

TÍTULO: A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE CALDEIRAS NOS CURSOS DE ENGENHARIA

João Cirilo da Silva Neto

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Bloco M, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil. (34) 32394376.

jcirilos@mecanica.ufu.br (autor para correspondência)

Antônio Marcos Gonçalves de Lima

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Bloco M, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil. (34) 32394376.

amglima@mecanica.ufu.br

Evaldo Malaquias da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Bloco M, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil. (34) 32394376.

emalaqui@mecanica.ufu.br

Marcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Bloco M, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil. (34) 32394376.

mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo. Este trabalho apresenta um estudo sobre a importância do ensino de operação e manutenção de caldeiras nos cursos de engenharia. Sua finalidade principal é despertar para a necessidade de se ampliar o ensino desse conteúdo, pois acidentes decorrentes de operação e manutenção inadequadas, geralmente, provocam mortes e perda geral do equipamento.

Palavras-chave: Caldeiras, Manutenção, Operação, Ensino, Engenharia.

1. Introdução

Na linguagem técnica a caldeira é um gerador de vapor, ou seja, um aparelho para produção de vapor aquoso, geralmente à alta temperatura e pressão, com a finalidade de se obter energia mecânica ou térmica, ou para outros usos industriais. Para o Ministério do Trabalho (de acordo com a NR 13), órgão responsável pela fiscalização e inspeção desse equipamento, caldeira é equipamento destinado a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia.

De acordo com Pera (1972), gerador de vapor é um trocador de energia térmica (combustível), ar e fluido vaporizante, constituído por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível. Esta definição compreende todos os tipos de geradores de vapor, sejam os que vaporizam a água, mercúrio ou fluidos de alta temperatura como as mais simples unidades geradoras de vapor de água, comumente conhecidas por Caldeiras de Vapor.

A primeira caldeira que se tem notícia histórica é a que foi construída por Savery, em 1699; ela foi utilizada em uma tentativa para a retirada mecânica da água dos poços de uma mina inglesa. Porém as primeiras caldeiras de construção relativamente moderna, funcionando a pressões notavelmente superiores à pressão atmosférica, foram as de Watt, que também foi o primeiro a usar o manômetro e o indicador de nível à pressão de aproximadamente 3 atm.

Trevithick inventou a caldeira tipo Cornovaglia, nos primeiros anos do século XIX. Entre 1825 e 1830 foi inventada a caldeira com tubulações de vapor, que em seguida foi a única a ser empregada nas locomotivas a vapor. Em cada caso a caldeira possuía a forma de um corpo cilíndrico cheio de água e vapor, tendo ainda as fornalhas e as tubulações de fumaça.

As caldeiras, em caso de explosão, provocam danos enormes, e devido a isso, provavelmente nos Estados Unidos, foram construídas as primeiras caldeiras denominadas não explosivas. Isto não quer dizer que os tubos de pequeno diâmetro que as compunham, não explodiam; mas os danos geralmente eram menores que os provocados pela explosão de uma caldeira de grande volume de água.

As caldeiras modernas, após o aperfeiçoamento da tecnologia dos metais, e com a maior racionalização com que foi usado o calor produzido pelo combustível, produzem correntemente vapor a pressões superiores a 100 atm. Em alguns

casos excepcionais alcançou-se a pressão de 225 atm. A maior dificuldade para gerar vapor a alta temperatura e pressão reside em ter aços resistentes àquelas condições.

Realmente a temperaturas próximas de 500°C, se alcançam pressões na ordem de 100 atm ou mais; o aço que constitui a tubulação e o corpo do cilíndrico da caldeira sofre um princípio de escoamento viscoso, motivo pelo qual torna-se grave o perigo de um rompimento com danos incalculáveis. Com o desenvolvimento tecnológico conseguiu-se produzir ligas metálicas que nas condições descritas acima, de temperatura e pressão, resistem com absoluta segurança, Enciclopédia Tecnológica Planetarium (1976).

Apesar da qualidade das ligas metálicas empregadas na construção dos tubos utilizados nas caldeiras, ainda existem acidentes decorrentes de falhas na operação e manutenção desses equipamentos.

O objetivo deste trabalho é mostrar a necessidade de se ampliar o ensino de operação e manutenção de caldeiras nos cursos de engenharia para garantir maior segurança, economia de combustível e energia do processo. Além disso, sabe-se que acidentes com caldeiras, por causa de manutenção ou operação inadequadas, geralmente, provocam mortes e perda total dos equipamentos. Pesquisa feita nos Estados Unidos mostra que a maioria dos acidentes com caldeiras é conseqüência de erros de operação ou manutenção.

Apesar das tentativas para o levantamento da situação dos acidentes com caldeiras no Brasil, não foi possível fazê-lo, mas de acordo com a situação nos Estados Unidos pode-se imaginar que aqui também podem haver problemas nesse sentido. Normalmente, os acidentes são mostrados pela imprensa, mas sem muitos detalhes.

Será mostrado ainda que há a necessidade de se rever o programa dos cursos de engenharia relativos à operação e manutenção, visto que na maioria dos cursos pesquisados esses conteúdos aparecem apenas como um sub-item ou sub-unidade da disciplina Geradores de Vapor. Portanto, serão feitas ainda sugestões para modificar o enfoque dado aos conteúdos acima citados.

Esse artigo não pretende simplesmente transcrever a norma NBR-13, do Ministério do Trabalho e as normas NBR-12177-1 e NBR-12177-2 da ABNT, utilizadas para regulamentar a inspeção, operação e manutenção de caldeiras, mas mostrar os efeitos dramáticos de uma operação ou manutenção inadequadas.

2. Ensino de Operação e Manutenção de Caldeiras

2.1. Diretrizes Curriculares

De acordo com o Art. 1º das Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia do Ministério da Educação (1999), os Currículos dos Cursos de Engenharia deverão dar condições a seus egressos para adquirir um perfil profissional compreendendo uma sólida formação técnico científica e profissional geral que o capacite a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística em atendimento às demandas da sociedade.

