

REUTILIZAÇÃO DO CONDENSADO UTILIZADO PARA AQUECIAMENTO DOS TANQUES DE GORDURA

Luís Paulo Chielle¹
Marcellus Tiburcio Fontenelle²

RESUMO

A busca por melhoria contínua no processo é fundamental para o sucesso de uma empresa. Este trabalho tem como objetivo reduzir custos na produção vapor, aonde evidenciou-se aumento de eficiência na geração de vapor com a reutilização do condensado remanescente do aquecimento dos tanques de gordura. Atualmente, todo condensado gerado é descartado por não dispor de um sistema que garanta que o condensado, caso seja contaminado com óleo, contamine a água de alimentação da caldeira. A proposta é reutilizar o condensado a partir da instalação de purgadores, construção de uma rede de condensado com isolamento térmico até a caixa de alimentação da caldeira e no interior da caldeira pretende-se utilizar trocador de calor em forma de serpentina confeccionado com tubos. Estima-se que toda energia do condensado seja absorvida pela água de alimentação da caldeira, ocorrendo equilíbrio entre elas. Após, trocar calor o condensado será descartado. A pesquisa ocorreu entre os dias 09/04/2018 a 13/04/2018, aonde foi efetuado a coleta de dados com a intenção de saber a quantidade de condensado gerado e a temperatura de saída do mesmo. Foi realizado cálculos para estimar o rendimento da caldeira que ficou em torno de 72% com a água de alimentação da caldeira em torno de 20 °C, após calcular o aumento de temperatura na água de alimentação obteve-se um acréscimo de 3,20 °C da água. Com o aumento de temperatura da água de alimentação evidencia-se uma economia de R\$ 1,1 reais por hora de operação.

Palavras-chave: Condensado. Reutilização. Trocador de calor. Economia.

1 INTRODUÇÃO

O vapor é utilizado em uma vasta gama de finalidades, atendendo diversos requisitos que a indústria necessita. Estudos concentram-se no ganho efetivo do rendimento de seus geradores, focados na sua geração e distribuição. Atualmente o vapor é parte integral e fundamental para processos específicos de cada empresa, demandando custos para sua aplicação e manutenção de sua unidade geradora e seus ramais de distribuição.

O condensado é o resultado da sobra de energia térmica do vapor, aonde o vapor perde energia e muda do estado gasoso para o líquido. Essa água tende a ser reaproveitada por ter energia remanescente para aquecer o sistema de abastecimento de água da caldeira. Estudos baseiam-se em um conjunto de componentes que fazem parte do sistema de condensado e visam

¹Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF. E-mail: luispaulo.chielle@outlook.com

²Docente do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF. E-mail: marcellus.fontenelle@gmail.com

a melhor aplicação na indústria.

O emprego de tecnologias modernas objetivam uma menor formação do condensado, elevando a produção de vapor da caldeira, principalmente com a reutilização do condensado resultante do processo, aumentando a eficiência da caldeira.

Em uma indústria situada no Oeste Catarinense o vapor é utilizado nos tanques de gordura no intuito de transferir energia térmica para o óleo, para que ele tenha uma melhor fluidez e possa ser destinado a sua unidade consumidora. Atualmente o condensado deste vapor é descartado por não ter nenhum sistema que garanta a sua não contaminação caso fure a serpentina. Neste caso, o óleo não contaminará a caldeira.

Com base nos estudos de ganho de eficiência, dimensionamento do retorno de condensado e o risco calculado de contaminação questiona-se: **qual a viabilidade do reaproveitamento da energia térmica remanescente no condensado resultante das serpentinas de aquecimento destes tanques?**

Portanto, neste trabalho serão abordados assuntos sobre o reaproveitamento de condensado utilizado em tanques de gordura, dimensionamento da tubulação e ganhos na eficiência da caldeira analisando a viabilidade e o risco de contaminação da água.

2 REUTILIZAÇÃO DO CONDENSADO UTILIZADO NO AQUECIMENTO DOS TANQUES DE GORDURA

Na indústria alimentícia o vapor tem uma vasta gama de utilidades dentre as quais a utilização para o aquecimento de gordura animal para melhor fluidez na dosagem do líquido. Na produção de vapor existe uma complexibilidade em sua geração que está associada desde a geração, distribuição e retorno.

Segundo Altafani (2012), a caldeira é um equipamento industrial usado para geração de vapor, cuja aplicação tem sido ampla no meio industrial e também na geração da energia elétrica nas chamadas, centrais termoelétricas. Também tem seu uso em indústrias que necessitam de vapor em suas atividades. Operam na maior parte das indústrias com pressão 20 vezes maior que a pressão atmosférica, e em grandes produções de energia elétrica, a pressão de operação pode ser 60 a 100 vezes maior.

