

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

JÉSSICA CÉSAR CHAVES DA SILVA

VASOS DE PRESSÃO E NR-13

RIO DE JANEIRO

2014

JÉSSICA CÉSAR CHAVES DA SILVA

VASOS DE PRESSÃO E NR-13

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador (a): Nélio Fernandes Pereira

RIO DE JANEIRO

2014

JÉSSICA CÉSAR CHAVES DA SILVA

VASOS DE PRESSÃO E NR-13

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador:

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho aos meus pais Jacquilene e Nilton, ao meu irmão, Andrews, ao meu namorado, Leandro; e a todos os responsáveis que fizeram desta conquista uma realidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus;

Aos meus pais; meu irmão; ao meu namorado, Leandro, meu porto seguro; aos meus amigos feitos no decorrer do curso e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida;

Ao meu orientador Nélio Fernandes.

EPÍGRAFE

"Sim vai ser difícil, mas o tempo passa rápido. Vamos nos reencontrar. Eu sei. Eu sinto."

John Tyree

RESUMO

Caldeiras e Vasos de Pressão são equipamentos muito importantes para o funcionamento de diversos setores. Ao mesmo tempo, a operação desses equipamentos torna a atividade de alto risco e normalmente muito danosa às pessoas e ao meio ambiente quando estes equipamentos não apresentam a devida segurança. A NR-13 tem por objetivo estabelecer normas para a operação desses equipamentos de forma a prevenir a ocorrência de acidentes de trabalho.

Palavras-chave: vasos de pressão; caldeiras; NR-13; segurança; operação.

ABSTRACT

Boilers and Pressure Vessels are very important for the operation of various equipment sectors. At the same time, the operation of such equipment makes the high-risk activity and usually very harmful to people and the environment when these devices do not have the proper security. The NR-13 is to establish standards for the operation of these devices in order to prevent the occurrence of accidents.

Keywords: pressure vessels; boilers; NR-13; security; operation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Vaso de Pressão	12
Figura 2: Vaso de Pressão esférico	13
Figura 3: Caldeira de Stephen Wilcox.....	14
Figura 4: Caldeira de Alan Stirling	14
Figura 5: Caldeira Flamotubular.....	15
Figura 6: Arranjos comuns das caldeiras aquatubulares	16
Figura 7: Fábrica Brockton antes da explosão.....	18
Figura 8: Fábrica Brockton depois da explosão	19
Figura 9: Classificação dos fluidos, de acordo com a NR-13	22
Figura 10: Categorização dos vasos de pressão, de acordo com a NR-13	22
Figura 11: Exemplo de identificação de caldeira	24
Figura 12: Válvula de segurança operando em caldeira.....	26
Figura 13: Caldeira a vapor com Indicador de nível	28
Figura 14: Número dos acidentes com equipamentos pressurizados	30
Figura 15: Causa dos acidentes com caldeiras	30
Figura 16: Refinaria Exxon Mobil, antes da explosão	31
Figura 17: Exxon Mobil, depois da explosão	32
Figura 18: Número Refinaria Sonatrach Skikda, antes da explosão.....	33
Figura 19: Refinaria Sonatrach Skikda, após a explosão da caldeira.....	34
Figura 20: Refinaria Sonatrach Skikda, após da explosão	34
Figura 21: Refinaria Reduc após a explosão em caldeira.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 VASOS DE PRESSÃO	12
3 CALDEIRAS	14
2.1 Caldeiras Flamotubulares	15
2.2 Caldeiras Aquatubulares	16
4 EQUIPAMENTOS PRESSURIZADOS E A NECESSIDADE DE UMA LEGISLAÇÃO	18
5 NR-13	21
6 DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA	25
6.1 Aliviadores de pressão	26
6.2 Indicadores de pressão	27
6.3 Injetores	27
7 ACIDENTES	29
7.1 Explosão da Caldeira de Exxon Mobil (2010)	31
7.2 Explosão da Caldeira de Skikda (2004)	32
7.3 Explosão da Caldeira de CO na Reduc (1990)	35
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Seja numa indústria de processo ou até mesmo numa instituição hospitalar, caldeiras e vasos de pressão se tornam equipamentos indispensáveis para o funcionamento de diversas áreas. Nos dias de hoje, é muito comum ver esses equipamentos trabalharem de forma contínua para o suprimento das atividades a que se destinam.

Os vasos de pressão constituem não só equipamentos mais importantes das indústrias de processo, como também são geralmente os itens de maior tamanho, peso e custo unitário nessas indústrias, representando em média 60% do custo total dos materiais e equipamentos de uma unidade de processo.

Por outro lado, a praticidade e a versatilidade da utilização das caldeiras tornaram o vapor d'água indispensável em diversos setores industriais. Essa preferência se justifica pelo alto poder calorífico que a água possui e pela ampla disponibilidade da mesma no meio industrial

Com a crescente demanda por equipamentos pressurizados, surge também uma elevação no número de acidentes de trabalho envolvendo tais equipamentos. Na maioria dos casos, os acidentes com caldeiras e vasos de pressão geram vítimas fatais, paralisação das atividades, custo com indenizações e reconstrução.

Apesar do grande crescimento das práticas relativas à segurança no mundo e no Brasil, ainda podemos observar dificuldades para lidar com o assunto. Estudos apontam que quase na totalidade dos acidentes com caldeiras e vasos de pressão poderiam ser evitados se os proprietários tivessem observado as exigências mínimas legais, estabelecidas pela legislação. A obediência à legislação traz segurança do processo e a boa conservação dos equipamentos, garantindo-lhe longa vida útil.

O objetivo desse trabalho é apresentar esses equipamentos de grande risco operacional e tratar a norma que abrange tais equipamentos, Norma Técnica 13(NR-13), além de demonstrar a importância durante a sua operação.

