



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE E INSPEÇÕES DE CALDEIRAS CATEGORIA B EM CONFORMIDADE COM NR-13

Edivaldo Feitosa Pereira Filho, edivaldofpf@gmail.com¹

Edivaldo Feitosa Pereira, edivaldofeitosa@hotmail.com²

Elson César Moraes, elsoncm@gmail.com³

¹Universidade Federal do Piauí, Campus Univer. Ministro Petrônio Portela, s/nºIninga, Teresina-PI, 64049-550.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Av. Presidente Jânio Quadros, 330, Santa Isabel, Teresina-PI, 64053-390 .

³Universidade Federal do Maranhão, Avenida dos Portugueses, 1966- Bacanga, São Luís -MA, 65080-805.

Resumo: Nos últimos anos o Brasil tem vivenciado um elevado número de acidentes de trabalho, principalmente no que tange operações em setores industriais, dentre esses setores o processo de geração de vapor requer uma atenção especial na operação de caldeiras visando elevar a segurança e eficiência, a fim de evitar acidentes e preservar as boas condições de operação desses equipamentos. Este trabalho apresenta uma análise prática dos principais problemas que ocorrem em caldeiras à biomassa. Para isso, foram analisadas diversas caldeiras da categoria B no Estado do Piauí que utilizam biomassa como fonte de energia. Os resultados obtidos através de análise e inspeções em vários equipamentos nos permitiram traçar alguns parâmetros necessários para evitar acidentes e melhorar desempenho das caldeiras, seguindo as exigências do mercado e norma brasileira NR13.

Palavras-chave: Caldeira, Vapor, Inspeção.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mercado industrial evoluiu de uma forma considerável, porém em vezes desordenado, sendo em sua maioria havendo a necessidade da utilização de uma fonte geradora de vapor, mais conhecida por caldeiras, para diversos fins aos quais se destinam tais empresas inseridas nessa evolução. A grande quantidade e necessidade de utilização de tal equipamento trouxeram como consequência, em praticamente todos os casos de não atendimento aos requisitos básicos e legais para o bom funcionamento do gerador de vapor, catastróficos acidentes devidos a diversos fatores que vão desde a má qualificação da operação, passando por falta de manutenção e em certos casos até mesmo a clandestinidade de montagem e instalação, realizada por um óprofissionalô que não seja legalmente habilitado.

A necessidade de um maior rigor nas fiscalizações de órgãos governamentais e de empresas que utilizam vapor das caldeiras em suas unidades de processo, tem por objetivo garantir uma maior confiabilidade e cumprimento de normas legais e regulamentadoras a fim de se evitar um aumento no índice do número de acidentes provocados pelo gerador de vapor, tendo sempre como prioridade o cumprimento de requisitos legais em conjunto com segurança, qualidade e produtividade. Em casos de descumprimento dos itens básicos, segundo a norma NR13, para a legalização do uso de caldeiras, as mesmas devem ser interditadas imediatamente, a empresa notificada e obrigada a regularizá-la.

Para se reduzir as estatísticas de acidentes provocados pelos geradores de vapor é necessário o cumprimento à risca de Normas Regulamentadoras, destacando-se dentre estas a NR13, responsável pelos requisitos obrigatórios para que uma caldeira possa funcionar sem apresentar riscos às pessoas ligadas direta e indiretamente à sua utilização.

Alguns órgãos vêm reforçando a fiscalização nesse tipo de equipamento, dentre eles o CREA - PI (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Piauí) e a SRTE (Superintendência Regional do Trabalho e Emprego) em conjunto com o MTE (Ministério do Trabalho e Emprego), além das Comissões Internas de Prevenções de Acidentes - CIPA's -, principalmente depois dos últimos acidentes levantados estatisticamente no Brasil mostram que entre os anos de 1983 e 2010, foram contabilizados 118 mortos, em 103 acidentes, sendo destes, 13 apenas no ano de 2010 com 409 pessoas afastadas do trabalho ao longo de todos esses anos. Com a rigorosidade das fiscalizações, grande parte das indústrias passaram a se preocupar um pouco mais com a regularização de suas caldeiras, atendendo a praticamente todos os requisitos legais aos quais são submetidos, garantindo dessa forma a segurança das pessoas ligadas à empresa, bem como de uma maior preocupação com o meio ambiente, porém, infelizmente, ainda existem aquelas das quais trabalham de forma totalmente irregular. Deste modo, o presente trabalho tem por objetivo mostrar os principais tipos

de caldeiras, analisando os seus riscos, em específico das caldeiras de categoria B, alimentadas por combustível sólido (biomassa), a qual possui um dos maiores poderes caloríficos do mercado, girando em torno de 4.000 kcal/kg, e analisando ainda quais requisitos são necessários para a total regularização de uma caldeira.