O Art. 2º dessas diretrizes considera que os Currículos dos Cursos de Engenharia deverão dar condições a seus egressos para adquirir competências e habilidades para:

- a. aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;
- b. projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;
- c. conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;
- d. planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia;
- e. identificar, formular e resolver problemas de engenharia;
- f. desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;
- g. supervisionar a operação e a manutenção de sistemas;
- h. avaliar criticamente ordens de grandeza e significância de resultados numéricos;
- i. comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;
- j. atuar em equipes multidisciplinares;
- k. compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais;
- l. avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental;
- m. avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia.

Observando os artigos 1º e 2º das diretrizes pode notar que não são poucos esforços exigidos das universidades para garantir que o estudante adquira o máximo de conhecimento durante seu período de graduação. Neste contexto, nota-se que a manutenção e a operação devem ser valorizadas, visto que elas fazem parte das competências e habilidades exigidas dos alunos egressos.

Nesse trabalho será mostrado que há necessidade de se dar maior atenção à operação e manutenção de caldeiras não só pelo fato de maior economia de combustível, mas também por se tratar de um equipamento de segurança fiscalizado por uma legislação específica.

Nesse sentido, no Brasil a fiscalização das caldeiras está a cargo do Ministério do Trabalho, principalmente, a partir da NR 13. Para efeito desta Norma, no item 13.1.2., considera-se "Profissional Habilitado" 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.

Apesar do engenheiro ser o responsável pelas caldeiras, estudos mostram que o ensino de manutenção e operação das mesmas não é muito explorado nas universidades, pois os currículos dos cursos de engenharia, geralmente, dão muita ênfase a projetos, cálculos avançados e menos ênfase à manutenção e operação. Se a operação e manutenção não forem bem planejadas e executadas de acordo com as normas, nada adianta projetos e cálculos avançados. Isso é comprovado pela carga horária destinada ao ensino de geração de vapor, principalmente para manutenção e operação de caldeiras que normalmente é uma sub-unidade dessa disciplina, conforme citado. Maiores detalhes sobre este contexto estão colocados no item 2.7 (Carga Horária e Conteúdo Programático de Alunos Cursos).

As normas NBR-12177-1 e NBR-12177-2 da ABNT (1999) trás na sua extensão, entre outras recomendações, que toda caldeira deve possuir uma placa de identificação feita de material resistente e durável, trazendo gravadas, de maneira indelével, todas indicações que devem seguidas e observadas no tocante a operação e manutenção de caldeiras. Além disso, a NR-13, do Ministério do Trabalho regulamenta e inspeciona esses equipamentos através de legislação específica. Portanto, o ensino de operação e manutenção deve ser baseado nessas normas.

Nos cursos de engenharia, essas e outras recomendações devem ser amplamente debatidas e difundidas para estimular o interesse pelo o tema. A simples exposição do assunto pode não despertar interesse dos alunos, que podem pensar que a simples consulta às normas em caso de necessidade resolveria o problema. Deve-se deixar bem claro aos alunos que em se tratando da operação e manutenção de caldeiras, às vezes, não dá tempo de consultar manuais, devido à complexidade da operação do processo em caso de emergência. Nesse caso, a conscientização dos alunos é um ponto fundamental, porque caldeiras armazenam grandes quantidade de energia, que, se forem liberadas sem controle operacional, sem serem observadas determinadas normas de operação e manutenção, não estão descartados os riscos de acidentes.

Devido aos altos custos dos equipamentos de geração de vapor, dificilmente uma universidade terá condições adquirir um laboratório completo dessa disciplina, mas poderá promover visitas técnicas a empresas que operam o processo. Isso pode diminuir a distância entre teoria e prática. Nessas visitas os alunos poderão questionar os pontos mais importantes da operação e manutenção de caldeiras. Além disso, poderão levantar os problemas mais críticos dentro da empresa sobre a realidade operacional e segurança das atividades.

2.2. Ensino do Conteúdo de Tratamento de Água de Alimentação de Caldeiras

Um assunto que deve ser amplamente discutido em sala de aula, nas visitas técnicas e em seminários é o tratamento de água de alimentação de caldeiras. Como é do conhecimento geral, a água para o gerador de vapor pode provir de rios, lagos, poços ou ainda da própria rede de água potável. Seja qual for a fonte, a água contém impurezas, que podem provocar problemas como: corrosão, depósitos ou arraste. Pode-se evitar estes problemas através de tratamentos.

De acordo com Pera (1972), existem dois tratamentos mais comuns para a água de alimentação que estão descritos a seguir.

a) Externo – Retira as impurezas que causam problemas antes da água entrar na caldeira.

Esse tratamento não é muito simples porque exige equipamentos específicos, que muitas vezes a maioria dos estudantes desconhece. No entanto, deve ficar bem claro para o aluno que um dos primeiros passos referentes ao tratamento de água de alimentação de caldeiras é clarificação. Tal tratamento tem a função de remover sólidos em suspensão e a sua turbidez. A clarificação pode ser assegurada por um agente coagulador (compostos de alumínio) que ao decantarem arrastam toda a matéria sólida em suspensão na água.

Após esse tratamento, deve-se informar aos alunos que é recomendado filtrar a água através de materiais porosos como filtros de areia ou pedregulhos. O próximo processo a ser executado é o de abrandamento, que visa eliminar a dureza da água e levar o pH ao valor correto. Nesse caso, sais de cálcio e magnésio são encaminhados ao esgoto (regeneração). Mais detalhes sobre os tratamentos podem ser encontrados em Pera (1972) e Torreira (1995).

b)- Interno ou químico – Retira as impurezas dentro da caldeira.

Para evitar-se problemas de contaminações, o tratamento interno deve ser sempre utilizado. Princípio de controle e correção dos problemas utiliza o que se chama de reações químicas. Como se sabe que existem impurezas na água que são prejudiciais à caldeira, e outras que não são tão prejudiciais, procura-se realizar reações químicas, que transformassem as substâncias prejudiciais em outras não prejudiciais, isto porque, é muito difícil retirar todas as impurezas da água.

