

FACULDADE LABORO  
UNIVERSIDADE ESTÁCIO DE SÁ  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
SEGURANÇA DO TRABALHO

Luís Fernando Barbosa Brito

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DA NORMA REGULAMENTADORA  
NR-13: CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÕES**

São Luís  
2015

LUÍS FERNANDO BARBOSA BRITO

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DA NORMA REGULAMENTADORA  
NR-13: CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Faculdade Laboro, para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mônica Elinor Alves Gama

São Luís  
2015

**LUÍS FERNANDO BARBOSA BRITO**

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DA NORMA REGULAMENTADORA  
NR-13: CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Faculdade Laboro, para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Aprovado em    /    /

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Profª. Dra Mônica Elinor Alves Gama (Orientadora)**

---

*Dedico a todos aqueles que fizeram desta conquista uma realidade, pela compreensão, afeto e confiança depositados ao longo do tempo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, por terem tido a sabedoria de me conduzir por caminhos não tortuosos.

A minha família, por ter suportado e compreendido as minhas ausências durante o transcorrer dessa trajetória.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mônica Elinor Alves Gama, minha orientadora, pela legítima confiança que sempre depositou neste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo fazer um estudo dirigido dos problemas relacionados com vasos de pressão e caldeiras a luz dos preceitos da Engenharia de Segurança do Trabalho. Preliminarmente, serão expostos tópicos referentes a segurança e acidentes trabalhista e por conseqüente os problemas mais frequentes relativos a caldeiras e vasos de pressão. Assuntos correlatos serão abordados, quais sejam: revisão sobre segurança do trabalho e sua legislação pertinente, acidentes (risco profissional, índices de acidentabilidade, motivos causadores, classificação e efeitos); a relação entre acidentes de trabalho e as NR's e caracterização dos problemas em caldeiras e vasos de pressão. A relevância da norma NR-13 justifica a confecção desta monografia, pois traz referências concretas a gestão das condições inseguras para vasos de pressão e caldeiras a partir do momento que determina padrões. Um dos fortes elementos motivadores para a realização desta monografia foi a verificação da necessidade de trazer a todos os que lidam direta ou indiretamente com vasos de pressão e caldeira uma conscientização mais profunda, fazendo com que deixe de ser encarada como mero elemento dificultador do trabalho. De fato, a NR-13 estabelece padrões e orienta, além de possibilitar aos gestores um monitoramento mais eficiente e com maior conveniência a situação de seu parque de equipamentos. A ausência destes padrões é justamente o que dificulta este monitoramento, trazendo falhas que provocam perdas às organizações, sejam financeiras, sejam de vidas humanas. Verifica-se neste trabalho a necessidade de manter a atenção constante voltada para a manutenção preventiva dos vasos de pressão e caldeira com o objetivo de minimizar impactos para as organizações que, por suas condições fabris, tendam a sofrer deste tipo de problema. Identificar estas falhas previamente permite adquirir conhecimento de causa e, portanto, impedir a repetição destas mesmas falhas no futuro, especialmente quando se leva em conta a amplitude dos prejuízos que podem ser gerados nesse tipo de acidente. As técnicas empregadas para impedir a ocorrências

destes problemas precisam levar em conta, tanto as atividades operacionais, quanto as de manutenção, além da capacitação dos profissionais nelas envolvidos de modo que se estipulem e se padronizem ações seguras em casos de constatação de condições inseguras ou irregularidades durante o funcionamento destes equipamentos. Para a elaboração desta monografia, o método de pesquisa utilizado foi o de Levantamento Bibliográfico.

**Palavras-chave:** Caldeiras; Vasos de pressão; Segurança do trabalho; Normas regulamentadoras.

## **ABSTRACT**

The present work has the purpose to make a directed study of related problems with pressure vases and boilers by the rules of Work Security Engineering. Preliminarily, the safety working, accidents and its consequence will be displayed, and topical referring to the most frequents problems with boilers and pressure vases. Subjects linked to these topics will be boarded, which are: revision on safety work and its pertinent legislation, accidents (occupational hazard, accidentability index, causes, classification and effects); the relation between industrial accidents and the NR's and problems characterization in boilers and vases of pressure. The relevance of norm NR-13 justifies this monograph; therefore the management brings concrete references of unsafe conditions for pressure vases and boilers when it determines standards. One of the strong motivational elements for the accomplishment of this monograph was the vision of necessity to bring to all the ones that deal directly or indirectly with pressure vases and boilers a deeper awareness, making that it don't be faced as mere obstacle to the work. In fact, the NR-13 establishes standards and guides, beyond it will make possible to the managers more convenience and efficient control over the situation of its equipments. The lack of these standards is exactly what makes difficult this control, bringing imperfections that cause losses to the organizations, as financial, as of human beings lives. The necessity verified in this work was to keep constant attention directed toward the preventive maintenance of pressure vases and boilers with the purpose to minimize impacts for the organizations, therefore because of its conditions manufacturing, tend to suffer this type of problem. To identify these imperfections previously, allows acquiring cause knowledge and, therefore, to hinder the repetition of these same imperfections in the future, especially when the magnitude that can be generated by these kind of damages is considered. The used techniques to hinder the occurrences of these problems need to be considered, the operational activities and also maintenance, beyond the

involved professionals qualification to stipulate and standardize actions if unsafe conditions or irregularities during the functioning of these kind of equipment. To elaborate this monographic, the method used was the bibliography one.

**Key words:** Boilers, Pressure vases, safety work, regulation norms.

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1	Ruptura por Oxidação Térmica	44
Fig. 2	Ruptura por Deformação Plástica	45
Fig. 3	Superaquecimento por Curto Período	48
Fig. 4	Depósito no Interior da Tubulação de Caldeiras	49
Fig. 5	Ruptura Induzida por Hidrogênio	52
Fig. 6	Corrosão provocada por excesso de oxigênio na caldeira	57
Fig. 7	Corrosão cáustica de tubos de caldeira	58
Fig. 8	Corrosão provocada pelos gases de combustão	60
Fig. 9	Óxidos de ferro em área afetada por corrosão ácida	61
Fig.10	Tubulação afetada por corrosão baixa fadiga	62

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES</b> .....	16
1.1 OBJETIVO DA SEGURANÇA DO TRABALHO .....	16
1.2 ESTRATÉGIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO .....	16
1.3 ESFERAS DE ATUAÇÃO DA SEGURANÇA DO TRABALHO .....	16
1.4 PAPEL E ABRAGÊNCIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO .....	17
<b>2 CONCEITOS</b> .....	19
2.1 CONCEITO DE ACIDENTE .....	19
2.2 CONCEITO DE ACIDENTE DE TRABALHO .....	19
2.2.1 Conceito de Percurso .....	19
<b>3 RISCO PROFISSIONAL</b> .....	21
<b>4 ÍNDICES DE ACIDENTABILIDADE (OIT, 2004)</b> .....	23
<b>5 MOTIVOS CAUSADORES DE ACIDENTES</b> .....	24
5.1 FONTES .....	24
5.2 AGENTES .....	24
5.3 TIPOS .....	24
5.4 CAUSAS .....	25
5.4.1 Causas Humanas .....	25
5.4.2 Causas Ambientais .....	26
<b>6 CLASSIFICAÇÃO DOS ACIDENTES</b> .....	28
6.1 DO AGENTE CAUSADOR PARA O HOMEM .....	28
6.2 DO HOMEM PARA O AGENTE CAUSADOR .....	28
6.3 MOVIMENTO RELATIVO INDETERMINADO .....	29
<b>7 EFEITOS DOS ACIDENTES</b> .....	30
7.1 PARA OS TRABALHADORES .....	30
7.2 EFEITOS PARA A EMPRESA .....	30
<b>8 A LEGISLAÇÃO PERTINENTE</b> .....	32
8.1 BREVE HISTÓRICO .....	32
8.2 NORMAS GERAIS .....	33
8.3 MEDIDAS PREVENTIVAS DE MEDICINA DO TRABALHO .....	33
<b>9 ACIDENTES DE TRABALHO E AS NR´s</b> .....	35

9.1 CONCEITUAÇÃO JURÍDICA SOBRE INSALUBRIDADE, PERICULOSIDADE E PENOSIDADE .....	38
<b>10 CARACTERIZAÇÃO DOS PROBLEMAS EM CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO .....</b>	<b>40</b>
10.1 CAUSAS CARACTERÍSTICAS DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS À VAPOR .....	40
10.2 CLASSIFICAÇÃO DAS CAUSAS.....	40
10.3 FALHAS QUE ENVOLVEM RUPTURA SÚBITA DE TUBULAÇÕES.....	41
<b>11 RUPTURAS CAUSADAS POR SUPERAQUECIMENTO .....</b>	<b>42</b>
11.1 SUPERAQUECIMENTO POR LONGO PERÍODO .....	42
11.2 OXIDAÇÃO TÉRMICA .....	44
11.3 RUPTURA POR DEFORMAÇÃO PLÁSTICA .....	45
11.4 SUPERAQUECIMENTO POR CURTO PERÍODO .....	46
<b>12 FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS .....</b>	<b>49</b>
<b>13 FALHAS CAUSADAS POR FRAGILIZAÇÃO .....</b>	<b>51</b>
13.1 AVARIAS POR HIDROGÊNIO .....	51
13.2 GRAFITIZAÇÃO .....	52
<b>14 FALHAS CAUSADAS POR CORROSÃO .....</b>	<b>54</b>
14.1 CORROSÕES NO LADO DA ÁGUA.....	54
14.2 CORROSÕES NO LADO DO FOGO .....	54
14.3 CORROSÃO POR OXIGÊNIO .....	55
14.4 CORROSÃO CAÚSTICA .....	55
14.5 CORROSÃO POR CINZAS DO COMBUSTÍVEL.....	57
14.6 CORROSÃO ÁCIDA DURANTE O FUNCIONAMENTO .....	60
14.7 CORROSÃO SOB FADIGA.....	62
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>



## INTRODUÇÃO

No Brasil, o período de desenvolvimento industrial mais intenso ocorreu a partir de 1930. O processo não foi muito diferente do que ocorreu na Europa, no que tange à preocupação com a segurança e saúde dos trabalhadores. A falta de ações mais ágeis dos governos, que não estão ainda suficientemente aparelhados para fiscalizar plenamente o cumprimento das leis, é um fator que favorece a manutenção das condições precárias a que fica submetida grande parte dos trabalhadores brasileiros.

Desde os primórdios do desenvolvimento industrial, o vapor de água é usado como meio de geração, transporte e utilização de energia. Inúmeras razões colaboraram para a geração de energia através do vapor.