A primeira etapa deste trabalho é apresentar o que é uma caldeira, qual a sua finalidade e quais são os documentos mínimos e requisitos básicos para a liberação do funcionamento legalizado de uma caldeira, para posteriormente identificar as principais causas de acidentes com este tipo de equipamento e em seguida através destas análises e de gráficos trabalhar a melhor solução para diminuir e/ou sanar os acidentes provocados por geradores de vapor, garantindo dessa forma um trabalho com qualidade, mas principalmente com segurança, sempre trabalhando dentro de normas.

2. EVOLUÇÃO DAS CALDEIRAS, SEUS TIPOS E CUIDADOS

Nos primórdios do século XVII tiveram início as primeiras aplicações práticas do uso do vapor na indústria, mas somente no século XVIII que James Watt projetou uma caldeira num estilo vagão que viria a se tornar a precursora das caldeiras utilizadas em locomotivas a vapor.

Em 1880 Alan Stirling projetou e desenvolveu uma caldeira de tubos curvados, cuja concepção básica é ainda hoje utilizada nas grandes caldeiras de tubos de água.

A máquina a vapor tornou-se a principal fonte produtora de trabalho do século XIX e seu desenvolvimento se deu no esforço de melhorar seu rendimento, a confiabilidade e a relação peso/potência. O advento da energia elétrica e do motor de combustão interna no século XX, todavia, condenaram pouco a pouco, nos países mais industrializados, a máquina a vapor ao quase esquecimento.

Mesmo assim, o vapor ainda hoje tem extensa aplicação industrial, nas mais diversas formas, dependendo do tipo de indústria e da região onde está instalada.

2.1. O que são Caldeiras e para que Servem

Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refreradores e similares utilizados em unidade de processo (NR 13).

Leite e Militão (2008) resumem caldeira ou Gerador de vapor como sendo um equipamento que se destina a gerar vapor através de uma troca térmica entre o combustível e a água, sendo que isto é feito por este equipamento construído com chapas e tubos cuja finalidade é fazer com que água se aqueça e passe do estado líquido para o gasoso, aproveitando o calor liberado pelo combustível que faz com as partes metálicas da mesma se aqueça e transfira calor à água produzindo o vapor.

Então podemos afirmar que caldeira é um trocador de calor que, trabalhando com pressões superiores a pressão atmosférica, produz vapor, a partir da energia térmica gerada por uma fonte de energia qualquer.

As caldeiras podem ser classificadas de acordo com:

- a) classes de pressão;
- b) grau de automação;
- c) tipo de energia empregada;
- d) tipo de troca térmica.

De acordo com as classes de pressão, as caldeiras foram classificadas segundo a NR-13 em, conforme segue:

- a) caldeiras da categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,98 kgf/cm²);
- b) caldeiras da categoria C são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5,99 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 l (cem litros);
- c) caldeiras da categoria B são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

Alfatini *et al.* (2002) afirma que de acordo com o grau de automação, as caldeiras podem se classificar em: manuais, semi-automática e automática.

A caldeira elétrica transforma a energia elétrica em térmica, para transmiti-la a um fluido apropriado, geralmente água.

De acordo com o tipo de energia empregada, elas podem ser a: combustível sólido, líquido, gasoso, caldeiras elétricas e caldeiras de recuperação. Alfatini *et al.* (2002)

Existem outras maneiras particulares de classificação, a saber: quanto ao tipo de montagem, circulação de água, sistema de tiragem e tipo de sustentação. Alfatini *et al.* (2002)

2.2. Tipos de Cadeiras

Segundo Bizzo *et al.* (2003), as caldeiras são classificadas usualmente de acordo com a posição dos gases quentes e da água como seguem:

ÇFlamotubulares (Fogotubulares): - são aquelas em que os gases quentes provenientes da combustão passam por dentro de tubos e a água por fora a ser aquecida ou vaporizada. São feitas para operar em pressões limitadas, uma vez que o vaso submetido a pressão é relativamente grande, o que inviabiliza o emprego de chapas de maiores espessuras.

ÇAquatubulares (Aquatubulares): são aquelas em que os gases quentes provenientes da combustão envolvem os tubos que possuem água em seu interior. Esse tipo de caldeira é de utilização mais ampla, uma vez que possui vasos pressurizados (tubulões) de menores dimensões relativas, o que viabiliza, econômica e tecnicamente, o emprego de maiores espessuras e, portanto, a operação com pressões mais elevadas.