Adicionando-se um produto químico na caixa de água de alimentação ou diretamente à caldeira, ocorre uma reação química, que transforma a impureza em substância sem muito efeito. Na maioria das vezes, as substâncias resultantes das reações químicas, formam uma lama não aderente que precisa ser retirada da caldeira através de descargas de fundo, pois do contrário, em pouco tempo, toda a caldeira estará cheia de lama.

A descarga de fundo é um assunto muito importante a ser tratado na sala de aula, porque é a descarga que mantém as concentrações de sais dentro dos limites convenientes além de arrastar o lodo que se acumula nas partes interiores da caldeira. Ela pode ser descontínua ou contínua.

Conforme citado, no processo de geração de vapor as partículas sólidas em suspensão na água de alimentação se depositam, formando uma camada de lama corrosiva no fundo das caldeiras que reduz a vida útil desses equipamentos. Além disso, as impurezas formam incrustações nas paredes internas das caldeiras, o que também atrapalha bastante a troca térmica. Por isso, a remoção periódica desse lodo através da descarga de fundo é fundamental.

Como a descarga de fundo manual é uma operação repetitiva (algumas caldeiras exigem abertura de meia em meia hora), trabalhosa e imprecisa, muitas indústrias já automatizaram esse processo. Com isso, conseguiram obter grande

economia de energia, evitando o desperdício de água quente tratada e ganhando também com a precisão e regularidade do tempo dos intervalos e das descargas, Spirax Sarco (2002).

2.3. Ensino das Incrustações

Especial atenção deve ser dada ao ensino das incrustações das caldeiras nos cursos de engenharia, pois, muitas vezes as maiores falhas nesses equipamentos podem ser causadas, inicialmente, por incrustações acumuladas nas tubulações que não foram detectadas previamente.

Ao evaporar ou vaporizar água, os sais minerais nela contidos, ficam na solução original deixando uma concentração que é registrada em partes por milhão – ppm. Quando esta concentração passa o limite permitido pela natureza da água, o excesso sai da solução por uma ação de polarização e adere na superfície do que está gerando esse calor. No caso de uma caldeira, os sais que saem das solução aderem nos tubos metálicos. Estes depósitos de sais são chamados incrustações. A incrustação depositada nos tubos cria uma camada uniforme que interrompe e reduz a eficiência de troca de calor por ser um isolante térmico. Com o aumento da incrustação que por sua vez aumenta a ação de isolamento térmica, tem-se dois tipos de problemas, entre quais, dois estão mostrados a seguir.

1. A isolamento térmica da incrustação requer um aumento de calor para esquentar a água. Este aumento de calor é traduzido em mais consumo de combustível, o que elevam os custos de acordo com a Fig. 1, que mostra os efeitos de incrustações sobre transferência de calor.

2. Aumentando as calorias dentro de uma caldeira para compensar a isolamento térmica de uma incrustação, a mesma compromete o metal dos tubos resultando em “fadiga do metal”. Junto com as pressões de vapor gerado o metal comprometido pode fissurar ou quebrar resultando em uma invasão de água no sistema de calor que cria condições explosivas na caldeira.

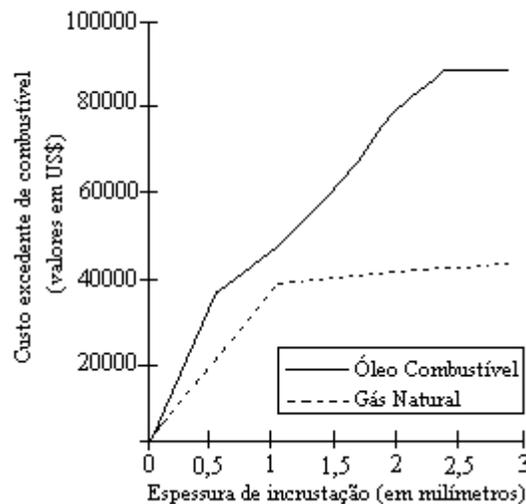


Figura 1. Custos excedentes por 12 meses de operação de uma caldeira de 300 HP funcionando em plena capacidade 24 horas por dia, Torreira (1995).

Se existirem incrustações nos tubos, um tratamento corretivo é requerido. Limpeza de caldeira e remoção das incrustações são realizadas facilmente por meio de uma lavagem química. Um ácido inibido, que não ataca o metal, é colocado dentro da caldeira até o nível de operação por algumas horas. O propósito do ácido inibidor é de reagir com os carbonatos contidos na incrustação e não reagir com os componentes essenciais da caldeira.

Esta reação com os carbonatos muda a substância básica da incrustação que antes teve a capacidade de acompanhar qualquer expansão ou dilatação dos tubos. Depois da mudança feita pela ação ácida e incrustação perde sua característica de acompanhamento do metal. Ao esquentar a caldeira com o ácido ainda dentro até o máximo de 60°C o metal dos tubos expande a incrustação, não gruda mais e cai no fundo para ser retirado facilmente pela janela de inspeção inferior. É essencial usar um ácido de alta confiança elaborado para este propósito para não causar contra indicações.

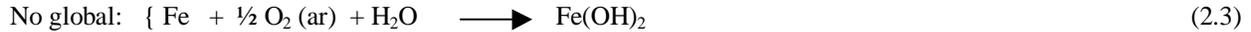
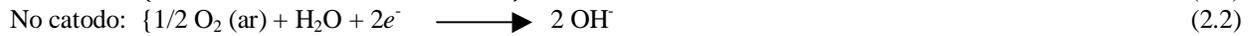
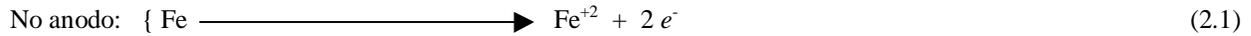
2.4. Ensino da Corrosão das Caldeiras

Sendo a caldeira um equipamento que precisa ser inspecionado constantemente, um assunto importantíssimo que deve ser muito difundido na sala de aula é a corrosão e seus principais meios de controle, pois segundo Feltre (1996), diariamente a corrosão provoca estragos, muitas vezes invisíveis, em milhares de edifícios, navios, automóveis, etc., provocando prejuízos que são calculados, em nosso país, em cerca de 10 bilhões de dólares anuais, além de colocar a

população em risco durante 24 horas por dia. No mundo, calcula-se que 20% do ferro produzido é para repor o que foi enferrujado.