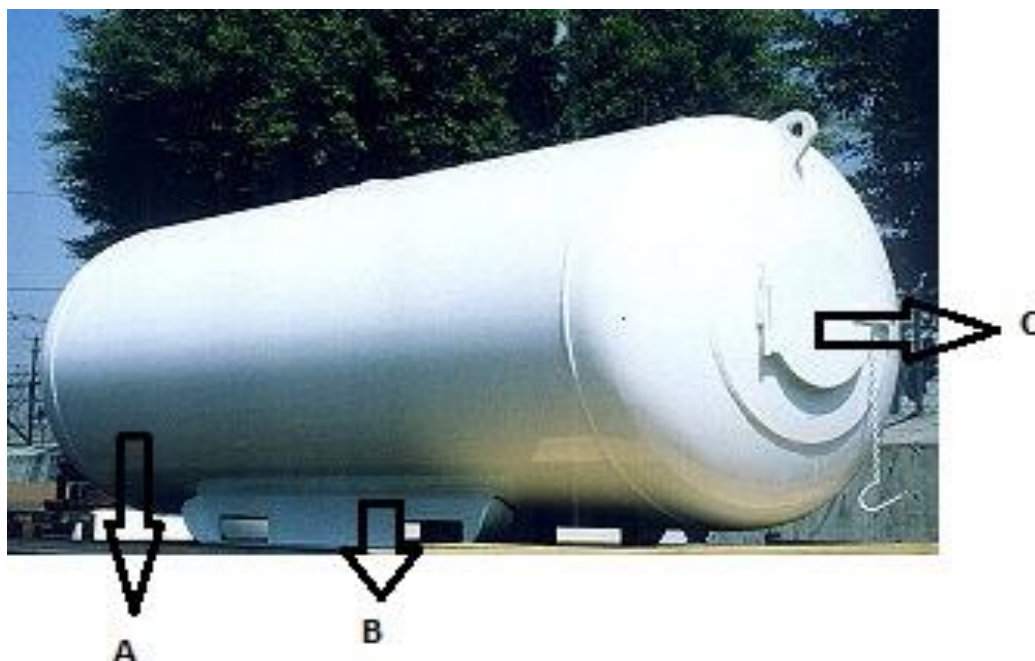
2 VASOS DE PRESSÃO

Entende-se vaso de pressão como sendo todos os reservatórios estanques com diferentes tipos de dimensões, formato ou finalidade, que contêm líquidos e gases pressurizados. Dessa forma, existe uma variedade de equipamentos que podem ser considerados um vaso de pressão, estendendo-se desde uma panela de pressão até um reator nuclear.

Dependendo da finalidade e do tipo, esses aparelhos podem receber, entre outras, as denominações de trocadores, refervedores, condensadores, resfriadores, aquecedores, etc.

A figura 1 mostra um vaso de pressão na horizontal, onde podemos observar o casco ou costado (A), constitui o elemento do vaso que contém o fluido pressurizado; o apoio metálico, conhecido como berço, com base de concreto no chão (B), parte do vaso não submetida à pressão; e uma boca de visita (C) para permitir o acesso ao seu interior e a manutenção preventiva.

Figura 1 – Vaso de pressão



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Os vasos de pressão são utilizados em três diferentes situações:

- Armazenagem de gases sob pressão: aumentando a pressão do gás nos vasos, permite-se o transporte de grandes pesos desses gases ocupando um volume relativamente pequeno;
- Acumulação intermediária de líquidos e gases: armazenamento de líquidos ou gases entre etapas de um mesmo processo ou de processos diversos;
- Processamento de gases e líquidos: transformação de líquidos ou gases que são realizados sob pressão.

Podemos classificar os vasos de pressão quanto a sua posição de instalação: vertical, horizontal ou inclinados. A posição do vaso dependerá da finalidade que o equipamento se destina. Geralmente, os vasos verticais são destinados quando é necessária a ação da gravidade para o seu funcionamento. Já os horizontais são amplamente usados para trocadores de calor e vasos de acumulação.

Os vasos de pressão são ainda classificados como sujeitos ou não à chamas. Os que não são sujeitos a chama podem, em muitos casos, trabalhar em elevadas temperaturas.

A variedade de detalhes das peças em um vaso de pressão é muito grande e isso depende da sua finalidade. Seu casco tem geralmente uma das três formas básicas de uma superfície de revolução: esféricas, cilíndricas e cônicas.

Figura 2 - Vaso de pressão esférico



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

3 CALDEIRAS

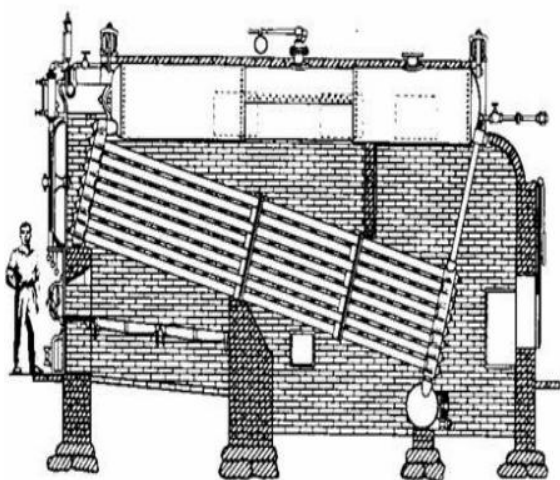
Caldeiras são equipamentos destinados a produzir vapor a partir do aquecimento de água, utilizando qualquer fonte de energia. Esses equipamentos são amplamente utilizados em indústrias e na área marítima cujo vapor é usado para alimentar máquinas térmicas, na cozinha de embarcações e em serpentinas para aquecimento de combustível a bordo.

As primeiras aplicações de caráter industrial de vapor surgiram por volta do século 17. Thomas Sarvery criou um sistema de bombeamento de água utilizando vapor como força motriz. Seu principal objetivo era máquinas substituir os inconvenientes apresentados pela queima do carvão fóssil.

Outro equipamento foi criado, em 1711, com a mesma finalidade. Newcomen desenvolveu a caldeira de Haycock que se tratava de um reservatório esférico, com aquecimento direto no fundo. Com o passar dos anos, as caldeiras foram tomando diversos formatos e foram motivos de grandes explosões devido a grande quantidade de vapor acumulada em seu fundo durante a sua operação.

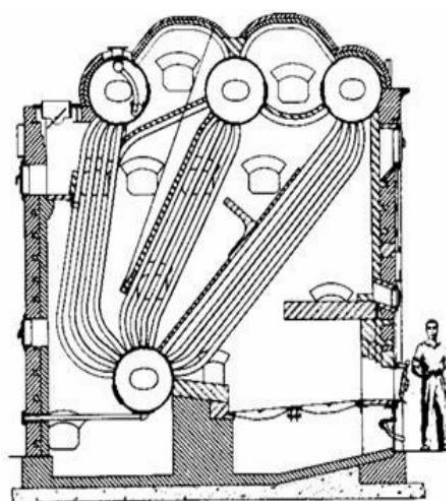
Em 1856, Stephen Wilcox projetou uma caldeira com tubos inclinados. O equipamento foi sucesso de venda na época. A concepção básica ainda usada hoje só foi desenvolvida em 1880, quando Alan Stirling desenvolveu a caldeira de tubos curvados.