Toda indústria de processo químico tem vapor como principal fonte de aquecimento: reatores químicos, trocadores de calor, evaporadores, secadores e inúmeros processos e equipamentos térmicos. Mesmo outros setores industriais, como metalúrgico, metal-mecânico, eletrônica, podem se utilizar de vapor como fonte de aquecimentos de diversos processos.

As primeiras aplicações práticas ou de caráter industrial de vapor surgiram por volta do século 17. O inglês Thomas Savery patenteou em 1698 um sistema de bombeamento de água utilizando vapor como força motriz. Em 1711, Newcomen desenvolveu outro equipamento com a mesma finalidade, aproveitando idéias de Denis Papin, um inventor francês. A caldeira de Newcomen era apenas um reservatório esférico, com aquecimento direto no fundo, também conhecida como caldeira de Haycock (figura 1).

James Watt modificou um pouco o formato em 1769, desenhando a caldeira Vagão (figura 2), a precursora das caldeiras utilizadas em

locomotivas a vapor. Apesar do grande desenvolvimento que Watt trouxe a utilização do vapor como força motriz, não acrescentou muito ao projeto de caldeiras. Todos estes modelos provocaram desastrosas explosões, devido à utilização de fogo direto e ao grande acúmulo de vapor no recipiente. A ruptura do vaso causava grande liberação de energia na forma de expansão do vapor contido.

Nos finais do século 18 e início do século 19 houve os primeiros desenvolvimentos da caldeira com tubos de água. O modelo de John Stevens (figura 3) movimentou um barco a vapor no Rio Hudson. Stephen Wilcox, em 1856, projetou um gerador de vapor com tubos inclinados, e da associação com George Babcock tais caldeiras passaram a ser produzidas, com grande sucesso comercial (figura 4).

Um dos graves problemas com que os engenheiros se depararam no fim do século XIX era exatamente a explosão cada vez mais frequente das caldeiras.

Segundo Garcia (2002, p. 39):

O método de aquecimento da água para produzir vapor e, com este produzir energia calorífica para máquinas térmicas, contribuiu intensamente para a revolução na produção que ocorreu naquele século.

Como forma de construir caldeiras que suportassem altas pressões, foram realizados diversos tipos de experiências com materiais diferentes, identificando-se, então, que o material que melhor se adaptava as variações de pressão do vapor era o aço.

Para obter um alívio adequado da tração cíclica, que mantivesse níveis aceitáveis de segurança, as caldeiras eram inspecionadas diariamente para evitar explosões.

Como intuito de contornar estes problemas constantes, criou-se o código da American Society of Mechanical Engineers (ASME, 2005) para caldeiras e vasos de pressão, publicado pela primeira vez no ano de 1915.

A regulamentação de inspeção de caldeiras e vasos de pressão foi iniciada no Brasil por um profissional dedicado e muito experiente em inspeção de caldeiras, Julio Rabin que trabalhava principalmente com caldeiras de pequeno porte instaladas em pequenas indústrias, hotéis, hospitais, etc. Preocupado com frequentes acidentes, dirigiu-se ao Departamento Nacional de Higiene e Segurança do Trabalho (DNHST) e conseguiu que fosse publicada em 1970, no auge da ditadura militar, a Portaria 20 DNHST, que teve o mérito de tornar obrigatória a inspeção anual de caldeiras em todo território nacional. Entretanto como esta norma foi elaborada sem a participação da comunidade que atuava na área de inspeção de equipamentos, ficou muito distante da nossa realidade com pequena possibilidade de ser aplicada.

Em 1977 foi publicada a Lei Ordinária 6514 que introduz alterações na CLT no que se refere à segurança e medicina do trabalho, incluindo dois artigos que tornam obrigatória a inspeção de caldeiras, fornos e recipientes pressurizados. Este documento se desdobrou, no ano seguinte, em 28 Normas Regulamentadoras (entre as quais a NR 13 e NR 14) que foram publicadas por meio da Portaria GM 3214/1978.

A prevenção de acidentes do trabalho foi institucionalizada no Brasil na década de quarenta. A partir daí, passaram a ser desenvolvidas e a evoluir as ações e medidas de segurança do trabalho por ela exigida.

Pensando justamente nos elevados índices de acidentes ocorridos nas empresas, criou-se programas de implantação obrigatória para o apoio à prevenção de acidentes do trabalho como: A Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA.

Em 1º de maio de 1943, foi criada a CLT (Consolidação das Leis do Trabalho), através do Decreto-Lei 5452. A CLT reuniu as legislações já existentes anteriormente, relacionadas à organização sindical, à previdência social, à proteção ao trabalhador e à Justiça do Trabalho. Em seu Capítulo V, a CLT tratou exclusivamente da segurança e da higiene no trabalho.

Em novembro de 1944, foi publicado o Decreto-Lei 7036, o qual introduziu notáveis aperfeiçoamentos na legislação de acidentes do trabalho; destaca-se no texto, por exemplo, a criação da CIPA (10/1/4).

Em 1955, foi instituído o adicional de periculosidade, através da Lei 2.573, de 15/8/5. Em dezembro de 1977, o Capítulo V da CLT foi alterado pela Lei 6514, de 2/12/7. O Artigo 200 desta lei atribuiu ao Ministério do Trabalho a competência para normatizar os procedimentos referentes à segurança e medicina do trabalho.

Em junho/78, a Portaria Ministerial 3214, de 08/06/78, instituiu as Normas Regulamentadoras (NR), relativas à segurança e medicina do trabalho, em cumprimento ao disposto no Artigo 200 da Lei 6514, citada no parágrafo anterior. Atualmente, são vinte e nove Normas Regulamentadoras.

A NR-13 é a Norma Regulamentadora que dispõe sobre caldeiras e vasos de pressão, esta norma regulamenta caldeiras e vasos de pressão, dispõe sobre o “Curso de Operador de Caldeira”, determinando dentro outros, a carga horária, o conteúdo dos cursos, e a escolaridade necessária. A NR-13 trata ainda da contratação do operador de caldeira, que exigências a empresa deve observar para selecionar o candidato, ou se for um profissional que deseja ingressar nesta área, que tipo de formação/cursos e estágios ele deverá concluir antes de iniciar na nova atividade. Além disto, esta norma cita vários outros itens, por exemplo, como deve ser a documentação da caldeira, manuais de procedimentos, onde guardá-los, quem pode e deve ter acesso a esses documentos e outras particularidades da profissão de operador de caldeira.

Este trabalho tem por objetivo fazer um levantamento bibliográfico sobre a norma NR-13, abordando seus assuntos correlatos, quais sejam: revisão sobre segurança do trabalho e sua legislação pertinente, acidentes (risco profissional, índices de acidentabilidade, motivos causadores, classificação e efeitos); a relação entre acidentes de trabalho e as NR's e caracterização dos problemas em caldeiras e vasos de pressão.

Justifica-se a elaboração deste trabalho ainda, devido à importância da NR-13 ao estabelecer critérios, pois referencia de forma palpável a administração das condições de segurança de cada equipamento.

A relevância deste trabalho se expressa na necessidade de inculcar uma maior conscientização para que a norma não seja encarada como criadora de obstáculos, mas justamente o oposto, ela recomenda rumos, determina modelos, além de permitir que os administradores possam analisar de modo conveniente, e a qualquer momento, a conjuntura de adequação de seu conjunto para melhoria das condições de trabalho em vasos de pressão e caldeiras.

Além da norma NR 13, as empresas deverão cumprir e fazer cumprir outros dispositivos contratuais relativos à Segurança do Trabalho, às leis aplicáveis, entre elas as do Ministério do Trabalho, bem como empenhando-se de todos os meios para prevenir acidentes.

## 1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A OMS (2003), sobre a Segurança do Trabalho, diz que a sua finalidade é:

(...) fomentar e manter o mais alto nível de bem-estar físico, mental e social dos trabalhadores em todas as profissões, prevenir todo dano à saúde destes pelas condições de seu trabalho, protegê-los em seu emprego contra os riscos para a saúde e colocar e manter ao trabalhador em um emprego que convenha a suas aptidões psicológicas e fisiológicas.

### 1.1 OBJETIVO DA SEGURANÇA DO TRABALHO

Evitar que aconteça tanto o acidente de trabalho como a doença profissional. Para conseguir isto, se propõe uma saúde integral dos trabalhadores, isto é, uma saúde em todos os aspectos do meio do trabalho, já que não se pode separar um trabalhador de seu meio (MENDES; DIAS, 1991).

### 1.2 ESTRATÉGIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO

A Segurança do Trabalho tem uma estratégia essencialmente fragmentada em Departamentos de segurança, higiene, inspeção e medicina e uma formação multidisciplinar formada por equipe de profissionais voltados à saúde trabalhista (engenheiros, sanitaristas, ergônomos, psicólogos, médicos, etc.) (LACAZ, 1991).

### 1.3 ESFERAS DE ATUAÇÃO DA SEGURANÇA DO TRABALHO

Com respeito às perspectivas temos duas diferentes esferas, segundo Mendes e Dias (1991):

- ✓ Individual, em cujo núcleo se encontra o fator humano (trabalhador enfermo ou acidentado);
- ✓ Coletiva, centrada nas condições de trabalho, na formação, etc.

Sendo assim, a primeira esfera é do trabalhador, a segunda da coletividade de trabalhadores.

#### 1.4 PAPEL E ABRANGÊNCIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO

As duas funções básicas da Medicina do Trabalho são vigilância e intervenção, que precisam ser aplicadas tanto no âmbito individual quanto no coletivo, como se vê na tabela 1 abaixo:

	<b>Individual</b>	<b>Coletivo</b>
<b>Vigilância</b>	(Efeitos) Estudar acidentes Estudar sequelas dos mesmos Doenças profissionais	(Riscos) Organização Estrutura Tarefas
<b>Intervenção</b>	Proteção individual Mudança de posto de trabalho Vacinação Aconselhamento individual	Mudanças na organização Máquinas Produtos Legislação Inspeção Formação Informação

Quadro 1 - PAPEL E ABRANGÊNCIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO

Fonte: FUNDACENTRO, 1981

Neste quadro, vemos como na vigilância, a nível individual, se analisam os efeitos dos elementos da saúde que se referem aos acidentes (estudando-os), as sequelas que produzem (como se fosse uma doença), etc.

Em âmbito coletivo estudam-se os riscos, já que são comuns a todos os trabalhadores. Para evitar os riscos deve-se analisar a organização da empresa, sua estrutura física (escadas, corredores, etc.), entre os fatores já citados na tabela.

Como exemplo, pode-se considerar o que poderia acontecer se em uma escada, um degrau está quebrado, avaliando o impacto para os trabalhadores poderiam no caso de possíveis acidentes.

