

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM LINHA DE VAPOR EM ACORDO COM A NR-13

Enéias R. Silva (Centro Universitário Padre Anchieta)

Fábio D. Santos (Centro Universitário Padre Anchieta)

Thayná L. Oliveira (Centro Universitário Padre Anchieta)

Claudemar José Trevizam (Centro Universitário Padre Anchieta)

Flávio Gramolleli Junior (Centro Universitário Padre Anchieta)

RESUMO: O presente trabalho apresenta um estudo realizado em uma indústria química do segmento de pigmentação de tecidos, a fim de obter um ganho energético baseando-se na perda de carga e adequando-se aos parâmetros estabelecidos nas normas regulamentadoras. Realizaram-se visitas à empresa e um levantamento dos principais itens a serem melhorados foi elaborado. Com isso constatou-se uma elevada perda de carga na linha de processo tornando-o inviável, sendo possível propor um novo dimensionamento da linha de vapor, atendendo às normas regulamentadoras e não expondo os colaboradores e sua vizinhança a riscos graves e iminentes. Verificou-se também o não atendimento da NR-13 em diversos pontos da caldeira, dentre eles a falta de procedimentos e/ou instruções de trabalho, de programa de manutenção preventiva e calibração/inspeção dos equipamentos, assim como a falta de treinamento para operadores de caldeira, que de acordo com a NR-28 tais apontamentos podem acarretar em embargo ou interdição da empresa. Como parte de otimização do processo foram apontadas melhorias, tais como o atendimento da NR-13 e o redimensionamento da linha de vapor, que proporcionará uma melhora na produtividade e acarretará na redução de custo do produto final.

Palavras-chave: Caldeira; NR-13, Linha de Vapor, Perda de Carga; Eficiência Energética.

ABSTRACT: The present work shows a study conducted in a Chemical Industry from the Fabric Pigmentation segment in order to reach an energy gain based on the load loss and adapted to established parameters from regulatory standards. After visiting this company, the main improvement items were described and therewith a high energy loss was detected in the process line, making it unfeasible. It was then possible to propose a new scaling of the vapor line, meeting the regulatory standard requirements and not placing its staff and neighborhood to serious and immediate risks. It was possible to verify that NR-13 was not met in various stages of the boiler such as the lack of: work procedures and/or instructions, the preventive maintenance program and the calibration/inspection of equipment, as well as the lack of training to boiler operators that according to NR-28 could lead to the company's embargo or interdiction. Improvements were designated as part of the optimization process such as the NR-13 compliance and the rescaling of the vapor line, which will bring an improvement in productivity and will cause the final product's cost reduction.

Keywords: Boiler, NR-13, Vapor Line, Load Loss, Energy Efficiency.

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2011 a indústria têxtil ocupava a quinta posição mundial na produção de têxteis, sendo, responsável por 3% do PIB, com uma projeção de crescimento de 50% nos próximos cinco anos (FILHO, 2011).

Sendo, o Brasil, um dos maiores polos de produção têxtil, com cerca de 30 mil empresas em atividades no setor, para uma empresa se tornar competitiva é obrigatório a modernização dos equipamentos e seu correto dimensionamento, visando a redução de custo e aumento da produtividade (FILHO, 2011).

Em um processo de tingimento do tecido, tem-se alguns aspectos de vitais importâncias, um deles é a temperatura na qual ocorrerá o tingimento do tecido e o aumento da temperatura em função do tempo, esse processo exige uma fonte quente e uma fonte fria, para que ocorra aquecimento ou resfriamento do sistema.

Para Özisik (1990) o estado de um sistema pode ser definido pela sua energia, conhecendo duas propriedades podemos definir a terceira de acordo com a termodinâmica. A energia em si não é criada, mas sim transformada, pode-se transformar movimento mecânicos em energia ou energia térmica em movimento, essas transformações são estudadas pela termodinâmica que relaciona taxas, gradiente de temperatura e conversão em um sistema.

Atualmente, a preocupação com a economia de energia vem se tornando mais relevante, buscando melhorar a eficiência do processo a cada dia e a fim de reduzir erros, desperdício de energia, conseqüentemente reduzindo os custos. Nesse contexto, é importante ter o controle de todas as etapas do processo, tornando possível a gestão e monitoramento das variáveis, facilitando a identificação de erros e perdas, dessa forma possibilitando a obtenção de dados para a elaboração de indicadores, demonstrando assim a verdadeira efetividade do processo.

No atual processo identificou-se a falta do controle mencionado, a pergunta que surge é: Existe uma maneira melhor de realizar esse processo, tendo o controle do mesmo?

Cientes de que o processo exige instrumentação para tal controle, o presente trabalho proporá os pontos de controle necessários, e os equipamentos envolvidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Norma regulamentadora NR-13

Segundo o Ministério do Trabalho e Emprego a NR-13 publicada em 1978 trata-se das atividades de caldeira e vasos sob pressão, sendo abordada por ela os aspectos de instalação, manutenção, operação e inspeção destes equipamentos. Sofrendo alterações nos anos de 1983, 1984, 1994, 2008 e 2014 (PORTAL MTE, 2014).