ÇCaldeiras Mistas ã são aquelas em que a região da fornalha da caldeira é toda aquatubular e a região do balão é flamotubular. Este tipo de caldeira requer atenção especial em caso de presença de incrustações sobre os tubos de troca térmica, tendo em vista que seu desprendimento aumenta consideravelmente a probabilidade de migração destas cascas para os tubos aquatubulares causando a obstrução dos mesmos, fato que normalmente leva ao seu rompimento.

São utilizadas na indústria alimentícia, na indústria de bebidas, abatedouros, indústrias em geral, indústria de laticínios, lavanderias, etc.

3. CUIDADOS COM CALDEIRAS

Vários trabalhos (Manual Técnico NR 13 MTE Brasília, 2006; Ferreira, 2011; Godoy, 2009; Rodriguez, Esteves e Maciel, 2015 e Rothbarth, 2011) mostram os diversos cuidados necessários que se devem ter com as caldeiras, bem como os seus principais riscos e fatores interligados às causas mais comuns de acidentes com caldeiras. Dessa forma, os acidentes com as caldeiras podem resultar de diversos fatores, várias são estão relacionados com o tipo construtivo e o combustível utilizado, algumas caldeiras podem parecer inofensivas a primeira vista, porém diversas são as causas que podemos relacionar como iniciadora dos acidentes.

3.1. Acidentes a Partir da Forma Construtiva

As causas desse tipo de acidente geralmente estão associadas a falhas no projeto, empresas não especializadas, não habilitadas, sem profissionais habilitados, sem equipamentos e conhecimentos necessários para este tipo de serviço fabricam caldeiras sem seguirem normas e materiais adequados caindo em muitos erros que chegam a provocar esses acidentes.

3.2. Acidentes Causados Pelo Combustível

Nas caldeiras a combustíveis líquidos e gasosos os acidentes em que estão presentes os gases emanados pelos combustíveis são geralmente os mais frequentes.

Tais ocorrências decorrem quase sempre de falha humana, do tipo operador de caldeira que liga e desliga o equipamento em processo manual, sem deixar que o equipamento faça o processo de purga da câmara de combustão.

Nas caldeiras manuais e a combustível sólido a falha humana também persiste, uma vez que quase sempre os operadores por comodidade colocam excesso de biomassa e não atentam para os níveis de água na garrafa de nível.

Nas caldeiras a combustíveis sólidos automatizadas, podem ocorrer falhas eletro-mecânicas em decorrência do pressostato que, ao atingir determinada pressão deve desligar o exaustor cessando a aspiração artificial dos gases quentes da combustão para a chaminé, controlando assim a temperatura e a pressão no interior da caldeira. Quando isso não acontece, o exaustor fica ligado direto aspirando os gases quentes provenientes da queima do combustível aumentando a pressão e temperatura da caldeira fazendo com que as válvulas de segurança sejam acionadas constantemente.

3.3. Falhas Decorrentes de Falta de Tratamento de Água nas Caldeiras

Silva *et al.* (2008) em seus estudos, afirma que a ausência ou um mau tratamento de água, que acabam por gerar depósitos (incrustações) nas chapas e tubos, podem impedir uma melhor troca térmica e um melhor resfriamento dos materiais componentes da caldeira, sejam eles (tubos ou chapa), provocando redução da resistência do material, determinando assim sua fadiga já que o material tende a passar do estado elástico para o estado plástico.

Silva *et al.* (2008), afirma ainda que a falta de tratamento de água nas caldeiras causa corrosão interna das placas e pode causar explosão ou falhas de magnitude nesse equipamento, baixos níveis de água também contribuem por muitos casos de explosões.

3.4. Falhas Decorrentes do Comportamento Humano

Toda caldeira deve seguir um roteiro seguro para ser colocada em operação e quando houver necessidade de manutenção. Durante o procedimento de acendimento e elevação da temperatura e pressão da caldeira, devem ser seguidos. esses roteiros. A não observância da curva de aquecimento e de resfriamento da caldeira, a realização de teste hidrostático de maneira improvisada, sem executar qualquer preparo no equipamento tais como plugar orifícios, sem retirar válvulas, pressostatos, sem realizar qualquer preparo no equipamento, etc., podem provocar sérios danos a caldeira levando-a em muitos casos a uma manutenção corretiva e parada por vários dias.

3.5. Falhas a Partir de Procedimentos Econômicos

Reparos inadequados (solda em espelhos), substituição de material por motivos econômicos, outros como redução de espessura de chapas, utilizadas nos equipamentos e outros materiais.

Adaptação ou colocação de pré-fornalha em caldeiras a combustíveis líquidos ou gasosos para queima de combustíveis sólidos, feitas por empresas ou profissionais sem conhecimento das normas e padrões exigidos.

3.6. Falta de Manutenção Geral nas Caldeiras

Mau dimensionamento dos dispositivos de segurança, falta de manutenção nos sistemas de alimentação de água, defeitos das válvulas de segurança e alívio de pressão, tudo isso tem causado muitas explosões nas caldeiras.