Quanto à intervenção, que se deve fazer a nível individual, para evitar que um trabalhador adoença ou sofra acidentes, devem ser propostas medidas de proteção individual como mudanças de posto, vacinação, aconselhamento individual, etc.

Por outro lado, para proteger a coletividade de trabalhadores devem ser feitas mudanças na organização em todos os níveis, desde o meio ambiente laboral (como mudanças/adaptações em máquinas, prevenção de exposição a certos produtos químicos), até a legislação (como a inspeção de máquinas, por exemplo) e capacitação e treinamento (dando cursos de normas de segurança, por exemplo).

## 2 CONCEITOS

### 2.1 CONCEITO DE ACIDENTE

De acordo com o especialista em seguros, José Américo Peón de Sá (1997, p. 35): *“É todo fato inesperado, não desejado, que interrompe um processo normal e que pode chegar a produzir lesões às pessoas, dano às equipes, os materiais e/ou o meio ambiente.”*

### 2.2 CONCEITO DE ACIDENTE DE TRABALHO

De acordo com a Lei 8.213/91 (DATAPREV, 2003b), artigo décimo nono:

Art. 19. Acidente do trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do Art. 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho.

O acidente de trabalho pode provocar desde um mero afastamento, até o prejuízo ou a diminuição da aptidão para o trabalho, podendo vir a ocorrer óbito.

São considerados inclusive como acidentes laborais, segundo o Anexo II, Regulamento da Previdência Social:

- a) o acidente ocorrido no trajeto entre a residência e o local de trabalho do segurado;
- b) a doença profissional, assim entendida a produzida ou desencadeada pelo exercício do trabalho peculiar a determinada atividade; e
- c) a doença do trabalho, adquirida ou desencadeada em função de condições especiais em que o trabalho é realizado e com ele se relacione diretamente. (MPS, 2003).

Equiparam-se também a acidente do trabalho (MPS, 2003):

I - o acidente ligado ao trabalho que, embora não tenha sido a causa única, haja contribuído diretamente para a morte do segurado, para perda ou redução da sua capacidade para o trabalho, ou que tenha produzido lesão que exija atenção médica para a sua recuperação;

II - o acidente sofrido pelo segurado no local e horário do trabalho, em consequência de ato de agressão, sabotagem ou terrorismo praticado por terceiro ou companheiro de trabalho; ofensa física intencional, inclusive de terceiro, por motivo de disputa relacionada com o trabalho; ato de imprudência, de negligência ou de imperícia de terceiro, ou de companheiro de trabalho; ato de pessoa privada do uso da razão; desabamento, inundação, incêndio e outros casos fortuitos decorrentes de força maior;

III - a doença proveniente de contaminação acidental do empregado no exercício de sua atividade; e

IV - o acidente sofrido pelo segurado, ainda que fora do local e horário de trabalho, na execução de ordem ou na realização de serviço sob a autoridade da empresa; na prestação espontânea de qualquer serviço à empresa para lhe evitar prejuízo ou proporcionar proveito; em viagem a serviço da empresa, inclusive para estudo, quando financiada por esta, dentro de seus planos para melhor capacitação da mão-de-obra, independentemente do meio de locomoção utilizado, inclusive veículo de propriedade do segurado; no percurso da residência para o local de trabalho ou deste para aquela, qualquer que seja o meio de locomoção, inclusive veículo de propriedade do segurado.

### 2.2.1 Conceito de Percurso

Entende-se como percurso o trajeto da residência ou do local de refeição para o trabalho ou deste para aqueles, independentemente do meio de locomoção, sem alteração ou interrupção voluntária do percurso habitualmente realizado pelo segurado. O empregado será considerado no exercício do trabalho no período destinado à refeição ou descanso, ou por ocasião da satisfação de outras necessidades fisiológicas, no local do trabalho ou durante este (MPS, 2003).

Para que o acidente, ou a doença, seja caracterizado como acidente trabalhista é indispensável que seja avaliado pela Perícia Médica do INSS, que procederá a investigação do nexo de causa entre o acidente e a lesão, a enfermidade e o trabalho ou entre a causa de morte o acidente.

### 3 RISCO PROFISSIONAL

O trabalho implica a realização de uma atividade humana, que dá lugar a problemas mecânicos (por exemplo, a tendinite em digitadores). Dessa forma, ao utilizar qualquer tipo de tecnologia, produzi-se nesta interação uma perturbação do meio ambiente, que poderá produzir tanto problemas mecânicos como físicos, químicos, biológicos ou psicológicos.

Estes problemas (agentes físicos, químicos, etc.) podem trazer consequências que se manifestarão, como exemplos, segundo Miguel (1998) através de:

- Traumatismos, no caso dos agentes mecânicos;
- Radiações ionizantes, no caso de agentes físicos;
- Alterações biofísicas, no caso de agentes químicos;
- Alterações bioquímicas ou doenças infecciosas, no caso de agentes biológicos; e
- Insatisfação, monotonia ou depressão, no caso de agentes psicológicos.

Logicamente, a evolução temporal não será a mesma, ou seja, o agente vai estabelecer sua alteração em função do tempo. Enquanto um traumatismo tem caráter agudo, uma intoxicação pode ser considerada crônica.

Como consequência, os agentes mecânicos terão uma evolução aguda, e o restante, isto é, os físicos, químicos, biológicos e psicológicos, terão uma evolução crônica. Isto, na prática médico-legal se traduzirá numa relação evidente para os agentes mecânicos (manifestando-se como acidentes de trabalho), demonstrável para os físicos, químicos e/ou biológicos (doenças profissionais como a hérnia de disco por excesso de carga) e simples influência para os psíquicos (doenças influenciadas pelo trabalho).

Pode-se deduzir então que, no caso dos problemas psíquicos a patologia produzida será inespecífica, enquanto que no restante será considerada específica.

Os problemas evidentes, demonstráveis ou até certo ponto demonstráveis, têm importância econômica para as empresas devido à questão das indenizações, seguros e baixas trabalhistas.

## 4 ÍNDICES DE ACIDENTABILIDADE<sup>1</sup>

Todas as empresas devem dar importância à interpretação dos índices estatísticos e dos índices de segurança. Ambos os índices estabelecem uma relação com a diminuição de custos da empresa.

Estabelece, além disso, o nível de redução dos custos diretos e indiretos de uma empresa ao diminuir os riscos de acidentes. Os índices estatísticos de segurança se complementam com a taxa de risco e sua importância para diminuir os custos diretos anuais da empresa.

Esta taxa de risco se controla com os índices de frequência, com os índices de gravidade e com os índices de acidentabilidade.

### **Incidência**

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de Acidentes de Trabalho (por ano)}}{\text{N}^\circ \text{ médio população trabalhadora exposta}}$$

### **Frequência**

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de Acidentes de Trabalho (ao ano)}}{\text{N}^\circ \text{ horas trabalhadas por coletivo exposto}}$$

### **Gravidade**

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de dias não trabalhados por acidente de trabalho (ao ano)}}{\text{N}^\circ \text{ horas trabalhadas por coletivo exposto}}$$

### **Duração Média**

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de dias não trabalhados por acidente de trabalho (ao ano)}}{\text{N}^\circ \text{ de Acidentes de Trabalho}}$$

---

<sup>1</sup> Cf: OIT (2004)

## 5 MOTIVOS CAUSADORES DE ACIDENTES

Algumas breves definições são necessárias antes de se enumerar as causas dos acidentes. São elas:

### 5.1 FONTES

Segundo Miguel (1998) a fonte do acidente é a tarefa que a pessoa executava no momento de ocorrer o acontecimento.

### 5.2 AGENTES

O agente, é o elemento físico do ambiente que tem participação direta na geração do acidente, como explica Miguel (1998). Normalmente podem ser classificados, como por exemplo: materiais, meios de produção, edifícios, esmeril, etc.

### 5.3 TIPOS

Miguel (1998) afirma que o tipo de acidente é a forma em que se produz o contato entre a pessoa e o objeto do ambiente.

Cada vez que em um determinado local ocorre um acidente, deve-se ter consciência que há um problema que deu origem a este fato. Esse problema pode existir por diversos motivos, entre eles, como expõe Miguel (1998):

- Desconhece-se a forma correta de fazer as coisas;
- Não se corrigem as deficiências;
- Não se inspecionam nem avaliam as condições de trabalho, subestimando-se o risco;
- Alguém sem autorização ou sem experiência decidiu seguir adiante, apesar da deficiência;
- Alguém com autoridade decidiu que o custo para corrigir a deficiência, excedia do benefício derivado da correção; e

- Alguém com autoridade não deu atenção ao funcionário quando este informou a deficiência.

## 5.4 CAUSAS

Macedo (1998) afirma que há duas grandes causas de acidentes, as pessoas e o meio ambiente de trabalho. É normal que num acidente encontremos não só uma, mas várias causas atuando ao mesmo tempo.

### 5.4.1 Causas Humanas

As causas humanas dos acidentes são chamadas atos inseguros. Em geral, os atos inseguros definem-se como qualquer ação (coisas que se fazem) ou falta de ação (coisas que não se fazem) que podem levar a um acidente.

É a ação pessoal indevida, que se desvia dos procedimentos ou metodologia de trabalho aceitos como corretos; sejam escritos ou repassados em forma de instrução verbal pela supervisão. Trata-se de atos comuns, muitas vezes realizados sem pensar que podem causar acidentes. Alguns exemplos são:

- Não respeitar procedimentos de trabalho;
- Trabalhar sem autorização ou não estar capacitado;
- Não usar os equipamentos de proteção pessoal;
- Fazer brincadeiras durante procedimentos arriscados;
- Conduzir veículos com excesso de velocidade; e
- Fumar em presença de combustíveis ou inflamáveis.

Cada ato inseguro tem uma explicação. Há algo que leva à pessoa a cometer essa ação. A esse fator que explica os atos inseguros, denomina-se fator pessoal.

Os fatores pessoais podem dividir-se em três grandes tipos:

A **falta de conhecimento** ou de habilidade se produz quando o funcionário foi mal selecionado para o cargo a executar, não é o trabalhador adequado, não lhe foi ensinado ou não praticou o suficiente.

A **falta de motivação** é outro fator importante. As atitudes indevidas se produzem quando a pessoa tenta poupar tempo, evitar esforços, evitar incômodos ou ganhar prestígio. Em resumo, quando sua atitude para sua própria segurança e a dos demais não é positiva.

A **incapacidade física** ou mental se produz quando o funcionário foi mal selecionado para o cargo a executar, não é o trabalhador adequado, ou quando a pessoa tem diminuída sua capacidade física ou mental de forma temporária ou permanente.

