



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Departamento de Engenharia Civil

Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ESTRUTURAL E MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

Caio César Sacchi

**São Carlos - SP
2016**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Departamento de Engenharia Civil

Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ESTRUTURAL E MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

Caio César Sacchi

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

Área de Concentração: Sistemas Construtivos de Edificações

Orientador: Prof. Dr. Alex Sander C. de Souza

**São Carlos - SP
2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S119a Sacchi, Caio César
Avaliação de desempenho estrutural e manifestações
patológicas em estruturas metálicas / Caio César
Sacchi. -- São Carlos : UFSCar, 2016.
137 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de
São Carlos, 2016.

1. Estrutura metálica. 2. Controle de qualidade.
3. Fabricação. 4. Montagem. I. Título.



Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Caio César Sacchi, realizada em 17/06/2016:

Prof. Dr. Alex Sander Clemente de Souza
UFSCar

Prof. Dr. Wanderson Fernando Maia
UFSCar

Prof. Dr. José Jairo de Sáles
USP

Agradecimentos

Aos meus pais, minha irmã e minha esposa pelo apoio nos estudos e compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu orientador Alex Sander Clemente de Souza pela oportunidade da orientação, pelo apoio e paciência, e por ter colaborado na execução da pesquisa e proporcionado auxílio técnico.

Por fim, a todos os amigos e as empresas que participaram deste aprendizado, como o professor José Jairo Sales e as empresas Sidertec e Construção Industria.

Resumo

Este trabalho é um estudo científico e tecnológico sobre o controle de qualidade na fabricação e montagem de estruturas metálicas, elaborado por meio da análise e interpretação de informações obtidas em levantamentos bibliográficos, visitas técnicas e entrevistas à empresas do setor, evidenciando o conhecimento da literatura existente. Sendo assim, são abordados os processos de obtenção do aço estrutural e suas propriedades, as diversas etapas da fabricação e da montagem das estruturas metálicas, assim como ensaios não destrutivos. A pesquisa tem como objetivos, definir critérios de inspeção durante a fabricação e a montagem das estruturas metálicas, para identificação prematura de manifestações patológicas, apresentar os principais sintomas patológicos encontradas em estruturas de aço, estabelecendo suas origens e causas, expor um fluxograma sobre o processo de produção de uma estrutura metálica, indicando os principais pontos de checagem de desempenho e, por fim, analisar algumas manifestações patológicas, indicando as falhas no processo de produção. Conclui-se que existem cuidados a serem observados para não cometer erros construtivos, facilmente evitáveis por meio de planejamento e fiscalização eficientes. O intuito do estudo é promover o intercâmbio dos resultados da pesquisa com o setor produtivo e colaborar na revisão e elaboração de normas.

Palavras-chave: Estrutura Metálica; Controle de qualidade; Fabricação; Montagem

Abstract

The paper is a scientific and technological study about quality control in the fabrication and assembly of steel structures, developed through the analysis and interpretation of information obtained from literature surveys, technical visits and interviews with companies in the sector, highlighting the knowledge existing in the literature. Therefore, they will discuss the processes for obtaining structural steel and its properties, the various stages of fabrication and assembly of steel structures, as well as nondestructive testing. The survey aims to define inspection criteria for the fabrication and assembly of steel structures for early identification of pathological manifestations, present the main pathological symptoms found in steel structures, establishing its origins and causes, exposing a flow chart of the production process of a steel structure showing the main performance checkpoints and, finally, to analyze certain pathological events, indicating failures in the production process. It is concluded that there are precautions to be observed not to make constructive errors, easily preventable through efficient planning and supervision. The study's aim is to promote the exchange of research results to the productive sector and assist in the review and development of standards.

Keywords: Steel structure; Quality control; Fabrication; Assembly.

Lista de Figuras

Figura 1: Processo de Lingotamento e laminação Tiras a frio e a quente.....	23
Figura 2: Fluxograma simplificado de produção do aço.....	24
Figura 3: Fluxograma básico do processo siderúrgico.....	25
Figura 4: Perfiladeira de chapas.....	35
Figura 5: Padrão comercial de perfis metálicos.....	36
Figura 6: Perfil soldado: abreviaturas segundo a ABNT NBR 5884:2005.....	38
Figura 7: Especificação de um perfil soldado.....	38
Figura 8: Exemplos de perfis tubulares.....	41
Figura 9: Galpão de armazenamento de perfis e chapas.....	49
Figura 10: Pré-deformação das mesas.....	51
Figura 11: Furação em perfil utilizando broca.....	52
Figura 12: Acabamento feito por lixadeiras para eliminar as rebarbas, limpar as soldas e retirar os respingos de solda.....	59
Figura 13: Câmara de limpeza com jato abrasivo de granalha.....	60
Figura 14: Limpeza manual de perfis mediante lixadeiras.....	61
Figura 15: Pintura de estrutura metálica e viga rolante.....	63
Figura 16: Fluxograma básico dos principais pontos de inspeção de qualidade.....	69
Figura 17: Celas de aeração sujeita a corrosão.....	81
Figura 18: Foto da esquerda mostrando a peça antes da inspeção por partículas e a foto da direita mostrando a trinca originada do furo.....	97
Figura 19: Inspeção em solda por partícula magnética.....	98
Figura 20: Junta soldada apresentando trinca longitudinal na superficial na solda....	100
Figura 21: Inspeção em solda por ensaio de Ultrassom.....	101
Figura 21: Empolamento.....	102

Figura 23: Crateras.....	103
Figura 24: Fiapos.....	103
Figura 25: Mancha pontual em área pintada.....	104
Figura 26: Escorrimento de tinta em superfície.....	104
Figura 27: Impregnação de abrasivos.....	104
Figura 28: Gretamento ou fendilhamento.....	105
Figura 29: Enrugamento da tinta.....	105
Figura 30: Sangramento.....	106
Figura 31: Graus de formação de bolhas (tamanhos 2 e 4)	107
Figura 32: Graus de formação de bolhas (tamanhos 6 e 8)	107
Figura 33: Medição da espessura de película de tinta.....	108
Figura 34: Falhas em construções metálicas provenientes de erros ou incompatibilidade de projetos.....	115
Figura 35: Adaptação na montagem por falta de previsibilidade de espaço para os parafusos.....	117
Figura 36: Falhas na soldagem que pode ser inspecionadas visualmente.....	118
Figura 37: Falhas na montagem de estruturas metálicas.....	122

Lista de Tabelas

Tabela 1: Dimensões de chapas grossas, tiras a quente e tiras a frio.....	22
Tabela 2: Classificação dos aços carbono.....	27
Tabela 3: Aços ABNT para usos estruturais: perfis, chapas e tubos.....	29
Tabela 4: Aços ASTM de uso aceito pela ABNT.....	30
Tabela 5: Equivalência de aços entre ABNT e ASTM.....	31

Lista de Quadros

Quadro 1: Quadro esquemático dos estágios da estrutura.....	79
Quadro 2: Quadro com os ENDS mais comuns realizados em estruturas metálicas, com suas respectivas características, vantagens e desvantagens.....	93
Quadro 3: Principais origens de manifestações patológicas na construção civil em geral.....	112
Quadro 4: As manifestações patológicas mais comuns e as principais causas.....	113
Quadro 5: Principais causas de falhas em projetos de estruturas metálicas.....	116
Quadro 6: Alguns defeitos em pinturas de estruturas metálicas.....	119
Quadro 7: Extensão e seleção de END para ligações soldadas.....	126
Quadro 8: Esquemas de pintura para ambientes normais – Pouco agressivos.....	128
Quadro 9: Esquemas de pintura para ambientes normais - Mediamente agressivos.....	128
Quadro 10: Esquemas de pintura para ambientes normais – Altamente agressivos.....	129

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Apresentação	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Justificativa	15
1.4	Metodologia	16
2.	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA	18
2.1	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO E PERFIS ESTRUTURAIS	18
2.1.1	Classificação básica dos aços estruturais	26
2.1.1.1	<i>Aço carbono</i>	26
2.1.1.2	<i>Aço de baixa liga</i>	27
2.1.2	Normatização	28
2.1.3	Perfis estruturais.....	31
2.1.3.1	<i>Perfis laminados</i>	32
2.1.3.2	<i>Perfis formados a frio</i>	33
2.1.3.3	<i>Perfis soldados</i>	37
2.1.3.4	<i>Perfis eletrosoldados</i>	39
2.1.3.5	<i>Perfis tubulares</i>	39
2.2	PROJETO DE ESTRUTURAS METÁLICAS	41
2.3	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS.....	43
2.3.1	Suprimento	49
2.3.2	Preparação	50
2.3.3	Desempeno e aplainamento.....	50
2.3.4	Dobramento, calandragem e pré-deformação	50
2.3.5	Cortes.....	51
2.3.6	Usinagem	52

2.3.7	Furação	52
2.3.8	Montagem e pré-montagem de oficina	53
2.3.9	Alargamento em conjunto.....	53
2.3.10	Parafusagem	53
2.3.11	Soldagem	54
2.3.12	Contraflechas em vigas e treliças na oficina	58
2.3.13	Acabamento	59
2.3.14	Limpeza dos perfis	59
2.3.15	Pintura	62
2.3.16	Galvanização ou zincagem	63
2.3.17	Transporte	63
2.3.18	Proteção contra fogo	64
3.	CONTROLE DE QUALIDADE	65
3.1	CONCEITOS DE QUALIDADE.....	65
3.2	TIPOS DE CONTROLE DE QUALIDADE	68
3.2.1	Controle de qualidade de projeto.....	70
3.2.2	Controle de qualidade de fabricação	75
3.2.2.1	<i>Controle de qualidade de furação.....</i>	<i>76</i>
3.2.2.2	<i>Controle de qualidade de ligações soldadas</i>	<i>77</i>
3.2.3	Controle de corrosão	79
3.2.4	Controle de qualidade na mão de obra	83
3.2.5	Controle de qualidade de montagem.....	84
3.2.5.1	<i>Controle de qualidade de ligações parafusadas.....</i>	<i>86</i>
4.	INSPEÇÕES NA FABRICAÇÃO	88
4.1	FABRICAÇÃO	88
4.1.1	Principais etapas da inspeção de soldagem	89
4.1.1.1	<i>Soldagem</i>	<i>89</i>

4.1.1.2	<i>Qualificação dos Procedimentos de Soldagem</i>	90
4.1.1.3	<i>Qualificação dos Soldadores</i>	91
4.1.1.4	<i>Inspeção de Soldas</i>	92
4.2	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA LIGAÇÕES SOLDADAS	92
4.2.1	Inspeção visual.....	94
4.2.2	Líquido Penetrante	96
4.2.3	Partículas Magnéticas	97
4.2.4	Ensaio Radiográficos.....	99
4.2.5	Ultrassom	100
4.3	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA INSPEÇÃO DE PINTURA	102
4.3.1	Inspeção Visual da Superfície Pintada.....	102
4.3.2	Aferição das Espessuras das Películas de Tinta.....	108
4.3.3	Determinação de Descontinuidades.....	109
4.4	TOLERÂNCIAS NA FABRICAÇÃO	110
5.	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS	112
5.1	FALHAS EM PROJETOS	114
5.2	FALHAS NA FABRICAÇÃO	117
5.3	FALHAS NA PINTURA.....	119
5.4	FALHAS NA MONTAGEM	122
5.5	FALHAS NA MANUTENÇÃO	123
6.	CRITÉRIOS PROPOSTOS PARA INSPEÇÃO	125
7.	CONCLUSÃO	130
	REFERÊNCIAS	132

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A tendência de industrialização da construção civil mundial indica o crescente desenvolvimento de edificações em aço. Entretanto a falta de conhecimento técnico dos sistemas construtivos em aço e dos componentes que o acompanham, são fortes oponentes à aplicação dessa filosofia e ao aperfeiçoamento do sistema no Brasil. A utilização dos sistemas industrializados exige inovações tecnológicas e visão sistêmica da construção. Seus componentes, como os fechamentos e as vedações, devem estar devidamente associados ao processo de produção que deve ser condizente com as condições reais de execução.

Para se realizar um bom projeto de estruturas metálicas, é necessário um aprofundamento no processo de industrialização aliado ao controle de qualidade em todas as etapas de produção. Todavia, a área de construção civil no Brasil não possui um programa de controle de qualidade normatizado, ficando este critério sob responsabilidade do contratante estabelecer. Tendo em vista que atualmente o padrão de qualidade é de suma importância para todas as empresas, muitas vezes, os contratantes determinam para os fabricantes de estruturas metálicas os requisitos mínimos de controle de qualidade, como a decisão de quais ensaios serão exigidos nas estruturas.

Uma construção sistêmica está menos sujeita a falhas quando seu responsável possui uma visão global de todo o processo construtivo. Para um maior desenvolvimento na execução, cada detalhe deve ser pensado da forma como será executado, evitando-se improvisos no canteiro de obras.

Defeitos executivos podem vir a surgir durante as diversas etapas construtivas de uma edificação e, com o passar do tempo, podem se agravar ou até causar o colapso de uma estrutura. Isso, devido desde má utilização dos materiais industrializados em obras de estruturas metálicas, até a falta de conhecimentos técnicos sobre a correta execução, prevenção de manifestações patológicas e as várias formas e ensaios existentes para se examinar uma estrutura metálica.

Para se evitar danos maiores nas estruturas metálicas, a implantação de um controle de qualidade no detalhamento, fabricação e montagem das estruturas, além de criar um plano de manutenções preventivas ou corretivas frequente, garante a vida útil de projeto. Utilizar ensaios não destrutivos pode ser uma ferramenta de grande importância na avaliação da integridade e do atual estado de uso das edificações.

Diante do exposto, este trabalho pretende estudar e determinar um plano de qualidade mínimo para a fabricação e montagem de estruturas metálicas, definindo critérios de inspeção durante a fabricação e a montagem dessas estruturas, além dos diversos tipos de origens de manifestações patológicas, com o intuito de prevenir por meio de um bom planejamento, projeto, fabricação, montagem e manutenção da estrutura, garantindo sua integridade e, concomitantemente, proporcionando seu uso.

Neste momento, procurou-se apresentar uma visão geral da construção em estruturas metálicas com foco na gestão do controle de qualidade, desde a fabricação do aço, passando pelo projeto, fabricação e finalmente a montagem.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivos os seguintes tópicos, abaixo relacionados:

- Recomendar um plano de qualidade mínimo para a fabricação e montagem de estruturas metálicas, definindo critérios para diferentes padrões de estruturas.
- Definir critérios de inspeção durante a fabricação e a montagem de estrutura metálica, para identificação prematura de manifestações patológicas.
- Fazer um levantamento das principais manifestações patológicas estruturais encontradas em construções de aço, estabelecendo suas origens e causas.
- Analisar as manifestações patológicas mais frequentes e propor as correções adequadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Embora hoje o conhecimento técnico seja mais difundido do que há alguns anos atrás, o número de profissionais especializados atuantes no mercado ainda não é suficiente para acompanhar a demanda, em crescimento, do mercado da construção metálica.

O profissional para atuar na área de construção metálica precisa possuir um conhecimento específico para tal área, que na maioria das vezes não é adquirido com a graduação. Percebe-se que, muitas vezes, o conhecimento técnico para se realizar os desenhos de fabricação das peças é transmitido dentro da própria indústria.