Nas caldeiras esta situação não é diferente, pois a corrosão é um dos problemas mais sérios que, geralmente, ocorre durante a operação dos geradores de vapor, cujo estudo simplificado está mostrado a seguir.

A corrosão é sempre uma deterioração dos metais provocada por processos eletroquímicos (reações de oxidação-redução). O ferro, por exemplo, enferruja porque se estabelece uma “pilha” entre um ponto e outro do objeto de ferro, com reações do tipo:



Na verdade, as reações são mais complicadas; uma boa parte do ferro é oxidada a Fe^{3+} , de sorte que a ferrugem é uma mistura de óxidos e hidróxidos de ferro II e III. O ferro sempre contém pequenas quantidades de impurezas (incluindo-se outros metais). Admite-se então que o ferro, de um lado, e as impurezas, de outro, funcionam como dois pólos de uma pilha, possibilitando as reações acima descritas.

Na formação da ferrugem:

- a presença do ar e da umidade são fundamentais, pois fazem parte da reação (sem água e oxigênio, o ferro não enferruja);

- a presença, no ar, de CO_2 , SO_2 e outras substâncias ácidas acelera a corrosão, pois deslocam a reação catódica para a direita; a corrosão é também acelerada por várias bactérias que tornam mais ácido o meio.

De acordo com Dantas (1988), a corrosão pode ser conceituada de diferentes formas, sendo mais usuais as seguintes:

Corrosão é o inverso do processo metalúrgico. No processo metalúrgico, na redução térmica do minério de ferro, óxido de ferro (III), Fe_2O_3 , obtém-se ferro no estado metálico, segundo a reação:



Se o ferro obtido nesse processo não tiver proteção anticorrosiva e entrar em contato com o ar e a umidade, volta à sua condição original, isto é, óxido de ferro (III), Fe_2O_3 , sofrendo então corrosão:



Deve-se destacar que a corrosão é um processo espontâneo, ao contrário do processo metalúrgico, que necessita do fornecimento de energia para sua realização.

Sendo assim, a corrosão é a deterioração de material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração representa alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais. Essa conceituação de materiais não metálicos, como, por exemplo, concreto, borracha, polímeros e madeira, seja considerada por alguns autores como corrosão.

Todos materiais metálicos estão sujeitos a corrosão se o meio for suficientemente agressivo. Deste modo, para se afirmar sobre a possibilidade do emprego do material metálico, deve-se fazer um estudo conjunto das variáveis: material metálico, meio corrosivo e condições operacionais. Esse estudo permitirá esclarecer o mecanismo do processo corrosivo, possibilitando a indicação de adequadas medidas de proteção ou do material para ser utilizado em determinados equipamentos ou instalações.

Os problemas de corrosão são freqüentes e ocorrem nas mais variadas atividades, como por exemplo, nas indústrias química, petrolífera e petroquímica. No caso de sistemas de troca térmica ou de condução de água, esses problemas estão geralmente associados com:

- Perda de eficiência proveniente da diminuição da transferência de calor através de depósitos ou produtos de corrosão, como no caso de caldeiras e trocadores de calor.
- Perda de carga em tubulações de condução de água devido aos depósitos de tubérculos de óxido de ferro.

Em alguns setores, embora a corrosão não seja muito representativa em termos de custo direto, deve-se levar em consideração o que ela pode representar em questões de segurança: corrosão localizada muitas vezes resulta em fraturas repentinas de partes críticas de equipamentos. Por questão didática, o controle da corrosão está mostrado no item 2.6 (Ensino da Manutenção Preventiva de Caldeiras).

2.5. Ensino do Isolamento Térmico

Este item, normalmente, é ensinado separadamente na maioria dos cursos de engenharia, mas nada impede que o professor direcione seu estudo para uma efetiva aplicação nos geradores de vapor, pois a finalidade fundamental do isolamento térmico é dificultar, reduzir e minimizar a transferência de calor entre dois sistemas físicos que se encontram em níveis diferentes de temperatura.

Portanto, deve-se conscientizar o aluno de engenharia, que em função da necessidade de racionalização do uso de combustíveis, a instalação eficiente do isolamento térmico pode e deve assumir um papel preponderante. Por isso, a redução das perdas de calor pelo isolamento é uma maneira prática de se conseguir substanciais economias de energia utilizando-se somente materiais disponíveis no mercado. Deve ser mostrado ainda que a sua aplicação é muito fácil e pode ser feita, na maioria dos casos, sem que haja interrupção nos processos de fabricação.

É importante também mostrar aos alunos que os grandes benefícios financeiros advindos da prevenção de perdas de calor pelo isolamento térmico sejam reconhecidas e entendidas, e que sejam tomadas todas as atitudes adequadas e necessárias para que esses benefícios conseguidos.

O isolamento térmico é fornecido em diversas formas devendo preencher as necessidades da maioria das condições e locais onde deverão ser instalados. Porém, para efeito de classificação normativa, de projeto e comercial, considerar-se-á a isolamento térmica aplicável objetivando principalmente as seguintes finalidades:

- 1) Economia de energia.
- 2) Estabilidade operacional
- 3) Conforto térmico
- 4) Evitar condensação
- 5) Proteção de estruturas.

Pode-se, num só processo de isolamento térmico, atingir mais de um desses objetivos, tendo-se em consideração que a análise da fonte do calor e da sua forma de transmissão é que determina a escolha dos materiais e a técnica de sua aplicação.

A técnica de isolamento térmico consiste na utilização de materiais ou de sistemas que imponham resistência às maneiras do calor se propagar, reduzindo essa velocidade de transmissão e portanto a quantidade transmitida por unidade de tempo.

A escolha do material isolante ou do meio isolante, admitindo os demais componentes como de importância secundária, deverá ser coerente com a transmissão de calor.