#### **5.4.2 Causas Ambientais**

As causas ambientais dos acidentes são chamadas condições inseguras. As condições inseguras se definem como qualquer condição do ambiente de trabalho que pode contribuir para um acidente. Estas condições do ambiente de trabalho estão circunscritas pelo espaço físico, ferramentas, estruturas, equipes e materiais em geral, que não cumprem com os requisitos mínimos para garantir a proteção das pessoas e os recursos físicos do trabalho. Alguns exemplos são:

- Linhas elétricas sem fio-terra;
- Piso escorregadio ou com poças de óleo;
- Passagens com sinalização em mau estado ou incorreta;
- Equipamentos em mau estado;
- Correias transportadoras sem proteção; e
- Engrenagens ou roldanas em movimento sem proteção.

Nas condições inseguras existem causas que as fazem surgir. Esse fator que explica as condições inseguras é denominado fator do trabalho, os quais podem dividir-se em:

**Desgaste normal** é um processo natural de todo equipamento ou material, o uso e o tempo o produzem. Antes que se produza esse desgaste, deve haver uma ação preventiva para evitar o risco. É fundamental para isso manter uma boa comunicação com a equipe de manutenção, de modo que ela avalie o material ou equipamentos com regularidade para saber com certeza quando trocar ou consertar.

O **desgaste anormal** se produz por uso inadequado de um equipamento ou ferramenta, que deve corrigir-se com capacitação dos usuários e inspeções regulares da equipe de manutenção da empresa.

Outros fatores causadores de acidentes por condições inseguras são:

**Abuso por parte dos usuários:** Quando se encontram ferramentas e equipamentos em bom estado que são utilizadas para outros fins, diversos daqueles ao qual se destina realmente a ferramenta ou equipamento. Por exemplo, usar uma chave de fenda como alavanca, um alicate para martelar, etc.

**Planejamento inadequado:** Quando as instalações não consideraram a segurança de sua operação no momento de confecção da planta. Por exemplo, espaço insuficiente, iluminação inadequada, pouca ventilação, espaços de trânsito estreitos, etc.

**Manutenção inadequada:** A não substituição de equipamentos desgastados pelo tempo, a falta de reposição de peças, etc.

Finalizando, para que ocorra um acidente dependerá do grau de risco das ações e condições existentes no momento. Haverá algumas de maior risco, e, nestes casos, a possibilidade de acidente será maior. Haverá outras de menor risco, em que as possibilidades serão menores.

## 6 CLASSIFICAÇÃO DOS ACIDENTES

De acordo com o que ensina Fudoli (2003), tipo de acidente pode-se definir como a forma em que se produz o contato entre o acidentado e o agente causador do acidente. Tendo em vista essa definição, ainda segundo o autor, os acidentes podem se classificar em três grandes grupos:

### 6.1 DO AGENTE CAUSADOR PARA O HOMEM

Choque → Elemento sólido que golpeia o trabalhador enquanto realiza sua tarefa.

Compressão → Opressão, achatamento ou compressão do trabalhador entre um objeto em movimento e outro estacionário ou então entre dois objetos em movimento.

Contato direto → Contato com algum objeto ou substância que transmite energia e fere sem necessidade de que exista força.

### 6.2 DO HOMEM PARA O AGENTE CAUSADOR

Colisão → Causado quando o corpo do trabalhador entra em colisão contra alguma fonte fixa e que produz dor ou dano ao corpo.

Contato direto → Contato com algum objeto ou substância que transmite energia e lesa sem necessidade de que exista força.

Aprisionamento → Todo o corpo ou algum segmento corporal do trabalhador é preso em algum espaço ou abertura.

Queda em nível → Quando o trabalhador cai no mesmo nível onde se encontrava executando sua tarefa.

Queda em desnível → Quando o trabalhador cai a um nível inferior àquele onde se encontrava antes da queda.

### 6.3 MOVIMENTO RELATIVO INDETERMINADO

Por esforço → O trabalhador é lesado por esforço físico que excede a sua capacidade de resistência.

Por exposição → Quando o trabalhador sofre dano ao estar exposto a radiações ionizantes, infravermelhas, ultravioletas, ruído, pó, etc.

## 7 EFEITOS DOS ACIDENTES

Segundo Miguel (1998), as consequências dos acidentes podem ser lesões, danos, perda de tempo, entre outros, no entanto, diz-se que são “probabilidades”, pois pode haver um acidente sem que se produzam estas consequências.

### 7.1 PARA OS TRABALHADORES

O primeiro deles é a **falta de confiança em si mesmo**, o trabalhador que se acidentou uma vez pode estar receoso se voltará a acidentar-se e poderá ter medo de voltar ao mesmo lugar em que se acidentou.

Além disso, há os **efeitos na vida familiar**, pois a pessoa que se acidenta muitas vezes se aborrece ao sentir que não pode colaborar em sua casa. Dano psicológico nos familiares que poderão sofrer com a sua condição de acidentado.

Ocorrem também os **efeitos nas atividades externas à empresa**, pois o empregado fica impedido, na maioria das vezes, de assistir a reuniões com amigos, praticar esportes ou recrear-se.

Finalmente, verifica-se uma **queda na renda**, pois ainda que o seguro cubra a maior parte dos gastos, o acidentado não terá os mesmos rendimentos.

### 7.2 EFEITOS PARA A EMPRESA

- Pagamentos de horas extraordinárias para substituir o trabalhador lesado;
- Diminuição da produtividade, já que nenhum trabalhador poderá fazer o trabalho da mesma forma que o trabalhador titular dessa atividade;
- Falta de ânimo e baixa moral dos demais trabalhadores; e

- Perda de tempo de todos os trabalhadores por atender ao lesado ou comentar o acidente entre eles.

## 8 A LEGISLAÇÃO PERTINENTE

### 8.1 BREVE HISTÓRICO

No Brasil, o assunto vem sendo abordado desde a Constituição de 1934, onde no seu artigo 121, §1º, h, estava assegurado como direito do trabalhador, “a assistência médica e sanitária” (MENDES, 1994).

Abordava a Constituição de 1937, no seu artigo 137, I, como norma a ser observada pela legislação do trabalho, “a assistência médica e higiênica a ser dada ao trabalhador”.

A Constituição de 1946, artigo 157, VIII, mencionava que os trabalhadores teriam direito à higiene e segurança do trabalho.

A Lei nº 5.161/66, criou a Fundação Centro de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO, 1991) para investigação, pesquisa e assistência às empresas, com a finalidade de aperfeiçoar a prevenção dos acidentes do trabalho.

A Constituição de 1967 (PRESIDÊNCIA, 2005a) reconheceu, também, o direito dos trabalhadores à higiene e segurança no trabalho (artigo 158, IX). A Emenda Constitucional nº 1, de 1969 (PRESIDÊNCIA, 2005b), repetiu a mesma disposição (artigo 165, IX).

A CLT (Consolidação das Leis do Trabalho) sofreu uma nova redação nos seus artigos 154 a 201, determinada pela Lei nº 6.514, de 22/12/1977 (MTE, 2005a), passando a utilizar a expressão “segurança e medicina do trabalho”, e não mais “higiene e segurança do trabalho”. A Portaria nº 3.214, de 08/06/1978 (MTE, 2005b), declarou as atividades insalubres e perigosas ao trabalhador.

A atual Constituição, promulgada em 05/10/1988 (PRESIDÊNCIA, 2005c), modificou a orientação das normas constitucionais anteriores, especificando em seu artigo 7º, XXII que:

Art. 7º. São direitos dos trabalhadores urbanos e rurais, além de outros que visem à melhoria de sua condição social:

XXII - redução dos riscos inerentes ao trabalho, por meio de normas de saúde, higiene e segurança.

## 8.2 NORMAS GERAIS

Como já dito, as normas de segurança e medicina do trabalho visam, principalmente, a prevenção de acidentes no ambiente de trabalho. Estão no capítulo V, artigos 154 a 201 da CLT (MTE, 2005a).

As empresas têm por obrigação cumprir e fazer cumprir as normas. A fiscalização, e não só a instituição dessas normas, é essencial para a manutenção de um ambiente laboral harmônico e produtivo.

Outro "ator" nesse processo de harmonização, que tem papel fundamental, é o empregado. Cabe a ele cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho e exigir da empresa o cumprimento dessas normas. A não observância de tais normas, constitui falta grave podendo levar a rescisão do contrato de trabalho. (Artigo 158, parágrafo único, CLT) (MTE, 2005a).

## 8.3 MEDIDAS PREVENTIVAS DE MEDICINA DO TRABALHO

No âmbito da medicina do trabalho, o exame médico é uma das medidas preventivas adotadas. Este exame que corre sempre por conta do empregador, deve ser realizado na admissão do empregado, na sua dispensa e periodicamente. O Ministério do Trabalho é que determinará quando serão exigíveis os exames médicos por ocasião da dispensa e os complementares. (Artigos 168 e 169, CLT e NR 7) (MTE, 2005a).

Alguns pontos fazem-se salientar: as microempresas estão dispensadas da obrigatoriedade de realização de exames médicos (Decreto nº 90.880/85) (DATAPREVE, 2003a); todo estabelecimento deverá estar equipado com material de primeiros socorros; e a empresa deverá

encaminhar o empregado ao INSS, quando constatada doença profissional ou produzida em virtude de condições especiais do trabalho.

## **9 ACIDENTES DE TRABALHO E AS NR'S**

Com base no artigo 200 da CLT (Consolidação das Leis Trabalhistas) (MTE, 2005a), foi expedida a Portaria nº 3.214/78 (MTE, 2005b), que trata de uma série de normas complementares no que diz respeito a condições de segurança no trabalho. São as chamadas NR's.