Figura 3 – Caldeira de Stephen Wilcox



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Figura 4 – Caldeira de Alan Stirling



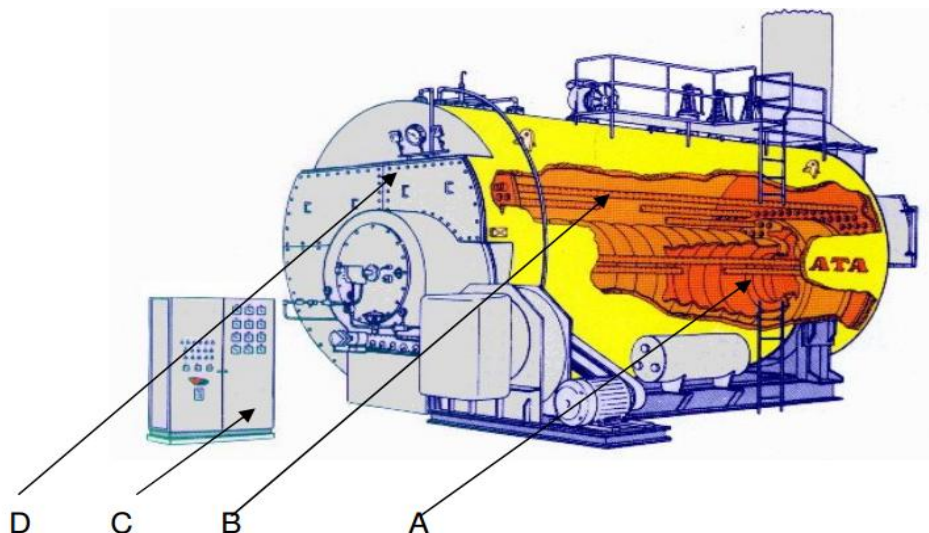
Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Existem diversos tipos de caldeiras com diferentes tipos de estruturas. As caldeiras podem ser classificadas, de uma maneira geral, em dois grupos: Caldeiras Flamotubular e Caldeiras Aquatubular.

3.1 Caldeira Flamotubular

As caldeiras flamotubulares surgiram no início da revolução industrial, denominadas tubos de fumaça ou caldeiras de tubo de fogo, são classificadas como manuais, ou seja, totalmente dependente do operador. Qualquer manobra incorreta do operador pode causar danos imprevisíveis.

Figura 5 – Caldeira Flamotubular



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

A figura 5 ilustra uma caldeira flamotubular. Os gases de combustão provenientes da combustão na fornalha (A) atravessam a caldeira e entram no interior de tubos (B) que estão circundados em água dentro de um casco (D). Esses gases quentes são responsáveis por ceder calor à água o que faz com que a mesma se vaporize, gerando vapor d'água. O controle da caldeira e as ações necessárias para a sua partida se encontram num painel de controle (C) composto de botoeiras e chaves.

Esse tipo de caldeira é o de construção mais simples, e pode ser classificada quanto à distribuição dos tubos, que podem ser horizontais ou verticais. Dentre as principais desvantagens das caldeiras flamotubulares, destacam-se:

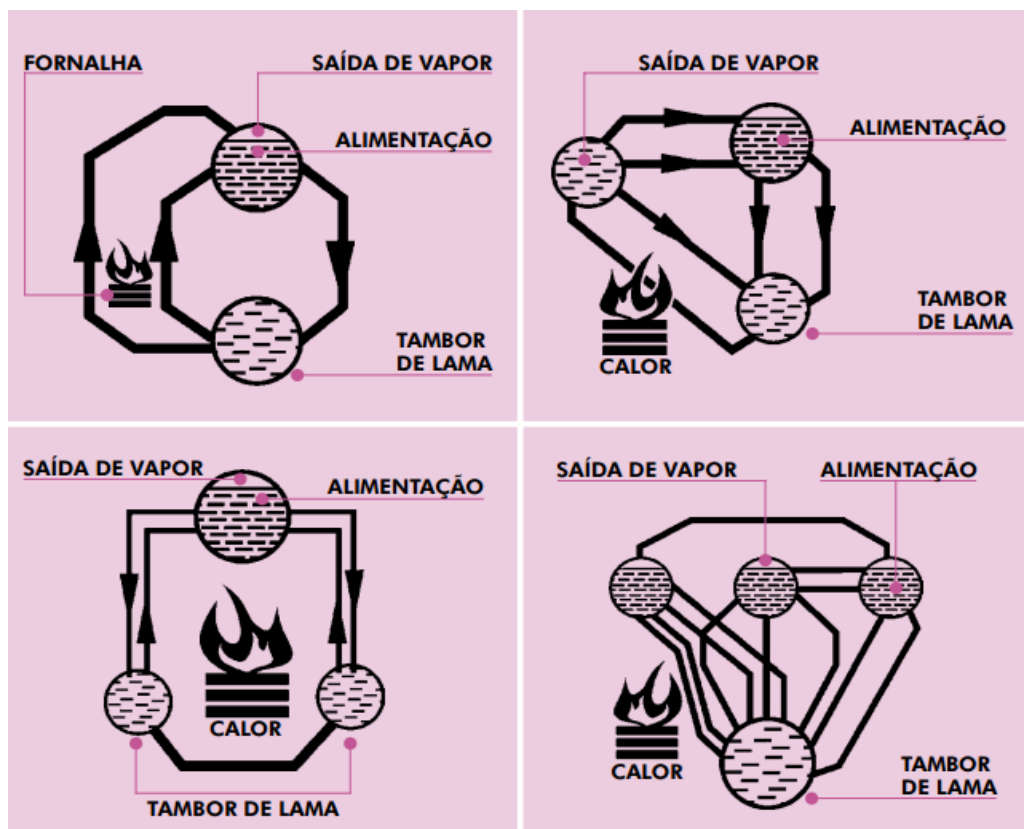
- Partida lenta, pois é preciso aquecer todo o volume de água dentro da caldeira;
- Circulação de água deficiente;
- Pressão limitada, devido à espessura da chapa dos corpos cilíndricos crescer com o diâmetro;
- Baixa capacidade e baixa taxa de produção de vapor.