Estabelecendo requisitos mínimos para garantir a integridade estrutural de geradores de vapor, vasos de pressão e tubulações. Requisitando também a responsabilidade do empregador no cumprimento da norma. Trata-se de vaso de pressão cujo produto seja $P.V.$ superior a 8 (oito), onde P é a pressão máxima de operação em kPa e V o seu volume interno em m^2 . O mesmo possui categorias, que são estabelecidas através da capacidade de geração de vapor, tem-se as categorias A, B e C, sendo A as de pressão de operação igual ou superior a 1960 kPa (19,98kgf/cm²); C são aquelas de operação igual ou inferior a 588 kPa (5,99 kgf/cm²) e o volume interno igual ou superior a 100L (cem litros); e B todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores (PORTAL MTE, 2014).

O PORTAL DO MTE (2014), menciona na NR-13 que toda caldeira deve possuir manual de operação atualizado e em língua portuguesa, procedimentos de partidas e paradas, de parâmetros operacionais de rotina, para situações de emergência e procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente em local de fácil acesso aos operadores.

E ainda afirma que as caldeiras devem ser submetidas a inspeções de segurança, devendo ter seus instrumentos e controles de vasos de pressão calibrados e em boas condições operacionais, possuindo prontuários e registros que atestem a conformidade dos mesmos.

2.2. Norma regulamentadora 28

Fiscalização e Penalidades (NR- 28) estabelece critérios de fiscalização e penalidades, buscando preservar o ambiente laboral saudável e sem riscos para a vida dos colaboradores.

Conforme Benito e Coutinho (2000), é de responsabilidade da empresa manter seus ambientes de trabalho dentro dos parâmetros estabelecidos nas normas regulamentadoras, já que a falta dos mesmos pode resultar em denúncias dos colaboradores ou entidades sindicais. Vale ressaltar que os Agentes de Inspeção do Trabalho podem visitar as instalações da empresa a qualquer momento, visando fiscalizar o cumprimento das normas regulamentadoras, que se não cumpridas segunda a NR-28 podem acarretar em multas, o que não isenta o empregador adequar-se à legislação.

2.3. Segurança

De acordo com BEGA (2003), todo o sistema de segurança tem como objetivo, proteger os equipamentos, e também tudo que esteja ao seu redor. Assegurando a não partida da caldeira quando as várias e condições forem consideradas críticas ou fora dos limites.

Benito e Coutinho (2000), afirma que é de responsabilidade e obrigação da diretoria da empresa cumprir as legislações vigentes existentes, proporcionando um âmbito de trabalho seguro e saudável. E que tal postura empreendedora resulta em colaboração mutua entre colaboradores e empregadores.

2.4. Caldeira

“Caldeira a vapor é todo equipamento destinado a produzir vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte externa de energia” (PORTAL DO MTE, 2014). E para Bega (2003), são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior a atmosférica a partir de um fluído vaporizante e energia térmica, existindo dois tipos de caldeira, aquatubular e flamotubular.

Para Bega (2011), flamotubular são geradores a vapores que se caracterizam pela passagem dos gases quentes de combustão por dentro dos tubos que são envoltos por água, sendo o vapor gerado através da transferência de calor entre os gases quentes de combustão. Pera (1990), diz ser um trocador de calor casco e tubo, onde os gases de combustão passam pelos tubos e a água é vaporizada.

Já os aquatubulares funcionam com a passagem de água por dentro dos tubos, e os gases quentes de combustão ficam ao redor dos tubos (BEGA,2011). Ainda de acordo com Pera (1990), diz que os gases de combustão passam por fora de um banco de tubos, onde circula a água a ser vaporizada.

2.5. Instrumentação e controle

Segundo Bega (2003), instrumentação e controle trata-se de partes essenciais de toda a instalação, permitindo garantir uma operação segura, confiável e econômica das fábricas e seus equipamentos. Os mesmos são variados e exigem um controle preciso, sendo indispensável

manter as variáveis do processo dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos, tais como pressão, vazão, temperatura, condutividade, pH e nível (BEGA *et al.*, 2011).

2.5.1. Válvula

Para Alves (2005), a válvula de controle é responsável por manejar diretamente a vazão dos fluidos. Chaves (2002) e Bega *et al.* (2011), também afirmam que a mesma é um instrumento que regula a vazão de um fluido (vapor, gás ou líquido). Classificando-se em 2 tipos de categorias, que variam de acordo com o tipo de escoamento, podendo ser linear (movimento retilíneo) ou rotativa (movimento rotativo), e 8 tipos, sendo eles válvula angular, três vias, gaiola, diafragma, esfera, borboleta e excêntrica.

De acordo com Bentinho e Coutinho (2000), a válvula de segurança atua limitando a pressão de operação de um sistema sob pressão, reduzindo a pressão quando necessário e retornando instantaneamente. Protegendo o sistema de qualquer situação emergencial, que apresente risco aos equipamentos e colaboradores (CHAVES, 2002).

Bega *et al.* (2011), complementa que se trata de um dispositivo “aliviador” de pressão, atuado pela pressão estática e caracterizado pela rápida ação. A válvula deve ser acionada por uma mola e atuada pela pressão que permite o fluido escapar do recipiente pressurizado em uma pressão ligeiramente acima do nível seguro de trabalho. Chamada de válvula de segurança para líquido, quando abre continuamente, ou válvula de alívio para gás, quando abre repentinamente (RIBEIRO, 2002).

