carga para uma operação estável é, em geral, 30 – 40% da carga de projeto.

A relação entre a eficiência e a carga de uma caldeira é influenciada por diversos fatores, porém pode-se dizer que a mais alta eficiência é obtida para uma carga pouco abaixo da carga no ponto de projeto, a cerca de 80 a 90% da carga máxima na combustão de sólidos, e a cerca de 60 a 70% da carga máxima na combustão de óleos (BALESTIERI, 2009).

A desvantagem de operar uma caldeira em condição de carga parcial é que apesar de estar sob carga parcial de geração de vapor, o equipamento em funcionamento consome quase a mesma quantidade de energia que em uma condição a plena carga, logo a eficiência irá diminuir. A constante operação da caldeira em carga parcial irá encurtar sua vida, devido ao desgaste rápido e falha (CHATTOPADHYAY, 2001).

“Cycling service” é um termo em inglês que significa que as caldeiras devem ser projetadas para alternar entre “on” e “off”, ou seja ligado e desligado. Por exemplo, uma necessidade típica pode ser a parada noturna ou parada de fim de semana (CHATTOPADHYAY, 2001).

A maioria das caldeiras alimentadas por combustíveis fósseis instaladas atualmente irá encontrar operação cíclica. A operação consiste em desligar a unidade à noite ou durante o fim de semana e religá-la nas manhãs dos dias úteis. A análise das unidades com funcionamento cíclico assume que a rotina diária de carga inicia a plena carga, plena temperatura de operação e passa por sucessivas reduções de carga, um período desligado e um período ocioso, em seguida o sistema é reinicializado e retorna à plena carga e plena temperatura.

5.4. Perda por operação intermitente

A operação descontínua de um sistema de geração de vapor provoca a perda de calor acumulado no sistema, o qual vai se dissipando ao ambiente durante a interrupção. Esta energia deve ser repostada na partida do sistema e se traduz em um gasto adicional de combustível. É evidente que quanto maior a intermitência de operação, maior deve ser esta perda de energia. A intermitência de operação está ligada diretamente ao ciclo de produção da planta consumidora de vapor, geralmente guiada por fatores mais importantes, no caso, do

que a pequena queda de eficiência térmica que isto ocasiona. O cálculo estimativo desta perda depende da inércia térmica da caldeira, ou seja, da massa de água acumulada e da massa de refratários, metais, etc., e de suas propriedades térmicas. Dado a quantidade de variáveis envolvida, considera-se que o esforço para cálculo de tal perda não é compensador, já que muito pouco se pode fazer para diminuí-la (BIZZO, 2003).

5.5. Inicialização de regime de queima de uma caldeira

Aquecendo-se as vias água-vapor e ar-gás após o processo de geração de vapor ter sido estabelecido, a temperatura e pressão do vapor são gradualmente elevadas para o valor especificado, o regime de queima é concluído quando vapor é gerado na capacidade nominal e os parâmetros de vapor atendem os valores especificados. Este procedimento também é chamado de regime de arranque (start-up) (CHATTOPADHYAY, 2001).

Os regimes de arranque existentes são: arranque quente, arranque morno e arranque frio. Eles se diferem pela duração de tempo inativo que precede o regime de arranque. Para caldeiras convencionais a diferença entre arranque quente e morno é determinado pelo tempo ocioso que precede o regime de arranque, que é de 6 a 10 horas ou mais, enquanto a diferença entre o arranque morno e o frio é pela perda de pressão na caldeira e a queda de temperatura para os elementos mais quentes para abaixo de 150°C (CHATTOPADHYAY, 2001).

Caldeiras em regime de arranque frio exigem queima com pouco calor por longo período de tempo para evitar problemas de expansão e possível superaquecimento de superaquecedores ou reaquecedores. Caldeiras de baixa pressão (1,38 MPa), sem superaquecedores podem precisar de apenas uma hora de operação em baixa carga. Unidades com pressões maiores, no entanto, podem necessitar de quatro a seis horas em regime de arranque. Durante o regime de arranque, a eficiência de combustão é geralmente pobre, com resquícios de combustível, devido à baixa temperatura da fornalha e do ar de combustão (KITTO; STULTUZ, 2005).

5.6. Preservação de caldeira fora de serviço

As superfícies internas das caldeiras são propensas à corrosão por água residual da operação ou pelo oxigênio atmosférico quando estão fora de serviço. Por isso a preservação da caldeira é necessária para proteger as superfícies internas da corrosão. Os métodos de preservação existentes são a preservação pelo método úmido e a preservação pelo método seco (CHATTOPADHYAY, 2001).