Esse tipo de caldeira, de pequeno porte, ainda é bastante usada em pequenas indústrias, hotéis e restaurantes pelo seu baixo investimento e facilidade de manutenção.

3.2 Caldeira Aquatubular

As caldeiras aquatubulares surgiram no final do século XIX e são chamadas também como caldeiras de tubos de água ou de paredes de água. Esses tipos de caldeiras são mais comuns em se tratando de geração de energia elétrica em geral ou unidades termoeletricas.

Figura 6 – Arranjos comuns das caldeiras aquatubulares



A figura 6 apresenta esquemas dos fluxos de vapor e água em caldeiras aquatubulares. Nesse tipo de caldeira, a água a ser aquecida passa por dentro de tubos que são envolvidos pelos gases da combustão.

Os tubos são conectados por dois tubulões, superior e inferior, expostos à radiação da queima dos gases de combustão. Alguns trechos dos tubos recebem mais calor que outros devido ao seu encaminhamento no percurso entre os tubulões. A água circula nos tubos pela diferença entre a densidade da água no tubo mais aquecido e no tubo menos aquecido, além do próprio movimento ascendente do vapor. Essa circulação facilita a liberação do vapor e aumenta a eficiência da troca térmica dos tubos. O vapor saturado coletado pelo tubulão vai para a tubulação de saída e mais água é admitida para manter os tubos cheios e o nível de água no tubulão.

Uma das grandes vantagens da caldeira aquatubular em relação à caldeira flamatubular é o seu rendimento, rapidez e geração de grandes quantidades de vapor com níveis de pressão mais elevados. Além disso, as caldeiras aquatubulares são praticamente 100% automatizadas, não necessitando, portanto, do controle total do operador.

4 OS EQUIPAMENTOS PRESSURIZADOS E A NECESSIDADE DE UMA LEGISLAÇÃO

Todos os trabalhadores estão sujeitos a diversos acidentes em seu ambiente de trabalho. Os acidentes envolvendo caldeiras e vasos de pressão são frutos da frequência de falhas com a consequência associada. Caldeiras e vasos de pressão são equipamentos que suportam temperaturas e pressões diferentes das condições normais. Tais equipamentos requerem cuidados desde a sua construção até o seu transporte, manuseio e encerramento da sua vida útil.

Inúmeros acidentes ocorrem envolvendo caldeiras e vasos de pressão. Durante o século XIX, eram comuns os acidentes nos meios de transporte a vapor, devido o equipamento era bastante usado nas embarcações a vapor e nas locomotivas. O uso desses equipamentos já se tornava contínuo nas fábricas à medida que se percebia as vantagens do vapor como fluido transportador de calor.

Figura 7 – Fábrica Brockton antes da explosão



Em 1905, uma caldeira flamotubular de uma fábrica de sapatos Brockton em Massachusetts nos EUA (Estados Unidos da América) explodiu deixando 177 feridos e causou a morte de 58 funcionários

Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Figura 8 – Fábrica Brockton depois da explosão



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

A caldeira da fábrica era de operação 100% manual e necessitava, portanto, de um operador para executar todas as suas manobras. O acidente foi ocasionado devido à passagem de água líquida para a fornalha provocada pelo abastecimento da caldeira com água fria. A água foi vaporizada e se expandiu a um volume superior a 1600 vezes o normal que ocasionou a sua explosão.

A repercussão do acidente foi grande na época e os norte-americanos começaram a estudar meios que evitassem acidentes envolvendo equipamentos pressurizados. Em 1908 foi criado o Código ASME (American Society of Mechanical Engineers) por um grupo de engenheiros mecânicos dos Estados Unidos e se dedica especialmente aos equipamentos pressurizados.

O Código ASME, também conhecido como “ASME Boiler and Pressure Vessel Code”, teve exatamente a finalidade de unificar e consolidar as diversas normas existentes nas diversas regiões dos Estados Unidos. A divulgação das normas resultou de fato em uma drástica redução no número e gravidade dos acidentes, apesar do emprego cada vez mais generalizado dos equipamentos pressurizados, e em condições cada vez mais severas, como as próprias normas permitiam. Atualmente o seu conhecimento é extremamente importante para quem objetiva participar do comércio internacional.

Por essa época já existiam normas europeias tanto para caldeiras quanto para vasos de pressão. Dentre essas normas podemos destacar:

- Inglaterra, Norma 5500, publicada pela British Standards Institution. A Norma 5500 está em grande parte baseada nos critérios da norma internacional da ISO;
- Alemanha, A.D. Merkblatt, de uso legal obrigatório nesse país, é na realidade um conjunto de normas abrangendo cada uma um aspecto específico do projeto, exigências de materiais, fabricação e inspeção dos vasos de pressão;
- França, código SNCTTI (Syndicat National de La Chaudronnerie, Tôlerie e Tuyauterie Industrielle). Abrange os vasos de pressão, não sendo de uso legal obrigatório.

Em 1977, o Brasil começou as suas preocupações com a segurança no trabalho e, nesse mesmo ano, surgiram as NR (Normas Regulamentadoras). Essas normas visam regulamentar e orientar os procedimentos necessários relacionados à segurança e medicina do trabalho. Dentro das NR, encontra-se a que se enquadra às caldeiras e vasos de pressão, a NR13.

A NR-13 aplica-se a caldeiras e vasos de pressão em estabelecimentos públicos, como hospitais e restaurantes, em unidades industriais e em navios e plataformas de perfuração e exploração de petróleo, caso não exista regulamentação oficial específica. Empresas como a Petrobras possuem sua própria regulamentação. Entretanto, todas elas têm como referência a NR-13.

5 NR - 13

A NR-13 foi criada em 8 de junho de 1978 e estabelece os requisitos mínimos obrigatórios para instalação, operação, manutenção e inspeção de caldeiras e vasos sob pressão e suas interfaces, de modo a prevenir a ocorrência de acidentes de trabalho sofrendo diversas revisões até os dias atuais. Até 1984, a NR13 foi pouco aplicada e cobrada e, como resultado disso, nada mudou os índices de acidentes de vasos de pressão e caldeiras no Brasil. Ainda em 1984, foi redigida, republicada e passou a ser cobrada pelos departamentos regionais do trabalho.