Aqui serão citadas as NR's com alguns breves comentários:

**NR 1** – Disposições Gerais;

**NR 2** – Inspeção Prévia;

**NR 3** – Embargo ou Interdição;

**NR 4** – SESMT (Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho): obrigatoriedade da empresa, em manter serviços especializados por profissionais especializados (médico e eng<sup>o</sup> do trabalho);

**NR 5** – CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes): formada por representantes da empresa e dos empregados. Obrigatória para empresa com mais de 20 empregados. Tem por objetivo observar e relatar as condições de risco nos ambientes de trabalho e solicitar medidas contra esses riscos. (Artigo 163, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 6** – EPI (Equipamento de Proteção Individual): fornecido de forma obrigatória pela empresa de forma gratuita. Visa proteger os empregados contra os riscos de acidente. Deve haver fiscalização quanto ao seu uso. A recusa injustificada de seu uso, configura falta grave;

**NR 7** – Programas de Controle Médico de saúde Ocupacional;

**NR 8** – Edificações: deverão ter com os requisitos técnicos necessários à perfeita segurança dos trabalhadores. (Artigo 170, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 9** – Programas de Prevenção de Riscos Ambientais;

**NR 10** – Instalações e Serviços em Eletricidade: necessidade de profissional qualificado. Proteção aos empregados para evitar acidentes com choque elétrico. (Artigos 179 a 181, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 11** – Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais: As pessoas que trabalharem na movimentação de matérias deverão estar familiarizadas com os métodos racionais de levantamento de cargas. (Artigos 182 e 183, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 12** – Máquinas e Equipamentos: deverão ser dotados de dispositivos de partida e parada, necessários para a prevenção de acidentes. (Artigos 184 a 186, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 13** – Caldeiras e Vasos de pressão: deverão dispor de válvulas e outros dispositivos de segurança, para evitar que seja ultrapassada a pressão interna de trabalho que deve ser compatível com sua resistência. (Artigos 187 e 188, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 14** – Fornos;

**NR 15** – Atividades e Operações Insalubres: capítulo à parte;

**NR 16** – Atividades e Operações Perigosas: capítulo à parte;

**NR 17** – Ergonomia: 60 kg. é o peso máximo que um empregado pode remover individualmente. Exceções: mulheres conforme art. 390, CLT; e menores conforme art. 405, § 5º, CLT. (Artigos 198 e 199, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 18** – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção;

**NR 19** – Explosivos;

**NR 20** – Líquidos Combustíveis e Inflamáveis;

**NR 21** – Trabalho a Céu Aberto: obrigatória existência de abrigos, ainda que rústicos, capazes de proteger os trabalhadores contra intempéries;

**NR 22** – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração: só é permitido a homens entre 21 e 50 anos. Máximo de 6 horas diárias;

**NR 23** – Proteção Contra Incêndios: extintores, saídas de emergência, escadas etc.;

**NR 24** – Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho: instalações sanitárias, com separação entre sexos, chuveiros, lavatórios, vestiários, refeitório, água potável, limpeza do local de trabalho. (Artigo 200, VII, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 25** – Resíduos Industriais: a empresa deverá tratar os resíduos. (Artigo 200, VII, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 26** – Sinalização de Segurança: devem ser empregadas, nos locais de trabalho, cores, inclusive nas sinalizações de perigo. (Artigo 200, VIII, CLT) (MTE, 2005a);

**NR 27** – Registro Profissional do Técnico de Segurança do Trabalho no MTE;

**NR 28** – Fiscalização e Penalidades;

**NR 29** – Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho Portuário;

**NR 30** – Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho Aquaviário;

**NR 31** – Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaço Confinados;

**NR 32** – Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de assistência à Saúde.

## 9.1 CONCEITUAÇÃO JURÍDICA SOBRE INSALUBRIDADE, PERICULOSIDADE E PENOSIDADE

Nas palavras de Süssekind (1999, p. 167), a insalubridade assim se conceitua:

Em face do estatuído nos arts. 189 e 190 da CLT, há insalubridade, geradora do direito ao adicional de natureza salarial, quando o empregado sofre a agressão de agentes físicos ou químicos acima dos níveis de tolerância fixados pelo Ministério do Trabalho, em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos (critério quantitativo); ou, ainda, de agentes biológicos relacionados pelo mesmo órgão (critério qualitativo).

O quadro de atividades e operações insalubres será aprovado pelo Ministério do Trabalho. Nesse ponto, a NR 15 especifica as condições de insalubridade.

Quanto à periculosidade, são consideradas atividades ou operações perigosas, as que mantenham o trabalhador em contato permanente com produtos inflamáveis ou explosivos, em condições de risco acentuado, como preceitua o artigo 193 da CLT. A Lei 7.369/85 também caracterizou o contato do trabalhador com energia elétrica, como atividade perigosa, ensejando assim, também, o direito ao adicional de periculosidade.

Cabe ressaltar, quanto ao adicional de insalubridade e de periculosidade, que o empregado não poderá, concomitantemente, fazer jus aos dois, devendo optar por um deles.

Entende-se por trabalho penoso aqueles realizados em minas de carvão, transporte e entrega de carvão, limpeza de chaminés, trabalhos com grafite e cola, preparação de fertilizantes etc.

Apesar de não haver norma legal sobre o tema, o inciso XXIII do artigo 7º da Constituição Federal/88, prevê o adicional de remuneração para atividades penosas.



## 10 CARACTERIZAÇÃO DOS PROBLEMAS EM CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO

### 10.1 CAUSAS CARACTERÍSTICAS DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS À VAPOR

As caldeiras e outros tipos de equipamentos que funcionem a vapor estão sujeitos a uma variedade de falhas que envolvem um ou mais mecanismos (BAZZO, 1995).

As falhas mais comuns neste tipo de equipamento são as corrosões, que incluem também a erosão. Segundo Bazzo (1995, p. 121), estas falhas normalmente se manifestam através de:

- ✓ processos mecânicos do ambiente externo, incluindo à corrosão sob fadiga e avarias causadas pela ação do hidrogênio;
- ✓ fissuras, incluindo aquelas causadas por desgaste, por fadiga térmica e rupturas por fadiga;
- ✓ e deformação, especialmente aquela que envolve a expansão térmica ou creep<sup>2</sup>.

### 10.2 CLASSIFICAÇÃO DAS CAUSAS

As causas mais comuns de rupturas em caldeiras são aquelas provocadas por falhas no projeto, defeitos de fabricação, operações indevidas e um inadequado tratamento da água de alimentação (CROWL e LOUVAR, 2000).

A maioria das falhas em geradores de vapor ocorre em componentes pressurizados, em suas tubulações ou em vasos de pressão que constituem uma significativa porção do sistema de geração a vapor (CONFEA, 2005).

---

<sup>2</sup> Deformação a quente.

Com poucas exceções, as falhas nos componentes pressurizados estão restritas aos componentes de pequeno diâmetro utilizados para a transferência de calor nas caldeiras (TELLES, 1995).

### 10.3 FALHAS QUE ENVOLVEM RUPTURA SÚBITA DE TUBULAÇÕES

De acordo com o projeto das caldeiras, a geração de energia calorífica ocorre a partir da energia potencial dos combustíveis, mediante o uso do vapor superaquecido a níveis de pressão médios ou altos (VAN WYLEN e SONNTAG, 1998).

O fluxo de calor que ocorre nos tubos destas caldeiras é formado por três componentes: o compressor, responsável pela elevação de pressão, o aquecedor do fluido de trabalho (combustor) e a turbina propriamente dita. A transferência de calor ocorre a partir a chama ou pelos gases quentes, que ocorrem tanto por radiação como por convecção (BAZZO, 1995).

Segundo Telles (1995):

Um desequilíbrio no fluxo de calor pode provocar uma deformação dos vasos de pressão ou até mesmo a uma súbita ruptura. A ruptura dos vasos de pressão das caldeiras é um defeito extremamente grave, pois pode causar um aumento imediato na erosão de tubos adjacentes, provocando escape de vapor nas paredes laterais da fornalha.

O superaquecimento dos demais vasos de pressão ou tubulações de caldeiras pode causar vazamentos, danificando outros componentes do sistema, o que resulta em perdas no fluido de trabalho (TELLES, 1995).

A ruptura dos vasos de pressão ou tubulações de caldeiras (excluindo as causadas por corrosão ou fadiga, os quais usualmente são o resultado da operação do equipamento que provoque uma fissura súbita) podem classificar-se como rupturas causadas por superaquecimento e rupturas causadas por fragilização.

## 11 RUPTURAS CAUSADAS POR SUPERAQUECIMENTO

As falhas por superaquecimento têm sua classificação subdividida dois tipos, de acordo com Crowl e Louvar (2000):

- ✓ Superaquecimento por longo período: são aquelas que podem ser causadas por uma exposição de longa duração, provocadas pela perda de resistência do aço à alta temperatura; e
- ✓ Superaquecimento por curto período: são as falhas súbitas, provocadas, por exemplo, pela falta de água no sistema.

### 11.1 SUPERAQUECIMENTO POR LONGO PERÍODO

Os tubos que ficam sujeitos ao superaquecimento muitas vezes contêm depósitos minerais significativos, têm um fluxo de resfriamento prejudicado, experimentam uma entrada de calor excessiva em uma das laterais da tubulação superior ou se encontram próximas ou posicionadas do lado oposto dos queimadores.

As caldeiras e vasos de pressão nas quais as partes que entram em contato com a água não estejam protegidas por aço-carbono estão sujeitas a este tipo de falhas, da mesma forma que os tubos inclinados devido à condensação do vapor (TELLES, 1995).

Este tipo de problemas costuma ocorrer em grandes superfícies de contato e normalmente afetam muitos tubos ao mesmo tempo. De um modo geral, muitos deles se rompem ou se deformam. O superaquecimento de longa duração é uma condição em que a temperatura do metal é submetida a limites superiores aqueles determinados pelo projeto da caldeira ou dos vasos de pressão por um período prolongado (durante dias, semanas, meses ou mais tempo). Este tipo de superaquecimento é a causa mais comum de falhas do que qualquer outro mecanismo (CONFEEA, 2005).

Devido ao fato de que o aço perde muita resistência mecânica quando submetido a temperaturas elevadas, as probabilidades de uma ruptura causada pela pressão interna normal do equipamento aumentam à medida que se eleva a temperatura. (ASME, 2005).

O superaquecimento de longa duração depende da temperatura, do tempo em que se mantenha essa temperatura e da metalurgia dos vasos de pressão. A temperatura dos gases no interior do equipamento muitas vezes é superior a 1093°C. (CROWL e LOUVAR, 2000).

A transferência de calor para um tubo de uma caldeira é controlada parcialmente pelas características do material de isolamento que fica entre as superfícies interna e externa (BAZZO, 1995).

A transferência de calor recebe uma influência visível na região onde se forma uma película de gás que normalmente se deposita sobre as superfícies externas dos vasos de pressão. Comumente, ocorre uma queda na temperatura de mais que 537°C devido à formação desta película (TELLES, 1995).

Os depósitos, os substratos do processo de corrosão, os elementos refratários e outros materiais que se encontrem sobre a superfície externa também reduzem levemente as temperaturas do metal (GENTIL, 2003).

A resistência térmica da parede do tubo pode provocar uma queda muito pequena na temperatura ao longo da parede, quando se leva em consideração a transferência de calor que ocorre ao longo da superfície no lado da água, invertendo o efeito dos depósitos.

Quando ocorrem muitas destas deformações ao longo das superfícies aquecidas, normalmente há grande formação de depósito. O aparecimento de deformidades costuma causar o desprendimento de crostas destes depósitos, provocando uma redução localizada de temperatura.