Caldeiras que são mantidas em regime de stand-by e podem ser requisitadas para súbitas demandas de operação são preservadas a pelo método úmido, isto possibilita que esteja disponível e pronto para o serviço rapidamente, além disso, é um método mais prático (CHATTOPADHYAY, 2001).

No método úmido a caldeira deve ser preenchida com água aquecida (água de alimentação desaerada ou condensado). Empregam-se inibidores de corrosão, ou seja, sequestrantes de oxigênio (sulfito ou hidrazina). O pH da água deve ser mantido alcalino, na faixa de 10,5 a 11, com o uso de soda cáustica e a água deve ser circulada regularmente (CHATTOPADHYAY, 2001).

De acordo com Chattopadhyay (2001) o método seco é indicado para caldeiras que estão programadas para serem mantidas fora de serviço por um período longo, pois a disponibilidade de tempo permite que a caldeira seja preparada antes de colocá-la em serviço. No método seco elimina-se a água e reduz-se a umidade relativa do ar a um valor conveniente.

5.7. Manutenção

A Tabela 16 descreve brevemente a frequência com que as operações de manutenção precisam ser realizadas. Funciona apenas como um guia, pois a maioria das empresas desenvolve seu programa de acordo com suas necessidades.

Tabela 16 – Procedimento de manutenção recomendado (SNOW, 2003)

Operação	Combustível		
	Óleo	Gás	Carvão
Purga			
Principal	Diário	Diário*	Diário
Controles de nível de água	Diário	Diário*	Diário
Medidores de nível de água	Diário	Diário*	Diário
Inspeção visual	Diário	Diário	Diário

Operação	Combustível		
	Óleo	Gás	Carvão
Verificação/Limpeza queimador	Diário	6 – 12 semanas	Diário
Verificação do sistema de tratamento de água	Semanal	Semanal	Semanal
Verificação do sistema de combustão	Semanal	Semanal	Semanal
Teste operacional do controle de nível de água	Semanal	Semanal	Semanal
Inspeção dos refratários	6 – 12 semanas	6 – 12 semanas	6 – 12 semanas
Abrir a área dos gases e limpar	6 – 12 semanas	Anual*	6 – 12 semanas
Abrir a área molhada para inspeção	Anual	Anual*	Anual

* Operações que são seguidas pela empresa estudada no intervalo recomendado.

5.8. Vida útil

Define-se como vida útil de um gerador de vapor a quantidade de horas de fogo que pode suportar em condições normais de funcionamento, isto é, vaporizando a pressão máxima de trabalho admissível para a qual tenha sido projetada (NOGUEIRA, 2005).

Na caldeira flamotubular, após determinado número de anos de trabalho, além do problema da inutilização de tubos, é comum ocorrerem problemas como deformação das fornalhas, corrosão ou desgaste, reduzindo as dimensões úteis de partes metálicas, fissuras, fendas e outras descontinuidades, desnivelamentos e dilatações ou contrações térmicas reversíveis ou irreversíveis (NOGUEIRA, 2005). Há registros no diário da caldeira mencionando a substituição de tubos internos da caldeira 11 no mês de dezembro.

A vida útil de uma caldeira depende, fundamentalmente, do método de trabalho que tenha sido realizado, do sistema de vaporização (regime constante ou variável), da qualidade da água de alimentação, da frequência das limpezas externas e internas, etc., motivo pelo qual não é possível determinar sem cometer erros consideráveis o tempo médio de vida para cada caldeira (NOGUEIRA, 2005).

6. CONCLUSÃO

A transferência do processo de usinagem química para outra unidade fabril fez com que o sistema de vapor fique superdimensionado. Para contornar essa situação a Engenharia de

manutenção de fábrica da empresa propôs um sistema que inicialmente é adequado, intercalando a operação das caldeiras em principal e auxiliar.

O processo de geração de vapor estudado apresenta os seguintes pontos positivos:

- Aproveitamento do condensado de retorno, que proporciona economia de energia e economia operacional no tratamento da água de alimentação.

- Pré-aquecimento da água desmineralizada, aproveitando o calor rejeitado por um compressor que fornece ar comprimido para outros sistemas da fábrica.

- Descarga de fundo a cada duas horas, evitando o acúmulo de material corrosivo na parte inferior da caldeira.

- A caldeira que funciona como auxiliar é mantida pressurizada, evitando danos por corrosão em espelhos, tubos e casco.

- Quando as caldeiras são desligadas, elas são mantidas pressurizadas o que mantém a temperatura, de maneira que quando são religadas não levam muito tempo para aquecer o sistema.

Infelizmente após a desativação da usinagem química, não existe mais a preocupação em controlar o custo da tonelada de vapor, não há ênfase em aumentar a eficiência do sistema e diminuir o consumo de energia.