Em 27 de dezembro de 1994, foi elaborada uma comissão composta por representantes de empresas, Governos e trabalhadores para melhoramento da NR. Dentre as medidas tomadas destacam-se:

1. Uma maior preocupação com os “Vasos de Pressão”;
2. Criação de um treinamento específico para os operadores de “Vasos de Pressão”;
3. Exigência de 8º série para os participantes dos cursos para operadores de Caldeiras e Vasos sob Pressão;
4. Delegação aos sindicatos o direito de receber uma copia dos relatórios de inspeções obrigatórias e o dever de fiscalizar as condições de segurança em que está submetido o trabalhador.

A NR vem sofrendo constantes alterações com objetivo de se adequar aos ambientes de trabalho as quais ela está compreendida. Essas mudanças refletem no bom funcionamento da máquina e na segurança do trabalhador. Como exemplo, podemos citar uma das mudanças realizadas em 2008 no que tange a flexibilização dos prazos entre paradas para inspeções em caldeiras. Essa mudança permitiu ganhos de produção, aumentando a sua eficiência, e uma maior segurança dos equipamentos.

A Norma é dividida em duas partes, onde a parte 1, item 13.1 até o item 13.5.14, se refere às caldeiras e a parte dois, item 13.6 em diante, se refere aos vasos de pressão. Dentre os principais assuntos abordados podemos citar os conceitos/definições, identificação do equipamento, documentação, dispositivos de segurança, manutenção e inspeção.

Conforme a NR, vasos de pressão são equipamentos que contenham fluidos sob pressão interna e externa. Em seu anexo IV, os vasos de pressão são classificados em categorias segundo o tipo de fluido, considerando sua temperatura, estado físico e toxicidade, e

segundo o potencial de risco. Este se refere ao produto do volume geométrico interno do vaso (P) e a pressão máxima de operação (P). Dessa forma, a classificação e a categorização dos fluidos podem ser observadas a seguir:

Figura 9 – Classificação dos fluidos, de acordo com a NR-13

Classes	Fluidos
Classe "A"	Fluidos inflamáveis; Combustível com temperatura superior ou igual a 200° C; Fluidos tóxicos com limite de tolerância igual ou inferior a 20 ppm; Hidrogênio; Acetileno.
Classe "B"	Fluidos combustíveis com temperatura inferior a 200° C; Fluidos tóxicos com limite de tolerância superior a 20 ppm.
Classe "C"	Vapor de água, gases asfixiantes simples ou ar comprimido.
Classe "D"	Água ou outros fluidos não enquadrados nas classes "A", "B" ou "C", com temperatura superior a 50°C.

Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Figura 10 – Categorização dos vasos de pressão (NR-13)

Classe dos fluidos	Grupo de Potencial de Risco				
	1 P.V ≥ 100	2 P.V < 100 P.V ≥ 30	3 P.V < 30 P.V ≥ 2,5	4 P.V < 2,5 P.V ≥ 1	5 P.V < 1
	Categorias				
"A"	I	I	II	III	III
"B"	I	II	III	IV	IV
"C"	I	II	III	IV	V
"D"	II	III	IV	V	V

Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Os vasos que trabalham sob a condição de vácuo se enquadram nas categorias “T” e “V”, os quais oferecem maiores e menores riscos, respectivamente.

Para efeito da NR, as caldeiras são classificadas por categorias conforme à pressão de operação. Caldeiras cuja pressão é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 Kgf/cm²) são classificadas na categoria A. As de categoria C tem uma pressão de operação igual ou inferior a 588kPa (5.99 Kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros. As que não se enquadram nessas categorias são classificadas na categoria B.

Considerados equipamentos de grande periculosidade, a operação dos vasos de pressão e caldeiras envolve cuidados especiais e conhecimento de normas e materiais adequados para a aplicação. Qualquer tipo de falha durante a operação poderá causar em um acidente grave ou mesmo em um desastre catastrófico. Desta maneira, todo profissional deverá estar ciente dos perigos, estar bem preparado e bem capacitado para trabalhar com esses equipamentos. A implantação e o gerenciamento dos vasos de pressão são de responsabilidade dos proprietários e profissionais habilitados, que conforme a NR13, 13.1.2, é:

“Aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento de operação e manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras e vasos de pressão, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no País.”

As caldeiras e vasos de pressão devem possuir placas de identificação visíveis que possam informar aos usuários dados importantes como fabricante, número de identificação, ano de fabricação, pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) e pressão de teste hidrostático. Além disso, devem constar em local visível a identificação do vaso e sua respectiva categoria que deverão ser pintadas em locais. Essas identificações têm por objetivo facilitar a operação da caldeira e ações a serem tomadas em caso de incêndios ou vazamentos por equipes externas.

Figura 11 – Identificação de caldeira



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Toda a caldeira e vaso de pressão deverão ter documentos necessários nos locais que estão instalados. Dentre os documentos, exigidos pela NR-13, podemos citar: Prontuário fornecido pelo fabricante, Registro de Segurança e Relatórios de Inspeção. O prontuário consiste num documento composto por desenhos e especificações técnicas, código de projeto e ano de edição entre outras características do equipamento que está trabalhando. Se o proprietário não possuir as documentações exigidas, elas deverão ser reconstituídas.

6 EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA

As normas técnicas explicitam os trabalhos relacionados com a fabricação e projeto dos equipamentos pressurizados. A vida útil do equipamento deve ser respeitada em consideração com as condições de riscos de acidentes. Ao longo do seu tempo de operação, o material sofre diversas alterações em sua estrutura. À medida que os desgastes aumentam o risco de acidente também tende a aumentar. Recomendações de inspeção e manutenção fazem com que a segurança seja preservada. A atenção permanente com relação às medições dos parâmetros de trabalho do equipamento, como temperatura e pressão é de extrema importância para tomar medidas de correção e modificação a fim de um bom funcionamento do material e a segurança dos operadores envolvidos.

Dentre as possíveis causas responsáveis de acidentes envolvendo equipamentos pressurizados, podemos destacar: a pressão máxima de trabalho acima da pressão máxima de trabalho permitida (PMTP), modificação na estrutura do material e superaquecimento e ocorrência de corrosão ou erosão do material;

De acordo com a NR-13, Pressão Máxima de Trabalho Permitida (PMTP) ou Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) é o maior valor de pressão compatível com o código de projeto, a resistência dos materiais utilizados, as dimensões do equipamento e seus parâmetros operacionais. A PMTA é o valor usualmente empregado para a pressão de abertura da válvula de segurança, um dos dispositivos de segurança e controle dos vasos de pressão e de caldeiras.