2.5.2. Manômetro

Chaves (2002), define manômetros como instrumentos utilizados para a medição local de pressão, e que geralmente são classificados em duas partes principais que são manômetros de líquidos e manômetros por deformação., complementa que manômetros podem ser definidos como elementos mecânicos de medição direta de pressão, que são equipamentos que medem a pressão através da diferença de pressão de uma coluna líquida com altura e densidade conhecidas, e elementos mecânicos elásticos de medição de pressão, que são equipamentos que baseiam seu funcionamento na lei de “Hooke” com o seguinte enunciado “ dentro de um limite

definido de elasticidade, a deformação provocada em um, corpo sólido é proporcional ao esforço colocado sobre ele” (BEGA *et al.* p. 86, 2006)

2.5.3. Indicador de nível

Para Bega *et al.* (2006), indicadores de nível tem seu uso exclusivo para o monitoramento de líquidos ou da interface entre dois líquidos imiscíveis em vasos, em reatores, sob influência de temperatura ou não. A medição de nível tem objetivos específicos que são a avaliação de estoques em tanques de armazenamento e controle de processos contínuos, e os visores de níveis identificados em diagramas pela sigla LG (level gage) oferecem grande confiabilidade na leitura (ALVES ,2005).

2.5.4. Vapor

Há basicamente três formas de energia empregadas na indústria, combustíveis, eletricidade e vapor. Os combustíveis fornecem energia na forma de combustão liberando calor ao meio, a eletricidade é utilizada para acionamento mecânico e aquecimento térmico. O emprego do vapor como fonte energética resulta em vários benefícios ao processo reduzindo os custos, aumentando a segurança, proporcionando um aquecimento uniforme, constante e preciso. O vapor, contém alto coeficiente de transferência térmica o que o torna viável no processo (BABCOCK; WILCOX, 1985).

O vapor contém inúmeras vantagens na sua utilização o que o torna um meio indispensável de transferência de energia, pois grande parte da energia é armazenado como calor latente o que permite que altas taxas de energia sejam transferidas a uma temperatura constantes (BABCOCK & WILCOX, 1985).

Ao fornecer calor a um fluido há um aumento da energia da interna ocasionando agitação entre as moléculas, a partir de um determinado nível energético ocorre à mudança de fase, este nível corresponde ao ponto de ebulição onde o vapor é gerado (SARCO, 2005).

Uma vez atingida à temperatura de saturação a água passa e se transformar em vapor com temperatura constante, quanto maior for a quantidade de calor latente absorvida maior será a quantidade gerada de vapor reduzindo a quantidade de água , nessa fase a mistura água -vapor recebe o nome de vapor saturado úmido pois contém frações de água e vapor, assim que todo

calor latente necessário for absorvido pela mistura teremos apenas vapor denominado vapor saturado seco e se continuarmos fornecendo calor ao vapor satura a temperatura aumentará e teremos o vapor superaquecido (CHIARANTANO ; SANTANA, 2008).

Sarco (2005), diz que o vapor saturado deve ser utilizado em processos de aquecimentos com a finalidade de utilizar todo o potencial energético (calor latente / sensível / total), já o vapor superaquecido é empregado nas movimentações de maquinas aproveitando seu potencial mecânico.

2.5.5. Tubulação

Para Zattoni (2008), é um conjunto de tubos, válvulas, conexões e acessórios que compõem a formação da linha do fluído. Segundo Daumichen (1975), o dimensionamento do diâmetro é obtido a partir da vazão do fluído, caso o diâmetro dimensionado seja menor ocorrerá o aumento da velocidade ocasionando desgaste do tubo e uma elevada perda de carga. Há duas formas básicas para dimensionar o diâmetro da tubulação, pode se utilizar a velocidade e a perda de carga. Pelo método da velocidade não se leva em consideração o comprimento do tubo o que infere em uma perda de carga elevada no final da linha de vapor.

Makarenko (1975), diz que em um sistema de distribuição de vapor saturado sempre haverá formação de condensado, por menor que seja a formação do condensado pode acarretar em perda de carga e golpe de aríete com isso a tubulação deve conter um declive de 0,5% do seu comprimento afim que tanto vapor quanto o condensado flua no mesmo sentido. De acordo com Telles (1987), a tubulação deve conter purgadores em todos os pontos baixos e todas as elevações. Já para Sarco (2005), os purgadores devem ser distribuído entre 30 e 50m caso a linha seja reta.

2.5.6. Isolamento Térmico da Tubulação

A isolação tem a função de preservar ou retardar a perda ou ganho de calor do sistema para vizinhança (ZATTONI ,2008). Conforme Pagy (1975), toda a superfície que possa perder calor deve ser isolada, este procedimento evita a queima desnecessária de combustível e que toda a formação do condensado está diretamente relacionada ao isolamento térmico.

Segundo Telles (1987), a espessura do isolamento térmico pode ser calculada em função do diâmetro e da temperatura do fluido desconsiderando a temperatura do ambiente. Os isolamentos convencionais são porosos contendo grandes quantidades de ar que praticamente não conduz energia reduzindo grandemente a transferência de calor de um meio ao outro (NOGUEIRA,2005).

2.5.7. Transferência de Calor

A transmissão de calor é a ciência que trata das taxas de troca de calor entre um corpo quente denominado fonte e um corpo frio denominado receptor. Essa transmissão pode ocorrer de três diferentes formas, condução, convecção e radiação (KERN, 1980).