São muitos os materiais isolantes que podem ser utilizados com êxito no isolamento térmico, não sendo considerada básica esta circunstância para a seleção do mesmo. Devem ser conhecidas todas as propriedades mecânicas e térmicas do material, para projetar de forma adequada o sistema de montagem, a espessura de isolamento necessária, a película protetora com a qual deve ser protegido, entre outras.

As propriedades ideais que um material deve possuir para ser considerado um bom isolante térmico são as seguintes:

- 1) Baixo coeficiente de condutividade térmica (k até $0,030 \text{ kcal/m } ^\circ\text{C h}$).
- 2) Boa resistência mecânica
- 3) Baixa massa específica.
- 4) Incombustibilidade ou auto-extinguibilidade.
- 5) Estabilidade química e física.
- 6) Inércia química.
- 7) Resistência específica ao ambiente da utilização
- 8) Facilidade de aplicação.
- 9) Resistência ao ataque de roedores, insetos e fungos.
- 10) Ausência de odor.
- 11) Economicidade.

É óbvio que não se consegue um material que possua todas estas qualidades; procura-se sempre um que satisfaça ao máximo a cada uma delas. Nisto reside a escolha de um bom isolante térmico, Torreira (1995).

2.6. Ensino da Manutenção Preventiva de Caldeiras

Apesar da manutenção ser uma disciplina que faz parte dos cursos de engenharia, a sua aplicação no caso das caldeiras deve merecer destaques específicos, porque esses equipamentos necessitam de cuidados especiais que os diferem da maioria dos equipamentos industriais.

De maneira geral, os objetivos mais importantes da manutenção podem ser resumidos da seguinte maneira:

- Prever uma margem de avarias ou quebras durante o processo produtivo;
- Manter o equipamento em condições de utilização seguras;
- Manter o máximo de eficácia dos equipamentos;
- Reduzir ao mínimo as paradas por avarias;
- Reduzir ao mínimo os custos da manutenção;
- Manter um alto nível técnico na execução dos trabalhos.

Mais especificamente, a manutenção preventiva dos geradores de vapor, tem como finalidade assegurar um trabalho eficiente e continuado mediante a observância de uma série de medidas. No que diz respeito aos geradores de vapor infelizmente nem sempre é dada a atenção que o caso merece, exceção feita às usinas termelétricas que, devido a suas próprias características, aprimoram este trabalho, mas podem existir outras empresas que não inserem neste contexto.

As sugestões que serão feitas para o estabelecimento de um programa de manutenção preventiva abrangem os geradores de vapor em geral, apesar de não serem abordados certos aspectos particulares de um ou outro modelo ou tipo, englobam as medidas preventivas para a maioria dos problemas encontrados na prática.

Para não comprometer logo de início o programa de manutenção preventiva, é necessário que a montagem tenha sido feita estritamente de acordo com as recomendações e especificações do fabricante; o ensaio a pressão hidrostática (nos circuitos de vapor) e de pressão de ar (nos circuitos dos gases).

Devem ser observadas as dilatações verticais e as folgas nas partes superiores e inferiores de pressão. Quando a unidade é suspensa em estrutura metálica ou apoiada sobre sua base, também é importante verificar a dilatação horizontal (longitudinal e transversal) e as folgas contra a alvenaria, invólucros, partes estruturais, bem como a dilatação dos encanamentos e batentes que se destinam a limitar a expansão dos corpos. Estas verificações têm a finalidade de assegurar uma dilatação livre, sem que ocorram distorções ou rupturas no conjunto.

Tanto o pessoal de manutenção quanto os operadores deverão se familiarizar com a instalação através das instruções e manuais do fabricante e consulta a relatórios, certificados e folhas de ensino, antes de iniciar o programa de manutenção estabelecido.

A instalação de indicadores de temperatura e nível de água, medidores de pressão de ar e do gás, medidores de tiragem, medidores de pressão e de vazão do vapor, contribuem para o sucesso da operação pois, além de possibilitarem verificação imediata, são através das anotações de leituras periódicas, valiosos subsídios para um controle geral.

A manutenção preventiva é dividida geralmente em períodos determinados de verificação, podendo dar origem a um sistema de fichas de inspeção classificadas de acordo com o intervalo entre estas verificações, ou de um programa computadorizado.

No caso particular dos geradores de vapor, os períodos são divididos em: diário, semanal, mensal, trimestral, semestral e anual. Maiores detalhes sobre este assunto podem encontrados na NR 13 (1970), Torreira (1995) e nas normas NBR-12177-1 e NBR-12177-2 da ABNT (1999).

A possibilidade de utilização de ensaios não destrutivos na manutenção preventiva das caldeiras também deve ser repassada aos alunos dos cursos de engenharia. Mas de acordo com Chuse and Carsan (1993), esse método requer pessoal qualificado e equipamentos adequados para a execução dos ensaios. Os ensaios mais importantes são: exame visual, radiografias, exame por ultra-som, exame por líquido penetrante, exame por partículas magnéticas e exame por emissão acústica.

O controle da corrosão nas caldeiras é uma parte da manutenção preventiva que deve ser bem explicada durante as aulas, porque a corrosão, normalmente, só é detectada após certo período de operação ou em caldeiras fora de operação. O envolvimento do aluno nesse contexto contribui para que o futuro engenheiro tome consciência da importância do controle da corrosão, cujo estudo simplificado de controle da mesma é mostrado a seguir.

De maneira geral, a prevenção clássica contra a corrosão é a pintura. Atualmente, se usam tintas especiais para os mais variados tipos de materiais. Contudo, no caso das caldeiras as tintas não são as substâncias mais adequadas. Devido às condições de trabalho desses equipamentos, normalmente, são utilizados, internamente, os inibidores.

Pode-se considerar que o inibidor de corrosão mais utilizado é o cromato, porquanto os perigos de contaminação dos efluentes são baixos. A concentração do cromato poderá variar conforme a temperatura, a diferença de potencial dos materiais utilizados e a existência de problemas de cavitação nos sistemas. Os inibidores podem ser classificados em duas classes que estão descritas abaixo.

a) Inibidores anódicos: interferem na formação do produto de corrosão do ferro, em meio aeróbico ou não, dependendo do tipo utilizado.