Os dispositivos de segurança são equipamentos que agem caso haja alguma falha durante o funcionamento da máquina. Esses dispositivos protegem o pessoal e os equipamentos sem o concurso do operador. A falta de qualquer dos dispositivos gera um risco grave iminente para a ocorrência de acidentes. Podemos considerar como dispositivos de segurança e controle das caldeiras e vasos de pressão os aliviadores de pressão, indicadores de pressão e sistema de suprimento de água em caldeiras.

6.1 Aliviadores de pressão

Todos os vasos e caldeiras, independente do seu tipo, dimensão ou finalidade, devem possuir dispositivos de alívio de pressão. Além das válvulas de segurança, os discos de ruptura, válvulas de quebra-vácuo e plugues fusíveis também podem ser usados como aliviadores de pressão. Todos esses dispositivos devem agir de modo a evitar um eventual aumento na pressão de trabalho.

O local de instalação das válvulas de segurança dependerá da caldeira que está trabalhando, já nos casos dos vasos de pressão, o local depende de onde a pressão está sendo gerada. Nos casos em que a pressão é gerada dentro do vaso, a válvula deve ser instalada diretamente a ele e, se a pressão for gerada fora, o dispositivo deve ser instalado em alguma tubulação ligada ao vaso. Segundo a norma regulamentadora, para este caso, deve haver um dispositivo que evite o bloqueio inadvertido.

Foto 12 – Válvula de segurança operando em caldeira



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Para efeito da NR-13, as válvulas de segurança deverão ser dimensionadas de forma que nenhum ponto no interior do equipamento ultrapasse o valor da pressão estabelecida pelo código de projeto. No Código ASME VIII, este valor é igual ou inferior à PMTA. A pressão de abertura da válvula deve ser periodicamente testada e, se necessário, ajustada. Todos os dispositivos devem estar em um local de fácil acesso para manutenção e inspeção.

6.2 Indicadores de pressão

Por tratarmos de equipamentos pressurizados, é imprescindível a instalação de indicadores de pressão nesses equipamentos. Tais instrumentos podem ser analógicos ou digitais e a instalação dos mesmos poderá ser feita no próprio vaso ou caldeira e em sala de controle apropriada.

Os indicadores de pressão não só indicam como também controlam a pressão nos vasos de pressão e em caldeiras como, por exemplo, os pressostatos. Os pressostatos atuam em conjunto com os queimadores para manter a pressão da caldeira em níveis usuais de operação.

Os manômetros e pressostatos devem estar devidamente calibrados para que não haja erros na leitura. Esses instrumentos devem ter a indicação extremamente visível, com escala também visível, e situar-se em local de fácil operação do observador.

6.3 Injetores

As caldeiras devem estar preparadas a operar em condições de máxima segurança e de modo a garantir pleno funcionamento do processo de combustão e geração de vapor. Os injetores têm a função de controlar o nível de água.

O suprimento do nível de água pode ser realizado manualmente. Neste caso, é importante que o operador saiba o nível exato de água que deverá ser introduzida no interior da caldeira. A falta ou a água em excesso pode resultar em acidentes ou até explosões. Para caldeiras de médio e grande porte, podemos encontrar reguladores pneumáticos e elétricos.

De acordo com a NR-13, constitui um risco grave e eminente à falta de um dispositivo de suprimento de água de uma caldeira. A norma também inclui nessa situação:

- Sistema de drenagem rápida de água, em caldeiras de recuperação de álcalis;
- Sistema de indicação para controle do nível de água ou outro sistema que evite o superaquecimento por alimentação deficiente.

Caldeiras de recuperação álcalis são usadas no processo para a fabricação de celulose. Tais equipamentos recuperam subprodutos e reagentes químicos para a fabricação de vapor,

para fins térmicos e/ou autoprodução de eletricidade. Diversas tecnologias são introduzidas nas caldeiras de recuperação para melhorar o seu desempenho e sua segurança.

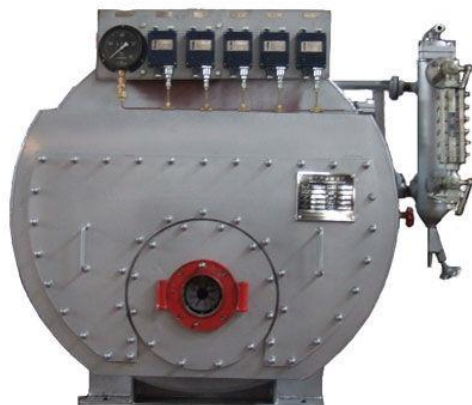
A maioria das causas de explosões nessas caldeiras são decorrentes da formação de vapor extremamente rápida quando a água e o smelt entram em contato. Smelt é a parte inorgânica do licor alimentado na caldeira que se fundi e escorre na fornalha. O sistema de drenagem rápida deve ser acionando quando existe suspeita no vazamento de água que possa alcançar o smelt.

Esse acionamento deve ser realizado imediatamente se houver alguma suspeita da mistura. Não há tempo de verificar a quantidade de água que está vazando, pois uma mínima mistura pode causar uma grande explosão. Muitas pessoas morrem procurando o vazamento ou decidindo se para a unidade ou espera um pouco.

Essa drenagem é uma medida de segurança e prevenção e submete a caldeira a solicitações térmicas e mecânicas consideráveis, devendo ser seguida de procedimentos adequados de inspeção antes da reentrada da unidade de operação. As fabricas que utilizam esse tipo de caldeira devem estar tecnicamente preparadas e organizadas para situações desse tipo.

O nível de água em uma caldeira é de fundamental importância para o seu correto funcionamento. Se as superfícies metálicas do equipamento estiverem em contato com o vapor e banhadas pela água, nenhum dano ocorre à caldeira. Se essas superfícies não estiverem nessa ocasião, estabelecem-se condições de ruptura ou, mesmo, de explosões devido ao superaquecimento da placa metálica.

Figura 13 – Indicador de nível em caldeira



Portanto, o medidor de nível é de fundamental importância para que o operador verifique o nível de água no tubulão de vapor. A indicação de nível mais comum utilizado em caldeira é o instrumento que se baseia no princípio dos vasos comunicantes.