Condução é o modo de transferência de calor em que a troca de energia tem lugar da região de alta temperatura para a de baixa temperatura pelo movimento cinético ou pelo impacto direto de moléculas, sendo um mecanismo típico de sólidos ou fluidos estagnados, ou seja, parados, sem movimentos macroscópicos (KREITH ; BOHN, 2011)

Convecção é o modo de transmissão de calor por convecção abrange dois mecanismos. Além da transferência de energia devido ao movimento molecular aleatório (difusão), a energia também é transferida através do movimento global ou macroscópico do fluido, o movimento do fluido resulta do movimento de suas parcelas cada qual consistindo de um grande número de moléculas, que se movem em razão de uma força externa. Essa força pode ser provocada por um gradiente de densidade, como na convecção natural ou por uma pressão grande gerada mecanicamente através de bombas e ventoinhas (INCROPERA *et al.*, 2011).

Radiação é a transferência de energia emitida pela a matéria que se encontra em uma temperatura não-nula, sendo que a quantidade de energia que deixa a superfície como calor irradiado depende da temperatura absoluta e da temperatura da superfície essa transferência ocorre quando não á contato entre as superfícies, a emissão de radiação não ocorre apenas em superfícies sólidos, acontece também através de gases e líquidos. Independentemente da forma de matéria em que ocorra, a emissão pode ser atribuída a mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou das moléculas que constituem a matéria, sendo a energia transportada através de ondas eletromagnéticas (KREITH ; BOHN, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho iniciou-se com o objetivo de realizar o redimensionamento da caldeira, entretanto após o levantamento de dados no local, identificou-se que os mesmos eram insuficientes e necessitava de uma melhor avaliação para o efetivo redimensionamento da caldeira, já que o processo estudado é desprovido de controles efetivos. Com isso traçamos uma outra rota de análise e elaboramos um chek list com os pontos principais a serem melhorados, para que seja possível a obtenção de dados com um alto nível de confiabilidade e acuracidade.

O processo estudado foi realizado em uma indústria química que atua no seguimento de pigmentação de tecidos, que possui 39 funcionários CLT, situada na região de Jundiáí, cuja identidade foi preservada.

Dispondo-se de 1 vaso de pressão e 5 reatores para a execução do processo. O vaso de pressão é o modelo Tange TG com capacidade de produção de vapor estimada em 8000Kg/h e volume estimado de 15000L, originalmente utilizava gás para realizar o processo, todavia foi realizado uma adaptação na sua estrutura, substituindo o queimador a gás por um queimador a lenha (capela) que pode trabalhar a uma PMTA de 12Kgf/cm² (1176,8KPa), e pode produzir 1400Kg/h de vapor, enquadrada na categoria C/V/5 (informações disponíveis nas placas de identificação do equipamento). Os 8 reatores de modelo BS 5500 1991 CAT2 do fabricante Fong's National Eng. Co. Ltd são iguais, possuindo 5000L cada, segundo informação fornecida pela empresa, já que as placas de identificação não trazem essa informação. Os mesmos podem trabalhar a uma pressão que varia de 1,019 a 7,138 Kgf/cm² e uma temperatura que varia de 140 á 160 C° (informações disponíveis nas placas de identificação do equipamento).

Realizou-se quatro visitas à empresa, sendo a última no mês de setembro de 2017, nessas visitas constatou-se que os instrumentos presentes no processo encontravam-se com alguns problemas de aferição, além do processo necessitar de mais alguns instrumentos que proporcionassem um levantamento de dados mais confiáveis no processo.

Na figura abaixo é possível observar que o equipamento possui um manômetro e uma válvula de segurança, que não apresentou nenhum registro e plano de calibração.



Figura 1: Caldeira do processo

Fonte: Autores

Pode-se observar também que além do sistema elétrico de medição de nível que se encontra fora de operação, o equipamento não possui nenhum outro tipo de controle de nível que opere de maneira efetiva. Possuindo apenas uma única bomba de alimentação e nenhuma placa de identificação em sua estrutura.

Identificamos na necessidade de melhorias nos requisitos de documentação, procedimentos e/ou instruções de trabalho, sendo assim, há falhas no programa de manutenção preventiva da caldeira e calibração/inspeção dos equipamentos envolvidos, aliado também com a ausência de treinamentos de reciclagem dos colaboradores que possuam autorização para atuar na função de operador de caldeira de forma adequada e segura

Com base na NR-13, elaborou-se um levantamento dos principais itens a serem melhorados, que de acordo com suas infrações são passíveis de autuação conforme NR-28.

Tabela 1: Principais itens não atendidos da NR-13

Item	Obrigatoriedade	Código	Infração
13.4.1.3 "a"	Válvula de segurança	213022-0	4
13.4.1.3 "b"	Manômetro	213023-8	4
13.4.1.3 "c"	Sistema de alimentação de água	213024-6	4
13.4.1.3 "e"	Controle de nível	213026-2	4
13.4.1.4	Placa indelével	213027-0	2
13.4.1.5	Categoria da Caldeira visível em sua estrutura	213028-9	2
13.4.3.1	Manual da Caldeira	213057-2	3
13.4.3.2	Calibração dos instrumentos	213058-0	4
13.4.3.4	Operador certificado	213061-0	4
13.4.4.8	Inspeção de válvula	213067-0	4

Baseando-se nos dados da tabela 1, realizou-se o cálculo para mensurar o valor estimado das penalidades, relacionando o número da infração com a quantidade de funcionários, conforme anexo I da NR-28. Após a leitura da gradação de multas (ainda no anexo I), multiplicamos o valor encontrado pela Unidade de Referência Fiscal (UFIR), que congelou em 1,0641 no ano de 2000 em decorrência do § 3º do art. 29 da Medida Provisória 2095-76. (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2015)

Analisando a atual linha de vapor da empresa, foram identificados vários pontos de melhorias, com o auxílio de uma trena foi medido o comprimento da linha de vapor até o coletor de vapor conhecido como “barrilhete”, e posteriormente medido o comprimento até a linha de processo onde se encontra os reatores.