2.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE CALDEIA AQUATUBULARES

Caldeiras aquatubulares constituem-se de tubos de pequeno diâmetro, os quais podem estar dispostos em forma de parede d'água ou feixes tubulares, fazendo com que a água circule dentro deles (BAZZO, 1995).

São empregados para obter pressão e rendimentos elevados, pois os esforços desenvolvidos nos tubos pelas altas pressões são de tração em vez de compressão, como ocorre nas fogotubulares, e também pelo fato dos tubos estarem fora do corpo da caldeira obtendo superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas (MARTINELLI, 1998).

Na afirmação de Martinelli (1998), as finalidades a que se propõe a caldeira aquotubular envolvem uma grande diversidade e em vista disto apresentamos como decorrência muitos tipos e modificações. Essas modificações são como tubos retos, tubos curvos de um ou vários corpos cilíndricos, enfim a flexibilidade permitida possibilita vários arranjos.

Conforme Bazzo (1995), as caldeiras de tubos retos são características de projetos mais antigos. As desvantagens dessas caldeiras são a capacidade limitada de geração de vapor e o menor rendimento térmico. As vantagens são: exigirem menos rigor no tratamento de sua água e apresentarem menor gasto na sua manutenção.

2.2 CONCEITO GERAL DE CALDEIRA FLAMOTUBULARES

Segundo Bazzo (1995), caldeiras flamotubulares são também conhecidas como caldeiras fumotubulares e são construídas de forma que a água circula ao redor de diversos tubos, montados entre espelhos, na forma de um único feixe tubular. Os gases decorrentes da combustão circulam pela tubulação em direção a chaminé, onde são dispersos no meio ambiente. Os tubos são unidos aos espelhos pelo método de solda, ou mandrilagem.

As flamotubulares são de operação mais simples, e normalmente possuem poucos instrumentos para a monitoração de sua operação, o que faz com que normalmente sua operação seja negligenciada, fazendo com que este tipo de caldeira lidere as estatísticas de acidentes no mundo, geralmente explosões causadas pelo superaquecimento das partes de pressão por baixo nível de água (LAGEMANN; SALLES, 2006).

Para Martinelli (1998), elas podem ser divididas por duas formas, caldeiras verticais e caldeiras horizontais. Dentre estas divisões existem subdivisões, nas verticais (com fornalha interna, ou fornalha externa), e as horizontais divididas em vários grupos (com fornalha externa, multitubulares, com fornalha interna, tubulação central, lancashire, locomóveis, escocesas, estacionárias, compactas).

2.3 CALDEIRAS MISTA OU MULTITUBULARES

As caldeiras multitubulares têm como características um maior aproveitamento de energia, tornando-se a caldeira flexível no assunto combustível, foram trocados um ou dois tubulões, de maior diâmetro, por vários de diâmetro menor. Ela permite apenas fornalha externa, mas devido ao alto custo para manter, tem diminuído sua utilização.

As caldeiras flamotubulares podem ser construídas com fornalhas internas ou externas, mas as de fornalha interna apresentam maior produção de vapor por unidade de superfície de aquecimento, variando de 30 a 40 kg/m²h. O nível da água que circula dentro da caldeira, deve permanecer acima do nível da tubulação, pois a água serve como refrigerante natural das superfícies de aquecimento (BAZZO, 1995).

As caldeiras de fornalhas externas permitem a queima de combustíveis sólidos, como lenha ou carvão. A fornalha é toda envolvida por paredes com água, nesse modelo de caldeira é necessário o tratamento químico da água, a circulação da água é natural, possui dispositivo de controle que garante a quantidade necessária de água, que deve possuir maior capacidade de vazão do que a capacidade de produção da caldeira, para garantir a segurança de quem está ao seu redor (BAZZO, 1995).

2.4 DRENAGEM E RECUPERAÇÃO DE CONDENSADO

No processo de utilização de calor, utilizando vapor, ocorre o processo de transferência de energia. O vapor ao ceder a energia em forma de calor vai condensando passando ao estado líquido. Como esse princípio é válido para todas as transferências de calor deverá existir um dispositivo que descarregue do processo está água quente, sem perda de vapor, caso contrário perde-se energia que não foi consumida (BARBOSA, 2008).