Geralmente, os riscos que ocorrem em caldeiras estão relacionados à falta de manutenção e à operação do sistema. É dever do profissional habilitado e da empresa fabricante da caldeira seguirem as normas de fabricação específicas da construção das caldeiras e os operadores deverão seguir os manuais do fabricante no quesito operação.

Os procedimentos básicos e normativas de segurança para caldeiras encontramos na NR 13, mas ela não nos dá as diretrizes gerais dos procedimentos da geração de vapor, não atentando para os riscos que podem ocorrer durante esses procedimentos.

São previstas inspeções anuais ou bianuais dependendo da classificação da caldeira e do sistema de manutenção onde a mesma está instalada, documentação necessária, projeto da casa de caldeira e layout atendendo a regulamentação do Ministério do Trabalho e Emprego.

A NR 13 em si não trata da manutenção e operação da caldeira, não chamando atenção para os riscos a que as mesmas e os operadores estão submetidos.

Órgãos internacionais como o Instituto Americano do Petróleo e API chamam a atenção para que sejam feitas análises referente às inspeções periódicas. Caldeiras bem cuidadas podem operar e durar décadas, mas os riscos vão se multiplicando com o passar dos anos de operação, e há casos em que às vezes é necessária uma reforma geral ou em parte da caldeira para que esta se mantenha em operação e não ofereça riscos para os seus operadores e usuários.

A ocorrência de falhas aumenta e muito pela falta de manutenção necessária ao longo de sua operação. Devem ser avaliadas as condições variáveis e condições fixas. As condições fixas têm a ver com a estrutura da caldeira considerando seu projeto original e as condições variáveis são aquelas que dependem da forma como a caldeira foi operada e mantida ao longo do tempo.

Muitas das vezes o perigo nas caldeiras já começa pelo acendimento. Nas caldeiras a combustível sólido é imprescindível seguir a curva de aquecimento e de resfriamento. A falta de atenção a esse fator tem causado muitos danos a estrutura das mesmas, fenômeno conhecido de *ócracking* por *stress*. Variações bruscas de carga na caldeira também ocasionam esses problemas, são dilatações que provocam fissuras nas chapas e nos tubos tornando-os frágeis e que podem levá-los ao rompimento e parada total do equipamento. Outro problema que muitas das vezes é deixado de lado é o tratamento da água. A falta de tratamento ou um mau tratamento compromete por demais a caldeira provocando incrustações, corrosão interna ou mesmo o superaquecimento das tubulações.

4. DIAGRAMA DE PARETO

O diagrama de Pareto é uma das sete ferramentas da qualidade, que foi criada pelo economista e sociólogo Italiano, nascido em Paris, Vilfredo Pareto, e que tem por objetivo através de um gráfico identificar e priorizar os principais problemas que afetam um determinado processo e consequentemente um produto. Ele é composto por um diagrama com barras verticais paralelas que é organizado por frequência de ocorrência das ações em ordem decrescente.

Campos *et al.* (2004) afirma que a análise através do diagrama de Pareto decompõe e particiona um determinado problema grande em problemas menores, facilitando a priorização das ações a serem tomadas estabelecendo metas concretas e atingíveis. O diagrama de Pareto tem por objetivo separar os problemas ocorridos em duas classes de causas *Poucas Vitais e Muitas Triviais*, ou seja, significa dizer que um determinado problema pode possuir várias causas, mas apenas algumas dessas causas podem realmente causar um verdadeiro impacto ou grande perda de produção.

Campos *et al.* (2004) afirma ainda que para estas causas mais relevantes, devem ser estabelecidos alguns itens de verificação, para se conseguir monitorar o índice de controle. Para tanto, o controle de processo consta de três opções fundamentais: (1) estabelecer a diretriz de controle e planejamento da qualidade; (2) manter o nível de controle e manutenção dos padrões e; (3) alterar a diretriz de controle e melhoria dos padrões.

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) foi criado em 1949 por militares americanos e tem por objetivo identificar as causas fundamentais de um determinado problema, aumentando assim a confiabilidade de um determinado produto ao longo de um processo ou até mesmo antes que esse processo seja iniciado. Esta ferramenta busca analisar as falhas e as suas possíveis consequências, sendo possível então determinar ações corretivas para eliminar ou reduzir a probabilidade de um determinado processo falhar ou produto sair das especificações antes que os mesmos cheguem ao cliente ou consumidor final.

Para Capaldo *et al.* (1999), a FMEA é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e de propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo. O objetivo básico desta técnica é detectar possível falha antes que se produza uma peça e/ou produto, (voltando-se para a

área de produção) e, com sua utilização, diminuir as chances do processo ou produto falhar, ou seja, busca aumentar sua confiabilidade.