O interesse na realização desta pesquisa é justificado pela possibilidade de contribuição no âmbito científico, tecnológico, social e econômico, no sentido de comprovar a necessidade de estudos que contribuam para o aprimoramento da tecnologia e aplicação de sistemas estruturais metálicos na construção civil.

O estudo das patologias nas estruturas metálicas necessita ser tratado de forma mais acurada, sistematizando os dados coletados para manter um controle maior sobre o desenvolvimento das patologias e suas causas.

Considerando isso, as justificativas mais significantes para a condução do trabalho são as que seguem:

A carência da ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – em dispor detalhadamente sobre um Plano de inspeção da fabricação e montagem de estruturas metálicas, para se ter um melhor controle de qualidade nesse tipo de construção.

A escassez da ABNT NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho – em estabelecer, de maneira abrangente, os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam ao sistema estrutural metálico de uma edificação, citando apenas de modo superficial poucas observações.

A insuficiência de pesquisas e publicações nacionais na área de controle de qualidade e manifestação patológica em construções metálicas, estabelecendo uma nova linha de pesquisa e subsidiando futuras revisões de normas.

A necessidade de conhecimentos mais aprofundados e específicos a respeito das manifestações patológicas e de suas respectivas terapias, fornecer subsídios para

prevenção por meio de controle de qualidade mais apurado, orientar as intervenções de forma a aperfeiçoar os processos de recuperação.

Finalmente, por se tratar de assuntos de forte interesse prático, observando também uma contribuição para a formação mais racional e madura no que se refere a avaliação de desempenho estrutural e manifestações patológicas em estruturas metálicas.

Sendo assim, com a falta de conhecimentos técnicos sobre a correta utilização dos materiais industrializados nas obras em estruturas metálicas, as manifestações patológicas e defeitos executivos que podem vir a surgir durante as diversas etapas construtivas de uma edificação e, com o passar do tempo, estas patologias vão se agravando, podendo até ocorrer o colapso parcial ou total de uma estrutura. Deve-se observar que na graduação não é possível abordar com profundidade os referidos temas.

1.4 METODOLOGIA

Este trabalho tem características que o classificam como uma pesquisa exploratória-descritiva, afim de buscar e desenvolver conceitos sobre um plano de qualidade no projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas. O estudo exploratório, foi útil para diagnosticar situações e explorar alternativas para os problemas encontrados, e dessa forma, descrever melhorias no desenvolvimento dos processos de controle de qualidade dessas estruturas.

Foram feitos diversos levantamentos bibliográficos, além de visitas técnica e entrevistas em empresas do setor. Foram visitadas as empresas Sidertec, com matriz em São Carlos-SP e Filial em Ibaté-SP e Construção Industria, dedicadas ao cálculo, projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas.

Com base em literatura com artigos técnicos, normas nacionais e internacionais, livros e manuais, outras visitas técnicas e entrevista a profissionais da área, analisou-se as principais etapas para o controle de qualidade, além das principais manifestações patológicas que ocorrem por negligência ou inexistência de controle de qualidade.

Assim, apresenta-se as principais origens de manifestação patológicas motivadas por falhas no controle de qualidade em alguma etapa da construção. Manifestações estas, levantadas em visitas técnicas realizadas em empresas de projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas. Com isso, aprofunda-se o conhecimento em relação aos procedimentos para elaboração do projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas, com controle de qualidade da gestão das principais fases do processo.

Por fim, elaborou-se um plano de inspeção em ligações soldadas, indicando quais inspeções devem ser feitas, baseado nos diferentes padrões de tolerância das estruturas metálicas.

2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA

A fronteira entre o ferro e o aço foi determinada na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só eliminar as impurezas do ferro, como adicionar-lhes parâmetros como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. A propagação da Revolução Industrial pela Europa continental no século XIX, fez com que vários países começassem a empregar estruturas metálicas em suas obras públicas.

Em 1857, foi inaugurada a primeira ponte metálica da Alemanha, a ponte Werchsel. No ano de 1887, concluiu-se a primeira ponte metálica de Portugal, a ponte Pia Maria que apresenta um arco treliçado de ferro fundido, projetado por Gustave Eiffel (LOURENÇO; LOURENÇO; MENDES, 2009).

O início da produção em ferro no Brasil deu-se por volta de 1812, sendo que o grande avanço na fabricação de perfis em larga escala ocorreu com a implantação das grandes siderúrgicas. Como exemplo, tem-se a Companhia Siderúrgica Nacional — CSN, que começou a operar em 1946. Imagina-se que a obra pioneira em usar ferro pudlado (aço pouco carregado de carbono), foi a Ponte de Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro, com cinco vãos de 30 metros, cuja data de construção é de 1857, e ainda sendo utilizada. A primeira obra em que se usou aço importado em edifícios no Brasil foi o Teatro Santa Izabel, em Recife, inaugurado em 1850. (BELLEI, 2010; PINHEIRO, 2005).

Apenas após a segunda Guerra Mundial com a construção da Usina de Volta Redonda no Rio de Janeiro, a Indústria Siderúrgica implantou-se de fato no Brasil. Entre as décadas de 50 e 60 surgiram algumas obras em estrutura de aço no Brasil, como o Edifício Avenida Central no Rio de Janeiro e o Viaduto Rodoviário sobre a BR-116, em Volta Redonda.

2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO E PERFIS ESTRUTURAIS

O aço é produzido em uma grande variedade de tipos e formas, atendendo eficientemente diversas aplicações. Essa variedade decorre da necessidade de contínua adequação do produto às exigências de aplicações específicas que vão

surgindo no mercado, seja pelo controle da composição química, seja pela garantia de propriedades específicas.

Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono. Os aços-carbono possuem em sua composição apenas quantidades limitadas dos elementos químicos carbono, silício, manganês, enxofre e fósforo. Outros elementos químicos existem apenas em quantidades residuais. A quantidade de carbono presente no aço define sua classificação.

Na construção civil, o interesse maior recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica, termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento. Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade microestrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos. Os aços estruturais podem ser resumidos em três grupos:

- Aços com baixo teor de carbono.
- Aços com baixo teor de carbono de alta resistência mecânica e baixa liga.
- Aços com baixo teor de carbono de alta resistência mecânica e baixa liga, resistentes a corrosão atmosférica.

Existem diversas normas nacionais e estrangeiras que especificam os aços usados no Brasil e as siderúrgicas criaram, para alguns aços, denominações comerciais próprias.

O aço pode ser classificado como aço comum com baixo teor de carbono se:

- Os teores máximos especificados dos elementos de liga não excedam o seguinte: manganês (1,65%), silício (0,60%), cobre (0,40%);
- Não sejam especificados limites mínimos para outros elementos adicionados para obter-se o efeito desejado da liga. O aço ASTM A36 e o principal aço carbono para uso estrutural para edifícios, pontes, etc. O seu limite de escoamento mínimo e de 250 MPa para perfis e chapas.

Aços com baixo teor de carbono, alta resistência e baixa liga possuem limite de escoamento acima de 275 MPa e atingem a sua resistência durante o processo de laminação a quente, independentemente de tratamento térmico. Como esses aços oferecem maior resistência, com custo um pouco maior que os aços carbono, são bastante competitivos para diversas aplicações estruturais. O aço ASTM A572 G50 é o principal aço de alta resistência e baixa liga, com um limite de escoamento mínimo de 345 MPa.

A adição de alguns elementos de liga, como o cobre, o níquel e o cromo, reduz o efeito da corrosão, quando os aços são expostos a atmosfera. A película de oxido formada, denominada “patina”, se desenvolve de forma aderente, protegendo o aço e reduzindo a velocidade de ataque dos agentes corrosivos presentes no meio ambiente.

O aço ASTM A588 é o principal desse grupo de aços, também conhecidos como “aços patináveis”. No Brasil são conhecidos como COR ou SAC.

Além da resistência e de outras propriedades, é importante observar a disponibilidade e o custo relativo dos aços

Algumas informações importantes para a escolha do tipo de aço:

- O custo relativo pode variar em função do peso/m e da quantidade.
- Aços de alta resistência, mesmo de custo mais alto, pode significar elementos mais delgados, mais leves e mais econômicos.
- Aços de resistência a corrosão (patináveis), são mais adequados quando não será pintado.
- Os parafusos compatíveis com os aços patináveis são o ASTM A325 tipo 3.
- Quando o limite de deformação comanda o dimensionamento, não haverá ganhos em peso com aços de alta resistência.

A fabricação das estruturas é constituída das atividades de transformação dos materiais básicos como chapas e perfis, em peças da estrutura de acordo com o projeto detalhado, formando-se as vigas, pilares e outras peças da estrutura. A fabricação normalmente é executada no interior de uma unidade fabril, mas poderá eventualmente ser feita no local da obra.

Esta parte do processo de fabricação do aço consiste na redução do minério de ferro, utilizando o coque metalúrgico e outros fundentes, que misturados com o minério de ferro são transformados em ferro gusa. A reação ocorre no equipamento denominado Alto Forno, e constitui uma reação exotérmica. O resíduo formado pela reação, a escória, é aplicada para a indústria de cimento.

Na aciaria, o ferro gusa é transformado em aço por meio da injeção de oxigênio puro sob pressão no banho de gusa líquido, dentro de um conversor. A reação, constitui na redução da gusa mediante combinação dos elementos de liga existentes (silício, manganês) com o oxigênio soprado, o que provoca uma grande elevação na temperatura, atingindo aproximadamente 1700°C. Os gases resultantes do processo são queimados logo na saída do equipamento e os demais resíduos indesejáveis são eliminados pela escória, que fica na superfície do metal. Após outros ajustes finos na composição do aço, este é transferido para a próxima etapa que constitui o lingotamento contínuo.

No processo de lingotamento convencional o aço líquido é transferido para moldes onde se solidificará. O veio metálico é continuamente extraído por rolos e após resfriado, é transformado em placas rústicas por corte com maçarico. A Figura 01 ilustra o processo de lingotamento.

Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação podendo ser a quente ou a frio, onde se transformarão em chapas após a diminuição da área da seção transversal. O produto recebido do lingotamento é pré-aquecido e deformado pela passagem sobre pressão em laminadores (cilindros), reduzindo sua espessura até a medida desejada para comercialização

Na laminação a quente, a peça com aproximados 250 mm é aquecida e submetida à deformação por cilindros que a pressionarão até atingir a espessura desejada.

Com a evolução da tecnologia, as fases de redução, refino e laminação estão sendo reduzidas no tempo, assegurando maior velocidade na produção.

Devido ao resfriamento desigual das peças, chapas e perfis laminados a quente apresentam tensões que permanecem após o completo resfriamento. Em chapas, por exemplo, as bordas se solidificam mais rapidamente que o centro,

servindo como uma moldura que impedirá a retração da peça como um todo, fazendo com que o centro da peça permaneça tracionado

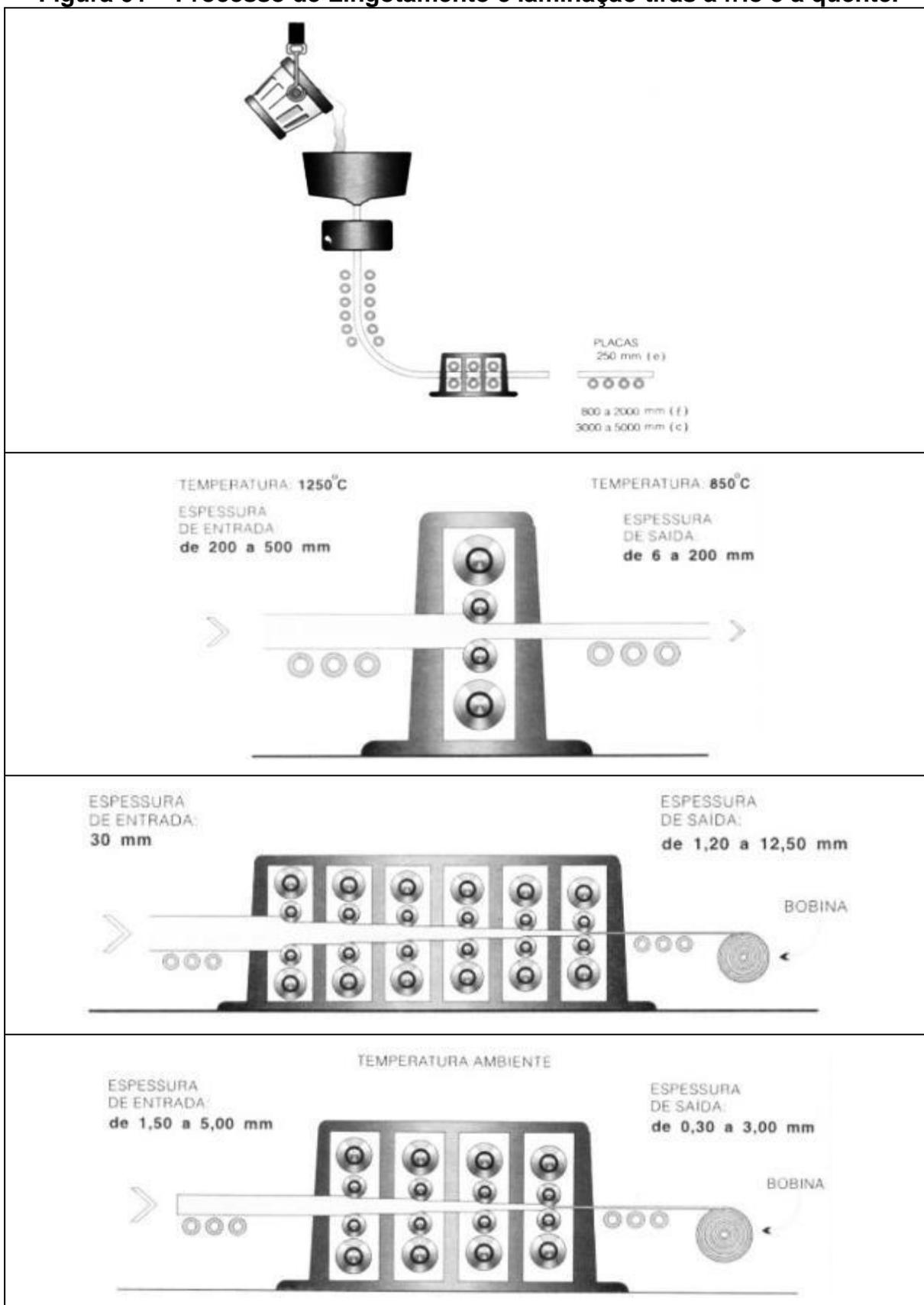
Ao contrário do processo de laminação a quente as peças laminadas a frio são normalmente mais finas, com melhor acabamento e sem a presença de tensões residuais. A Tabela 01 apresentam às dimensões das chapas grossas, tiras a frio e a quente, e Figura 01 a ilustra o lingotamento e os laminadores.

Tabela 1: Dimensões de Chapas grossas, Tiras a quente e Tiras a frio.