Segundo Barbosa (2008) este dispositivo é chamado de purgador de condensado e tem um papel crucial na conservação de energia. Também, a conseqüente necessidade de reaproveitar e recuperação de condensado para a casa da caldeira tem as seguintes mais-valias:

- Reutilização da energia contida no condensado.
- Economia com a reposição da água.
- Economia do custo de tratamento de água para a caldeira (condensado é água tratada)
- Economia no tempo de purga de água da caldeira, gerando economia.

Após a descarga do purgador a pressão passa a ser menor e isso provoca a reevaporação parcial do condensado. Este vapor possui energia térmica, se transforma em vapor de “flash” e é um bom complemento em sistemas de baixa pressão (BARBOSA, 2008).

2.4.1 Purgadores de condensado de vapor

Barbosa (2008) acrescenta que os purgadores de condensado são dispositivos instalados para se garantir o aquecimento mais rápido do produto ou do equipamento, mantendo o espaço de vapor livre, de condensado, ar e gases não condensáveis. O purgador é um dispositivo que descarrega vapor condensado de uma linha de vapor ou de uma parte de um equipamento, este tem a função de descarregar condensado sem descarregar vapor. Quando se inicia o processo desejado as linhas e equipamentos estão cheios de ar ocupando o lugar do vapor aonde este deverá ser eliminado o mais rápido possível.

Alguns purgadores, em particular, requerem filtros incorporados, há possíveis instalações de válvulas de retenção que evitam o retorno de condensado, principalmente quando o controle de temperatura é relativamente baixa. Existem vários modelos de diferentes tipos de funcionamento e marcas, basta saber qual o mais apropriado para o equipamento (BARBOSA, 2008).

2.4.2 Tipos de purgadores

Conforme Barbosa (2008) o tipo de purgador é definido pelas suas características de funcionamento. O seu funcionamento é baseado na diferença de velocidades, que ocorre o escoamento entre condensado e vapor. Então os purgadores termodinâmicos funcionam pela diferença de densidade entre condensado e vapor. Já, os purgadores do tipo mecânico (de flutuador ou de balde invertido), os purgadores que trabalham com diferença de temperaturas entre vapor e condensado são considerados os de tipo termostático (bimetálico ou de pressão balanceada).

2.5 COMBUSTÍVEL

De acordo com Barrichelo e Brito (1978), a lenha é um recurso abundante na natureza e esta é produzida através do processo de fotossíntese, captando a energia solar e transformando em energia química gerando matéria orgânica. A madeira sempre foi utilizada pelo homem

desde o início da civilização, utilizada para cozimento de alimentos, construção de casas e outros diversos processos criados pelo homem (ROSSO, 2006).

A variedade de lenha *Eucalyptus* é uma das madeiras mais utilizadas na geração de vapor. Esta variedade é cultivada por ter como característica crescimento rápido e uma plasticidade no plantio (PEREIRA, 2012)

Segundo Jankowsky (1990), a lenha *Eucalyptus* pode variar sua densidade conforme sua umidade e seu diâmetro. Lenha com maior teor de umidade e com diâmetro maior tende a ter sua densidade elevada comparada à que são utilizadas em caldeiras.

Conforme mesmo autor, o poder calorífico da lenha *Eucalyptus* fica em torno de 2000 Kcal/m³, está pode variar com características de cada madeira. A densidade do *Eucalyptus* varia conforme a umidade, a densidade de um metro cúbico com umidade menos de 50% é de aproximadamente 700 kg/m³ (JANKOWSKY, 1990).

2.6 CÁLCULO PARA ANÁLISE DO RENDIMENTO ENERGÉTICO

O cálculo de rendimento é feito pela análise de vários fatores, como o calor no interior da fornalha, o calor transferido ao fluido, a quantidade de energia, o poder calorífico do combustível, energia perdida, as entalpias da água de entrada e da água interna (BAZZO, 1995)

O cálculo pelo método direto corresponde ao produto da vazão mássica de vapor e a mudança de entalpia entre o estado inicial e final da água, dividida pela energia liberado do consumo de energia térmica liberado pelo consumo de combustível (BUECKER, 2002).

Onde: (1)

$$\eta = \frac{\dot{m}v(Hv - Ha)}{\dot{m}c \times \rho c}$$

η = rendimento pelo método direto

$\dot{m}v$ = Vazão mássica de vapor kg/s

Hv = Entalpia do vapor produzido kJ/kg

Ha = Entalpia da água de alimentação kJ/kg

$\dot{m}c$ = Vazão mássica do combustível kg/s

ρc = Poder calorífico do combustível kJ/kg

Este método de cálculo possibilita ter um resultado mais rápido. No entanto, as mudanças temporárias nas vazões mássica de vapor podem alterar o valor do real rendimento,

ele é indicado aonde a geração de vapor é estável e não há uma mudança contínua do combustível e nas entalpias da água (BUECKER, 2002).