Entre a caldeira e o coletor de vapor tem-se 90 m de linha de vapor com seção de 6 polegadas cerca de 152,4mm e uma segunda linha com 60m de comprimento que sai do coletor de vapor com 3 polegadas (76,2mm) de diâmetro, boa parte dessa linha de vapor está sem isolamento térmica.

Com auxílio de um nível verificou-se que toda a linha de vapor está nivelada, o maior trecho se encontra próximo à caldeira com uma tubulação de 90m, devidamente nivelado, o que dificulta o escoamento do condensado. Ao longo da linha de vapor não foram encontrados purgadores.

O coletor de vapor está localizado em uma sala específica para ele onde é possível realizar as manobras de acordo com o processo fabril, este também não conta com isolamento térmica e as tubulações que sai do coletor de vapor que conduz o vapor saturado a linha de processos estão apresentaram danos na isolamento térmica, o coletor não contem o purgador já que em toda a extensão da linha de vapor não conta com tal mecanismo.

Com todos esses dados levantados a proposta foi a adequação do processo geral de acordo com as literaturas e as normas vigentes.

Para o correto dimensionamento da linha de vapor é necessário identificar a fonte de vapor, como mencionado a capacidade total é de 9400 Kgv/h com 8 Kgf/cm² de acordo com as informações expressa na caldeira e no fabricante, a temperatura do vapor foi definido por INCROPERA¹ (2011), pela pressão onde obtivemos a temperatura de 171,0°C.

Após as coletas de dados encontrou-se a velocidade do vapor nas tubulações, como há duas sessões diferente 1 e 2 calculamos a perda de carga nas duas sessões.

¹ Tabela A.6 INCROPERA, 2011, p. 590

Pela equação 1.1 e 1.2, é obtida a velocidade da sessão 1 e 2 foram respectivamente 35,43 m/s e 141,73 m/s.

$$Q = \rho \cdot A \cdot \vartheta \quad (\text{eq.1})$$

$$2,61 \frac{kg}{s} = 4,04 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{\pi * 0,1524 * m^2}{4} \right) * \vartheta \quad (\text{eq.2.1})$$

$$2,61 \frac{kg}{s} = 4,04 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{\pi * 0,0762 * m^2}{4} \right) * \vartheta \quad (\text{eq.3.2})$$

Q= Vazão do Fluido (kgv/s)

ρ = Densidade do fluido (kg/m³) (tabela)

A= Área interna do tubo (m)

Com base na velocidade do vapor encontrou-se o número de Reynolds nas sessões 1 e 2, $Re_1 = 3,10 * 10^5$ e $Re_2 = 7,41 * 10^5$ conforme as equações 2.1 e 2.2

$$Re = \frac{\vartheta \cdot D}{\delta} \quad (\text{eq.2})$$

$$Re_1 = \frac{35,43 \frac{m}{s} \cdot 0,1524m}{1,46 * 10^{-5}} \quad (\text{eq.2.4})$$

$$Re_2 = \frac{141,73 \frac{m}{s} \cdot 0,0762m}{1,46 * 10^{-5}} \quad (\text{eq.2.2})$$

Re = Número de Reynolds

D = Diâmetro (m)

δ = Viscosidade cinemática do vapor (m²/s) (Tabelado)

O cálculo da perda de carga desenvolveu-se em duas etapas, a perda de carga distribuída (hf) (eq.3) que ocorrem em trechos retos e as perdas singulares (hs) (eq.4), com base no número de Reynolds deve-se definir o fator de atrito equivalente (f) utilizando o diagrama de Moody.

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (\text{eq.3})$$

$$hs = Ks \cdot \frac{\rho \cdot v^2 \cdot n}{2} \quad (\text{eq.4})$$

A perda de carga distribuída e singular na primeira sessão de acordo com as equações (eq.4.1) e (eq.4.2) são $hf = 29952,18 \text{ Pa}$ e $hs = 20541,20 \text{ Pa}$.

$$hf_1 = 0,02m \cdot \frac{90m}{0,1524m} \cdot \frac{4,04 \frac{kg}{m^3} \cdot (35,43m)^2}{2} \quad (\text{eq.4.1})$$

As perdas de carga singular dos cotovelos foram obtidas com base na tabela de comprimento equivalentes.

$$hs_1 = 0,9 \cdot \frac{4,04 \frac{kg}{m^3} \cdot (35,43m)^2 \cdot 9}{2} \quad (\text{eq.4.2})$$

Perda de carga distribuída e singular na segunda sessão, com base nas equações (eq.5) e (eq.6), obtendo $hf_2 = 527158,37 \text{ Pa}$ e $hs_2 = 109553,0958 \text{ Pa}$

$$hf_2 = 0,0165m \cdot \frac{60m}{0,0762m} \cdot \frac{4,04 \frac{kg}{m^3} \cdot (141,73m)^2}{2} \quad (\text{eq.5})$$