	Chapa Grossas	Tiras a quente	Tiras a frio
Espessura	6 a 200 mm	1,2 a 12,50 mm	0,3 a 3,00 mm
Largura	1.000 a 3.800 mm	800 a 1800 mm	800 a 1600 mm
Comprimento	5.000 a 18.000 mm	2000, 30000 e 60000 mm	2000, 25000 e 3000 mm

Fonte: ABNT NBR 11889:2013

Figura 01 – Processo de Lingotamento e laminação tiras a frio e a quente.

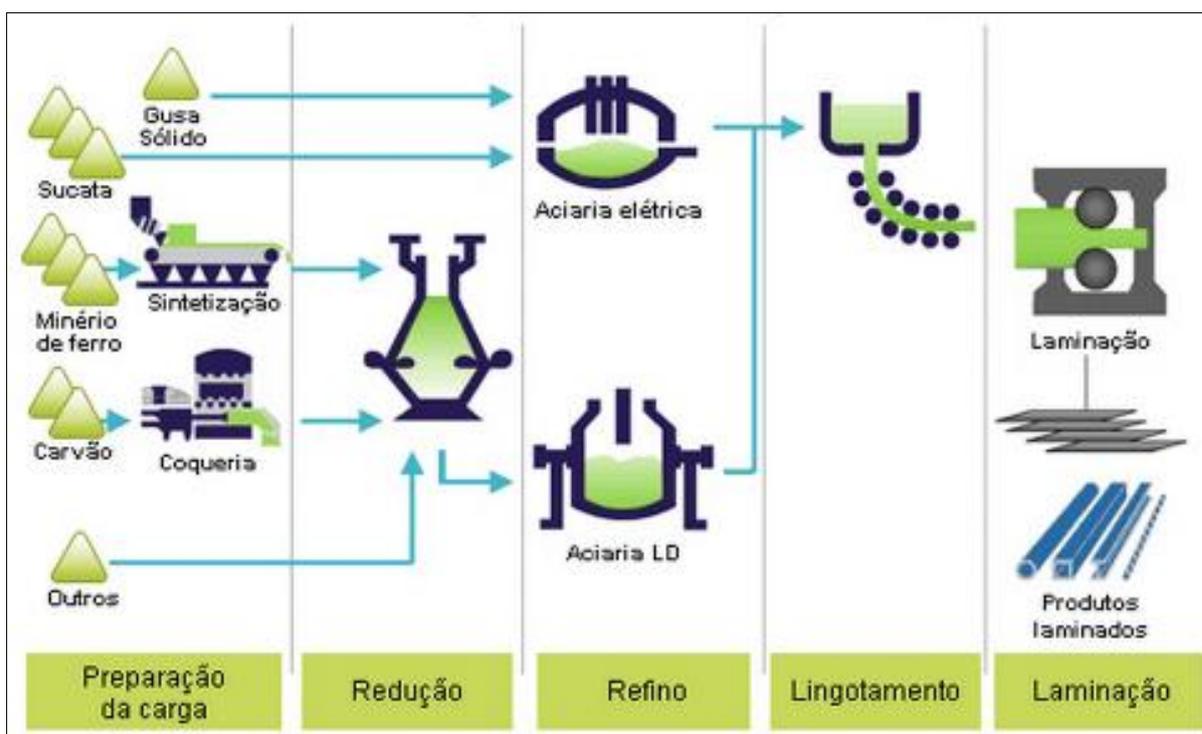


Fonte: PROGER ENGENHARIA LTDA, 2015.

A laminação a frio tem como característica principal o melhor acabamento final do produto.

De forma a facilitar o entendimento do processo de produção do aço, segue abaixo dois fluxogramas da fabricação do aço. A Figura 02 é um fluxograma simplificado, que ilustra bem as etapas principais da produção. Já a Figura 03, esboça com mais detalhes o processo siderúrgico.

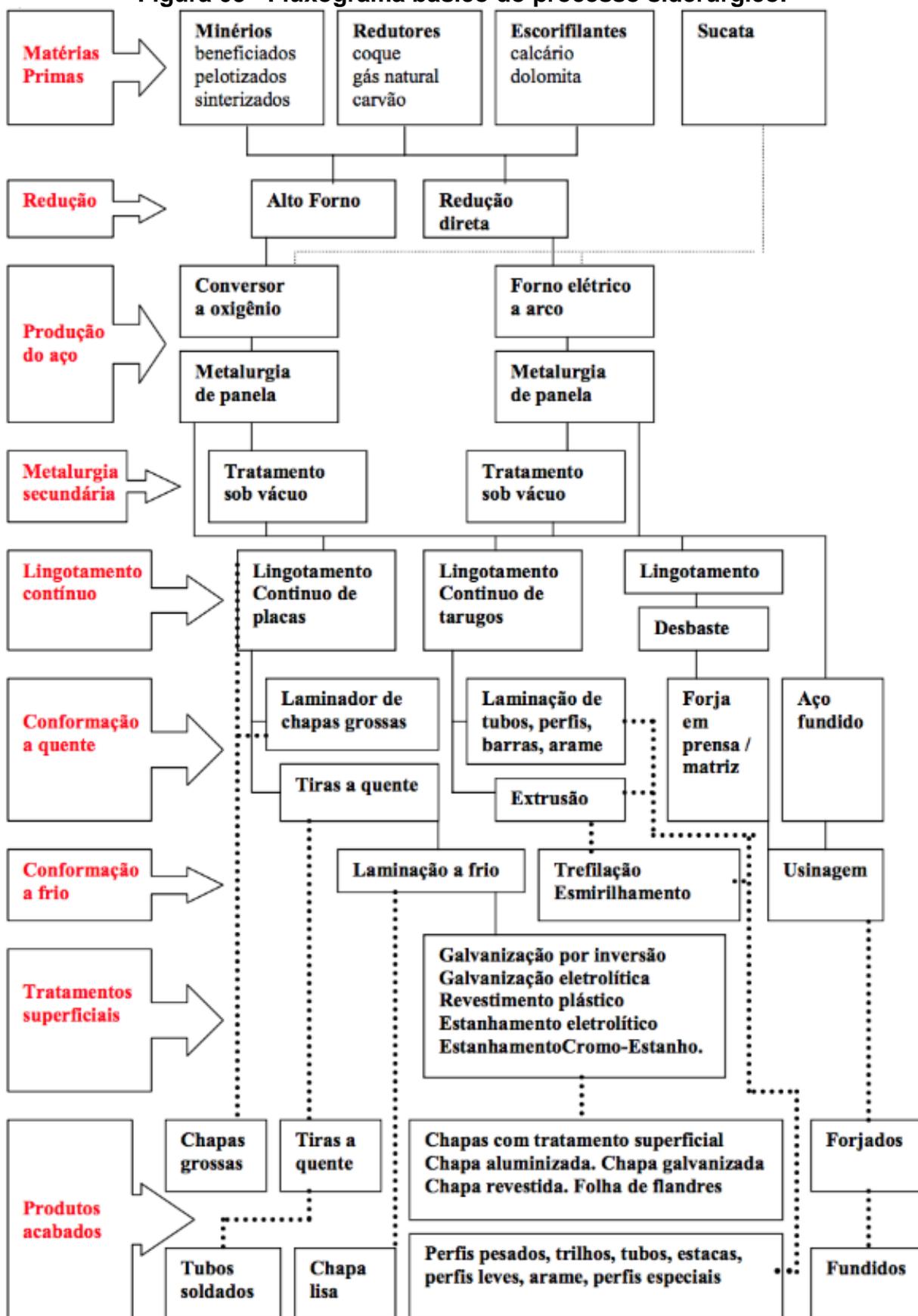
Figura 02 - Fluxograma simplificado de produção do aço.



Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015.

Pode-se ter dois tipos de usina siderúrgica: usina integrada produzindo o aço a partir do minério de ferro ou usina de redução direta obtendo o aço a partir de sucata.

Figura 03 - Fluxograma básico do processo siderúrgico.



Fonte: RAAD JR, 1999.

2.1.1 CLASSIFICAÇÃO BÁSICA DOS AÇOS ESTRUTURAIS

Os aços estruturais são aqueles que devido a sua resistência, ductilidade e outras propriedades mecânicas, são utilizados em elementos que suportam e transmitem cargas mecânicas. A sua classificação pode ser feita sob diversas formas, onde pode-se citar, suas propriedades mecânicas, quantidades de carbono e elementos de liga, grau de desoxidação e de desgaseificação.

Todas essas propriedades vão garantir ao projeto bem executado a segurança, solidez, estabilidade da estrutura e a certeza da qualidade do material, sempre acompanhado rigidamente das exigências arquitetônicas. Isso vai garantir ao projetista o desempenho desejado quando o material estiver na obra.

2.1.1.1 Aço carbono

É o aço mais empregado nas construções, e o aumento da sua resistência é obtida principalmente por meio do acréscimo de carbono em relação ao ferro puro. Este acréscimo de carbono na composição do aço implica em algumas modificações em suas propriedades, como redução da sua ductilidade, dificultando a soldagem. Os aços com teor de carbono inferior a 0,30% podem ser soldados sem a necessidade de precauções especiais. É utilizado em temperaturas normais e quando não se faz necessário severas exigências de resistência mecânica e resistência à corrosão.

Os aços-carbono se classificam em cinco tipos de acordo com o seu teor de carbono e dureza (Tabela 2), podendo também ser divididos em três classes somente pelo seu teor de carbono.

Tabela 2: Classificação dos aços carbono

Tipos	Teor de carbono (%)	Classe	Características	Principais aplicações
Extra-doce	<0,15	Baixo carbono	Boa ductilidade, tenacidade e soldabilidade	Pontes, edifícios, navios, caldeiras, tubos, estruturas mecânicas, etc.
Doce	$0,15 \leq C \leq 0,30$			
Meio-duro	$0,30 \leq C \leq 0,50$	Médio carbono	Baixa tenacidade, ductilidade e soldabilidade	Estruturas parafusadas, vagões, tubos, estruturas mecânicas, implementos agrícolas, etc.
Duro	$0,50 \leq C \leq 1,40$	Alto carbono	Alta resistência ao desgaste. Má soldabilidade e tenacidade	Peças mecânicas, implementos agrícolas, trilhos e rodas ferroviárias.
Extra-duro	$1,40 \leq C \leq 2,00$			

Fonte: RAAD JR, 1999.

2.1.1.2 Aço de baixa liga

São aços que podem ou não serem patináveis, e apresentar alta ou média resistência mecânica.

Com uma pequena variação na composição química e com adição de elementos, como cobre, cromo, níquel, alumínio, fósforo e silício, obtém-se aços de baixa liga e alta resistência mecânica, soldáveis e com características de elevada resistência à corrosão atmosférica. Denominados aços patináveis ou aclimados, estes aços desenvolvem em determinadas condições de exposição ao meio ambiente (ciclos alternados de umidade e vento) uma camada de óxido compacta e aderente ao substrato metálico (pátina), que age bloqueando o processo corrosivo, protegendo o metal. São empregados onde se requer uma redução de peso aliado a uma resistência maior à corrosão atmosférica (RAAD JUNIOR, 1999).

2.1.2 NORMATIZAÇÃO

Raad júnior (1999) cita que os materiais a serem empregados na construção metálica como conectores de cisalhamento, parafusos, eletrodos para soldagem e em especial os aços estruturais, a partir dos quais são laminados perfis, chapas planas (utilizadas na obtenção de perfis dobrados e soldados) e perfis tubulares, são normalizados e seu uso é estabelecido por normas.

Os aços estruturais estabelecidos seguem normatização brasileira pela ABNT, conforme Tabela 3, onde estão listados e com suas respectivas propriedades mecânicas. Como no Brasil é muito comum a utilização da nomenclatura americana da ASTM, as normas da ABNT também permitem o uso de outros aços, contanto que cumpram os parâmetros estabelecidos, como dos aços estabelecidos pela ASTM, os quais encontram-se apresentados na Tabela 4. A equivalência aproximada dos aços entre as normas está relacionada na Tabela 5.

Siderúrgicas brasileiras, tais como a Usiminas, CSN e Cosipa, produzem e comercializam aços estruturais, que possuem normas específicas e recebem designações comerciais próprias. Estes aços apresentam requisitos de composição e de propriedades mecânicas bem definidos, sendo adequados para diversos tipos de utilização estrutural (BELLEI, 2010).

Tabela 3: Normas ABNT para usos estruturais: perfis, chapas e tubos.

ABNT NBR	Título	Descrição
7007	Aços para perfis laminados para uso estrutural.	Esta Norma estabelece os requisitos a que devem atender as barras e os perfis estruturais laminados a quente, de aço-carbono ou de aço microligado, empregados em estruturas de aço.
5920	Chapas grossas de aço carbono para uso estrutural.	Esta Norma estabelece os requisitos para encomenda, fabricação e fornecimento de bobinas e chapas finas laminadas a frio, de aços de baixa liga e alta resistência, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural, bem como os respectivos ensaios.
6648/6650	Chapas finas de aço carbono para uso estrutural a frio e a quente, respectivamente.	Estabelece os requisitos para encomenda, fabricação e fornecimento de bobinas e chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural, com espessura máxima de 100 mm. No caso de espessuras acima de 100 mm, esta Norma pode ser aplicada mediante acordo prévio entre produtor e comprador.
5000	Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica	Esta Norma estabelece os requisitos para encomenda, fabricação e fornecimento de bobinas e chapas grossas de aço para uso estrutural, bem como os respectivos ensaios.
5008	Chapas finas de aço carbono para uso estrutural a frio e a quente, respectivamente.	Esta Norma estabelece os requisitos para encomenda, fabricação e fornecimento de bobinas e chapas grossas laminadas a quente, de aços de baixa liga e alta resistência, resistentes à corrosão atmosférica, utilizadas em uso estrutural.
5920/5921	Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais a frio/ a quente.	Esta Norma estabelece os requisitos para encomenda, fabricação e fornecimento de bobinas e chapas finas laminadas a quente, de aços de baixa liga e alta resistência, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural, bem como os respectivos ensaios.
8261	Perfil tubular de aço-carbono, formado a frio, com e sem solda, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais	Esta Norma estabelece os requisitos exigíveis para encomenda, fabricação e fornecimento de tubos de aço-carbono, formado a frio, com e sem solda, de seção circular, quadrada e retangular, destinado a aplicação em estruturas soldadas, parafusadas e rebitadas.

Fonte: Autor.

Tabela 4: Aços ASTM de uso aceitado pela norma ABNT.

Classificação	Denominação	Produto	Grupo / Grau	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Característica		
Aços carbono	A 36	Perfis	Todos os grupos			É usado em perfis, chapas e barras, para construção de edifícios, pontes e estruturas em geral.		
		Chapas	$t \leq 200\text{mm}$	250	400 a 550			
		Barras	$t \leq 100\text{mm}$					
	A 570	Chapas	Todos os grupos	Grau 40	280	380	Empregado principalmente para perfis de chapa dobrada, devido à sua maleabilidade.	
				Grau 45	310	410		
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A 441	Perfis	Grupos 1 e 2		345	485	Usado onde se requer um grau de resistência maior, resistência à corrosão atmosférica duas vezes maior que a do aço carbono.	
			Grupo 3		315	460		
		Chapas e barras	$t \leq 19$		345	485		
			$19 < t \leq 38$		315	460		
		A 572	Chapas e barras	$38 < t \leq 100$		290		435
				$100 < t \leq 200$		275		415
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A 242	Perfis	Grupos 1 e 2		345	480	Possuem o dobro de resistência à corrosão do aço-carbono, uso exposto a intempéries.	
			Grupo 3		315	460		
		Chapas e barras	$t \leq 19$		345	480		
			$19 < t \leq 38$		315	460		
		A 588	Chapas e barras	$38 < t \leq 100$		290		435
				Todos os grupos	$t \leq 100$			345
			$100 < t \leq 127$		315	460	Empregado onde se requer uma redução de peso aliada a uma resistência maior à corrosão atmosférica (4 x maior que a do aço carbono).	
			$127 < t \leq 200$		290	435		

Fonte: RAAD JUNIOR, 1999 – Adaptado.