7 ACIDENTES

Nas indústrias de processo, as caldeiras e vasos de pressão fazem parte do seu aparato tecnológico, sendo necessários para a produção de calor e pressão e sendo imprescindíveis nos processos de transformação primária, seja física ou química. Os referidos equipamentos geram condições de alta temperatura e pressão, elementos que por si podem gerar acidentes. Os riscos envolvendo esses equipamentos pressurizados são diversos, apesar dos recursos implantados e das melhorias no sistema de controle. A falta de atenção e importância ao atendimento aos preceitos de segurança podem elevar o grau de seriedade desses acidentes.

A segurança do trabalho nas indústrias brasileiras tem caminhado a passos lentos, apesar da Norma Técnica 13, necessita ainda ser aplicada pela maior parte das empresas do setor e melhor fiscalizada pelos órgãos e isto tem sido fator de risco para os operadores brasileiros.

No Brasil, não existe dados estatísticos da frequência de acidentes com caldeiras e vasos de pressão devido à inexistência de programas com esse objetivo nas instituições governamentais. Em grandes países, existem órgãos especializados a monitorar a segurança em tais equipamentos, como é o caso, por exemplo, do “National Board of Boiler Pressure Vessels Inspectors”, nos Estados Unidos.

O Quadro Nacional de Inspetores de Caldeiras e Vasos de Pressão acompanha a ocorrência de acidentes com caldeiras e vasos de pressão nos EUA, através de processos de relatórios que unifica as estatísticas de incidentes. Esse processo tem como objetivo criar um banco de dados para identificar e corrigir as causas de acidentes com caldeiras e vasos de pressão.

Na falta de estatísticas nacionais, podemos apresentar as estatísticas de acidentes com vasos de pressão e caldeiras, publicados pelo “National Board” referente a 2001 nos EUA.

A figura 14 representa o número de acidentes ocorridos nos EUA em 2001. Podemos observar que maior parte dos acidentes ocorreu com caldeiras de potência (existentes nas termo-elétricas e aquatubulares), as que são 100% automatizadas, resultando, portanto, de falhas humanas para a ocorrência desses acidentes. Os vasos de pressão possuem menor índice de acidentes, porém geraram um grande número de vítimas. Os acidentes envolvendo vasos de pressão nos últimos anos estão tendo uma leve queda, provavelmente devido à automação dos processos.

Figura 14 – Acidentes com equipamentos pressurizados EUA, 2001

ANO 2001 - Tipo do Equipamento	Acidentes	Feridos	Mortes
Caldeira de Potência	296	56	7
Caldeira a vapor para aquecimento	1091	0	1
Caldeira de água quente para aquecimento	631	10	0
Vasos de Pressão	201	18	4
Total :	2219	84	12

Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Na figura 15, podemos observar as causas dos acidentes com caldeira. O grande número de acidentes foi causado por erro do operador ou manutenção deficiente. Embora praticamente automatizadas, o homem falhou em algumas circunstâncias quando interviu na máquina.

Figura 15 – Causa dos acidentes com caldeiras



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Grandes erros, acidentes e explosões na história da engenharia envolvem caldeiras e vasos de pressão. Como exemplo desses acidentes, podemos citar as tragédias ocorridas na caldeira Exxon Mobil, na empresa petrolífera argelina Sonatrach Skikda e na explosão da caldeira na refinaria Reduc.

7.1 Explosão da Caldeira Exxon Mobil (2000)

A explosão da caldeira da Exxon Mobil, em Singapura 2000, é um dos acidentes mais conhecidos mundialmente, envolvendo explosão de câmara de combustão durante a operação de acendimento em caldeira.

A caldeira envolvida era uma caldeira aquatubular com economizador e superaquecedor. Os queimadores da caldeira possuíam um sistema de bicos que permitia a queima de oito diferentes tipos de combustível.

Figura 16 – Caldeira Exxon Mobil, antes da explosão



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Uma grande quantidade de GLP entrou para a câmara de combustão e resultou na explosão na hora da ignição. Na noite de 09 de dezembro, a caldeira estava queimando GLP e foi dada uma ordem para acender os queimadores com diesel. Duas tentativas sem sucesso foram realizadas por três operadores. Na segunda delas, a caldeira apagou e os operadores resolveram retomar ao modo de operação anterior, a queima do GLP. Durante o

reacendimento com GLP uma grande explosão ocorreu dentro da câmara de combustão da caldeira.

A grande explosão foi causada pelo alinhamento de válvulas que permitiu uma grande quantidade de GLP para dentro da câmara de combustão. O fechamento e a abertura das válvulas envolvidas no processo da troca de combustível não foi seguido corretamente pelos trabalhadores. Esse acidente resultou na morte de dois operadores por queimaduras graves.

Todos os trabalhadores envolvidos na operação em caldeiras devem seguir procedimentos operacionais seguros e receberem treinamento adequado de forma a assegurar condições seguras de operação. Os proprietários são responsáveis pelos treinamentos e devem assegurar a documentação necessária para evitar qualquer tipo de acidente.

Figura 17 – Caldeira Exxon Mobil, depois do acidente



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

7.2 Explosão da Caldeira de Skikda (2004)

Skikda é uma refinaria argelina com uma produção de 335 mil barris por dia. Em 19 de janeiro de 2004, a refinaria foi palco de uma das maiores explosões de caldeiras nesse ramo.

O acidente foi composto por duas explosões. As causas prováveis dessas explosões, segundo investigações, apontam que o grande causador foram incrustações presentes no interior dos tubos da caldeira, mal purgadas durante uma rotina de manutenção. Essas

incrustações não permitiram a troca térmica entre as paredes dos tubos e a água no interior dos tubos da caldeira.

O contato das incrustações que soltaram e o tubo aquecido em contato com a água levaram a elevação da temperatura e, conseqüentemente, da pressão no interior dos tubos. Essa sobrepressão rompeu um ou mais tubos no interior da câmara de combustão, causando o início da explosão. A fuligem, altamente explosiva, entrou em contato com a chama dos queimadores foi a causa da segunda explosão.

A explosão levou a três das seis instalações de liquefação e purificação de gás natural liquefeito GNL ser destruídos, dois que não estavam operando foram danificados. A oficina de manutenção, o prédio da administração junto com outros edifícios da empresa foram completamente destruídos. Além disso, a explosão levou ao desligamento de uma usina geradora de energia elétrica nas proximidades da refinaria.