Palady *et al.* (1997), em seus estudos afirma que a FMEA torna-se uma ferramenta importante para o prognóstico de problemas, através de um procedimento para a execução e desenvolvimento de projetos, processos ou serviços (novos ou revisados), contribuindo para a elaboração destes e que prevenir problemas de processo utilizando uma ação de projeto, em alguns casos, pode ser a estratégia mais eficiente e eficaz.

A metodologia utilizada para se chegar aos principais quesitos responsáveis pelos acidentes com caldeiras é dada pela união dessas duas ferramentas da qualidade acima citadas, onde primeiramente através do gráfico de pareto, chegaremos às principais causas de acidentes com caldeiras e posteriormente em posse desses dados utilizaremos o FMEA para chegarmos às consequências e possíveis ações corretivas a partir de um processo inicial.

5. RESULTADOS

Para se atingir o objetivo deste trabalho foram analisadas duas situações:

- Primeiro: estudo realizado em vinte caldeiras do estado do Piauí, verificando as documentações em relação a projeto de instalação, projeto de alteração, treinamento de operadores, prontuário de fabricação, registro de segurança e relatório de inspeção, onde foi possível identificar as principais falhas quanto a legalização da utilização das caldeiras a começar por requisitos básicos. E posteriormente plotando no diagrama de Pareto para se chegar a priorização de ações junto ao FMEA;
- Segundo: foi realizado um levantamento dos principais acidentes ocorridos no mundo nos últimos anos e dessa forma foi possível chegar a oito causas fundamentais que provavelmente culminaram nos mesmos, são eles: falta de manutenção, falta de água na caldeira, procedimentos operacionais, tratamento de água inadequado, procedimentos econômicos, excesso de combustível na caldeira, válvula de segurança mau regulada/emperrada e falhas na instrumentação. Dessa forma, através do diagrama de pareto, conseguimos também plotar no gráfico e chegar dentre esses problemas, qual foi o mais comum e com isso através da ferramenta FMEA chegar à algumas ações a serem tomadas.

Temos abaixo então a Tabela 1 e o Gráfico 1, onde chegamos à conclusão de que o principal problema dentre as caldeiras analisadas é a falta de treinamento dos operadores.

Tabela 1. Resultados do não atendimento aos procedimentos básicos para o funcionamento das caldeiras. Valores médios obtidos através da pesquisa em 20 caldeiras de empresas diferentes do Piauí.

SEQ.	TIPOS DE DEFEITOS	FREQUÊNCIA	ACUMULADO	PORCENTAGEM
1	OPERADORES SEM TREINAMENTO	18	24%	24%
2	SEM PROJETO DE ALTERAÇÃO	15	44%	20%
3	SEM REGISTRO DE SEGURANÇA	14	63%	19%
4	SEM RELATÓRIO DE INSPEÇÃO	12	79%	16%
5	SEM PROJETO DE INSTALAÇÃO	8	89%	11%
6	SEM PRONTUÁRIO DE FABRICAÇÃO	8	100%	11%
TOTAL		75		