Tabela 5: Equivalência de aços entre as normas ABNT e ASTM.

Produto	Norma ABNT		Grau	f _y (MPa)	f _u (MPa)	Classe ASTM
	NBR	Classe				Equivalente
Perfis	7007	MR-250	-	250	400	A-36
	7007	AR-290	-	290	415	A-572 GR-42
	7007	AR-345	-	345	450	A-572 GR-50
	7007	AR-COR-345	A B	345	485	A-242 GR-1
	7007	AR-COR-345		345	485	A-242 GR-2 e A-588
Chapas	6648	CG-26	-	255	410	A-36
	6649/6650	CF-26	-	260	410	A-36
	5000	G-30	-	300	415	A-572 GR-42
	5000	G-35	-	345	450	A-572 GR-50
	5004	F-35/Q-35	-	340	450	A-572 GR-50
	5008	1, 2 e 2A	t≤19mm	345	480	A-588
	5920/5921	CF	-	340	480	A-588
Tubos	8261	Circular	B	290	400	A-500 GR-8
	8261	Quadrado ou retangular	B	317	400	A-500 GR-8
	8261	Circular	C	317	427	A-500 GR-8
	8261	Quadrado ou retangular	C	345	427	-

Fonte: RAAD JUNIOR, 1999.

2.1.3 PERFIS ESTRUTURAIS

Destinados ao uso na construção de estruturas, obedecem a normas e requisitos de propriedades mecânicas bem definidas e, em alguns casos, a requisitos de soldabilidade, superfície para revestimento, resistência à corrosão atmosférica e resistência ao fogo.

Os perfis mais usados em geral são:

- Perfis tipo I e H laminados da série W e HP padrão americano.
- Perfis soldados tipos I e H, com as designações VS, CVS, CS e VSM
- Perfis eletrosoldados tipos I e H, com as designações VE, CVE, CE.

- Perfis L e U padrão americano,
- Perfis de chapa dobrada tipos U enrijecido, caixa formado por dois Us.

Os produtos mais utilizados nesse mercado são, para estruturas leves, as chapas planas, os perfis laminados até 200 mm e os perfis de chapas dobradas, já para estruturas médias e pesadas são os perfis soldados e laminados acima de 200 mm.

2.1.3.1 Perfis laminados

Os perfis laminados são obtidos diretamente por laminação a quente, podendo ser de abas inclinadas (padrão americano – faces internas das abas não paralelas as faces externas) ou de abas paralelas (padrão europeu).

Os perfis laminados a quente são produzidos por meio da laminação de blocos de aço, em sistema de laminação contínua. As limitações de fabricação são devidas às próprias cadeiras de laminação que impõem uma bitola de altura máxima e mínima, variável de acordo com o equipamento. Podem ser aplicados nos mais diversos segmentos da construção civil, indústria, construção naval e fundações. No exterior os perfis laminados são largamente utilizados na execução de obras e as indústrias siderúrgicas os mantêm como um forte fator para a obtenção de lucros. Entretanto, a oferta de perfis laminados fabricados no Brasil é bastante restrita, obrigando em determinadas situações a importação do produto.

Os produtos siderúrgicos, via de regra, podem ser classificados de forma geral em perfis, chapas e barras. As indústrias siderúrgicas produzem cantoneiras de abas iguais, perfis H, I ou T, perfis tipo U, barras redondas, barras chatas, tubos circulares, quadrados ou retangulares, chapas em bobinas, finas ou grossas. Os produtos metalúrgicos são os compostos por chapas dobradas tais como perfis tipo U enrijecido ou não, cantoneiras em geral de abas iguais, perfil cartola, perfil Z ou trapezoidais, ou ainda, compostos por chapas soldadas para perfis tipo T soldado ou I soldado.

Os perfis laminados normalmente são utilizados em obras de médio porte, e têm como vantagem a redução do trabalho de transformação da chapa, pois já vem pronto e muitas vezes cortados na dimensão que o cliente necessita. Os principais perfis laminados fabricados no Brasil são: cantoneira, U, I e H.

A designação de perfis metálicos laminados segue determinada ordem, sendo - Código, altura (mm), peso (Kg/m).

Como exemplo de designação de perfis tem-se:

L 50 x 2,46 – Perfil L de abas iguais de 50mm e peso de 2,46 kg/m

L 100 x 75 x 10,71 – Perfil L de abas desiguais de 100mm de altura por 75mm de largura e peso de 10,71 kg/m

I 200 x 27 – Perfil I com altura de 200mm e peso de 27 Kg/m

H 200 x 27 – Perfil H com altura de 200mm e peso de 27 Kg/m

U 200 x 17 – Perfil U com altura de 200mm com peso de 17 Kg/m

Para perfis I, alguns fabricantes têm suas próprias siglas. Os perfis laminados produzidos pela Gerdau Açominas são especificados pela letra W. Os perfis soldados da Usiminas pela sigla VE, onde a letra E indica que são executados por eletrosoldagem. A Usiminas ainda usa a sigla VEE para perfis I eletrosoldados que têm as mesmas seções dos perfis laminados padrão americano. Como por exemplo:

- I 12” x 60,6 kg/m ou I 12” - 1ª alma;
- VS 300 x 62, onde o último número é o peso por metro linear;
- W 310 x 28,3, onde o último número é o peso por metro linear;
- VE 250 x 19, onde o último número é o peso por metro linear.

Os perfis H laminados produzidos pela Gerdau Açominas recebem a sigla W ou HP. Os perfis eletrosoldados produzidos pela Usiminas recebem a sigla CE, de Coluna Eletrosoldada. Como por exemplo: CS 300 x 26, W 310 x 93 ou CE 300 x 76, onde o último número é o peso por metro linear (REBELLO, 2010).

O perfil “H”, pelas suas características geométricas é quase que unicamente utilizado como pilar, pois apresenta boa rigidez em ambas as direções, respondendo bem ao esforço de compressão axial. A inércia de sua seção faz com que o perfil “H” seja indicado, também, para pilares submetidos a flexo-compressão (flexão+compressão axial).

2.1.3.2 Perfis formados a frio

Os perfis formados a frio, popularmente conhecidos como perfis de chapa dobrada, são obtidos por conformação a frio de chapas ou tiras provenientes de fardos

ou bobinas, seja por dobragem ou por perfilagem. Perfis formados a frio são obtidos, de acordo com normas como a ABNT NBR 6355:2012 e a do AISI – Specification for the design of cold-formed steel structural members.

Os Perfis formados a frio são feitos com chapas finas são fabricados em perfiladeiras contínuas ou em dobradeiras. Podem ser confeccionados com ou sem reforço de borda.

Quando as chapas são finas, entre 1,5 mm a 5 mm, os perfis recebem a designação de perfis leves. Por serem muito esbeltos exigem cuidados especiais na sua utilização, tanto à solicitação aos esforços quanto pela possibilidade de fácil deterioração. Esse tipo de perfil é contemplado em norma específica, a ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

Os perfis mais pesados podem ser executados com chapas com espessuras de até 25 mm. Neste caso são exigidos raios de curvaturas mínimos na dobragem (CBCA, 2015).

Embora possuam dimensões padronizadas, como ilustrado a Figura 05, podem ser produzidos pelos fabricantes com a forma e o tamanho solicitados, limitadas pelas dimensões das linhas e processos.

As chapas podem ser formadas ou dobradas tanto por dobradeiras quanto por perfiladeiras. Enquanto as dobradeiras trabalham com comprimentos de 3.000 a 6.000 mm, com capacidade de dobrar chapas até 12,5 mm de espessura, as perfiladeiras podem produzir perfis de qualquer comprimento, estando limitadas a perfis mais leves, por trabalhar com chapas mais finas. A Figura 04 ilustra uma perfiladeira de chapas.

Figura 04: Perfiladeira de chapas.



Fonte: MAC, 2016.

Em geral, esse tipo de equipamento opera com espessura máxima de 3 mm e com dimensões máximas dos perfis de 50 x 150 x 50 mm.

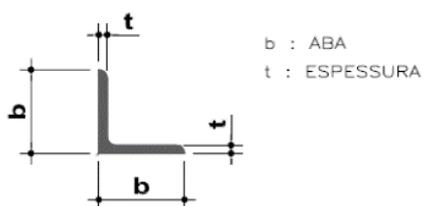
Os perfis leves são mais comuns e são utilizados em obras de pequeno porte ou em elementos estruturais secundários. Em coberturas o uso de perfil de chapa dobrada é mais econômico. Os perfis de chapas dobradas permitem grande variação de forma e dimensões das seções, mas podem, também, ser encontrados prontos e padronizados. Os perfis de chapas dobradas mais comuns são: cantoneira, U, U enrijecido e Z.

A designação de perfis de aço formados a frio (PFF) segue determinada ordem - Tipo, Altura, Enrijecedor, Dobra, Espessura (todas as medidas em mm), como:

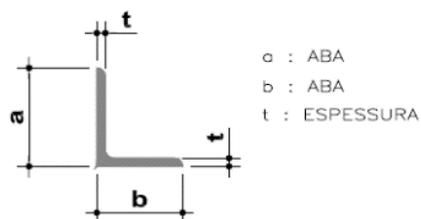
- L 50 x 30 x 3 – Perfil L de abas desiguais de 50mm por 30mm e espessura de 3mm.
- UE 150 x 60 x 20 x 2,65 – Perfil U enrijecido com altura de 150mm, mesa de 60mm, enrijecedor de 20mm e espessura de 2,65mm.

Figura 05: Padrão comercial de perfis metálicos

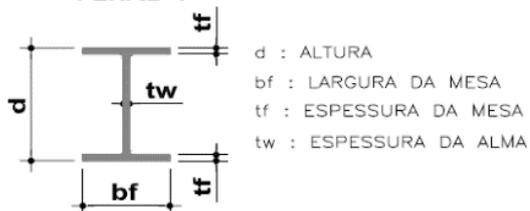
CANTONEIRA DE ABAS IGUAIS



CANTONEIRA DE ABAS DESIGUAIS



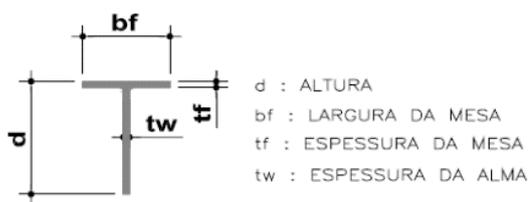
PERFIL 'I'



PERFIL 'H'



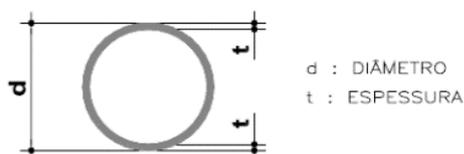
PERFIL 'Tê'



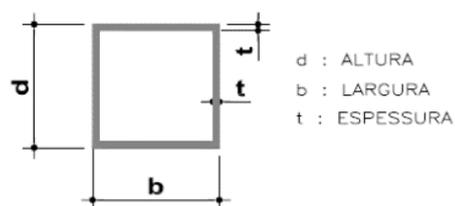
PERFIL 'U'



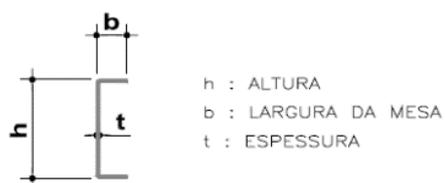
TUBO CIRCULAR



TUBO QUADRADO OU RETANGULAR



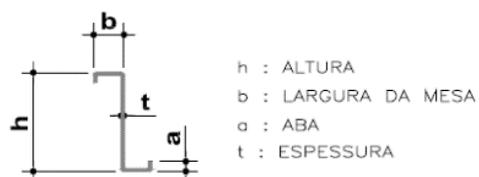
PERFIL 'U'



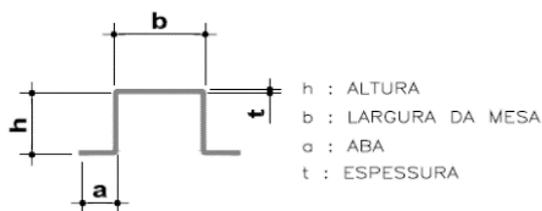
PERFIL 'U' ENRIJECIDO



PERFIL 'Z'



PERFIL CARTOLA



2.1.3.3 Perfis soldados

Devido ao custo de fabricação mais elevado, o perfil soldado é utilizado em obras de médio a grande porte. No entanto, quando o projeto exigir seções com formas especiais, essa solução pode ser usada em obras de menor porte. Esses perfis são obtidos por meio do corte, composição e soldagem de produtos laminados planos (chapas), sendo amplamente utilizados nas construções em face da grande variedade de dimensões possíveis. Podem ser fabricados por solda elétrica ou por caldeamento (eletrofusão) utilizando o efeito joule quando passa uma corrente entre os pontos que se vai querer soldar. Os perfis soldados normalizados apresentam seção transversal em forma de H ou I, sendo as abreviaturas das características geométricas do perfil indicadas na Figura 06.

Os perfis soldados para uso estrutural não devem ser executados com chapas provenientes de bobinas, pois por ocasião de soldagem dos perfis, devido ao consequente aquecimento, as chapas tendem a retornar à sua posição deformada na bobina, ocasionando problemas de qualidade à peça.

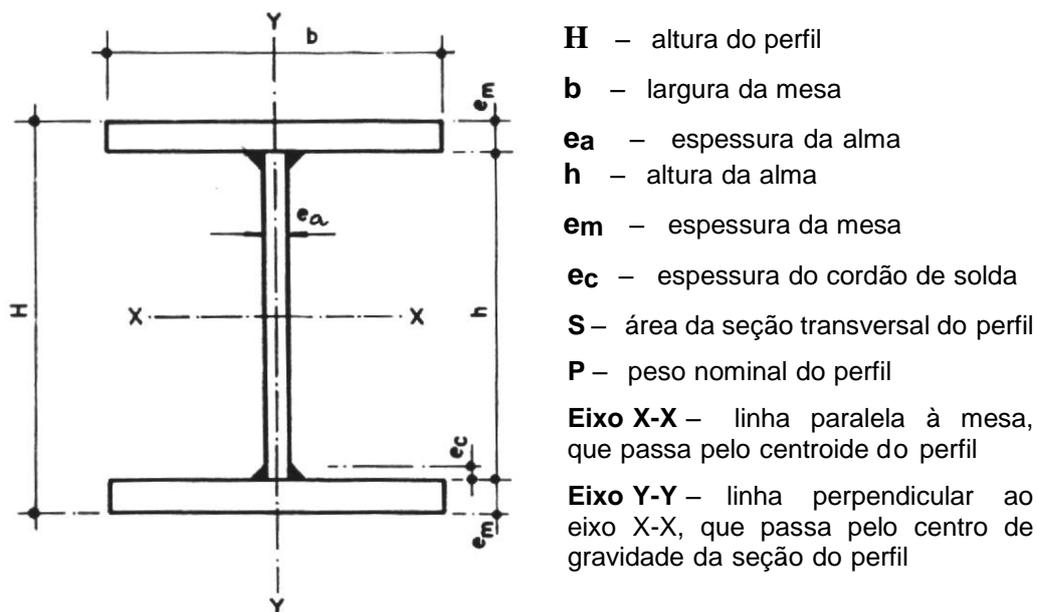
A fabricação de perfis soldados depende do tipo de equipamento de cada fabricante, podendo ir do artesanal ou convencional ao processo industrializado, obedecendo a ABNT NBR 5884:2005.