2.7 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS

Geralmente as águas que estão dispostas nos mananciais possuem uma série de contaminantes. Essa composição e proporção de contaminantes depende da região geológica dos terrenos atravessados nas proximidades de centros industrializados. Além disso fatores climáticos interferem na qualidade da água. Os contaminantes podem ser classificados em três tipos principais (MARTINELLI, 1998).

- Sólidos dissolvidos na água aonde destacamos os sais de cálcio + magnésio + ferro, sílica, bicarbonatos, cloretos sulfatos e carbonatos.
- Sólidos constituídos de materiais particulados, os quais são responsáveis pela turbidez da água.
- Gases dissolvidos, existem vários gases que estão presente na água e entre os principais gases encontrados têm-se o oxigênio e o gás carbônico e com menos frequência a presença de gás sulfídrico e cloro. As águas superficiais (lagos, rios e represas), apresentam substâncias orgânicas solúveis provenientes da decomposição de vegetais. Em algumas regiões destacam-se resíduos domésticos e industriais. Águas captadas em poços ou fontes tem como caracterizadas menor teor de minerais.

2.7.1 Constituintes da água

Segundo Martinelli (1998), a água é classificada conforme seus constituintes nela presentes, caracterizando-as conforme os teores de:

- Dureza; A dureza da água varia com o número total de átomos de cálcio e magnésio que ela contém. Esta dureza é medida em ppm (partes por milhão) e distingue-se na dureza total, esta é uma medida indicativa da quantidade de magnésio e cálcio, a dureza de não carbonatos que é constituída pela presença de sais de magnésio, cloretos e sulfatos e a dureza temporária que constituída de bicarbonatos e carbonatos.
- Alcalinidade; está depende de compostos alcalinos, o controle da mesma evita a corrosão de ferro com a água. A medida do PH permite avaliar o grau de alcalinidade e o controle do PH evita incrustações e controla a formação de lama mas por outro lado uma alcalinidade mais alta forma espuma e ataca a camada preta protetora de

magnetita(Fe_3O_4), isso pode provocar a corrosão intergranular.

- Salinidade; indica a quantidade de sais solúveis na água da caldeira, esta é expressa em gramas de sais solúveis em um litro de água.
- Sílica; é expressa em miligramas de SiO_2 em um litro de água, a sílica é encontrada geralmente no estado iônico e em alguns casos no estado iônico.
- Turbidez; é o contrário da transparência da água, águas superficiais apresentam maior grau de turbidez, por conter resíduos sólidos.

2.7.2 Tratamento interno da água

Este tipo de tratamento é o complemento do tratamento externo, sua intenção é de eliminar alguns vestígios de impurezas que podem estar contidas na água. Este processo envolve a dosagem de diversos produtos químicos na água de alimentação da caldeira com várias finalidades, os principais aditivos utilizados são sulfito de sódio ou a hidrazina para remoção do oxigênio (constituindo de um processo de degaseificação por processo químico) ou o hidróxido de sulfato ou fosfato de amônio para a eliminação de CO_2 , anti-espumas e produtos de controle do pH, como é o caso do fosfato trissódico ou dos polifosfatos (BARBOSA, 2008).

Conforme o mesmo autor, existem outras soluções mais simples para o tratamento de água como o referido para geradores de baixa pressão aonde este tem baixa taxa de produção de vapor, com a realimentação da água alguns valores residuais como dureza (trazidos pelo retorno de condensado).

De acordo com Barbosa (2008), o objetivo do tratamento de água interno é anulação de resíduos de dureza, isto requer a adição de fosfato solúvel, incluem-se igualmente dentro desta categoria de tratamento. Em tratamentos internos ocorrem também a adição de substâncias químicas à água de alimentação, de modo a alterar ou condicionar as reações que se verificam no interior do gerador de vapor. Em muitas situações são utilizadas misturas de substâncias orgânicas e inorgânicas. Os métodos mais corretos de tratamento interno necessitam atender as características de cada caldeira conforme orientação do fabricante.

2.7.3 Tratamento Externo

O tratamento da água é feito para que haja a retirada de contaminantes da água, o

objetivo é tornar ela ideal para alimentação de caldeiras e esta água tem que estar livre de substâncias incrustantes, o objetivo é de não corroer os metais da caldeira e seus acessórios e não ocasionar arraste ou espuma

Conforme Martinelli (1998), é difícil de se obter uma água com tais características, sem antes proceder a um pré-tratamento, isto faz com que reduza as impurezas a um nível compatível, de modo a não prejudicar o funcionamento da caldeira. São feitas análises físico-química da água a ser utilizada fornecendo subsídios para a identificação dos contaminantes, com isso surge a necessidade de tratamento externo da água cuja finalidade é alterar a qualidade da água antes do ponto de utilização.