As perdas de carga singular dos cotovelos foram obtidas com base na tabela de comprimento equivalentes.

$$hs_2 = 0,9 \cdot \frac{4,04 \frac{kg}{m^3} \cdot (141,73m)^2 \cdot 3}{2} \quad (\text{eq.6})$$

- hf = Perda de carga distribuída (Pa)
- f = Fator de atrito
- n = Numero de Repetições
- v = Velocidade
- hs = Perda de Carga singular (K)

ΣL = Somatória dos trechos retos da Tubulação (m)

A perda de carga total (ht) do sistema é a somatória das sessões 1 e a 2 utilizando a equação (eq.7.1) obtivemos 687204,86 Pa.

$$ht = hf_1 + hs_1 + hf_2 + hs_2 \quad (\text{eq.7})$$

$$\begin{aligned} ht &= 29952,1806 \text{ Pa} + 20541,20546 \text{ Pa} + 527158,3786 \\ &+ 109553,0958 \text{ Pa} \end{aligned} \quad (\text{eq.7.1})$$

Convertendo 687204,86 Pa para kgf/cm² tem-se uma perda total de carga de 7kgf/cm². Os coletores de condensados foram dimensionados com base em uma tubulação de 6' (152,4mm), de acordo com SARCO (2005), para um diâmetro de 6' deve-se utilizar uma bota coletora com diâmetro de 4' (101,6mm) com um comprimento mínimo de 250mm, a cada 40m será instalado botas coletoras de condensados.

A determinação da quantidade de condensado formado na tubulação foi definida com por SARCO² (2005), que para uma pressão de operação de 8kgf/cm² com um diâmetro de 6' polegadas será de 16,03Kg/h na primeira sessão e na segunda sessão com diâmetro de 3' polegadas ocorrerá a formação de 8,6 kg/h de condensado totalizando 24,63kg/h de condensados.

4. RESULTADOS E DISCUSÕES

Verificou-se o problemas no atendimento à NR-13 em diversos pontos, expondo os colaboradores e sua vizinhança em risco grave e iminente, que de acordo com a NR-28 item 28.2.1, tais descumprimentos podem acarretar em embargo ou interdição.

As alterações sugeridas ao decorrer do presente trabalho, tem como finalidade melhorar alguns parâmetros de controle do processo, com a finalidade de adequar o processo a norma vigente NR-13, e auxiliar a coleta de dados operacionais como vazão e temperatura. Dessa maneira, os dados obtidos separadamente devem ser registrados para que seja possível a análise posterior dos mesmos.

² Tabela 1 SARCO, 2005, p. 33

Para a obtenção de dados mais precisos e confiáveis para o processo, sugeriu-se a implementação de procedimentos operacionais que devem ser elaborados com base no manual da caldeira, que conforme NR-13, as informações mínimas que o mesmo deve conter são procedimentos de partidas e paradas, parâmetros operacionais de rotina, situações de emergência e procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente. Estes procedimentos devem ficar próximos ao operador da caldeira, na língua portuguesa e em um local de fácil visualização, sem obstruções, permanecendo sempre disponível para a consulta dos operadores.

A NR-13 determina também que todas as mudanças nos procedimentos e equipamentos devem ser informadas de imediato aos operadores, e que as alterações devem ser incorporadas de imediato ao manual de operação. Faz-se necessário a obtenção do manual da caldeira, assim como o prontuário da caldeira com o fornecedor do equipamento.

Tais procedimentos contribuem para a obtenção de dados, data vênha não dispensa um plano de calibração, inspeção e manutenção para compor a confiabilidade plena das informações. Assim atende o item 13.4.3.2 da norma NR-13, que informa a necessidade de que todos os equipamentos utilizados para o controle operacional devem ser mantidos calibrados e em boas condições.

O Manual Técnico de Caldeiras e Vasos de Pressão complementa a informação, afirmando que todos os equipamentos presentes no processo e que interfiram na segurança operacional dos vasos de pressão, deverão ser calibrados periodicamente e mantidos em boas condições operacionais, sendo que essa calibração deve ser efetuada por empresas certificadas e que seja possível realizar a rastreabilidade dos padrões utilizados para a calibração.

As caldeiras são equipamentos geradores de vapor que de acordo com a NR-13 devem atender alguns requisitos mínimos para sua operação, dentre esses requisitos está listado que uma caldeira deve possuir um instrumento que indique a pressão acumulada, um sistema de abastecimento de água ou injetor independente do sistema principal, assim como uma válvula de segurança que seja ajustada em um valor igual ou inferior a PMTA.

Telles (1996), informa que todos os equipamentos destinados ao alívio de pressão devem se encontrar na parte superior do vaso de pressão e que não pode haver válvulas ou qualquer equipamento que impeça ou dificulte a manutenção. Nessa situação recomenda-se uma válvula de segurança Comodoro VS-100 de PRESSÃO MÁXIMA DE ABERTURA 12,0 KGF de 1 ¼ ", que deve ser calibrada abaixo da PMTA. Conforme instruções da NR -13, que também determina que toda a caldeira deve possuir indicadores de pressão e que a falta dos mesmos são

considerados de riscos graves e iminentes, e que os indicadores devem ser calibrados periodicamente para garantir a medição correta da pressão do sistema. Sendo assim recomenda-se a calibração dos mesmos.