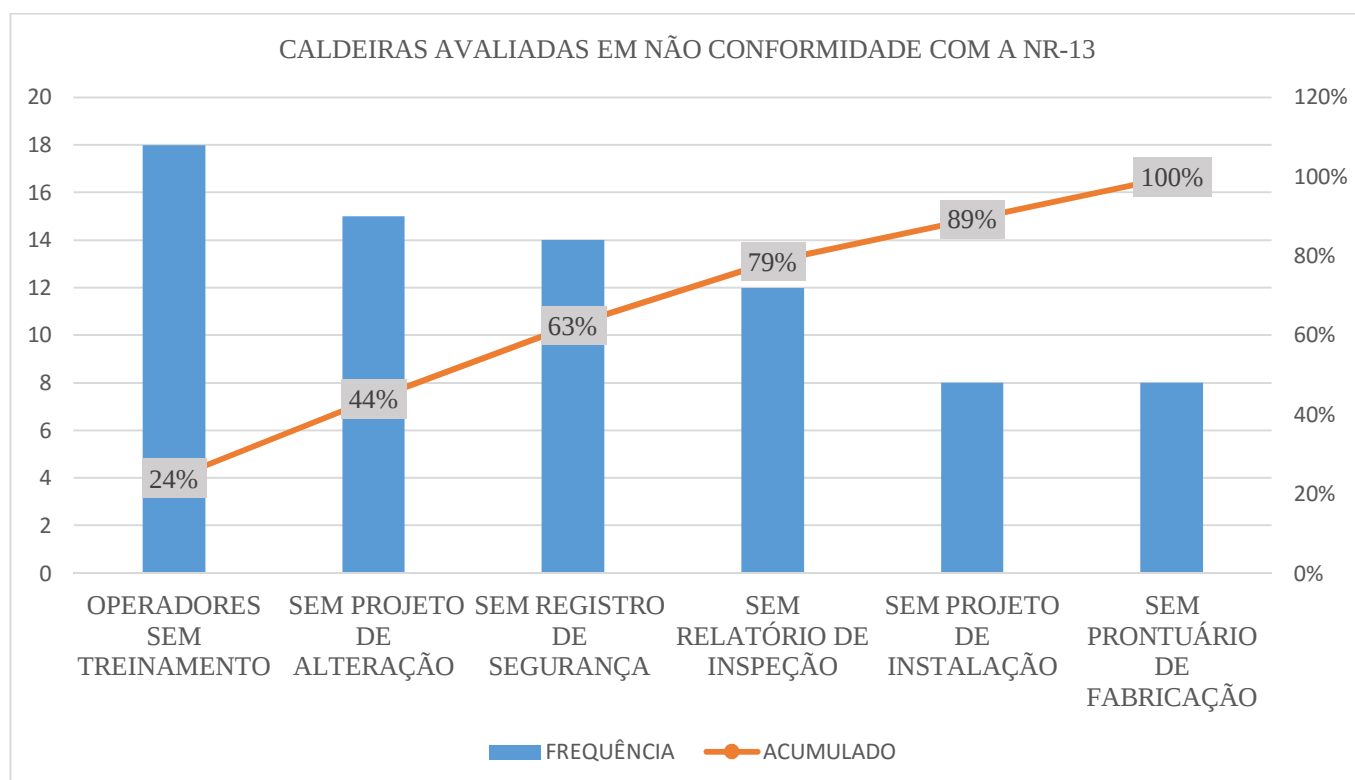


Gráfico 1. Análise comparativa através do gráfico de Pareto do não cumprimento dos atendimentos básicos dos procedimentos para o funcionamento das caldeiras das empresas analisadas.

Na Tabela 2 e no Gráfico 2 pode-se observar que a principal causa de acidentes em caldeiras analisadas foi devido à falta de manutenção.

Tabela 2. Resultados em valores decrescentes da influência dos defeitos como causas fundamentais para o aumento do índice de acidentes. Valores médios obtidos através da pesquisa em 20 caldeiras de empresas diferentes.

SEQ.	TIPOS DE DEFEITOS	FREQUÊNCIA	ACUMULADO	PORCENTAGEM
1	FALTA DE MANUTENÇÃO	18	16%	16%
2	TRATAMENTO DE ÁGUA INADEQUADO	16	30%	14%
3	EXCESSO DE COMBUSTÍVEL NA CALDEIRA	16	44%	14%
4	PROCEDIMENTOS ECONÔMICOS	16	58%	14%
5	PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	14	71%	12%
6	VÁL. DE SEG. MAL REGULADA/EMPERRADA	13	82%	12%
7	FALHAS NA INSTRUMENTAÇÃO	12	93%	11%
8	FALTA DE ÁGUA NA CALDEIRA	8	100%	7%
TOTAL		113		