2.8 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Em corpos distintos quando houver um gradiente de temperatura no interior de qualquer sistema, ou que dois sistemas com temperaturas diferentes forem colocados em contato ou próximas, ocorrerá o fenômeno chamado de transferência de calor. Este processo é comum e é chama-se de transmissão de calor em forma de energia. A questão em trânsito chamada calor, não pode ser medida diretamente ou observada, mas seus efeitos são susceptíveis à observação e à medida (KREITH, 1977).

Segundo Araújo (1978), sempre que haverá uma diferença de temperatura entre dois corpos, ocorre uma transferência de energia da região de temperatura mais elevada para a mais baixa e a esse fenômeno é conhecido como transmissão de calor.

Para Incropera e DeWitt (1996), a transferência de calor é uma energia em trânsito devido a um diferencial potencial de temperatura. Sempre que dois corpos distintos tiver uma diferença de temperatura haverá, necessariamente, transferência de calor.

2.8.1 Trocador de calor

O trocador de calor é um equipamento que tem seu princípio de funcionamento baseado na troca de energia térmica, no qual um fluido quente transfere calor a um fluido frio, ou seja, este princípio de funcionamento necessita particularmente de dois fluidos, um quente e um frio, dependendo das características do equipamento, uma transferência de calor pode ser sensível ou latente (ARAÚJO, 1978).

O processo de transferência de calor consiste em dois fluidos que estão a diferentes temperaturas e que estão separados por uma parede sólida. O equipamento usado para implantar a troca de calor é conhecido por “trocador de calor” (INCROPERA; DEWITT, 1996).

Para Kreith (1977), um trocador de calor é um dispositivo que transfere calor de um fluido para outro. As aplicações mais simples de trocador de calor são em recipiente nos quais um fluido quente e um frio são misturados diretamente proporcionando um equilíbrio térmico. Em sistemas como esses os meios atingem a mesma temperatura final e a quantidade de calor transferida pode ser estimada igualando-se a energia perdida pelo fluido que está mais quente com a energia ganha pelo mais frio.

2.8.2 Trocadores de calor tubulares

Os trocadores de casco e tubos são os mais comuns em aplicações industriais, estes são construídos de pequenos tubos dispostos “lado a lado” no interior de uma carcaça de um tubo de maior diâmetro. Um fluido quente ou frio percorre o interior dos tubos pequenos enquanto o outro fluido passa através da carcaça, aonde ocorre a troca de energia em forma de calor (CENGEL, 2012).

2.8.3 Princípios das trocas de calor

O calor é uma forma de energia, com essa característica tende a trocar calor para o meio. Fluidos mais quentes cedem calor e tenderam a se resfriar, enquanto fluidos mais frios receberão calor e tenderam a se esquentar.

O princípio de equilíbrio térmico em corpos distintos leva em consideração a massa de cada um que é expressa em kg/s, o poder calorífico J/kgK e as diferenças de temperatura de entrada e saída de um fluido. Com isso pode-se afirmar que todo calor perdido será absorvido $\theta = \theta_{perdido} + \theta_{recebido} = 0$ equação (2), (CENGEL, 2012).

Conforme mesmo autor, ocorrerá o equilíbrio térmico entre os dois fluidos. O fluido mais quente cederá energia em forma de calor e o fluido mais frio receberá energia em forma de calor, com isso tende-se a ocorrer o equilíbrio térmico entre os mesmos.

2.9 ISOLAMENTO TÉRMICO

O princípio de isolamento térmico consiste em proteger termicamente superfícies aquecidas, estas podem ser quentes ou frias como a de um forno ou de um refrigerador, com isso são utilizados matérias com baixa condutividade térmica (k). O objetivo é de minimizar o fluxo de calor tendo em vista a economia de energia ou a busca do conforto térmico. Um bom isolante é o ar com coeficiente de condução ($k = 0,02$ kcal/h.m.C, quando parado) materiais porosos tendem a ter melhores taxas de isolamento tem como característica a diminuição de convecção (QUITES, 2006).

Conforme o mesmo autor o fenômeno da migração de vapores em isolamento de superfícies resfriadas é resultante de uma depressão de temperatura interna. Estas são derivadas de baixas temperaturas e podem ser esquematizadas assim: redução da temperatura interna depressão - tendência a equalização - migração do ar + umidade - elevação do valor de k (redução da capacidade isolante) e possíveis danos físicos ao isolamento.