A designação de perfis soldados seguem especificações dos fabricantes sempre na forma de perfil tipo 'I'.

- CS – Perfil coluna soldada, em que $h = b$ (altura e abas com a mesma dimensão);
- VS – Perfil viga soldada, em que $2 < h/b \leq 4$;
- CVS – Perfil coluna-viga soldada, em que $1 < h/b \leq 1.5$.
- Como exemplo de designação de perfis teremos:
- CS 250 x 52 – Perfil CS com altura de 250mm e peso de 52 Kg/m
- VS 600 x 95 – Perfil VS com altura de 600mm e peso de 95 kg/m
- CVS 450 x 116 – Perfil CVS com altura de 450mm e peso de 116 Kg/m

A Figura 06 ilustra alguns parâmetros dos perfis soldados.

Figura 06 – Perfil soldado: abreviaturas segundo a ABNT NBR 5884:2005.

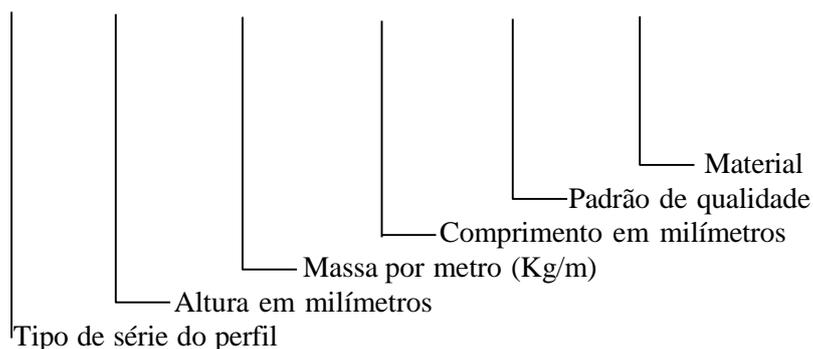


Fonte: RAAD JUNIOR, 1999.

Os perfis soldados são geralmente especificados conforme indicado na Figura 07, porém quando não produzidos industrialmente, podem ser especificados genericamente, seja perfil I ou H pela sigla PS de Perfil Soldado.

Figura 07 - Especificação de um perfil soldado.

CS 400 x 201 x 6.000 II A-36



Fonte: Autor.

Há também tubos de seção circular e tubos de seção retangular. Estes perfis são mais eficientes em termos estruturais, porém, é mais difícil a execução de ligações e emendas quando comparado com os perfis abertos. Além disso é mais difícil o controle da corrosão pois esta pode estar na face interna do tubo, e portanto, sem visibilidade.

2.1.3.4 Perfis eletrosoldados

Perfis eletrosoldados são perfis fabricados a partir de bobinas de aço pelo processo de soldagem por resistência elétrica, também conhecida por eletrofusão. A união de duas abas ou flanges e uma alma por esse processo – de acordo com as especificações ASTM A769 / A769M e JIS G3353 e as tolerâncias da ABNT NBR 5884:2005 deu origem aos perfis “Usilight” fabricados pela Usiminas Mecânica. São produzidos na faixa de 100 a 500 mm de altura, com espessuras de alma variando de 3,0 a 9,5 mm, largura das mesas, de 80 a 300 mm e espessura das mesas, de 3,0 a 12,5 mm.

Trata-se do processo de fabricação contínua de perfis de aço com emprego de sistema de eletrosolda por alta frequência, que se baseia no uso da corrente elétrica com frequência de 400.000 Hz que flui pela superfície metálica a uma profundidade não superior a 0,8 mm, gerando uma potência de alta densidade nas superfícies a serem soldadas. A união eletrosoldada se caracteriza pela ausência do crescimento de grão, tão característico nos processos de solda por fusão.

No processo de alta frequência, não há a introdução e deposição de um outro material, uma vez que a união das partes ocorre por caldeamento.

Inerente ao processo de solda por alta resistência, por efeito da pressão dos rolos de compressão, origina-se, na zona de união entre a alma e as abas, um produto derivado do excesso de material, denominado “splash” de solda. Apresentando-se na forma de pequenas rebarbas, o “splash” é um produto em excesso, resultante da penetração que ocorre após a compressão.

Dependendo da matéria-prima utilizada, a sua aparência poderá se apresentar com maior ou menor irregularidade, não acarretando, entretanto problemas de corrosão localizada ou corrosão por espaço confinado. O processo contínuo de soldagem por resistência elétrica apresenta alta produtividade, permitindo soldar a uma velocidade superior a 30 metros por minuto (LUCCHINI, 2009).

2.1.3.5 Perfis tubulares

Os perfis tubulares podem ser obtidos pelo processo de extrusão, quando não apresentam costura, ou pela calandragem (processo para curvar chapas ou perfis) de chapas e posterior costura. Os primeiros são chamados “tubos sem costura” e os

últimos “tubos com costura”. Não há diferença quanto às propriedades físicas de um ou outro, mas apenas no processo de fabricação, onde os tubos de maiores dimensões são obtidos com costura e os de menores sem costura. Tubos sem costura são obtidos com dimensões que não ultrapassam o diâmetro de 355,6 mm. Os perfis tubulares têm uma grande variedade encontrada no mercado, sendo fornecidos no comprimento padrão de 6.000 mm.

As seções dos tubos podem ser circulares, quadradas ou retangulares. Os tubos são especificados em projeto pela dimensão externa seguida da espessura em milímetros, e são designados por símbolos que definem a forma e as dimensões da sua seção. Os perfis tubulares de seção quadrada e retangular são indicados na sua primeira parte por RHS e os perfis de seção circular, por CHS. Como por exemplo:

- RHS 80 x 80 x 6 e CHS 500 x 12
- Ø 200 x 3 (tubo circular)

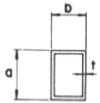
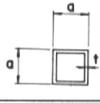
Os aços utilizados na fabricação dos perfis tubulares são classificados nos graus A, B e C, que se diferenciam por sua composição química, tratamento térmico e propriedades mecânicas.

A encomenda de 50.000 kg de perfil tubular de seção retangular, com 100 mm de lado da face maior, 60 mm de lado da face menor, 5 mm de espessura de parede, comprimento de 12.000 mm e extremidades isentas de rebarbas de corte deve ser apresentada da seguinte forma: 50.000 kg RHS 100 x 60 x 5 ANBR 8261 grau B 12.000 extremidades isentas de rebarbas de corte.

Um problema relevante nos perfis tubulares é a possibilidade de sofrerem deteriorações de dentro para fora e que não podem ser detectadas visualmente. Por isso recomenda-se o uso de tubos em aços resistentes à corrosão. Os tubos são mais usados em barras de treliças planas e espaciais ou em pilares, apresentando maior resistência à flambagem por torção.

A Figura 08 ilustra alguns tipos, dimensões e simbologias usadas para os tubos com costura e sem costura.

Figura 08 - Exemplos de perfis tubulares.

Tubos	Sem costura		Com costura	
	Dimensões (mm)	Designação (exemplo)	Dimensões (mm)	Designação (exemplo)
	a x b de 50 x 30 a 120 x 80 t = 2,0 a 5,3	a x b x t 50 x 30 x 2,0	a x b de 25 x 19 a 200 x 80 t = 1,00 a 7,11	a x b x t 25 x 19 x 3,00
	a x a de 40 x 40 a 216 x 216 t = 2,0 a 5,3	a x a x t 40 x 40 x 3,0	a x a de 16 x 16 a 140 x 140 t = 1,00 a 7,11	a x a x t 140 x 140 x 7,11
	D = de 25 a 150 t = 1,5 a 9,0	D x t 25 x 2,0	d = 9 a 254 t = 1,00 a 7,11	D x t 150 x 5,00

Fonte: BELLEI, 2010.

2.2 PROJETO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

É importante que o projeto de estrutura em aço comece a ser pensado com os conceitos inerentes ao material. Também é relevante observar as possibilidades de padronização das peças, pois como todo sistema industrializado, a repetitividade barateia o processo. Outro ponto a ser pensado é decidir se a estrutura fica aparente ou revestida, já que mostrar a plasticidade do aço pode acarretar a necessidade de proteção contra corrosão e fogo (DIAS, 1998).

A padronização dos elementos estruturais com a repetição de uma mesma peça várias vezes, a simplicidade no detalhamento e execução das ligações, e a utilização de perfis estruturais facilmente encontrados no mercado, minimizam os custos de fabricação. Peças elaboradas a partir de perfis padrões são mais baratas que outras que exijam a ligação de diversas partes, formando perfis compostos ou treliças.

No processo de produção de um projeto de estrutura metálica deve ser considerado como composto de duas partes: Projeto para o Uso e Projeto das Estruturas.

O Projeto para o Uso deve garantir os resultados pretendidos pela arquitetura, como por exemplo: áreas e espaços adequados para o trabalho; uma ventilação e/ou sistema de ar condicionado adequado; sistemas de transporte adequados tais como escadas, elevadores; iluminação adequada e boa estética.

O Projeto das Estruturas é a escolha dos arranjos e dimensões dos elementos estruturais de forma que as ações de serviço decorrentes do uso e outras ações externas sejam resistidas com segurança e os deslocamentos decorrentes estejam dentro de limites aceitáveis.

A sequência abaixo mostra a integração das fases para a produção das estruturas metálicas:

Projeto de Arquitetura - Onde é desenvolvido todo o estudo da obra, materiais de acabamento, dimensões, características de ventilação, iluminação, formato etc. Uma arquitetura desenvolvida para o aço torna esse material mais competitivo, tirando partido da sua melhor resistência e menores dimensões das seções transversais dos perfis, etc.

Projeto estrutural - Onde se dá corpo ao projeto arquitetônico, calculando-se os elementos de sustentação, ligações principais, tipos de aço, cargas nas fundações, especificando se a estrutura será soldada ou parafusada na montagem, etc. É uma das etapas mais importantes, pois um projeto mal elaborado pode causar prejuízo econômico ao fabricante e ao construtor. Nesta fase é gerada uma lista básica de material (chapas e perfis), com peso total previsto para a estrutura.

Incorporado ao projeto estrutural, e partindo do princípio que o estudo de viabilidade e a análise financeira já terem sido feitos, encontra-se um processo iterativo que pode ser resumido nas seguintes etapas:

- 1) Planejamento - Estabelecimento das funções para as quais a estrutura deve servir (funcionalidade, segurança, economia, estética, etc.) como definição dos critérios que resultarão num projeto ótimo.
- 2) Configuração estrutural preliminar - Arranjo dos elementos estruturais para atender às funções do item 1. Após uma série de esboços é feita a escolha da configuração estrutural mais conveniente nessa fase.
- 3) Determinação das ações - Levantamento de todas as ações que atuarão na estrutura.
- 4) Seleção preliminar dos elementos - Com base nas decisões das etapas 1,2 e 3, é feita a seleção das dimensões dos elementos para atender a critérios objetivos, tais como menor peso ou custo.

- 5) Análise estrutural - Análise estrutural envolvendo as ações levantadas e o modelo estrutural adotado para obter as forças internas e deformações desejadas em alguns pontos.
- 6) Avaliação - Estão sendo atendidos todos os requisitos de resistência e utilização e o resultado está de acordo com os critérios preestabelecidos?
- 7) Novo projeto - Dependendo da comparação do item anterior, será necessária a repetição de qualquer parte da sequência de 1 a 6, o que representa um processo iterativo.
- 8) Decisão final - A determinação se foi ou não encontrado o projeto ótimo.

Após realizado o projeto estrutural básico, inicia-se os detalhamentos.

No detalhamento o projeto estrutural é definido e descrito peça por peça, dentro das recomendações do projeto, indicando o tipo de ligação, se parafusada ou soldada, procurando agrupar ao máximo as peças, isso tudo visando atender ao cronograma de fabricação e montagem. Fornece ainda os diagramas de montagem com posicionamento das peças na estrutura para orientação dos serviços de campo (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

Revisões de projetos básicos são recebidas pelo setor de contratos e controladas por meio da lista de liberação de estruturas/projetos. As revisões são analisadas pelo setor de projetos e podem ser aplicadas a qualquer etapa ou em todas as etapas do projeto, conforme a necessidade.

Caso haja revisão de projeto básico, após liberação do projeto para a fábrica, é gerada uma lista de peças em “Hold”, referente as partes do projeto atingidas pelas alterações, com isso, a fabricação pode continuar trabalhando nas áreas não afetadas pela revisão.

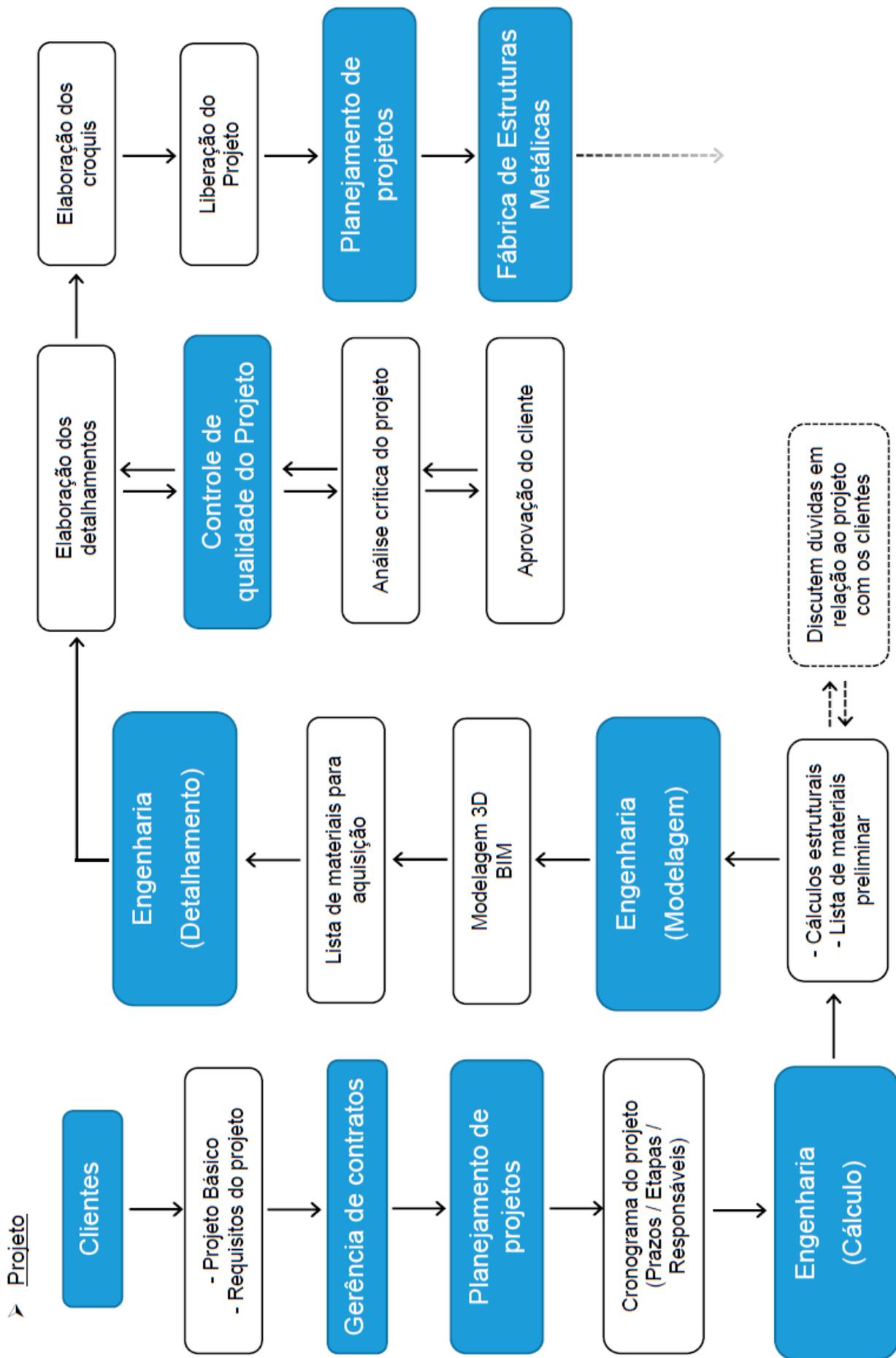
2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

As principais etapas de fabricação sofrem algumas variações de fabricante para fabricante, no entanto, as etapas fundamentais foram abordadas nos tópicos seguintes.