Para Bega (2003), as malhas de controle mantem o nível dentro do vaso de pressão nos parâmetros desejáveis. Para Bega *et al.* (2011), os visores de nível são aplicados na grande maioria dos equipamentos quando há necessidade de monitoramento local de nível, devido ao seu baixo custo. Bega (2003), menciona que a maioria das caldeiras que trabalham em baixa pressão utilizam esses visores em conjunto com um sistema de nível – auto-operado para a alimentação de água. Ou seja, recomenda-se a manutenção do medidor de nível atual da empresa, já que o mesmo atende os requisitos da caldeira.

Manutenção essa que deve ser realizada por uma empresa qualificada que em paralelo já pode realizar a instalação de um sistema de alimentação de água secundário. Para Hildo (1990), o controle e a preservação da água dentro da caldeira é um parâmetro primordial de segurança e segundo a NR -13 toda a caldeira deve ter um sistema de alimentação secundária que atue em casos de falha no sistema principal. Uma alternativa viável é a compra de uma nova bomba de mesma capacidade da que já está presente no processo e a incorporação dela ao sistema de medição de nível de maneira independente, desta maneira evitando em caso de falhas o superaquecimento do sistema.

De acordo com a NR-13 toda caldeira deve possuir uma placa de identificação, indelével, afixada em sua estrutura, em local visível e de fácil acesso, e que contenha no mínimo as seguintes informações:

- Nome do fabricante;
- Número de ordem dado pelo fabricante da caldeira;
- Ano de fabricação;
- Pressão máxima de trabalho admissível;
- Pressão de teste hidrostático de fabricação
- Capacidade de produção de vapor;
- Área de superfície de aquecimento;
- Código de projeto e ano de edição

Desta maneira o mais indicado é a afixação de uma placa indelével na estrutura da caldeira, com as informações mencionadas acima. A NR – 13 determina que além da placa de identificação, deverão constar, em local visível, a categoria do vaso, conforme Anexo IV e seu

número ou código de identificação. As informações referentes à identificação do vaso e sua respectiva categoria deverão ser pintadas em local onde possam ser facilmente identificadas.

Diante de tantas informações técnicas e de acordo com o item 13.4.3.4 da NR-13 toda a caldeira deve ser operada e controlada por um profissional Habilitado, que deve possuir um certificado de Treinamento de Segurança de Operação de caldeira e comprovação de estágio prático.

O não atendimento dos pontos de melhorias sugeridos pode acarretar a uma penalidade média total de R\$ 33.556,91, conforme valores detalhados na tabela 2.

Tabela 2: Valores das multas para as infrações não atendidas

Código	Infração	Valor mínimo	Valor máximo
213022-0	4	R\$ 3.548,77	R\$ 4.124,45
213023-8	4	R\$ 3.548,77	R\$ 4.124,45
213024-6	4	R\$ 3.548,77	R\$ 4.124,45
213026-2	4	R\$ 3.548,77	R\$ 4.124,45
213027-0	2	R\$ 1.771,73	R\$ 2.059,03
213028-9	2	R\$ 1.771,73	R\$ 2.059,03
213057-2	3	R\$ 2.655,99	R\$ 3.083,76
213058-0	4	R\$ 3.548,77	R\$ 4.124,45
213061-0	4	R\$ 3.548,77	R\$ 4.124,45
213067-0	4	R\$ 3.548,77	R\$ 4.124,45

Depois de calculada a perda de carga que ocorre na tubulação desde a saída da caldeira até a linha de processo e considerando as condições de operação constatou-se uma elevada perda de carga de 7kgf/cm². A perda de carga na primeira sessão pode ser desconsiderada, já na segunda sessão devido ao estreitamento da tubulação a um aumento de velocidade o que aumenta consideravelmente a perda carga, esse resultado é coerente, pois a empresa conta com 8 reatores e segundo os operadores, não é possível partir 2 reatores simultaneamente já que 88% da pressão é perdida no percurso, outro fator importante é a ausência em vários pontos de isolamento térmico o que infere em uma maior condensação do vapor saturado.

Identificada às causas das perdas, a solução foi adequar o diâmetro da tubulação da segunda sessão para 6" polegadas para reduzir a velocidade e conseqüentemente a perda de carga, calculando as perdas distribuída (hf) e singular (hs), é possível visualizar o grande ganho de rendimento, utilizando as equações (eq.4.1), (eq.4.2), (eq.5) e (eq.6) com o novo diâmetro na segunda sessão somado a primeira sessão obtendo-se uma perda de carga total de 0,79kgf/cm² e uma eficiência de 90% na linha de vapor saturado.

A linha de vapor não contém purgadores em sua extensão o que acarreta no acúmulo de condensado na tubulação reduzindo sua seção transversal, com há curvas e elevações na linha de vapor há golpes de aríete o que pode levar ao rompimento da tubulação, para resolver esse problema deve-se instalar ao longo da tubulação botas coletoras de condensados com purgadores, esse mecanismo deve ser instalado a cada 40m ou sempre que houver elevações na tubulação. SARCO (2005), salienta que a tubulação deve conter uma inclinação de 0,5% da extensão no mesmo sentido que o fluido com a finalidade de levar o condensado até as botas coletoras, com essas medidas todo condensado será retirado da linha de vapor.

5. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos ao decorrer do estudo conclui-se que há vários pontos de melhorias a serem realizados pela empresa objeto do estudo, a fim de adequar-se aos parâmetros estabelecidos nas normas regulamentadoras, evitando penalidades, que variam de multas com um valor médio total de R\$ 33.556,91, ou a interdição da indústria.

Sendo que a adequação dos equipamentos presentes no processo, como manômetros válvula de segurança entre outros, além de proporcionar um ambiente de trabalho seguro, juntamente com os procedimentos operacionais, documentação e treinamento dos colaboradores, permitirá que as tarefas realizadas diariamente ou periodicamente, sejam bem definidas, padronizadas e coordenadas viabilizando assim o levantamento de dados e informações concisas que facilitará na identificação de possíveis falhas no processo, e as decisões a serem tomadas para eliminar ou minimizar essas falhas. Dessa forma auxiliaria também o projeto das linhas de vapor, que hoje opera com uma baixa eficiência, pois 88% da pressão gerada pela caldeira é perdida devido ao mal dimensionamento da linha de vapor. Grande parte da tubulação está sem isolamento térmico o que provoca a condensação do vapor saturado, o condensado por sua vez reduz a seção transversal do tubo aumentando ainda mais a perda de carga, o vapor não condensado arrasta o condensado provocando golpes de aríete que podem romper a tubulação causando sérios danos a estrutura, por essa razão torna-se evidente a necessidade de um redimensionamento da linha de vapor.

Portanto a melhoria apontada se faz necessária para garantir um ambiente de trabalho seguro, que além de aumentar a produtividade, acarretará em uma redução de custo do produto final, já que as interrupções no processo e os acidentes e/ou doenças ocupacionais diminuiriam.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, J. L. *Instrumentação, controle e automação de processos*. 2ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

BEGA, E. A. *Instrumentação Aplicada ao controle de caldeiras*. 3ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

BABCOCK; WILCOX. *Steam: its generation and use*, Babcock & Wilcox, New York, 1985.
BEGA, E. A; COHN, P. E; DELMÉE, G. J; BULGARELLI, R; KOCH, R; FINKEL, V. S. *Instrumentação Industrial*. 3ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.

BENITO, J; COUTINHO, C. R. *Normas Regulamentadoras Comentadas*. 2ed. Rio de Janeiro, 2000.

BRASIL, Ministério do Trabalho (MTB). *Redação dada pela Portaria MTE n.º 594, de 28 de abril de 2014*. Dispõe sobre NR-13 Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações. Disponível em: < <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr13.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

BRASIL, Ministério do Trabalho (MTB). *Redação dada pela Portaria n.º 3, de 1º de julho de 1992*). Dispõe sobre Fiscalização. Atualizada Portaria MTPS n.º 507, de 29 de abril de 2016 Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR-28-atualizada-2016.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

CHAVES, C. R. *Apostila Instrumentação Básica*. Curitiba: Unicenp, 2002.
CHIARANTANO, C; SANTANA, F.F. *Economizadores e Superaquecedores de Caldeiras*. São Paulo: Escola Politécnica – USP, 2008

DAUMICHEN, R. V. *Apostila Curso Sobre Distribuição de Vapor*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, 1975.

FILHO, A. B. *Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises*. 3ed. São Paulo: Érica, 2011.

FILHO, A. D. *Setor Têxtil e de Confecções*. Associação Brasileira da Indústrias Têxtil e de Confecção, São paulo, jul. 2011. disponível em: <http://abit.org.br/abitonline/2011/06_07/apresentacao.pdf>. Acesso em: 08 maio. 2017.
INCROPERA, F. P; DEWITT THEODORE, D. P. *Fundamentos de Transferência de Calor e Massa*. 6ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

KERN, D. Q. *Processos de Transmissão de Calor*. 1ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.
KREITH, F; BOHN, M. S. *Princípios de Transferência de calor*. 1ed. São paulo: Cengage Learning, 2003.

MAKARENKO, B. *Apostila Curso Sobre Distribuição de Vapor*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, 1975.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. *Valor do UFIR*. Receita Federal, Brasília, Jul. 2015. disponível em:

<<https://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/valor-da-ufir>>. Acesso em: 08 Jul. 2017.

NOGUEIRA, L. A. *Eficiência Energética no Uso de Vapor*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

ÖZISIK, M. N. *Transferência De Calor - Um Texto Básico*. 1ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1990.

PAGY, A. *Apostila Curso Sobre Distribuição de Vapor*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, 1975.

PERA, H. *Geradores de Vapor- Um compêndio sobre conversão de Energia com vistas à preservação Ecológica*. 2ed. São Paulo: Fama, 1990.

RIBEIRO, M. A. *Instrumentação*. 9ed. Salvador: Tek treinamento & Consultoria, 2002.

SARCO, S. *Apostila Curso de Projetos de Sistema de Vapor*. São Paulo: Spirax Sarco, 2005.

SEBASTIÃO, C. R. *Apostila Caldeiraria – Tubulação Industrial. Programa de Certificação de Pessoal de Caldeira*: SENAI, 2010.

TELLES, P. *Tubulações Industriais: Materiais, projeto e desenho*. 2ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

ZATTONI, C. C. *Apostila Materiais para Tubulação*. São Paulo: FATEC-SP, 2008.