No entanto, o fluxo de água produz uma camada de vapor devido à perturbação provocada pela deformação. A temperatura do metal é mais alta nos pontos onde ocorrem deformações dos vasos de pressão, formando um diferencial do metal adjacente.

### 11.2 OXIDAÇÃO TÉRMICA<sup>3</sup>

Um sinal de superaquecimento de longa duração pode ser uma camada espessa, frágil e escura de oxidação sobre as superfícies tanto interna quanto externa dos vasos de pressão (TELLES, 1995).

Se a temperatura do metal ultrapassa determinado valor de acordo com cada liga de metal, a oxidação térmica se tornará excessiva. Com frequência, a camada de óxido formado termicamente provoca fissuras e fendas longitudinais (ASME, 2005).

O adelgaçamento da parede dos vasos de pressão pode ser consequência de uma oxidação térmica cíclica e do desprendimento de crostas. Este processo pode continuar até que toda a parede do vaso se converta em óxido, fazendo com o que se forme uma cavidade, como pode ser visto na figura 1 abaixo:



Figura 1 - Ruptura por Oxidação Térmica

---

<sup>3</sup> Figura 1

### 11.3 RUPTURA POR DEFORMAÇÃO PLÁSTICA<sup>4</sup>

É uma deformação causada por superaquecimento por longo período que produz uma ruptura de dobras grossas no seu vértice. A deformação plástica se produz lentamente até ocasionar a junção de microfuros do metal durante o superaquecimento (CROWL e LOUVAR, 2000).

Com frequência, ocorrerá uma pequena fissura longitudinal no vértice do vaso de pressão. A ruptura costuma ter um aspecto de corte longo e ligeiramente denteado, conforme mostra a figura 2. Nas proximidades da fissura podem existir rupturas e fissuras longitudinalmente, similares à fissura principal, porém menores.



Figura 2 – Ruptura por deformação plástica

Quando ocorrem rupturas de bordas largas com cortes dentados, é possível identificá-la por uma camada espessa e delicada ao redor da falha, indicando que houve superaquecimento de longo período. Quando há ocorrência frequente de temperaturas que se elevaram muito e por muito tempo, a redução na resistência mecânica do metal é tal que a falha ocorre antes que possam desenvolver-se quantidades significativas de oxidação.

De acordo com Telles (1995):

A dobra e a deformação plástica são muito frequentes em vasos de pressão. A ruptura quase sempre é longitudinal, no

---

<sup>4</sup> Figura 2

formato de boca de peixe. As bordas da ruptura podem ser laminadas ou ter maior espessura, dependendo do tempo, temperatura e níveis de pressão que tenham concorrido para a ocorrência da falha. É possível também que se apareçam dobras múltiplas.

É comum encontrarem-se presentes depósitos do lado da água e com frequência serão duros e estratificados. Os depósitos tendem a mostrar camadas múltiplas de cores e texturas diferentes, verificando-se que as mais internas são as mais duras e mais resistentes.

Para eliminar este problema é necessária a inspeção a fim de identificar falhas crônicas no sistema. Devem ser removidos os excessos de depósitos por limpeza química ou mecânica e evitar sua recorrência. Devem ser revisados os procedimentos de combustão, o valor em BTU dos combustíveis e as temperaturas próximas às áreas superaquecidas (CROWL e LOUVAR, 2000).

Devem ser identificadas e eliminadas as fontes mais expressivas de depósitos. As causas comuns destes depósitos incluem o tratamento incorreto da água, a contaminação do sistema, a operação incorreta da caldeira ou a entrada excessiva de calor ou ainda uma combinação delas (BAZZO, 1995).

#### 11.4 SUPERAQUECIMENTO POR CURTO PERÍODO<sup>5</sup>

Quando o nível baixo da água é o motivo causador do problema, as falhas muitas vezes ocorrerão próximas ao espelho ou na saída dos gases. Quando um tubo rompido apresenta o problema isoladamente, junto a outros tubos que aparentemente não tenham sido alterados, é possível que tenha ocorrido uma obstrução ou quaisquer outros problemas relacionado ao escoamento.

Bazzo (1995), informa que os superaquecimentos por curto período:

Ocorrem quando a temperatura do tubo se eleva, por um curto espaço de tempo, acima dos limites delimitados pelo projeto do equipamento. Dependendo da temperatura, a falha pode ocorrer em um período de tempo muito curto. Este tipo de

---

<sup>5</sup> Figura 3

problema costuma ser causado por alguma falha na operação da caldeira.

As condições que conduzem a um superaquecimento por curto período são as obstruções parciais ou totais dos tubos e/ou ao resfriamento insuficiente, devido a condições anormais ou uma entrada excessiva de calor, ou mesmo os dois fatores combinados.

Bazzo (1995) complementa que:

Como o superaquecimento por curto período normalmente tem pouco a ver com os padrões químicos da água, os esforços devem concentrar-se nos procedimentos de operação e na adequação de uso ao projeto do equipamento.

Frequentemente, uma falha causada por superaquecimento por curto período pode ser identificado por um exame metalográfico. Uma análise deste tipo requer que o tubo seja seccionado para realizar seu exame microscópico. A maior parte das demais técnicas de identificação são menos eficazes (CROWL e LOUVAR, 2000).

Vários fatores se apresentam com frequência nas falhas causadas pelo superaquecimento por curto período. São as expansões uniformes dos tubos, as ausências de depósitos internos expressivos, a ausência de grandes quantidades de magnetita formada termicamente e a ruptura violenta.

O superaquecimento por curto período pode produzir sérias deformações. No superaquecimento muito rápido, é possível ocorrer uma ruptura longitudinal de paredes espessas ou uma ruptura longitudinal no formato de boca de peixe, como mostra a figura 3. Sob temperaturas elevadas, a resistência mecânica do metal se reduz expressivamente.



Figura 3 – Superaquecimento por curto período

As bordas da ruptura podem não ser denteadas e conservar a espessura original da parede ou adelgaçarem-se de forma gradual até formar bordas laminadas. Em alguns casos, o diâmetro dos vasos de pressão pode expandir-se de maneira uniforme sem que ocorra a ruptura (TELLES, 1995).

## 12 FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS<sup>6</sup>

É possível, que se produzam depósitos em qualquer região onde estejam presentes água ou vapor numa caldeira, conforme mostra a figura 4. Os depósitos nos vasos de pressão costumam serem formados por substratos da corrosão que foram arrastados de seu ponto de formação original (TELLES, 1995).

As purgas de sedimentos e de vapor com frequência contêm depósitos. Em virtude das válvulas de purga serem de fácil acesso, uma inspeção visual pode fornecer muitos detalhes a respeito da composição química da água e dos processos de formação de depósitos (GENTIL, 2003).

A deposição térmica se refere a materiais que se originam em um determinado ponto do equipamento e são arrastados até outro ponto onde se depositam, não devendo ser confundidos como produtos de corrosão localizada.



Figura 4 – Depósito no interior da tubulação de caldeiras

Segundo Gentil (2003), a formação de depósito no interior da caldeira pode se originar de quatro fontes: dos minerais arrastados pela água, dos produtos químicos para tratamento, dos resíduos da corrosão ou de contaminantes.

A velocidade com que se formam os depósitos sobre as superfícies de transferência de calor é controlada principalmente pela solubilidade dos sais e pela resistência física do depósito (TELLES, 1995).

---

<sup>6</sup> Figura 4

Uma quantidade relativamente pequena de depósito pode fazer que as temperaturas das paredes se elevem de forma considerável. Uma regra empírica referente à limpeza do tubo sugere que as caldeiras de alta pressão (superiores a 1800 psi) podem ser consideradas relativamente limpas se no feixe tubular forem encontrados menos de 15 mg/cm<sup>2</sup> em depósitos (CONFEA, 2005).

Esta quantidade de depósitos é típica de quase todas as classes de caldeiras, independente da composição química da água, do tipo de caldeira ou do combustível utilizado. Os tubos de caldeira que apresentarem mais de 40 mg/cm<sup>2</sup> são considerados muito sujos (CONFEA, 2005).

## 13 FALHAS CAUSADAS POR FRAGILIZAÇÃO

### 13.1 AVARIAS POR HIDROGÊNIO<sup>7</sup>

Esta forma de defeito é o resultado direto das reações eletroquímicas de corrosão nas quais se libera hidrogênio em forma atômica. Os danos causados pelo hidrogênio se restringem aos vasos que estejam sofrendo corrosão de forma ativa (GENTIL, 2003).

Estudos realizados por Crowl e Louvar (2000) demonstraram que os danos por hidrogênio raras vezes ocorrem em caldeiras que operam com pressões abaixo de 1000 psi. Os danos por hidrogênio podem se apresentar nos locais onde as reações de corrosão conduzem à produção de hidrogênio atômico. A avaria pode originar-se de uma reação de corrosão ácida ou cáustica.

Segundo Gentil (2003):

O hidróxido de sódio concentrado dissolve o óxido de ferro. Com a cobertura protetora destruída, a água pode então reagir diretamente com o ferro para liberar hidrogênio atômico. O hidróxido de sódio também pode reagir diretamente com o ferro para produzir hidrogênio. Caso se libere hidrogênio atômico, este pode difundir-se para o aço. Parte deste hidrogênio atômico difundido se combinará nos contornos dos grãos do metal para produzir hidrogênio molecular ou metano. Estes gases se acumulam até que a pressão cause a separação do metal nos contornos de seus grãos, donde se produzem microfissuras intragranulares descontínuas. Ao acumularem-se, a resistência mecânica dos vasos de pressão diminui até que as fadigas causadas pela pressão ultrapassem a resistência do metal. Neste ponto pode ocorrer um rompimento longitudinal da parede espessa.

Em geral, não é possível identificar visualmente as avarias causadas por hidrogênio antes que ocorram, como mostra a figura 5. Normalmente, os danos causados pelo hidrogênio são de difícil detecção por meios não-destrutivos, ainda que se tenham desenvolvido técnicas bastante sofisticadas de medição de espessura das paredes por ultrassom para revelar o metal avariado. As verificações da espessura por ultrassom podem ajudar a revelar as áreas com problema.

---

<sup>7</sup> Figura 5



Figura 5 – Ruptura induzida por hidrogênio

Dois fatores críticos determinam a susceptibilidade ao dano por hidrogênio. São eles a disponibilidade de substâncias que provoquem um meio ácido ou alcalino e o processo de concentração. Os dois devem estar presentes em forma simultânea para que ocorram os danos por hidrogênio (GENTIL, 2003).