A seguir é apresentado um fluxograma preparado pelo autor, referente ao processo de produção de estruturas metálicas, visando a padronização dos procedimentos e a melhoria no controle de qualidade. O fluxograma foi fundamentado em observações realizadas em visitas técnicas e entrevistas às empresas do setor, assim como pesquisas bibliográficas.

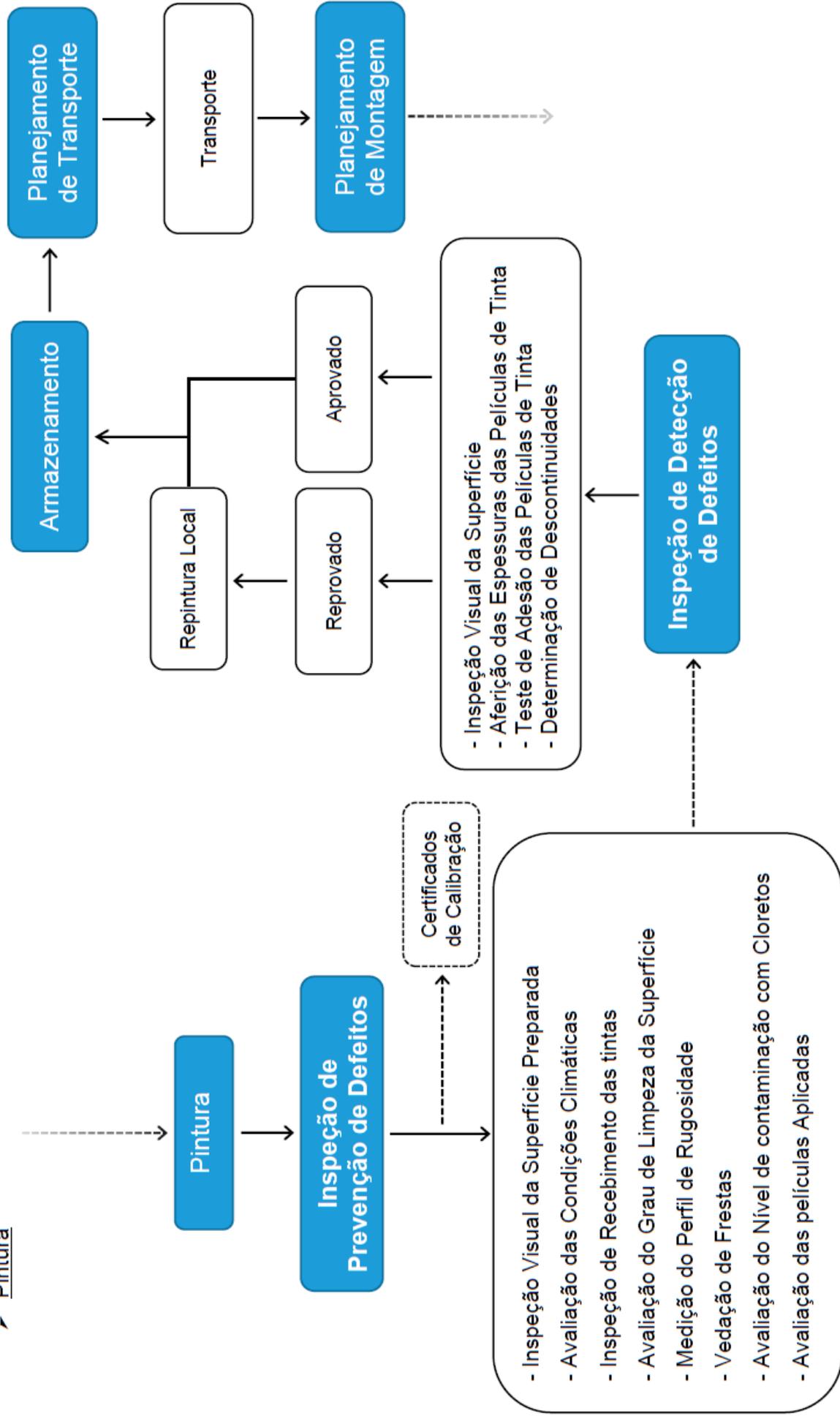
Neste fluxograma é apresentado, de forma simplificada, as principais etapas do processo, desde a solicitação do cliente com um projeto básico e requisitos mínimos exigidos de controle de qualidade, até o planejamento da montagem da estrutura metálica no canteiro de obras.

Fluxograma – Projeto, Fabricação e Montagem de Estruturas Metálicas

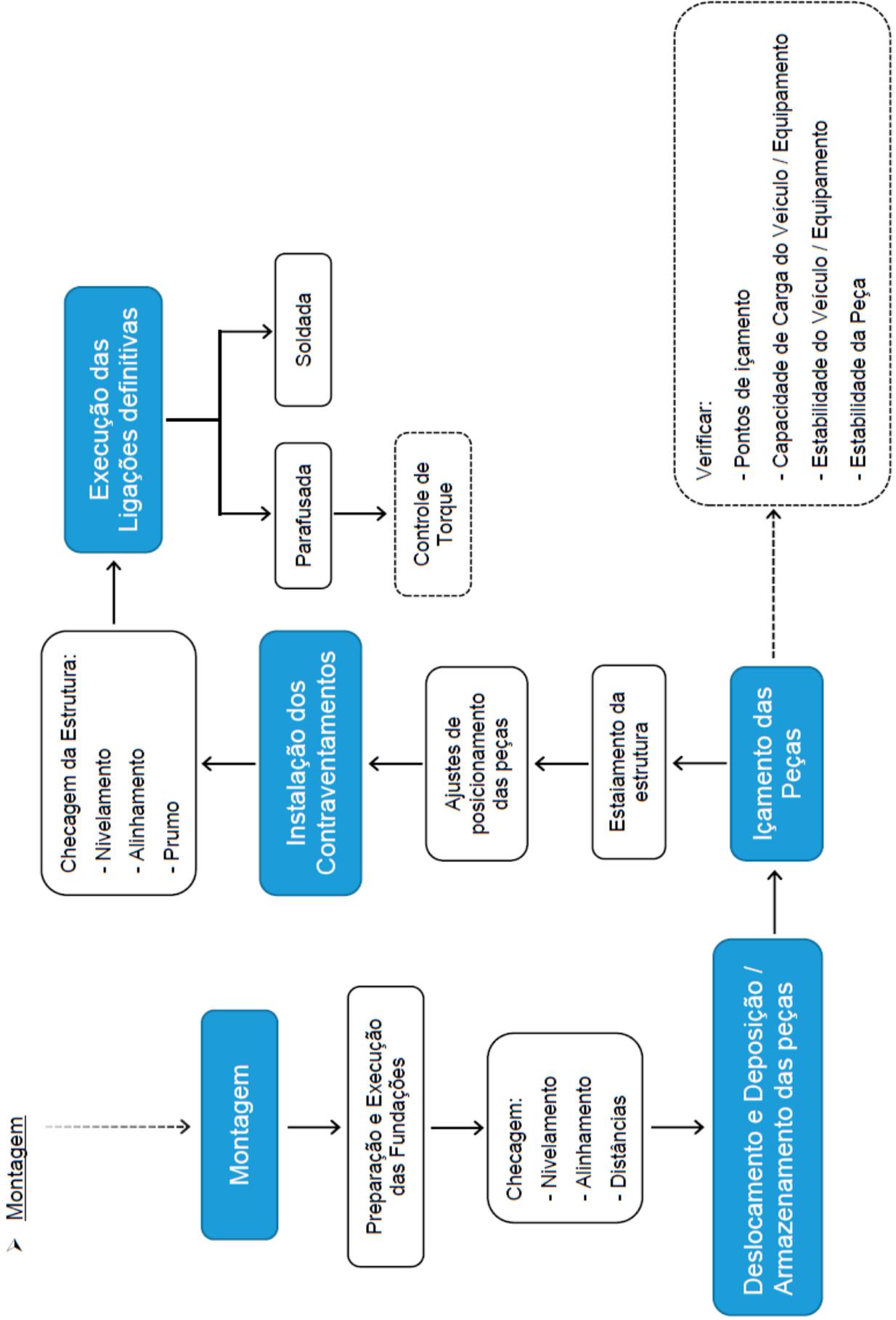


Fluxograma – Projeto, Fabricação e Montagem de Estruturas Metálicas

➤ Pintura



Fluxograma – Projeto, Fabricação e Montagem de Estruturas Metálicas



2.3.1 SUPRIMENTO

Mediante dados estatísticos, o órgão responsável pelo setor de suprimento mantém um estoque mínimo de materiais considerados padrão (BELLEI, 2010).

São elaboradas listas de materiais preliminares em função dos desenhos de projeto, permitindo providências com antecedência a quantidade de material necessário, seja pela verificação do estoque disponível, seja pela sua aquisição junto aos fornecedores.

São elaboradas com o mesmo objetivo as listas avançadas de perfis, para que a sua fabricação ou aquisição antecipada não venha ocasionar nenhum atraso na fabricação das peças estruturais.

Todos os materiais ao serem recebidos devem ser inspecionados de acordo com as normas vigentes quanto a sua qualidade e tolerâncias. Os perfis laminados, chapas e parafusos devem ser recebidos com os certificados respectivos das suas usinas. A Figura 09 mostra o galpão de estocagem de uma fábrica visitada pelo autor.

Figura 09 - Galpão de armazenamento de perfis e chapas.



Fonte: Autor.

2.3.2 PREPARAÇÃO

Bellei (2010) cita que a preparação para fabricação consiste em um planejamento, programação e controle, executados na seguinte ordem:

- Ordens de fabricação: informações para a oficina com definições sobre quem, quando, como e onde deverá se processar a fabricação em suas etapas;
- Fichas de controle: arquivo que informa a posição de cada elemento estrutural no fluxograma de fabricação;
- Gabaritos e croquis: desenhos de peças, em escala natural, executados em papelão (gabarito), ou sem escalas (croquis), que facilitam a execução das operações de oficina, agilizando os processos e melhorando a garantia de qualidade;
- Planejamento: executado por equipes experientes, determinando os melhores procedimentos de fabricação para os elementos estruturais, acompanhando sua evolução na oficina e corrigindo os processos assim que necessário.

2.3.3 DESEMPENO E APLAINAMENTO

Os materiais laminados enviados pelas usinas nem sempre se encontram em condições de serem utilizados na fabricação das peças estruturais, devido a deformações apresentadas. Quando estas deformações são excessivas às toleradas, há necessidade de um aquecimento controlado, desempenho mecânico ou aplainamento do material (BELLEI, 2010).

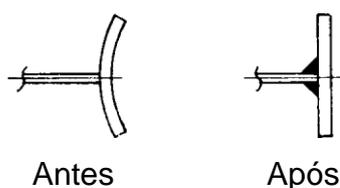
2.3.4 DOBRAMENTO, CALANDRAGEM E PRÉ-DEFORMAÇÃO

O dobramento das peças pode ser realizado a frio ou a quente. Os materiais que sofrem dobramento a frio devem ser considerados a resistência do material ao dobramento, ângulo e raio de dobramento, seção reta do material. Quando houver necessidade da aplicação de calor ao material para execução de dobramento, a temperatura não deverá ultrapassar os valores fornecidos pelos fabricantes ou por normas técnicas vigentes.

No momento da calandragem devem ser consideradas as mesmas recomendações adotadas no dobramento.

A pré-deformação é uma operação realizada com o objetivo de evitar a deformação, provocada pelo aquecimento imposto a peça. Como exemplo, Bellei, 2010 cita a pré-deformação em mesas dos perfis soldados antes da ligação com a alma, conforme Figura 10.

Figura 10 - Pré-deformação das mesas



Fonte: BELLEI, 2010.

2.3.5 CORTES

Os cortes são executados a calor ou mecânico.

No corte a calor pode-se utilizar a chama oxi-GLP ou oxi-acetileno, eletrodo de carvão ou eletrodo de chanfro.

Os cortes executados por chama oxi-GLP e oxiacetileno têm praticamente as mesmas características. Só podem ser cortados por estes materiais o ferro, o aço-carbono com até 0,7% de carbono e aços de liga pobre (BELLEI, 2010).

Já os cortes mecânicos podem ser executados por tesouras, tesouras-guilhotinas e serras.

As tesouras são utilizadas em cortes de chapas de pequenas espessuras como calhas, tubos de descidas, rufos, etc.

As tesouras-guilhotinas são utilizadas em cortes de chapas e pequenos perfis com espessura máxima de 12,5 mm. Este método normalmente gera pequenas deformações nas extremidades cortadas.

As serras são utilizadas em cortes de perfis em geral, apresentados bom acabamento nas extremidades.

2.3.6 USINAGEM

A usinagem só deve ser utilizada quando necessário, pois se trata de um processo caro de fabricação. É utilizada quando exigem um perfeito contato entre duas peças como as bases de colunas, ligações a momento soldadas, enrijecimento de ligações, etc.

2.3.7 FURAÇÃO

Os aspectos normativos das ligações parafusadas podem ser determinadas pela AISC:05 e na ABNT NBR 8800:2008.

As furações podem ser executadas com broca ou punção. Nos casos da furação puncionada, deve ser verificada a relação entre a capacidade do equipamento, espessura da chapa, diâmetro do furo e folga entre punção e matriz.