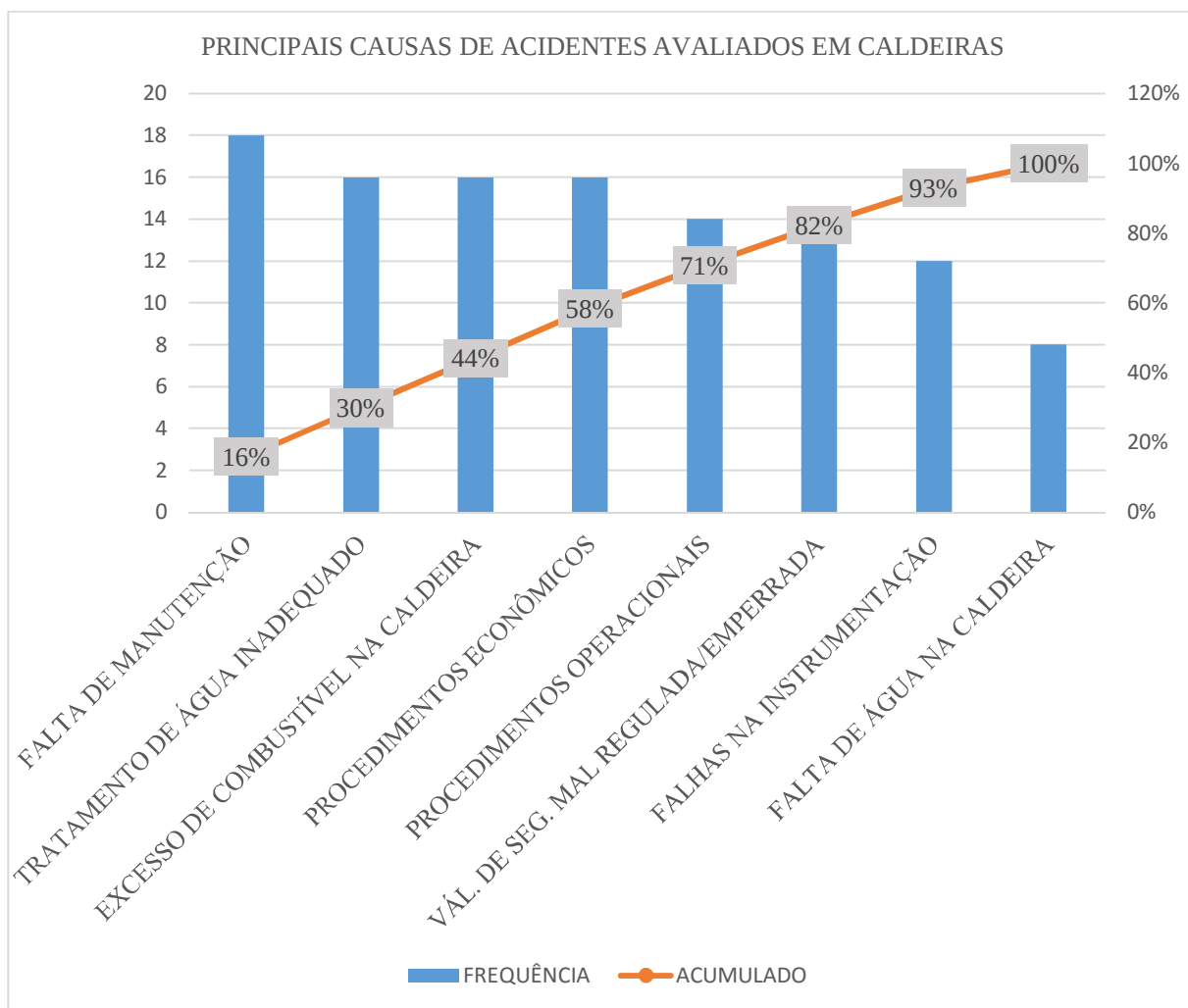


Gráfico 2. Análise comparativa através do gráfico de Pareto das principais causas de acidentes com caldeiras.

Com essas duas conclusões, é notório que os principais acidentes em caldeiras estão relacionados a associação mútua da falta de manutenção e da falta de treinamento dos operadores. Com isso faremos a análise através do FMEA.

Infer-se, por conseguinte, que os principais problemas de acidentes em caldeiras são causados principalmente por dois fatores: Falta de treinamento dos operadores e falta de manutenção, sendo necessário atacar esses dois pontos para saná-los conforme mostra o Quadro 1, caminhando dessa forma para um índice de acidente zero.



Quadro 1. Modelo FMEA para os problemas de falta de treinamento e falta de manutenção

FUNÇÃO E REQUISITO DO PROCESSO (ETAPA)	FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL	S/G	CLASSE (ITEM AFETADO)	POTENCIAL FALHA	O	CONTROLE ATUAL DO PROCESSO	D	IND. GERAL	AÇÕES RECOMENDADAS
Alimentação de combustível sólido na fornalha.	Super aquecimento, desgaste da fornalha, desgaste nas chapas e tubos da fornalha da caldeira.	Super aquecimento, trincas e empenamentos das chapas, vazamentos, abrasão nas chapas e tubos da fornalha e caldeira.	9	Chapas, fornalha, tubos e chaminé da caldeira	Material de construção da caldeira não conforme, dosagem inadequada de combustível, falta de treinamento do operador.	6	Deteção de falha no controle de alimentação de combustível manual e automático.	1	54	Treinamento do operador, controle da quantidade de combustível colocado na caldeira.
Saída de gases da chaminé proveniente da queima de combustível sólido.	Excesso de fuligem nos tubos e na chaminé da caldeira. Falha no pressostato (não atuar), válvula de seg. emperrar	Entupimento da chaminé, entupimento dos tubos, agressão ao meio ambiente, problemas respiratórios, explosão, falha no sistema de exaustão	8	Entorno da casa de caldeira, meio ambiente, vizinhança.	Falta de controle na dosagem de combustível adicionada a fornalha da caldeira.	5	Deteção de falha na dosagem de combustível, uso de aparelhos como multigás. Manutenção preventiva	1	40	Treinamento do operador, revisão dos métodos de processo, manutenção preventiva, manutenção autônoma

Legenda:

NPR = S x O x D, onde: S/G ã Severidade/Gravidade; O ã Ocorrência; D ã Deteção.