A aplicação de proteção no isolamento tem a finalidade de proteger o isolamento e estas tubulações são constituídas de folhas por alumínio normalmente com 0,15 mm de espessura. A aplicação de isolamento em equipamentos aonde sua temperatura deve ser mantida superior a temperatura ambiente são estufas, fornos, tubulações de vapor, trocadores de calor usando fluidos a altas temperaturas, seus principais problemas são referentes as dilatações, portanto deve ser escolhido um material isolante que suporte essas temperaturas (QUITES, 2006).

Aumentando a espessura do isolamento a perda de calor para a superfície diminui, mas ocorre o aumento do custo do isolamento, que muitas vezes impossibilita a aplicação. A espessura mais econômica do isolamento é aquela onde há um equilíbrio entre o custo do isolamento e as perdas para ambiente.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta é uma pesquisa de campo, realizada em uma empresa do ramo de Agronegócios no município de Cunha Porã, estado de Santa Catarina. A amostra deste estudo foi coletada no setor de geração de calor que conta com o quadro de nove funcionários. A empresa trabalha no ramo exclusivo de ração para aves, aonde é utilizado vapor na injeção direta para higienização, cozimento e aquecimento dos tanques de gordura para melhor fluidez do líquido.

Visto que, a coleta de dados foi realizada no período de 09/04/2018 a 13/04/2018. Na ocasião foi feito a coleta de quanto condensado é descartado. Foram utilizados recipientes para

medir a vazão de condensado gerado e um termômetro para medir a temperatura de saída dessa água.

Na segunda etapa, foram analisadas as condições físicas que os tanques e tubulação de condensado se encontram, foi verificado o retorno de condensado para a caixa de alimentação da caldeira, se atentando do desnível dos tanques em referência a caixa de água da caldeira.

Na terceira etapa foram especificadas as características físicas do trocador de calor na caixa de alimentação da caldeira, com esses dados foi efetuado cálculos de transferência de calor do condensado com a água de alimentação, e assim poderemos saber a quanto se elevou a temperatura no interior da caixa. Utilizou-se a equação (2), está equação tem o propósito de que todo calor perdido do condensado vai ser absorvido pela água da caixa de alimentação.

Pretendeu-se saber através de cálculos baseados no método hipotético-dedutivo, o real rendimento da caldeira utilizando a equação (1).

Com esta equação evidenciou-se o real rendimento da caldeira, e com isso foi calculado um novo rendimento com a água pré-aquecida, para sabermos se houve uma redução de consumo de combustível.

Após obter-se todos os cálculos, foi realizada uma análise quantitativa, para saber o quanto é possível economizar de combustível para a geração de vapor.

4 RESULTADOS DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observou-se através da coleta de dados a quantidade de condensado gerado a partir do aquecimento dos tanques de gordura. Nota-se que o consumo varia conforme a temperatura ambiente, pois se está mais frio necessita-se de mais energia em forma de calor para o aquecimento da mesma massa de óleo aquecida.

A média aproximada de vapor que escoar na tubulação de retorno de condensado é de 319,2 l/h à uma temperatura de 63,6 °C. Esse valor é uma média coletada em uma semana, levando em consideração a temperatura ambiente em torno dos 20°C. A tabela 1 ilustra medições diárias que ocorreu entre o dia 09/04/2018 a 13/04/2018.

Tabela 1; Quantidade de condensado gerado e a média da temperatura entre os dias 09/04/2018 a 13/04/2018

DIAS DA SEMANA	Média temperatura em °C	Quantidade média de condensado gerado em litros	Temperatura ambiente em °C
----------------	-------------------------	---	----------------------------

SEGUNDA-FEIRA	68	343	18,2
TERÇA-FEIRA	64	298	20,3
QUARTA-FEIRA	62	315	19,3
QUINTA-FEIRA	59	329	20,2
SEXTA-FEIRA	65	311	20,1
MÉDIA TOTAL/DIAS DA SEMANA	63,6	319,2	20

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A coleta destes dados foi realizada em dias normais de produção e a temperatura média ambiente ficou em torno de 20°C. A quantidade de condensado gerado depende diretamente da temperatura ambiente, observou-se que se a temperatura ambiente baixar eleva-se a quantidade de condensado gerado, mas por outro lado a água da caldeira fica proporcionalmente mais fria. Adotou-se então uma temperatura média ambiente que na semana da coleta de dados que ficou em torno de 20 °C.