O produto de corrosão do ferro na ausência de inibidores é conhecido como α Fe₂O₃, hematita, de baixa resistividade à passagem da corrente elétrica, poroso, não aderente e de distribuição irregular na superfície metálica.

b) Inibidores catódicos: são inibidores de barreira, porquanto eles formam, com íons cálcio e zinco, produtos coloidais com carga elétrica positiva, que, migrando, para os microcatodos, neles se precipitam de forma aderente, contínua e sem porosidade, Dantas (1988).

Um tema muito importante também se refere a caldeiras fora de operação. Cuidados especiais devem ser tomados no caso de caldeiras paradas ou reservas, porque as mesmas podem sofrer efeito de corrosão. Existem tratamentos químicos para cada situação. Maiores detalhes podem ser encontrados em Pera (1972).

2.7. Carga Horária e Conteúdo Programático de Alguns Cursos

Durante a pesquisa foram levantadas, aleatoriamente, as cargas-horárias da disciplina Geradores de Vapores de alguns cursos de engenharia do Brasil, e constatou-se que a carga horária média foi de 70 (setenta) horas.

Logicamente, esses resultados não são conclusivos, pois não representam a maioria dos cursos existentes, pois de acordo com dados oficiais do Ministério da Educação, no Brasil existem 817 (oitocentos e dezessete) cursos de engenharia. Mesmo assim, em função da importância da operação e manutenção de caldeiras pode-se considerar que a carga-horária é baixa, visto que tal carga horária é destinada para disciplina Geradores de Vapor como um todo, e pequena parte é destinada à Sub-unidade: Operação e Manutenção de Caldeiras.

Verificou-se que não houve grande distinção entre as ementas básicas de um curso para outro. O conteúdo levantado nas ementas em comum e incomum foi basicamente:

-Gerador de vapor: tipos, componentes, operação, especificação e manutenção. Combustíveis e rendimento. Tratamento da água das caldeiras. Caldeiras de baixa e alta pressão, dimensionamento, equipamentos auxiliares, normas e medidas de segurança, manutenção e inspeção. Distribuição e utilização de vapor: tubulação, peças e acessórios. Aplicações - Projeto de um conjunto de geração e utilização do vapor. Turbinas a vapor e a gás. Tipos, curvas características, rendimentos, aplicações. Trocadores de calor. Tipos de trocadores, dimensionamento e utilização.

Diante do ementário acima levantado, pode-se notar que há a necessidade de se ampliar a carga-horária dessa disciplina nos cursos de engenharia ou criar uma disciplina específica para a operação e manutenção, porque pouco adiante projetos arrojados de geradores de vapor, se a operação e manutenção não forem bem mais valorizadas.

3. Conseqüências da Operação e Manutenção Inadequadas

De acordo com a NR13, no subitem 13.8.5, o pré-requisito mínimo para participação, como aluno, no "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" é o atestado de conclusão do 1º grau.

Mas devido a evolução tecnológica dos equipamentos e sistemas de controle, deveria ser exigido pelo menos o curso técnico de 2º grau. Apesar dos efeitos sociais causados por essa alteração, porque muitos operadores seriam excluídos, em contrapartida isso proporcionaria maior segurança nas operações, pois normalmente um técnico tem mais condições de absorver as informações, se for não for considerado o requisito de experiência anterior.

Além disso, de acordo com Pinhão (2001), em se tratando de caldeiras, a segurança torna-se um assunto bastante sério, pelos riscos envolvidos por esse tipo de equipamento, apesar dos numerosos recursos de intertravamentos que têm sido implementados, em nossos dias. Não são raros os acidentes ocorridos com caldeira, tais como choques térmicos, superaquecimentos, trincas e deformações em partes de pressão e até mesmo explosões, com conseqüências graves, como ferimentos e mortes, além de danos no patrimônio da empresa.

Não é sem razão que nos países do primeiro mundo, existem órgãos especialmente devotados a monitorar a segurança em caldeiras. Tal é o caso, por exemplo, do *National Board of Boiler and Pressure Vessels Inspectors*, nos Estados Unidos. E, apesar de todo esse controle, ainda continuam as ocorrências de acidentes com caldeiras até lá, no primeiro mundo.

Durante a elaboração deste trabalho foram feitos contatos com Ministério do Trabalho, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e A FUNDACENTRO sobre as estatísticas dos acidentes de trabalho em função da operação e manutenção de caldeiras, mas não houve retorno, por isso, foram utilizadas as estatísticas publicadas pelo *National Board*, citadas por Pinhão (2001), que se referem a registros de ocorrências na América do Norte, incluindo o total de acidentes, ferimentos e mortes, referentes a 1998, conforme as figuras a seguir.

A Fig. 2 mostra que os pontos mais críticos, em função dos acidentes, são comprovadamente o nível de água de segurança e o erro de operação ou manutenção deficiente, em caldeiras a vapor para aquecimento de água. Vale ressaltar que, normalmente, o nível de água é observado durante a operação do equipamento, por isso, este causa poderia ser adicionada com a operação e manutenção. O terceiro ponto que mais influenciou nos acidentes foi a instalação imprópria.