Segundo Crowl e Louvar (2000), para eliminar a disponibilidade de substâncias que elevem ou reduzam demais o pH, deve-se observar as seguintes recomendações:

- ✓ Reduzir a quantidade de hidróxido de sódio livre disponível;
- ✓ Evitar a liberação inadvertida de produtos químicos de regeneração;
- ✓ Impedir infiltrações no condensador;
- ✓ Evitar a contaminação do vapor e do condensado pelas correntes de processos;
- ✓ Impedir a formação excessiva de depósitos do lado da água; e
- ✓ Evitar a formação de linhas de nível de água.

### 13.2 GRAFITIZAÇÃO

É uma mudança microestrutural do aço com baixo teor de carbono que ocorre a uma temperatura relativamente moderada em períodos de tempo longos. A grafitação acaba por fragilizar determinadas partes do aço. A camada de desagregação depende diretamente da temperatura devido as diferentes energias de ativação nas reações envolvidas no processo (BAZZO, 1995).

Normalmente esse defeito apresenta-se depois de um superaquecimento por longo período, onde os nódulos de grafite se reordenam provocando a diminuição da resistência a pressões internas, fazendo com que metal se desprenda nestas regiões como se fosse uma descamação ou desprendimento de escamas.

## 14 FALHAS CAUSADAS POR CORROSÃO

### 14.1 CORROSÕES NO LADO DA ÁGUA

A corrosão mais comum encontrada no lado da água é causada pelo oxigênio. As três maneiras pelas quais o oxigênio pode ser introduzido pelo lado da água nos sistemas de vapor são, segundo Ramanathan (1999):

- ✓ Durante a operação, o ar pode ficar preso no sistema em regiões onde a pressão interna é menor do que a atmosférica;
- ✓ Quando o ar é admitido no sistema a cada vez em que é aberto para manutenção, reparos ou limpeza;
- ✓ O oxigênio livre relacionado como o produto da dissociação molecular da água.

A corrosão de superfícies ataca pequenas áreas, porque estas começam a funcionar como um anodo em relação ao restante da superfície ou porque estão localizados em pontos com alta concentração de contaminantes corrosivos na água. É frequentemente causadora direta de uma ruptura passiva de uma película superficial. Este processo ocorre relativamente rápido, provocando uma rápida perfuração, devido ao longo raio da área anodo-catodo.

Neste tipo de corrosão a área onde ocorre a fissura ou os depósitos é uma área anódica em suas partes contíguas devido às diferenças na concentração de oxigênio.

### 14.2 CORROSÕES NO LADO DO FOGO

À exceção de muitos combustíveis gasosos, a queima de combustíveis fósseis produz substratos sólidos, líquidos e gasosos que podem provocar corrosão nos componentes estruturais e nas superfícies de transferência de calor (GARCIA, 2002).

Além disso, os depósitos sólidos e resíduos líquidos nas regiões de circulação dos gases podem alterar as características de transferência de calor do sistema.

Os óleos combustíveis contêm cinzas que frequentemente não excedem 0,2% em concentração. A corrosão pela queima destes óleos pode causar alguns problemas, devido aos depósitos naturais de cinzas do óleo.

### 14.3 CORROSÃO POR OXIGÊNIO<sup>8</sup>

Um dos problemas de corrosão encontrados com mais frequência é resultado da exposição da parte metálica do equipamento ao oxigênio dissolvido. Como os óxidos de ferro são o estado mais estável e natural quimicamente, os aços tenderão a retornar a esta condição, se as circunstâncias se tornarem favoráveis do ponto de vista termodinâmico. Em geral, as condições tornam-se favoráveis se o aço que não estiver devidamente protegido for exposto à água que contenha oxigênio dissolvido (GENTIL, 2003).

De acordo com Ramanathan (1999), os três fatores críticos que determinam o início e o progresso da corrosão por oxigênio incluem:

- ✓ a presença de umidade ou de água;
- ✓ a presença de oxigênio dissolvido; e
- ✓ uma superfície do metal desprotegida.

Uma superfície do metal desprotegida pode ser provocada por três condições, segundo Gentil (2003):

- ✓ A superfície metálica está descoberta (por exemplo, depois de uma limpeza com ácido);
- ✓ A superfície metálica está revestida por um óxido de ferro de baixo potencial protetor (como a hematita); e

---

<sup>8</sup> Figura 6

- ✓ A superfície metálica é revestida por um óxido de alto poder de proteção (como a magnetita), mas existem zonas descobertas ou fissuras no revestimento.

Para identificação deste problema, basta o simples exame visual, se as superfícies danificadas forem acessíveis. Caso não o sejam, é provável que seja necessário a utilização de técnicas de provas não destrutivas, como os testes de medição de espessura das paredes por ultrassom (TELLES, 1995).

Quanto às formas de prevenção deste tipo de falhas, é preciso levar em consideração que os três fatores críticos que determinam a corrosão por oxigênio numa caldeira são: a umidade ou água, a presença de oxigênio e uma superfície metálica protegida de forma inadequada. A proteção bem sucedida de uma caldeira inativa durante uma situação em que haja necessidade de conservação a seco depende da eliminação constante da umidade, do oxigênio ou de ambos. Um processo de proteção da caldeira em conservação a seco pode envolver o uso de dessecantes e camadas de nitrogênio ou então a circulação contínua de ar seco e desumidificado (com umidade relativa inferior a 30%) (BAZZO, 1995). A Figura 6 mostra um exemplo de corrosão por excesso de oxigênio.



Figura 6 – Corrosão provocada por excesso de oxigênio na caldeira

#### 14.4 CORROSÃO CÁUSTICA<sup>9</sup>

Segundo Ramanathan (1999), em geral, a corrosão cáustica fica restrita a:

- ✓ tubos localizados em regiões de elevado fluxo de calor;
- ✓ tubos inclinados ou horizontais;
- ✓ regiões onde se acumulem depósitos espessos; e
- ✓ regiões de transferência de calor em anéis, soldaduras ou outros dispositivos que perturbam o fluxo (ou pontos adjacentes a eles).

A penetração cáustica se refere à interação corrosiva de hidróxido de sódio com um metal, produzindo cavidades esbranquiçadas, esféricas ou elípticas. As cavidades podem estar cheias de resíduos da corrosão e, às vezes, contém cristais brilhantes de magnetita. Em geral, a superfície metálica alterada tem um contorno liso e laminado (GENTIL, 2003).

Dois fatores críticos contribuem para a corrosão cáustica. O primeiro é a disponibilidade de hidróxido de sódio (com frequência, o hidróxido de sódio é adicionado intencionalmente à água de alimentação de uma caldeira, em níveis não corrosivos). O segundo fator que colabora para o aparecimento deste tipo de corrosão é o processo de concentração. Isto ocorre porque o hidróxido de sódio e os sais que desenvolvem a alcalinidade do meio raras vezes se encontram presentes a níveis

---

<sup>9</sup> Figura 7

corrosivos no meio, é preciso que exista um meio que provoque o aumento de sua concentração (BAZZO, 1995).

A identificação da corrosão cáustica (figura 7), se as superfícies alteradas são acessíveis, pode ser feita por um simples exame visual. Se não há acesso, é possível que se sejam necessárias técnicas não-destrutivas de prova, como a medição de espessura das paredes por ultrassom. Também podem ser feitas análises do vapor nas quais se utilize um medidor de hidrogênio com a finalidade de identificar a corrosão cáustica (TELLES, 1995).



Figura 7 – Corrosão cáustica de tubos de caldeira

Quanto à forma de eliminação deste tipo de falhas, segundo Ramanathan (1999), os seguintes procedimentos são passíveis de utilização para combater a corrosão que depende da disponibilidade do hidróxido de sódio ou de sais produtores de alcalinidade:

- ✓ Reduzir a quantidade de hidróxido de sódio livre disponível;
- ✓ Impedir a liberação inadvertida de produtos químicos;
- ✓ Evitar a infiltração de sais produtores de alcalinidade para os condensadores;
- ✓ Prevenir a contaminação do vapor e do condensado;
- ✓ Impedir a formação excessiva de depósitos do lado da água;  
e
- ✓ Prevenir a criação de linhas de nível cobertos pela água nas tubulações.

## 14.5 CORROSÃO POR CINZAS DO COMBUSTÍVEL<sup>10</sup>

A corrosão por cinzas do combustível é um fenômeno de corrosão em fase líquida e a elevada temperatura, que geralmente ocorre nos pontos onde as temperaturas do metal se encontram entre 593 e 816°C. Pode danificar os vasos de pressão, que se resfriam, ou também pode alterar o equipamento convertendo-se em um problema quando se mudam o tipo de combustível ou sua alimentação. Esta mudança pode conduzir à formação de um tipo de cinza *agressiva*. A corrosão por cinza de combustível ocorre quando, sobre o tubo, forma-se um resíduo silicoso que contém compostos de vanádio (RAMANATHAN, 1999).

Acredita-se que a corrosão ocorre pela oxidação catalítica do metal pelo pentóxido de vanádio. A rápida oxidação provocada reduz a espessura da parede metálica, que por sua vez, diminui a área que suporta a carga.

Esta área que suporta a carga leva a um excesso de fadiga na região adelgada. Chega um momento em que a influência combinada do grau de fadiga acumulada e das altas temperaturas do metal conduzem a uma falha causando a ruptura com deformação plástica (BAZZO, 1995).

É muito importante levar em consideração, como um fator crítico, que o desenvolvimento de um resíduo silicoso corrosivo pode ocorrer quando se utiliza combustível que contenha níveis elevados de vanádio, sódio ou enxofre, ou uma combinação destes elementos (GARCIA, 2002). Outro fator crítico é quando ocorre disponibilidade de concentrações elevadas de oxigênio, necessário para a formação de  $V_2O_5$ , ou quando se atingem temperaturas do metal maiores que 593° C.

Quanto à identificação, é preciso considerar que só ocorrem corrosões severas por cinzas de combustível (figura 8) quando a temperatura do metal ultrapassar os 593° C. (TELLES, 1995).

---

<sup>10</sup> Figura 8



Figura 8 – Corrosão provocada pelos gases de combustão

O primeiro passo no combate da corrosão por cinzas de combustível é a análise química, tanto do combustível como das cinzas, para determinar se estão presentes componentes corrosivos. A eliminação da corrosão por cinzas de combustível se consegue ao controlar os fatores críticos que a determinam. Em primeiro lugar, deve-se identificar que combustível que contém concentrações mais baixas de vanádio, sódio e enxofre, também é possível que seja necessário utilizar um aditivo para o seu tratamento (GARCIA, 2002). O uso de compostos de magnésio mostrou ser uma alternativa econômica para reduzir os problemas de corrosão por cinzas de combustível (CROWL e LOUVAR, 2000). Em segundo lugar, a combustão em caldeiras deve ser realizada com o mínimo de ar residual, para retardar a formação do  $V_2O_5$ . Por fim, deve-se impedir que os metais do superaquecedor e do aquecedor atinjam temperaturas superiores a  $593^\circ\text{C}$  (TELLES, 1995).