Após ter coletado os dados da quantidade de vapor observou-se as condições físicas da caldeira referente ao tanques de gordura. O projeto da construção física da caldeira já está em desnível com a unidade consumidora, uma das maiores vantagens é escoamento do condensado sem o bombeamento, isso significa que o vapor gerado pela caldeira é conduzido aos tanques de gordura e o condensado retorna por gravidade.

Verificou-se que o vapor troca calor com o óleo através de uma serpentina no interior do tanque. Todo condensado gerado é drenado por purgadores de boia e estes então interligados em todos os taques, assim todo condensado gerado é drenado pela mesma tubulação.

A distância dos tanques de gordura até a caixa de alimentação da caldeira é de aproximadamente 100 m. A tubulação de condensado poderá ser instalada junto a estrutura que sustenta a tubulação de alimentação de vapor para a fábrica, a tubulação de drenagem de condensado indicada é de tubo preto Sch- 40 sem costura norma A-106, de uma polegada de diâmetro atendendo escoamento não turbulento.

O trocador de calor indicado para instalação no interior da caixa de alimentação da caldeira é do tipo serpentina construída de tubo preto Sch- 40 sem costura norma A-106, de uma polegada de diâmetro.

Como foi utilizado uma serpentina em forma de tubo no interior da caixa, estima-se que a energia em forma de calor seja transferida totalmente para a água da caixa de alimentação da caldeira entrando em equilíbrio. O condensado transfere energia para a água de alimentação e

a água de alimentação recebe energia do condensado. Essa análise pode ter como referência a equação (2).

Utilizando a equação (2), temos o equilíbrio de temperatura do condensado com a água de alimentação que é expressa pelo cálculo a seguir: $\theta = \theta_{perdido} + \theta_{recebido} = 0$, esta equação tem definição de massa da água Kg/s tanto da de alimentação quanto da do condensado e o calor específico da água em J/k e as diferenças de temperatura quente e fria em °C.

Equação (2).

$$\theta = \theta_{perdido} + \theta_{recebido} = 0$$

$$V_{mp} \times C_p \times \Delta T + V_{mr} \times C_p \times \Delta T = 0$$

V_{mp} = Vazão mássica de condensado 0,088Kg/s.

V_{mr} = Vazão mássica da água 1,10 kg/s.

C_p = Calor específico da água 4184 J/kgk.

T_1 = Temperatura da caixa 20°C.

T_2 = Temperatura do condensado 63,6°C.

$$0,088 \text{ kg/s} \times 4184 \text{ J/kgk} \times (63,6 - T) = 1,10 \text{ kg/s} \times 4184 \text{ J/kgk} \times (T - 20)$$

Temperatura de equilíbrio = 23,20 °C

Com esse cálculo obtemos a temperatura de equilíbrio de 23,20°C, isso significa que tivemos a elevação de 3,20 °C na água de alimentação da caldeira. Essa elevação de temperatura equivale a uma parcela de economia de combustível, pois não será necessário o aquecimento de 3,20 °C no interior da caldeira e estima-se uma elevação na eficiência da caldeira.

O cálculo de eficiência da caldeira depende de vários fatores, como a temperatura interna da caldeira, pressão de trabalho, temperatura de entrada da água de alimentação, condições do combustível, operação entre outros. A caldeira em estudo tem o formato de uma caldeira mista, trabalha a uma pressão de 8 Bar, consome em média 2,1 metros cúbicos de lenha *Eucalyptus* e o consumo de 3930 l/h por hora de produção.

O método do cálculo de eficiência escolhido é pelo método direto, que corresponde a vazão mássica de vapor gerado, mudança de entalpia entre o estado inicial e final da água, dividida pela energia térmica liberada com o consumo de energia. O cálculo a seguir ilustra o real rendimento da caldeira conforme a equação (1).

$$\eta = \frac{\dot{m}_v(H_v - H_a)}{\dot{m}_c \times \rho_c}$$

Onde;

η = rendimento pelo método direto.

\dot{m}_v = Vazão mássica de vapor 1,10 kg/s.

H_v = Entalpia do vapor produzido 2758,1 kJ/kg.

H_a = Entalpia da água de alimentação 83,95 kJ/kg.

\dot{m}_c = Vazão mássica do combustível 0,408 kg/s.

ρ_c = Poder calorífico do combustível 10000 kJ/kg.

$$\eta = \frac{1,10 \times (2758,1 - 83,95)}{0,408 \times 10000} = 0,7209$$

Esta equação demonstra o atual rendimento da caldeira que está em torno de 72,09%. Este resultado associa-se as condições da lenha, pressão de trabalho e a temperatura de alimentação da água, o cálculo acima utiliza temperatura de entrada de água a 20°C com entalpia de 83,95 kJ/kg.