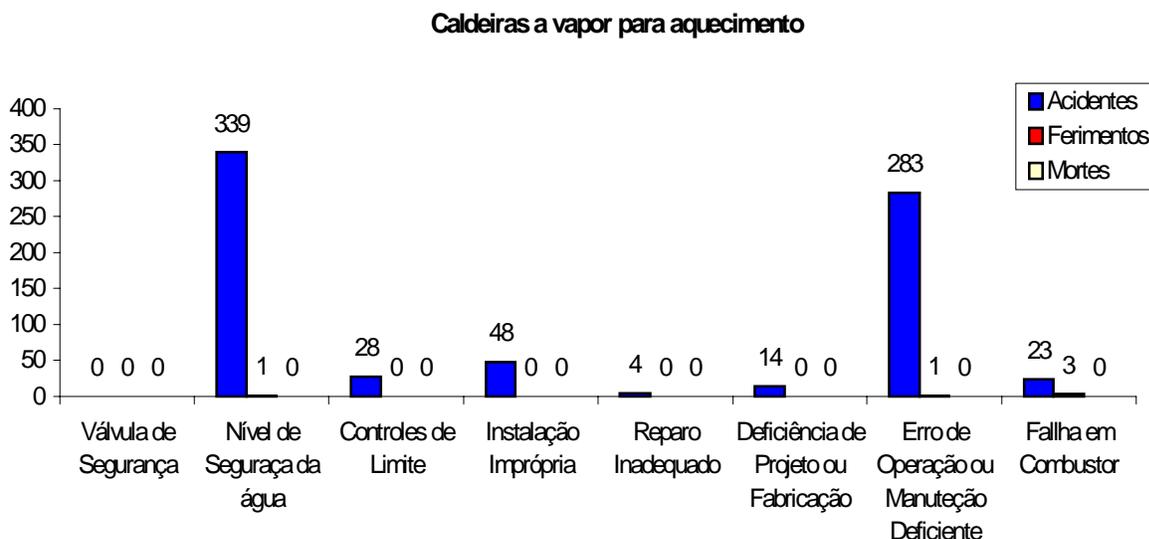


Figura 2. – Ocorrência de acidentes, ferimentos e mortes em caldeiras a vapor para aquecimento nos Estados Unidos em 1998.

Caldeiras de água quente para aquecimento

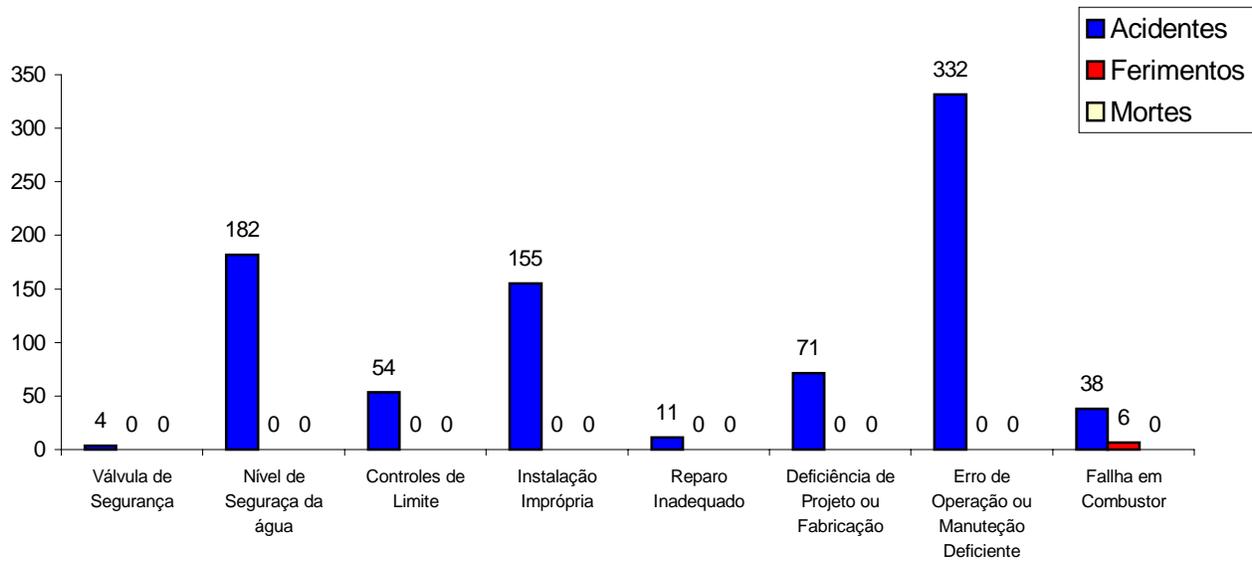


Figura 3. – Ocorrência de acidentes, ferimentos e mortes em caldeiras de água quente para aquecimento nos Estados Unidos em 1998.

O gráfico da Fig. 3 mostra os acidentes ocorridos com caldeiras de água quente para aquecimento, onde prevaleceram também as falhas com a operação e manutenção, seguidas por nível de segurança da água, operação imprópria e deficiência de projeto ou fabricação.

O gráfico da Fig. 4, que se refere a vasos de pressão, apresenta também a predominância dos acidentes decorrentes dos erros de operação e manutenção, porém com um agravante, neste caso as estatísticas mostram que esses erros influenciaram significativamente no caso de mortes.

Vasos de Pressão

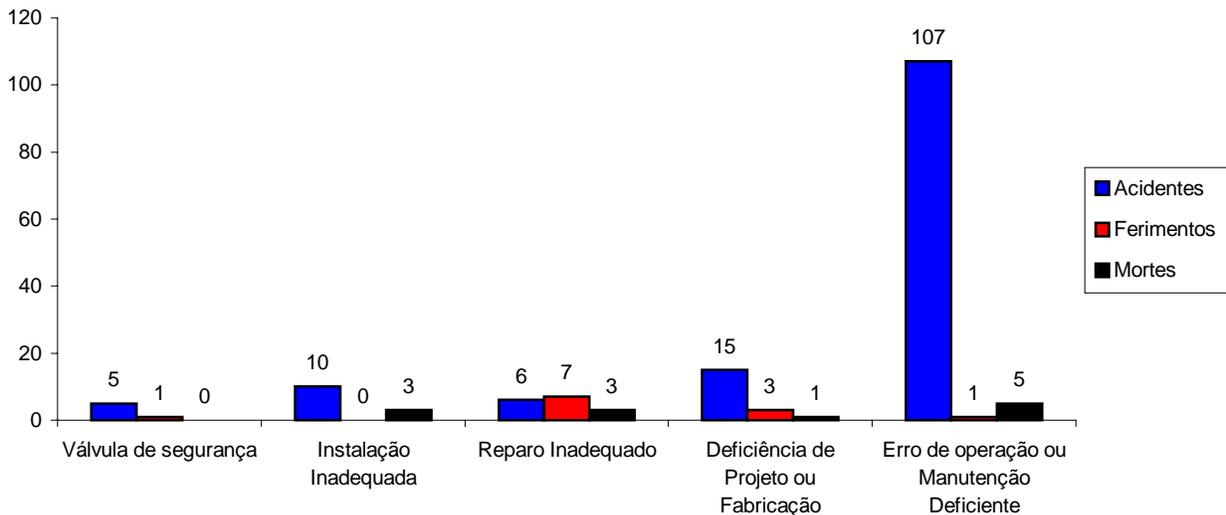


Figura 4. – Ocorrência de acidentes, ferimentos e mortes em Vasos de Pressão nos Estados Unidos em 1998.