**21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ**

6. CONCLUSÕES

- A pesquisa em campo de vinte caldeiras do Estado do Piauí através de suas documentações nos permitiu identificar que em relação a projeto de instalação, projeto de alteração, treinamento de operadores, prontuário de fabricação, registro de segurança e relatório de inspeção, foram as principais falhas quanto a legalização da utilização das caldeiras a começar por requisitos básicos;
- A falta de água na caldeira, procedimentos operacionais inadequados, tratamento de água inadequado, excesso de combustível na caldeira, válvula de segurança mau regulada/emperrada e falhas na instrumentação são fatores que certamente causam a falha e situações inseguras nesses equipamentos;
- Os principais problemas de acidentes em caldeiras são causados principalmente por dois fatores: Falta de treinamento dos operadores e falta de manutenção;
- O estudo mostrou que a FMEA é uma ferramenta de suma importância na prevenção de falhas futuras e tomada de decisões no sentido de promover um plano de manutenção adequado para caldeiras.

7. REFERÊNCIAS

- Alfatini, C.R., 2002, *Curso de Engenharia Mecânica - Disciplina de Máquinas Térmicas - Universidade de Caxias do Sul*, Apostila sobre Caldeiras, Caxias do Sul, Brasil, 36 p.
- Campos, V. F., 2004, *OTQC - Controle da Qualidade Total, no estilo japonês*, 8ª ed., Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviço Ltda., Minas Gerais, Brasil, 256 p.
- Bizzo, W. A., 2003, *EM 722 - Geração, Distribuição e Utilização de Vapor*, No 4 - UNICAMP, São Paulo, Brasil, 115 p.
- BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Secretaria de Segurança e Medicina do Trabalho. Portaria n. 3214, de 08 de junho de 1978. Norma Regulamentadora NR-13: Caldeiras e Vasos de Pressão. Disponível em <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF2695817E43/nr_13.p>. Acesso em 21/03/2016.
- Ferreira, A. C. P., 2011, *Apostila de Caldeiras Fogotubulares com queima de gás natural*, 12 p, São Paulo, Brasil.
- Godoy, J. G., 2009, *Apostila SENAC - Inspeções Internas*, São Paulo, Brasil, 115 p.
- Leite, N. R., Militão, R. de A., 2008, *Tipos e Aplicações de Caldeiras*, Disciplina de Fabricação e Montagem de Caldeiras e Trocadores de Calor - Artigo - Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, Brasil, 112 p. <https://lcsime.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf>. Acesso em 21/03/2016.
- Palady, P., 1997, *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas Antes que Ocorram*, Cap. 5, São Paulo: IMAM, Brasil, 28 p.
- Rodriguez, J. A. V., Esteves, M., Macie M., 2015, *Sistema de Intertravamento de Segurança em Processos Industriais*, Projeto de Conclusão de Curso, 27 p. - São Paulo, Brasil.
- Rothbarth, A., 2011, *Os Riscos Associados à Operação de Caldeiras*, Artigo Publicado no Portal Tratamento de Água, São Paulo, Brasil.
- Silva, J. O.M., 2008, *Tratamento Químico de Águas de Caldeira*, Minicursos CRQ-IV, São Paulo, Brasil, 74 p.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANÁLISE E INSPEÇÕES DE CALDEIRAS CATEGORIA B EM CONFORMIDADE COM NR-13

Edivaldo Feitosa Pereira Filho, edivaldofpf@gmail.com¹

Edivaldo Feitosa Pereira, edivaldofeitosa@hotmail.com²

Elson César Moraes, elsoncm@gmail.com³

¹Universidade Federal do Piauí, Campus Univer. Ministro Petrônio Portela, s/nº Ininga, Teresina-PI, 64049-550.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Av. Presidente Jânio Quadros, 330, Santa Isabel, Teresina-PI, 64053-390 .

³Universidade Federal do Maranhão, Avenida dos Portugueses, 1966º Bacanga, São Luís -MA, 65080-805.

Abstract. *In recent years Brazil has experienced a high number of accidents, especially regarding operations in industrial sectors, among these sectors process steam generation requires special attention in the operation of boilers aimed at raising safety and efficiency, prevent accidents and preserve the good operating conditions of such equipment. This paper presents a practical analysis of the main problems occurring in boilers to biomass. For this, we analyzed several boilers category B in the state of Piauí using biomass as an energy source. The results obtained through analysis and inspections on various equipment allowed us to draw some parameters needed to prevent accidents and improve performance of boilers, following the requirements of the market and Brazilian Standard NR13.*

Keywords: *Boiler, Steam, Inspection, Security*