Com o reaproveitamento do condensado tem-se um aumento de temperatura na caixa de alimentação da caldeira de 3,20°C o que eleva-se a entalpia da água para 97,345 kJ/kg, isso significa que será necessário menos combustível para aquecer essa parcela da água. O cálculo a seguir demonstra a economia de combustível, sabendo que na região o metro cúbico de eucalipto fica em torno de 55 reais.

$$0,7209 = \frac{1,10 \times (2758,1 - 97,345)}{\dot{m}_c \times 10000} \text{ vazão de combustível} = 0,4059 \text{ kg/s}$$

Com o resultado do cálculo acima podemos perceber que houve uma redução do consumo de combustível de 0,408 kg/s para 0,4059 kg/s, isso significa uma redução de 0,02 metros cúbicos de lenha por hora de produção, para a mesmo volume de vapor produzido e mesma pressão de trabalho.

Sabendo que o preço médio da lenha na região é de R\$ 55 reais temos: 0,02 x 55 = R\$ 1,1 reais de economia por hora de produção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral a redução do custo na geração de vapor,

reaproveitando o condensado remanescente do aquecimento dos tanques de gordura, este que atualmente é descartado.

Os cálculos desenvolvidos demonstram que nas condições atuais o rendimento da caldeira fica em torno de 72 %, isso porque a água de alimentação que abastece a caldeira está em torno de uma temperatura de 20 °C. Com a proposta de reutilizar o condensado a temperatura da caixa de alimentação irá aumentar 2,2 °C, fazendo com que o conjunto se torne mais eficiente.

Cálculos demonstram que houve a redução do custo de geração de vapor em torno de R\$ 1,1 reais por hora de trabalho. No entanto, com aumento do nível de produção de fábrica, consequentemente aumento na geração de condensado este tempo diminuirá.

A decisão sobre a implantação do sistema dependerá da gestão da empresa. Outros estudos também em desenvolvimento, indicam outros pontos de aproveitamento de energia, como, por exemplo o isolamento térmico da caixa de alimentação da caldeira.

REFÊRENCIAS

ALTAFINI, Carlos Roberto. **Aspectos gerais relacionados às caldeiras**. Disponível em: <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/caldeirasapostila.pdf>> Acesso em: 16 Maio 2017.

ARAÚJO, Celso . **Transmissão de Calor**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e Científicos S.A., 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Caldeiras estacionárias a vapor - Inspeção de segurança** -Parte 2: Caldeiras aquotubulares. Rio de Janeiro. 1999.

BAZZO, Edson. **Geração de Vapor**. 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

BARBOSA FILHO, A.N. **Segurança do Trabalho & Gestão Ambiental**. 2º ed. São Paulo: Atlas S.A., 2008.

BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. **Características do Eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca**. IPEF, Piracicaba, 1978.

BUECKER, B. **Basics of Boiler and HRS G Design**. Oklahoma: Penn Well Corporation, 2002

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa**. 4º ed. Porto Alegre. Editora Mc Graw Hill bookman AMGH Editora Ltda, 2012.

INCROPERA F. P.; DEWITT. D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicas e Científicos Editora S.A., 1996.

JANKOWSKY, I.P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Documentos Florestais. Piracicaba, 1990.

KREITH, Frank. **Princípios da Transmissão de Calor**. Tradução da 3ªed. Americana. São Paulo, Edgard Blücher, 1977.

LAGEMANN, V.; SALLES, M. **Inspeção de caldeiras**. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, São Paulo, Brasil. 2006.

MARTINELLI Jr., L. C. **Geradores de Vapor – Recepção, Operação e Medidas de Segurança**. Cadernos UNIJUÍ, Série Tecnologia Mecânica, n.º 8, Editora Unijuí, Ijuí, 1998. Disponível em: <http://www.saudeetralho.com.br/download/gera-vapor.pdf> >. Acesso em: 29 maio. 2017.

PEREIRA, Barbara. L.C. **Qualidade da madeira Eucalyptus para a produção de carvão vegetal**. 2012. 103 fl. Dissertação (Pós Graduação em Ciência Florestal) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

QUITES, Eduardo EC; LIA, Luiz Renato Bastos. **Introdução à Transferência de Calor**. 2006 Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32456590/apostila-transec-de-calor.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1506539782&Signature=vfu7pzoa%2FgEAKK7%2FCbkh2jCFuf0%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DApostila-transec-de-calor.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

ROSSO, Silvana. **Qualidade da madeira de três espécies de Eucalyptus resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional**. 2006. 91 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.