Na furação para chumbadores de bases de colunas, pode-se utilizar broca, punção ou ainda o corte por meio de oxi-GLP ou oxiacetileno (BELLEI, 2010).

Em visita à fábrica pode-se presenciar furação com utilização de broca, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Furação em perfil utilizando broca.



Fonte: Autor

2.3.8 MONTAGEM E PRÉ-MONTAGEM DE OFICINA

Segundo Bellei (2010) a montagem de oficina deve ser executada de modo que as dimensões e peças fiquem rigorosamente de acordo com as medidas dos desenhos de fabricação, dentro das tolerâncias previstas em normas internas ou externas. Essa montagem pode ser chamada de montagem intermediária, tendo em vista que se trata da montagem de módulos estruturais que serão incorporados à estrutura final no canteiro de obras.

A pré-montagem é realizada na oficina, objetivando a precisão para sua montagem em campo. O seu uso evita a ocorrência de erros que poderiam ser prejudiciais para a montagem de campo, como posicionamento correto de partes de um conjunto, verificação de contraflechas, etc. No entanto, atualmente, com a utilização da plataforma BIM na maioria dos escritórios de cálculo, a pré-montagem é utilizada apenas em casos excepcionais.

2.3.9 ALARGAMENTO EM CONJUNTO

Durante a fabricação é feito o alargamento do conjunto que assegura a coincidência dos furos em ligações, proporcionando maior rendimento na montagem de campo. Esta operação é comum em estruturas de pontes ferroviárias e rodoviárias, silos com chapas de desgaste, estruturas espaciais de grande porte, etc. (BELLEI, 2010).

2.3.10 PARAFUSAGEM

A parafusagem das conexões estruturais na oficina é feita com chaves manuais ou de impacto. Na maioria das conexões são utilizados parafusos ASTM A307. Estes parafusos podem ser apertados a mão, com chaves manuais, girando o parafuso ou a porca até que as partes conectadas estejam perfeitamente assentadas. O uso de chaves de impacto operadas a ar comprimido é mais econômico.

Os parafusos de alta resistência ASTM A325 ou A490 são bastante utilizados em conexões com altas solicitações ou sujeitos a esforços dinâmicos.

O aperto dos parafusos de alta resistência é efetuado com chaves de impacto com controle de torque ou pelo método de aperto pela rotação da porca (BELLEI, 2010).

2.3.11 SOLDAGEM

A soldagem é a técnica de unir duas ou mais partes constitutivas de um todo, assegurando entre elas a continuidade do material e em consequência suas características mecânicas e químicas, bem como os esforços a que ela está sujeita.

A ligação de elementos estruturais com solda e os processos de soldagem constituem um vasto campo de atividade prática e de investigação experimental.

Como a soldagem de uma junta é obtida pela fusão do aço, pode-se classificar esta fusão como uma operação metalúrgica localizada na junta da união. Daí pode-se, com facilidade, notar que a qualidade da união está submetida à influência de numerosos fatores como as propriedades físicas e químicas dos eletrodos; as propriedades físicas e químicas do metal base (aço dos elementos a serem unidos); as condições de execução e a ação dos agentes exteriores como o ar e a temperatura.

Antes de se executar uma solda é necessário saber se o metal é soldável. Caso contrário, a ação do arco endurece-o, tornando frágil a sua estrutura e impedindo que seja utilizado na construção. Um resultado semelhante é obtido com o resfriamento repentino da solda (por exemplo, com água), pois nesse caso se forma no local uma estrutura cristalina dura e quebradiça, com propensão à ruptura frágil.

Segundo Bellei (2010) o fabricante deve fornecer procedimento de soldagem, indicando pelo menos os seguintes dados:

- a) Processo de soldagem. (Manual, arco-submerso etc)
- b) Tipo de junta e sua configuração.
- c) Especificação e espessura do material-base.
- d) Especificação e classe do material de deposição.
- e) Temperatura de pré-aquecimento (mínima).
- f) Temperatura entre passes (máxima).

- g) Número aproximado de passes.
- h) Parâmetros de soldagem (voltagem, amperagem, velocidade).
- i) Controle do material de solda.

Como, durante a execução da soldagem, o metal base sofre modificações físico-químicas acentuadas e que podem influenciar na resistência da junta soldada, a qualidade do metal é de grande importância. Caso o metal base não seja soldável, a ação do arco endurece tornando frágil sua estrutura e impedindo que o mesmo seja utilizado na construção.

Hoje em dia, após inúmeros estudos realizados por renomados especialistas para demonstrar as influências físicas e químicas do aço sobre sua soldabilidade, pode-se afirmar que as qualidades que devem apresentar um aço para ser soldado são, entre outras, as seguintes: grande pureza, grande alongamento, boa resiliência, grãos finos, etc. Os eletrodos revestidos possibilitam uma solda de qualidade superior aos sem revestimento.

Primeiro, é importante saber quais os diversos tipos de soldagem, como elas podem ser classificadas de acordo com a fonte de energia utilizada ou de acordo com a natureza da união.

Para compreender melhor todo o processo executado durante o processo de soldagem, é importante saber como funciona o conceito de intensidade de fonte de energia. Por exemplo, quando o processo exige alta intensidade de energia, há redução no tempo, o que evita ou minimiza efeitos desagradáveis, como a distorção, por exemplo. Isso acontece porque a intensidade da energia transferida acontece de forma muito rápida, dentro de uma área muito limitada, permitindo a fusão quase que instantaneamente.

Pode-se dividir os processos de soldagem em dois grandes grupos: por fusão e por pressão.

Por fusão, em que a energia é aplicada para produzir calor capaz de fundir o material de base. Diz-se neste caso que a solubilização ocorre na fase líquida que caracteriza o processo de soldagem por fusão. Assim, na fusão, a soldagem é obtida pela solubilização na fase líquida das partes a unir, e subsequentemente, da solubilização da junção.

Já por Pressão, a energia é aplicada para provocar uma tensão no material de base, capaz de produzir a solubilização na fase sólida, caracterizando a soldagem por pressão.

Existem hoje inúmeros processos de soldagem que foram aprimorados e outros desenvolvidos após a Segunda Guerra Mundial e, entre os mais usados em estruturas metálicas, pode-se citar:

- Processo manual com eletrodo revestido (SMAW).
- Processo a arco submerso (SAW).
- Processo MIG, MAG, TIG ou soldagem em atmosfera gasosa (GMAW).
- Processo arame tubular (FCAW).
- Processo de soldagem eletro-escória.

A soldagem por eletrodo revestido é um processo a arco elétrico produzido entre um eletrodo revestido e a peça a ser soldada. Assim, o eletrodo é consumido à medida que vai se formando o cordão de solda, cuja proteção contra contaminações do ar atmosférico é feita por atmosfera gasosa e escória, proveniente da fusão do seu revestimento.

Esse revestimento tem como função estabilizar o arco elétrico, gerar gases de proteção da poça de fusão e do cartão de solda, produzir escória para evitar contaminação, adicionar elementos de liga, facilitar a soldagem fora de posição e facilitar a fabricação dos eletrodos revestidos.

Isso garante baixo custo ao processo e soldagem em locais de difícil acesso, no entanto, há também limitações, como a baixa produtividade devido à taxa de deposição, pois há a necessidade de remoção da escória, e não é um processo automatizável além da posição de soldagem ser muito restrita.

O processo de soldagem por arco submerso é um processo no qual o calor para soldagem é fornecido por um (ou alguns) arco(s) desenvolvido(s) entre eletrodos de arame sólido ou tubular e a peça da obra. O arco fica protegido por uma camada de fluxo granular fundido que o protegerá, assim como o metal fundido e a poça de fusão, da contaminação atmosférica. Como o arco elétrico fica completamente coberto pelo fluxo, este não é visível, e a solda se desenvolve sem faíscas, luminosidades ou respingos, que caracterizam os demais processos de soldagem em que o arco é aberto.

A maior limitação deste processo de soldagem é o fato que não permite a soldagem em posições que não sejam a plana ou horizontal. Ainda assim, a soldagem na posição horizontal só é possível com a utilização de retentores de fluxo de soldagem.

O processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) é definido como o processo de soldagem a arco elétrico estabelecido entre um eletrodo não consumível (a base de tungstênio) e a peça a ser soldada. A poça de fusão é protegida por um fluxo de gás inerte.

Como vantagem é possível dizer que as soldas TIG possuem soldas de excelente qualidade, com acabamento de cordão de solda. Há também menor aquecimento da peça soldada, além disso, há menor risco à corrosão granular e pode ser automatizado. Em contrapartida, é um processo de difícil uso com corrente de ar, sendo inadequado para a soldagem de chapas de mais de 6 mm, também possui baixa produtividade devido à alta taxa de deposição.

No processo de soldagem MIG (Metal Inert Gas) o arco elétrico é aberto entre um arame alimentado continuamente e o metal de base. A região fundida é protegida por um gás inerte ou mistura de gases.

Neste processo há uma boa facilidade de operação, alta produtividade, também pode ser automatizado, oferece baixo custo, não forma escória, cordão de solda com bom acabamento e garante boas soldas. Porém, este processo exige uma regulação bastante complexa e também não deve ser feito na presença de corrente de ar, há também produção de respingos e necessita de manutenção mais trabalhosa. Sem falar que há uma alta probabilidade de se criar porosidade no cordão de solda.

O processo de soldagem com arame tubular tem seu início com os processos TIG e MIG, mas só na década de 60 que o arame autoprottegido foi introduzido por pesquisadores e engenheiros.

A utilização de arame tubular deu uma alta qualidade ao metal de solda depositado, excelente aparência ao cordão de solda, boas características de arco, além de diminuir o número de respingos e possibilidade de solda em todas as posições, tendo ganho popularidade para soldagem de aços carbono e baixa liga, em chapas de espessura grossa e fina. Muitas vezes é utilizado em grandes espessuras

onde a geometria de junta e posição de soldagem não permitia a aplicação de outros processos de alto rendimento tal como arco submerso ou eletroescória.

Atualmente, a utilização de arames tubular autoprottegido tem tido grande interesse pelo fato da sua versatilidade e possibilidade de aplicação em ambientes sujeitos a intempéries.

Este processo é definido como um processo de soldagem por fusão, onde o calor necessário à ligação das partes é fornecido por um arco elétrico estabelecido entre a peça e um Arame alimentado continuamente.

A Norma PETROBRAS N-133 de 2005 – SOLDAGEM fixa as condições exigíveis e as práticas recomendadas para a execução da soldagem por fusão, empregada em fabricação, montagem, reparo e manutenção de equipamentos e estruturas.

Quanto ao tipo, as soldas podem ser de: filete, entalhe ou chanfro, ranhura ou tampão. A mais usada é a solda de filete. Para cargas de pouca intensidade é a mais econômica, devido à pouca preparação do material. Para cargas de maior intensidade, as soldas de entalhe, de penetração parcial ou total, são as mais aconselháveis por possuírem resistência bastante elevada com menor volume de solda, sendo que, no caso de penetração total é superior ao do metal base desde que o metal de solda seja compatível. O uso de solda de ranhura ou tampão está limitado a casos especiais onde a solda de filete ou entalhe não são práticas.

2.3.12 CONTRAFLECHAS EM VIGAS E TRELIÇAS NA OFICINA

Bellei (2010) cita que as contraflechas podem ser executadas das seguintes maneiras:

- Na preparação – executando o corte da alma com a curvatura desejada.
- Calor – aplicando calor na alma antes da fabricação do perfil.
- Na pré-montagem – executando a montagem com a curvatura desejada.
- Em vigas laminadas – aplicando esforços mecânicos ou calor localizado. utilizando calandras, prensas, macacos ou maçaricos.

2.3.13 ACABAMENTO

De modo geral, o acabamento das peças deve obedecer às várias exigências normativas, dentro das tolerâncias ou limitações admissíveis, referentes às superfícies inacessíveis, em contato, adjacentes às soldas de campo. Com referência ao acabamento operacional, é necessário eliminar as rebarbas em extremidades cortadas ou furadas, eliminar as ranhuras, limpar as soldas, retirar os respingos de solda e eliminar outros defeitos ou falhas ocasionais.

A Figura 12 mostra uma peça logo após receber acabamento feito por lixadeiras.

Figura 12 - Acabamento feito por lixadeiras para eliminar as rebarbas, limpar as soldas e retirar os respingos de solda.



Fonte: Autor

2.3.14 LIMPEZA DOS PERFIS

Após a fabricação, as peças que vão compor a estrutura são preparadas, quando necessário, para receber proteção contra a corrosão.

A limpeza é o processo pelo qual as peças passam antes de receber qualquer tratamento de superfície. O processo de limpeza das peças visa à remoção de óleos, gorduras, graxas, cascas de laminação e partes oxidadas. Segundo Bellei (2010) os processos de limpeza mais empregados são os seguintes:

- Utilização de solventes – é feita com solventes isentos de óleos, aplicado sobre a superfície, com panos.
- Desagregação natural – é deixar a estrutura exposta às intempéries por determinado período, até que haja a formação abundante de ferrugem sob a casca de laminação.
- Limpeza manual – mediante raspadeiras, escova manuais ou mecânicas, lixadeiras, pistolas de agulhas, etc.
- Limpeza mecânica – é adotado o mesmo processo da limpeza manual até que toda a estrutura obtenha um brilho metálico.
- Limpeza com chamas – é aplicada uma chama de maçarico na superfície metálica. Devido à diferença de dilatação, há desagregação da casca de laminação. Finalmente é feito uma limpeza com escova mecânica.
- Limpeza com jato abrasivo (areia ou granalha) – este método é o mais utilizado e de maior eficiência na preparação das superfícies para pintura. Para executar este serviço, são utilizados equipamentos de jato, composto por reservatório de abrasivo, acoplado a uma tubulação de ar comprimido e a um tubo flexível com um bico na extremidade para a projeção do abrasivo na superfície metálica.

A Figura 13 apresenta uma câmara de limpeza com jato abrasivo de granalha, utilizado na fábrica visitada.

Figura 13 - Câmara de limpeza com jato abrasivo de granalha.



Fonte: Autor

- Decapagem – os processos de decapagem dependem do grau de limpeza desejada. Para executar a decapagem são utilizados processos mecânicos ou químicos. Os processos mecânicos já foram citados nos itens anteriores, e os processos químicos são empregados com material ácido como ácido clorídrico, ácido sulfúrico e ácido fosfórico. O processo consiste em submeter o material a uma sucessão de banhos em tanques ou cubas, contendo ácido apropriado, obtendo-se normalmente a seguinte sequência de operações: desengraxamento, decapagem e neutralização.

Após a limpeza, a estrutura deve ser pintada ou então deixada em estado natural, se a estrutura for receber proteção contra a ação do fogo.

A Figura 14 ilustra algumas peças sendo lixada para serem unidas por soldagem.

Figura 14 - Limpeza manual de perfis mediante lixadeiras.



Fonte: Autor

2.3.15 PINTURA

A pintura e toda a composição aplicada à superfície do aço têm a finalidade de protegê-la contra corrosão causada pela exposição ao meio ambiente garantindo assim sua vida útil.