#### 14.6 CORROSÃO ÁCIDA DURANTE O FUNCIONAMENTO<sup>11</sup>

Devem estar presentes duas circunstâncias simultaneamente para produzir as condições localizadas de pH que favorecem o processo corrosivo. Em primeiro lugar, a caldeira precisa estar fora dos parâmetros normais e recomendados para a composição química da água de alimentação. A segunda condição é um processo de concentração dos sais causadores de acidez. Sempre que existam condições de baixo pH, a fina camada de óxido se dissolve e o metal é atacado. O resultado é a perda de metal bruto, conforme mostra a figura 9. Esta perda pode apresentar contornos lisos e laminados com aspecto semelhante ao da

---

<sup>11</sup> Figura 9

penetração cáustica. A área penetrada muitas vezes estará coberta por óxido de ferro (GENTIL, 2003).



Figura 9 – Óxidos de ferro em área afetada por corrosão ácida

Dois fatores críticos contribuem para a diminuição do pH. O primeiro é a disponibilidade do ácido livre ou de sais geradores de acidez. O segundo fator é o processo de concentração (GENTIL, 2003).

Segundo Ramanathan (1999), existem três processos básicos de concentração:

- ✓ Saídas de vapor concentradas;
- ✓ Formação de depósitos; e
- ✓ Evaporação no nível da água.

Quanto à forma de eliminação deste tipo de falha, Ramanathan (1999) preconiza alguns procedimentos para prevenir a corrosão ácida baseado na disponibilidade de ácidos livres ou sais produtores de acidez:

- ✓ Evitar a liberação de produtos químicos de geração ácida por descuido;
- ✓ Impedir a infiltração de sais produtores de acidez (como o cloreto de cálcio e o cloreto de magnésio) para os condensadores;
- ✓ Impedir a contaminação do vapor e do condensado;
- ✓ Evitar a formação excessiva de depósitos do lado da água; e
- ✓ Impedir a criação de linhas de nível de água nas tubulações.

## 14.7 CORROSÃO SOB FADIGA<sup>12</sup>

Este tipo de falha pode ocorrer sempre que coexistam um agente corrosivo específico e suficiente fadiga de tração cíclica. A fissura causada pela corrosão sob fadiga se refere à falha do metal que advém de uma interação sinérgica entre o esforço de tração e um corrosivo específico ao qual o metal seja sensível, como mostra a figura 10. As fadigas de tração cíclica podem ser pontuais, como as causadas pela pressão interna, ou residuais, como as induzidas pela soldadura (CROWL e LOUVAR, 2000).

Existem dois fatores principais que determinam a formação das fissuras por fadiga associadas à corrosão. Em primeiro lugar, o metal na região afetada deve ter sofrido um esforço de tração cíclica até um nível suficientemente elevado. As fadigas podem ser pontuais, residuais ou de ambos os tipos. Em segundo lugar, deve haver concentração de um corrosivo específico no lugar do metal tracionado. O corrosivo específico para aço-carbono nos sistemas de caldeiras e vasos de pressão é o hidróxido de sódio; para os aços inoxidáveis, o corrosivo pode ser tanto o hidróxido de sódio como os cloretos. Pequenas infiltrações podem conduzir à elevação na concentração de corrosivos (TELLES, 1995).

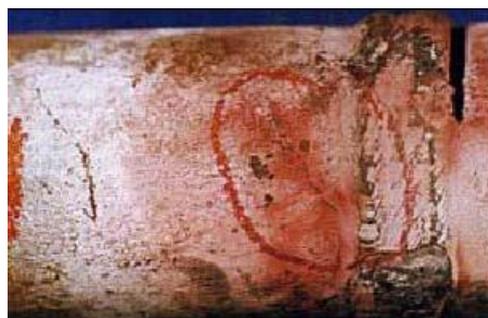


Figura 10 – Tubulação afetada por corrosão baixa fadiga

As falhas causadas por fissuras de corrosão sob fadiga sempre produzem fraturas na parede espessa, sem importar o grau de ductilidade do metal. Com frequência são associadas ramificações destas fissuras. A não ser

---

<sup>12</sup> Figura 10

que haja ocorrido a falha, a fissura por corrosão sob fadiga pode ser difícil de ser visualizada a olho nu, já que as fissuras tendem a ser muito finas e estreitas (BAZZO, 1995).

Para eliminar os problemas com a fissura de corrosão sob fadiga é necessário manter o controle das fadigas de tração cíclica ou da concentração dos produtos corrosivos. As fadigas pontuais são fadigas geradas durante o funcionamento da caldeira ou vaso de pressão. O termo fadiga residual se refere às fadigas inerentes ao próprio metal. São resultado dos processos de fabricação ou construção, como a soldadura ou a torção dos tubos (RAMANATHAN, 1999).

Em geral, evitar a presença de agentes corrosivos concentrados é o meio mais eficaz para reduzir ou eliminar as fissuras de corrosão sob fadiga. Os primeiros passos são conservar as superfícies internas suficientemente livres de depósitos e evitar a formação de linhas de nível de vapor e linhas de nível de água nos componentes que recebam um elevado fluxo de calor. Outros passos podem incluir evitar a infiltração de sais que produzam alcalinidade, impedir a contaminação da água para eliminar o superaquecimento por materiais alcalinos ou cloretos e evitar o arraste da água (RAMANATHAN, 1999).

O uso de inibidores, como o nitrato de sódio, obtiveram êxito na redução da fissura cáustica de corrosão sob fadiga. Também pode ser importante a utilização de fosfatos para inibir a formação de hidróxido de sódio livre (CROWL e LOUVAR, 2000).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As falhas causadas nas caldeiras e vasos de pressão geram graves prejuízos às empresas, motivo pelo qual se deve dar maior atenção à manutenção constante destes equipamentos a fim de reduzir o impacto nas empresas que tenham inclinação a sofrer deste tipo de problemas.

A identificação das falhas presentes nas caldeiras e vasos de pressão, possibilitam obter um conhecimento das causas e assim conseguir evitar no futuro que estas falhas se repitam devido à magnitude das consequências, tanto no âmbito da segurança, como no âmbito financeiro.

As formas de evitar estas falhas devem considerar-se dentro das atividades de operação e manutenção das caldeiras e capacitar ao pessoal envolvido para que tenha o critério adequado para atuar em caso de observar anomalias durante o serviço.

A NR-13 preceitua:

**NR 13** – Caldeiras e Vasos de pressão: deverão dispor de válvulas e outros dispositivos de segurança, para evitar que seja ultrapassada a pressão interna de trabalho que deve ser compatível com sua resistência. Artigos 187 e 188, CLT;

A NR-13 é, antes de mais nada, um elemento extremamente importante para a segurança dos indivíduos. Além disso, representa proteção para o patrimônio da organização e maior credibilidade (e, por conseguinte, disponibilidade) dos equipamentos, ao passo em que são alojados, operados, vistoriados e reformados dentro de modelos constituídos.

Na grande maioria das indústrias, as condições do ambiente e do processamento industrial, com altas taxas de corrosão, e temperaturas e pressões elevadas, ratificam a necessidade de que caldeiras e vasos de pressão recebam atenção adequada.

Outras questões importantes relativas a NR-13 são as vantagens econômicas, além das receitas intangíveis como uma imagem favorável a organização, que passa a ser relacionada a segurança e boas-práticas, tanto para seus colaboradores quanto para a sociedade.

## REFERÊNCIAS

ASME. American Society of Mechanical Engineers. **ASME News**. Disponível em: <<http://www.asme.org/>>. Acesso em: 12/04/2015

BAZZO, E. **Geração de Vapor**. Florianópolis: UFSC, 1995.

CONFEA. Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. **Revista da CONFEA**. Disponível em: <<http://www.confea.org.br/>>. Acesso em: 18/05/2015

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. **Chemical Process Safety: Fundamentals with applications**. New Jersey: Prentice-Hall PTR, 2000.

FUDOLI, J. U. Campanha de prevenção de acidentes. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, Segurança e Meio Ambiente, São Paulo, n. 191, p. 14, 2003.

FUNDACENTRO. **Curso de Medicina do Trabalho**. São Paulo, 1981.

GARCIA, R. **Combustão e combustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LCT, 2003.

LACAZ, F. A. C. **Cenário e estratégia em saúde dos trabalhadores de 1986 a 1994**. Brasília, 1994. Texto apresentado à 2ª Conferência Nacional de Saúde dos Trabalhadores.

MACEDO, R. **Manual de higiene do trabalho na indústria**. São Paulo: Editorial Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

MENDES, R. **Aspectos históricos da Patologia do Trabalho**. Rio de Janeiro: Atheneu, 1994.

MENDES, R.; DIAS, E. C. **Da medicina do trabalho à saúde do trabalhador**. São Paulo: Revista de Saúde Pública, 1991.

MIGUEL, A. S. de Sá R. **Higiene e Segurança do Trabalho**. Porto: Porto, 1998.

MPS. **Anuário Estatístico de acidentes de trabalho**, 2003. Disponível em: <<http://www.previdenciasocial.gov.br/12.asp>>. Acesso em: 23/05/2015

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego, 2005b. **Portaria nº 3.214, de 08/06/1978**.

Disponível em: <[www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Portarias/1978/conteudo/port\\_3214](http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Portarias/1978/conteudo/port_3214)> Acesso em: 03/06/2015

OIT. Organização Internacional do Trabalho. **Anuário estatístico da OIT**. 2004. Disponível em: <<http://www.ilo.org/public/portugue/region/ampro/brasil/rules/>>. Acesso em:

OMS. **Organização Mundial de Saúde**. Desenvolvido por World Health Organization, 2005. Apresenta material sobre saúde, medicamentos e temas correlatos, tais como temas de saúde, publicações, pesquisas, e notícias. Disponível em: <<http://www.who.int/es/>>. Acesso em: 02/03/2015

PRESIDÊNCIA, 2005a. Presidência da República Federativa do Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1967. Disponível em <[http://www.presidencia.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constitui%C3%A7a%067.htm](http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7a%067.htm)> Acesso em: 11/06/2015

RAMANATHAN, L. V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Hemus, 1999.

SÁ, J. A. P. de. **O seguro de acidentes do trabalho**. São Paulo: GTCOM, 1997.

SÜSSEKIND, A.. **Direito Constitucional do Trabalho**. Rio de Janeiro: Renovar, 1999.

TELLES, P. C. S. **Vasos de pressão**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.