Uma simples manutenção rotineira em caldeiras, sua purga, deixou 27 operadores mortos, 74 feridos e um prejuízo de US\$800 milhões para a empresa. A Argélia é um dos grandes exportadores de GNL do mundo. Pelo menos 25% da sua produção é para suprir o sul da Europa.

Não só pela NR-13, como também pelo código ASME, a manutenção é um dos requisitos mínimos a operação dos equipamentos pressurizados. A manutenção tem que ser realizada, fiscalizada e documentada.

Figura 18 – Refinaria Sonatrach Skikda, antes da explosão



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

Figura 19 – Refinaria Sonatrach Skikds, depois da explosão



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

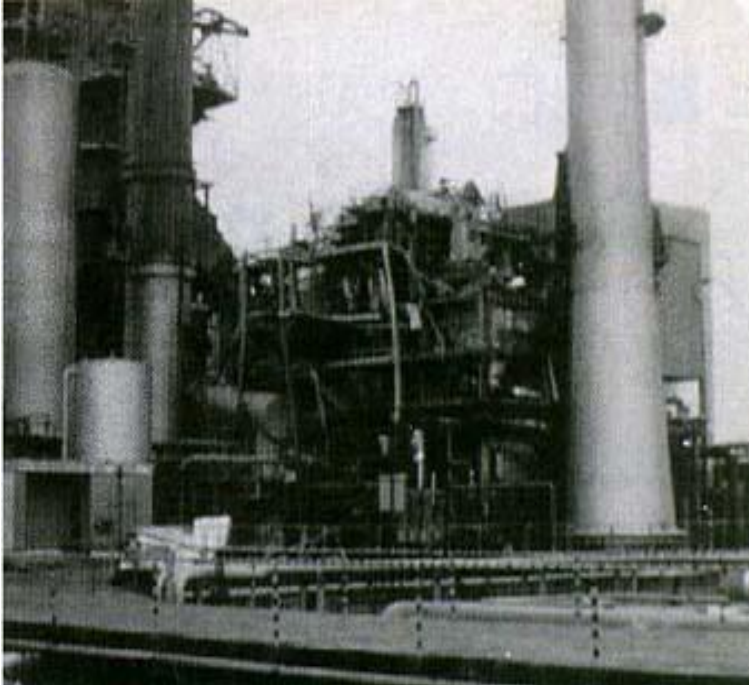
Figura 20 – Refinaria Sonatrach Skikds, depois da explosão



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

7.3 Explosão da Caldeira de CO na Reduc (1990)

Figura 21 – Refinaria Reduc após explosão em caldeira



A refinaria Reduc da Petrobrás é uma das mais completa e complexa refinaria de petróleo no Brasil. Instalada em Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, é distribuída por uma área de 13km² e comercializa 52 produtos, dentre eles, diesel, gasolina, GLP, nafta, querosene e parafinas.

Em 1990, a refinaria foi palco de uma explosão que levou a morte de três trabalhadores e oito feridos.

Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

A caldeira era localizada dentro da Unidade de Fracionamento e Craqueamento Catalítico e foi totalmente destruída. O acidente ocorreu durante o acendimento dos queimadores. A explosão também colocou em risco os Técnicos de Operação da Unidade, Técnicos de Segurança e os membros da brigada de incêndio que ficaram expostos ao monóxido de carbono durante a tentativa de apagar o incêndio. O monóxido de carbono é usado como combustível para a geração de vapor na caldeira.

A análise do acidente, na época, constatou que os principais motivos para a explosão foram: falhas na supervisão, não seguir os procedimentos padrão e operador não habilitado para trabalhar com caldeiras. Procedimentos expostos pela NR-13 que, sendo seguidos, evitam acidentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como intenção a apresentação dos principais pontos relativos às normas que regem os vasos de pressão e as caldeiras. Tais equipamentos são muito comuns nas atividades cotidianas de muitos trabalhadores atualmente e provocam acidentes que levam a vida de muitos operadores.

As introduções de novas formas de controle e as automações dos processos dos equipamentos pressurizados apresentaram uma melhoria no que tange a aplicação de procedimentos para a condução de tais equipamentos. A NR – 13 e outras normas vigentes no mundo provocaram uma mudança de melhoria que é uma questão de sobrevivência para todos.

Entretanto, apesar da preocupação da operação das caldeiras e vasos de pressão, ainda existem irregularidades relacionadas como a fiscalização da capacitação, treinamentos e a mão de obra qualificada para a condução; a falta de controle e disponibilização da documentação nos locais de funcionamento; e a fiscalização no que tange a manutenção preventiva e preditiva do equipamento.

Podemos concluir que é importante que as medidas propostas pela NR-13 sejam seguidas nos locais de funcionamento dos equipamentos pressurizados, para que os proprietários possam reafirmar a segurança dos operadores, podendo ainda dar continuidade à sua operação em condições adequadas, contribuindo para minimizar os fatores de ocorrência de acidentes envolvendo caldeiras e vasos de pressão, principalmente em grandes proporções.

REFERÊNCIAS

BAJAY, S. V.; BERNI, M. D.; GORLA, F. D. **Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria: setor papel e celulose**. Brasília: CNI, 2010. 86p.

BAZZO, E. **Geração de Vapor**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1995. 216p.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Caldeiras e Vasos de Pressão**. Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 - NR 13.

CAMPOS, M. A. **Estudo das Instalações e Operação de Caldeira e Vasos de Pressão de uma Instituição Hospitalar sob análise da NR 13**. 2011. 48f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2011.

CRUZ, C. A. O.; SILVA, G. M. A. **Caldeiras e Vasos de Pressão**. 2008. 57f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

NOGUEIRA, F. J. H.; NOGUEIRA, L. A. H.; ROCHA, C. R. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 196p.

NOVAES, M.S. **Operações de Caldeiras a vapor**. Rio de Janeiro: Manuais CNI, 1984.

PIRES, A. M. **A Vida Sob Pressão**. Revista Proteção, São Paulo, n.162, p.36-51, 2005.

SILVA, A.C. **Apostila de vasos de Pressão**. Petrobrás: Rio de Janeiro, 1984.

TELLES, P. C. S. **Vasos de Pressão**. 2. ed. Rio de Janeiro,RJ: LTC, 1996. 302p.