Outro ponto negativo é que não há manutenção programada para os purgadores de vapor, assim como para a bomba de retorno de condensado.

No geral o processo de geração de vapor é satisfatório, porém existem pontos e possibilidades de melhoria, que podem ser estudados em trabalhos futuros:

- 1- Definição dos processos que utilizarão o vapor;
- 2- Balanço completo de massa e energia de todo o sistema;
- 3- Verificação dos gases de exaustão;
- 4- Adequação do registro no diário da caldeira evitando dados falsos;
- 5- Instalação de medidores de vazão de vapor e de condensado de retorno;
- 6- Definir programa de manutenção dos purgadores, linha de distribuição, dos queimadores, bomba de retorno de condensado, instrumentação (verificação das normas, calibração);
- 7- Propor otimização no intervalo de operação das caldeiras.

REFERÊNCIAS

AALBORG INDUSTRIES S.A.. **Catálogo da Aalborg Industries em Inglês**. Disponível em: <<http://www.aalborg-industries.com.br/downloads/cat-ing.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2012.

BALESTIERI, José Antonio Perrella. **Máquinas Térmicas**: material de apoio à disciplina. Guaratinguetá: Unesp, 2009.

BANWEG, A.. Boiler and Feedwater Treatment. In: RICHARDSON, Tony (Org.). **Shreir**. Durham: Elsevier, 2010. Cap. 428, p. 2971-2989. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-044452787-5.00162-1>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

BIZZO, Waldir A.. **Geração, distribuição e utilização de vapor**: Apostila de curso. Campinas: Unicamp, 2003. Disponível em: <ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/EM722_ES606/>. Acesso em: 29 fev. 2012.

CHATTOPADHYAY, P.. **Boiler operation engineering**: questions and answers. 2. ed. Haldia: Mcgraw Hill, 2001.

CICI BOILER ROOMS INC. **400 Series Firetube Wetback**. Disponível em: <http://www.ciciboilers.com/boiler_hurst_sotch.htm>. Acesso em: 20 nov. 2012.

DONOHUE, John M.. Water Conditioning, Industrial. In: MEYERS, Robert A. (Comp.). **Encyclopedia of Physical Science and Technology**. 3. ed. Warrington: Elsevier Science Ltd, 2003. p. 671-697. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00819-X>>. Acesso em: 06 jul. 2012.

KITTO, J. B.; STULTZ, S. C. (Ed.). **Steam**: its generation and use. 41. ed. Barberton, Ohio: The Babcock & Wilcox Company, 2005.

LIAO, Z.; DEXTER, A. L.. The potential for energy saving in heating systems through improving boiler controls. **Energy And Buildings**, Oxford, p. 261-271. 10 dez. 2003.

LORA, Electo Eduardo Silva et al. Caldeiras de Vapor Convencionais e de Recuperação. In: LORA, Electo Eduardo Silva; NASCIMENTO, Marco Antonio Rosa

do. **Geração Termelétrica:** planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. p. 171-248.

MAHESHWARI, G.p.; AL-HADBAN, Y.. Energy-efficient operation strategy for industrial boilers. **Energy**, Kuwait, p. 91-99. jan. 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442\(00\)00050-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442(00)00050-5)>. Acesso em: 30 jan. 2012.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Eficiência energética no uso de vapor.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, Procel, 2005. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/pci/main.asp?Team={28E0A622-909E-4AF1-BF96-B90EA35B5D3E}>>. Acesso em: 27 out. 2012.

PERA, Hildo. **Geradores de vapor:** um compêndio sobre a conversão de energia com vistas à preservação da ecologia. 2. ed. São Paulo: Fama, 1990.

REZNIKOV, M. I., LIPOV, Y. M. **Steam boilers of thermal power plants.** Mir, Moscou, 1985.

SENEVIRATNE, Mohan. Chapter 7: Steam Systems. In: SENEVIRATNE, Mohan. **A Practical Approach to Water Conservation for Commercial and Industrial Facilities.** Queensland: Elsevier, 2006. Cap. 7, p. 132-156. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-185617489-3.50010-2>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

TAYLOR, D. A.. Chapter 4: Boilers. In: TAYLOR, D. A.. **Introduction to Marine Engineering.** 2. ed. Hong Kong: Elsevier, 1996. Cap. 4, p. 73-98. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-075062530-2/50005-2>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

WALKER, E; BLAEN, R. J. Industrial boilers. In: SNOW, Dennis A.. **Plant Engineer.** 2. ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2003. Cap. 10, p. 1-28. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-075064452-5/50065-1>>. Acesso em: 30 jul. 2012.