Em função dos resultados acima, nota-se como a operação e manutenção incorretas podem influenciar nos acidentes com caldeiras. Apesar desses resultados serem relativos aos Estados Unidos, pode-se imaginar que no Brasil muitos problemas desse tipo também podem estar acontecendo. Mesmo sem dados oficiais no caso do Brasil, deve-se ressaltar que é preciso valorizar o ensino de operação e manutenção de caldeiras nos cursos de engenharia. Isso poderia, além de promover maior segurança do processo produtivo, contribuir principalmente para criação de bancos de dados sobre as principais causas dos acidentes, que facilitariam o seu controle.

4. Sugestões Para Mudanças

- a) Exigir nível de técnico de 2º para a execução da operação dos equipamentos, devido ao avanço tecnológico que a maioria desses equipamentos apresenta.
- b) Promover seminários sobre o tema e realizar visitas técnicas com estudantes de graduação em processos em operação.
- c) Promover maior conscientização dos estudantes de engenharia sobre segurança nas operações e manutenção de caldeira, além de estimular a economia de combustível e energia.
- d) Incrementar os conteúdos de operação e manutenção nos cursos de engenharia ou criar uma disciplina específica para isso.

5. Conclusões

- A operação e manutenção adequadas das caldeiras podem garantir o perfeito funcionamento desses equipamentos, além de possibilitar a prevenção de acidentes.
- O aprimoramento do ensino de operação e manutenção de caldeiras nos cursos de engenharia pode despertar o interesse dos estudantes por essa área.
- O ensino de conteúdos como incrustações, corrosão, tratamento de água de alimentação, isolamento térmico e manutenção preventiva deve aproximar da realidade que o aluno encontrará no dia-dia da indústria.
- Execução de ensaios não destrutivos nos geradores de vapor requerem equipamentos adequados e pessoal qualificado.
- Os alunos dos cursos de engenharia devem ser conscientizados de que as normas de segurança e legislações vigentes devem ser seguidas e respeitadas, independentemente da capacidade do equipamento.
- Pesquisa realizada nos Estados Unidos revelou que a maioria dos acidentes com caldeiras são decorrentes de erros de manutenção e operação.
- Neste trabalho não foi possível levantar as estatísticas dos acidentes com caldeiras no Brasil.
- Constatou-se que a carga-horária média da disciplina Geradores de Vapor foi de 70 (setenta) horas e que não houve grande variação do ementário de um curso para outro.
- Este trabalho propõe a criação de uma disciplina específica para operação e manutenção de caldeiras em função de sua importância nos cursos de engenharia e na segurança do processo de geração de vapor.

6. Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1999, “Caldeiras estacionárias a vapor – Inspeção de segurança”, Parte 1: Caldeiras flamotubulares, NBR 12177-1, Parte 2: NBR 12177-2, Caldeiras aquotubulares..
- Chuse, R. e Carson Sr., B. E., 1993, “Pressure Vessels”, The ASME Code Simplified, The McGraw-Hill Companies, Seventh Edition, United States, pp. 197-213.
- Dantas, E., 1988, “Geração de Vapor e Água de Refrigeração – Falhas – Tratamentos – Limpeza Química”, Ecolab/José Olympio, Rio de Janeiro, 305 pp.
- Ministério da Educação - “Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia do Ministério da Educação”, 1999, Artigos 1º e 2º.
- “Enciclopédia Tecnológica Planetarium”, 1976, 2º volume, Editora Planetarium Ltda., São Paulo, pp. 112.
- Feltre, R., 1996, “Química: Físico-Química”, Editora Moderna, Volume 2, 4ª edição, pp. 368-369.
- Ministério do Trabalho, “NR 13-Caldeiras e Vasos de Pressão”, 2002, <http://www2.prt15.gov.br/reposit/legislacao/outros/mte/nrtrabalhador/nr13.htm>, site acessado em 15/03/2002.
- Pera, H, 1972, “Geradores de Vapor de Água (Caldeiras)”, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, 288 pp..
- Pinhão, R., “Caldeiras e Vasos de Pressão”, 2001, <http://usuarios.uninet.com.br/~rpinhao/index.htm> site acessado em 19/08/2001.
- Spirax Sarco, 2002, “O fim do desperdício nas caldeiras de alta pressão”, http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Tecnicos/artigos_tecnicos.html, site acessado em 15/03/2002.
- Torreira, R. P., 1995, “Geradores de Vapor”, Editora Companhia Melhoramentos de São Paulo, 710 pp..

TITLE: IMPORTANCE OF BOILERS OPERATION AND MAINTENANCE TEACHING IN ENGINEERING COURSES

João Cirilo da Silva Neto

Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Building 1M, PO Box 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil.

E-mail: jcirilos@mecanica.ufu.br.

Antônio Marcos Gonçalves de Lima

Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Building 1M, PO Box 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil.

E-mail: amglima@mecanica.ufu.br.

Evaldo Malaquias da Silva

Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Building 1M, PO Box 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil.

E-mail: emalaqui@mecanica.ufu.br.

Marcio Bacci da Silva

Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Building 1M, PO Box 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil.

E-mail: mbacci@mecanica.ufu.br.

Abstract. *This work presents a study about the importance of boilers operation and maintenance teaching in engineering courses. Its main purpose is to wake up for the need of enlarging the teaching of that content, because current accidents of inadequate operation and maintenance, generally, they provoke deaths and general loss of the equipment.*

Keywords. : *Boilers, Maintenance, Operation, Teaching, Engineering.*