Uma das principais inovações introduzidas pela ABNT NBR 8800:2008 diz respeito às exigências para garantir que, independente da estrutura projetada, seja alcançada a vida útil prevista para o ambiente existente, com a manutenção preventiva especificada, dentro das condições de carregamento impostas. Essas exigências devem ser adotadas de comum acordo e referendadas pelo Proprietário ou por preposto por ele indicado. É muito importante identificar a categoria de corrosividade do ambiente no qual a estrutura será implantada, a fim de se definir o sistema de proteção à corrosão do aço, principalmente no caso da estrutura ficar aparente, visando garantir sua durabilidade. Para atender a essas exigências de norma, o projeto estrutural deverá prever: - classificação correta do tipo de ambiente e sua categoria de corrosividade (Anexo N da ABNT NBR 8800:2008); - intenção de vida útil da estrutura projetada; - escolha do tipo de proteção mais adequado.

As estruturas que não recebem devidas proteções sofrerão danos por corrosão durante o transporte, estocagem e montagem de campo, antes de sua utilização.

Usualmente as estruturas recebem de uma a duas demãos de tinta de fundo, imediatamente após a sua limpeza, na oficina, e em seguida recebem as duas demãos de tinta de acabamento (LUCCHINI, 2009).

Eventualmente será executada a pintura de acabamento ou simplesmente retoques na mesma.

Exigências quanto o rigoroso controle de qualidade, execução de jateamentos e pinturas sofisticadas, devem ser estabelecidas para peças que terão contato com o meio externo agressivo. Como exemplo, segue a Figura 15.

Figura 15 - Pintura de estrutura metálica e viga rolante.



Fonte: Autor

2.3.16 GALVANIZAÇÃO OU ZINCAGEM

Segundo Bellei (2010) a galvanização funciona como um revestimento de grande resistência a corrosão, em função das propriedades de proteção catódica do zinco.

A duração da proteção depende da espessura da camada de zinco depositada. Os princípios básicos da zincagem por imersão permanecem praticamente inalterados desde a sua introdução na indústria, consistindo do seguinte: tratamento prévio, fluxagem, secagem em estufas, banho de zinco e resfriamento.

2.3.17 TRANSPORTE

Na fase inicial de projeto e detalhamento é necessário indicar o tamanho das peças, procurando dentro do possível evitar o transporte especial. Esta fase inclui também a conferência dos materiais embarcados e o fornecimento dos meios de transporte até o local de montagem, com providências fiscais, licenças e seguros.

O planejamento de transporte é essencial para o sucesso da obra. Deve ser feita uma análise da ordem de embarque das peças em função da sequência de montagem e da maneira de se estocarem as peças no canteiro. Pode ser mais adequado embarcar antes um grupo de peças que serão montadas após outro grupo. Isto ocorre quando a área de armazenagem é restrita e as peças serão empilhadas

umas sobre as outras. As primeiras a serem montadas devem ficar no alto da pilha, o que é obtido embarcando-as após.

A disponibilidade de espaço na própria fábrica também deve ser analisada ao se elaborar o planejamento de transporte, pois existem limitações na área de armazenagem. Caso o canteiro de obras não possa receber maior quantidade de peças e a fábrica não consiga armazenar as excedentes, deverá ser criado um pátio intermediário de estocagem no trajeto. É conveniente que este entreposto fique o mais próximo possível do local da obra, para que o próprio pessoal do canteiro execute as operações de transbordo, otimizando a utilização de equipamentos e veículos de transporte.

2.3.18 PROTEÇÃO CONTRA FOGO

De acordo com o tipo de ocupação e altura da estrutura é feita uma verificação de acordo com as normas vigentes para saber se há necessidade de proteção passiva das estruturas à ação do fogo em caso de incêndio, e qual o material a ser empregado.

As soluções mais frequentemente empregadas para evitar o aumento excessivo da temperatura das estruturas de aço em situações de incêndio, é revesti-las com argamassa projetada “cimentitious, fibra projetada, placas ou pintura intumescente.

3. CONTROLE DE QUALIDADE

Os sistemas de qualidade se espalharam pelo mundo a partir da década de 50, principalmente devido ao sucesso dos produtos norte-americanos no período pós-guerra, o que gerou a multiplicação das suas empresas multinacionais.

No Brasil, o movimento da qualidade é reconhecido pelos japoneses como o segundo maior do mundo. A característica mais importante no Brasil é a adesão de empresas de todos os setores (indústrias de transformação e de construção, comércio, serviços – inclusive o serviço público – e o setor agrícola).

Castro (1999) menciona que na Espanha, em obras onde o controle de qualidade esteve presente de forma aguda e eficiente, tem sido possível observar a redução ou até mesmo a inexistência de manifestações patológicas.

O controle de qualidade e as exigências que são objetos de fiscalização, são determinantes para a composição dos custos da estrutura e devem estar claramente especificadas na proposta e no contrato. Dados imprecisos quanto aos critérios de aceitação da estrutura podem vir a dar margem para uma fiscalização pouco exigente durante a obra, o que certamente prejudicará sua execução. Para minimizar problemas futuros deve-se atentar para os detalhes de especificações técnicas na elaboração do contrato. Um cliente que desconheça os critérios de aceitação das normas e o nível aplicável para a obra, pode exigir exames de raio-X em peças que apenas o ultrassom seria aceitável. As exigências quanto à qualidade podem envolver as especificações dos materiais, o controle de qualidade de solda, tolerâncias dimensionais e outros critérios de aceitação, e se constituem em fatores essenciais para um resultado satisfatório (BELLEI; PINHO ; PINHO, 2008).

3.1 CONCEITOS DE QUALIDADE

Controle de qualidade é uma medida adotada por organizações de diferentes segmentos em todo mundo para definir padrões em procedimentos, políticas e ações, de maneira uniforme. Desde a criação da linha de montagem, por Henry Ford, surgiu a necessidade de entidades que normatizassem, fiscalizassem e padronizassem produtos e serviços. Em todo o mundo, há entidades que regulamentam o controle de

qualidade de acordo com a legislação de cada país. Um dos órgãos pioneiros em padronização de produtos é a International Organization for Standardization (ISO), em português, Organização Internacional de Estandarização ou padronização. Fundada em 1947, em Genebra, Suíça, a organização está presente em 157 países e tem a intenção de normatizar diferentes produtos para que a qualidade dos mesmos seja sempre melhorada.

A ISO institui requisitos que aperfeiçoam processos internos e produtos, monitora o ambiente de trabalho e satisfação dos clientes. Mesmo tendo sido criada mais tarde, a ISO se tornou uma das entidades de standardização mais influentes do mundo e abriu precedentes para os órgãos nacionais com a mesma intenção.

Muitos países possuem entidades que administram o controle de qualidade e aplicam as legislações específicas de controle de qualidade. No Brasil, se destacam Inmetro (Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ABCQ (Associação Brasileira de Controle de Qualidade), CRB (Centro de Referência Brasil), dentre outras. Entre as atribuições das entidades de caráter nacional, estão a realização de testes com os produtos, fiscalização, normatização e criação de padrões para determinados materiais.

A ABNT é referência em certificação de produtos de aço tais como barras e fios de aço, tubos, cabos, telhas, treliças, telas e perfis. Os principais benefícios da Certificação são:

- 1) Promover o comprometimento com a qualidade.
- 2) É um método gerencial que lhe permite medir a melhoria continua do desenvolvimento do negócio.
- 3) Assegurar eficiência e eficácia do produto, serviço ou sistema.
- 4) Reduzir perdas no processo produtivo e melhorar a sua gestão.
- 5) Diminuir controles e avaliações por parte dos clientes.
- 6) Assegurar que o produto, serviço ou sistema atende às normas.
- 7) Tornar a organização altamente competitiva com produtos em conformidade às normas técnicas.

A ABNT atua em quase todos os segmentos de produtos para construção civil sejam eles voluntários ou com creditação do INMETRO.

O controle de qualidade reúne todas as atividades que visam a prevenção dos defeitos de fabricação e montagem, não se restringindo somente à função de inspeção. Além da verificação das matérias-primas, do produto em fabricação, da montagem, das ferramentas e dos calibradores, inclui a investigação das causas dos defeitos, a escolha dos métodos e dos planos de inspeção, a análise dos dados relativos às perdas e a determinação do nível de qualidade desejado no mercado.

A inspeção como tarefa de melhoria na qualidade do produto surgiu nos primórdios da era industrial em que os processos de fabricação eram todos artesanais, as quantidades eram pequenas e praticamente um único trabalhador participava de todo o processo. Com a produção em massa, as inspeções ganharam um caráter mais formal e já na “administração científica” esta atividade tornou-se uma profissão, havia um funcionário especializado em inspecionar. Durante muitos anos todo o lote produzido era inspecionado, porém não da forma como é hoje. Este tipo de controle de qualidade era restrito a contagem, classificação pela qualidade e reparos. Soluções de problemas eram vistos como atividades fora das responsabilidades deste departamento (GUARNIER, 1999).

O controle de qualidade com base em metodologias científicas melhorou a qualidade dos produtos e era cada vez mais confiável, porém a partir do momento em que o produto era entregue ao cliente não se tinha controle. Desta necessidade surgiu a engenharia de confiabilidade e a qualidade expandiu-se para o uso dos clientes.

Conceitos como Qualidade Total e Gestão da Qualidade vêm se firmando como verdadeiras estratégias empresarias para expansão ou permanência dentro de um mercado cada vez mais competitivo.

Andery (2004) trata o projeto como um processo que deve ser gerido e apresenta como as empresas de projeto são afetadas pelos sistemas de gestão da qualidade. A implementação desses são avaliados no processo projetual e não encaram o projeto como “produto”. As rotinas de elaboração desses projetos e suas interfaces são o foco dessas empresas. “Ao se projetar com qualidade têm-se a qualidade do projeto”.

Andery (2004) apresenta ainda a eficácia da implantação desses sistemas na melhoria dos projetos se alguns requisitos forem observados: forte comprometimento dos profissionais envolvidos, uma análise crítica do processo de implementação, cautela com “burocracias” desnecessárias e maior uso de tecnologia da informação.

Como principais benefícios na implementação dos sistemas de gestão têm-se a reestruturação do processo de projeto, a redução dos erros e do retrabalho devido a uma melhor documentação do processo, maior clareza (transparência) das informações, delegação de responsabilidades e a introdução de uma cultura de melhoria contínua.

3.2 TIPOS DE CONTROLE DE QUALIDADE

No setor da construção civil, a efetiva competitividade presente em determinados segmentos de mercado, tem provocado a conscientização dos diversos agentes intervenientes quanto à necessidade de se promover melhoras no desenvolvimento de processos e na qualidade dos produtos.

Os trabalhos realizados em uma fábrica de estruturas metálicas estão sujeitos a diversos métodos de inspeção que devem ser executados pelo próprio fabricante ou terceirizados, que devem desenvolver procedimentos para obterem um controle de qualidade de acordo com o que julgar necessário, ou com as exigências do cliente, de modo a garantir que a produção esteja de acordo com a especificação prescrita.

O processo de projeto deve passar por verificações e controles frequentes, que devem gerar dados para a realimentação de todo o processo, criando um ciclo de melhoria contínua. Os mecanismos de controle criam a possibilidade de verificar se as especificações de projeto estão sendo utilizadas adequadamente durante a produção.

Segundo Bellei (2010), em uma fábrica são realizadas geralmente as seguintes inspeções:

Do aço – composição química, resistência mecânica e tolerâncias dimensionais (certificação fornecida pelas usinas).

Dos perfis soldados e das estruturas – tolerâncias dimensionais conforme padrões especificados ou com variações mediante acordo.

Da solda – exame visual, dimensões do cordão da solda, líquido penetrante, raio-X ou gama, ultrassom e magnaflux (partícula magnética).

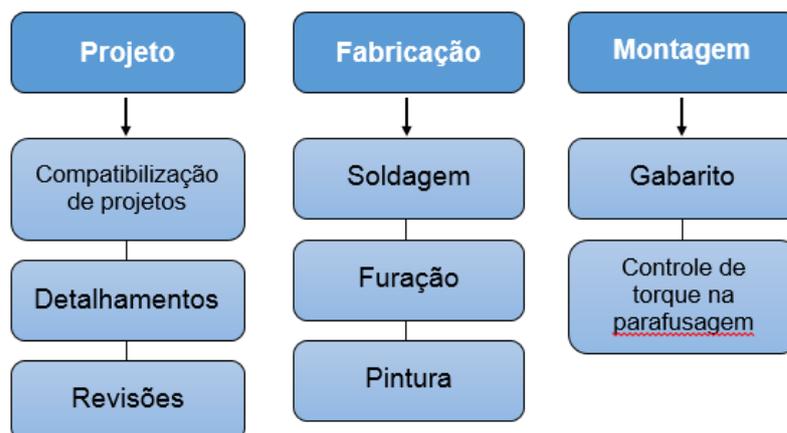
Segundo Pinho (2005) os Ensaio Não Destrutivos (END) são realizados nas soldas das estruturas em aço para verificar a qualidade das mesmas, detectando a presença, posição e extensão das descontinuidades. São chamados de não destrutivos porque são ensaios que não alteram as características das soldas ensaiadas. Isto permite que a qualidade da solda seja averiguada conforme padrões estabelecidos que classificam os defeitos, sua localização e extensão, bem como os critérios de aceitação pertinentes. Caso as exigências de qualidade sejam atingidas, a solda será aceita; caso contrário, serão indicados os locais e a extensão dos reparos necessários.

Os critérios de aceitação devem estar definidos no contrato de fornecimento e montagem das estruturas, em harmonia com a complexidade da obra. Serão delimitados levando-se em consideração qual nível apropriado de qualidade se requer para o tipo de junta, sua responsabilidade, a finalidade da estrutura e suas condições de utilização durante sua vida útil. Não se deve esquecer que o objetivo dos ensaios é determinar a qualidade da solda, para que se possa avaliar se a mesma possui características que garantam a transmissão dos esforços de projeto e que não levem a ocorrência de defeitos futuros que comprometam a durabilidade da estrutura.

Na montagem também devem existir controles de qualidade proporcionais a complexidade da estrutura. Um dos controles mais comuns na execução da estrutura no canteiro de obras é a aferição do torque no momento da parafusagem das ligações.

Na Figura 16 é apresentado um fluxograma resumido das principais etapas que devem compor o controle de qualidade na concepção de uma estrutura metálica.

Figura 16: Fluxograma básico dos principais pontos de inspeção de qualidade.



Fonte: Autor

Nesse fluxograma pode-se visualizar quais os pontos críticos na criação de uma estrutura metálica.

Na fase de projetos, os pontos mais suscetíveis à falhas ficam por conta da compatibilização do projeto de estruturas metálica com os demais projetos, como de concreto armado ou de instalações prediais. Outros pontos vulneráveis são o detalhamento, e as revisões de projeto. É comum identificar projetos que sofrem revisões na sua concepção, mas que não são devidamente comunicadas aos demais setores responsáveis pelo projeto, por exemplo, o de detalhamento.

Na fabricação, as inspeções de soldagem, furação e pintura podem ser identificadas como as principais etapas de checagem do controle de qualidade. Já na montagem, as dimensões do gabarito e o controle de torque são os fatores que mais causam falhas nas estruturas.

3.2.1 CONTROLE DE QUALIDADE DE PROJETO

A vida útil de uma estrutura nasce no projeto e se consolida na execução, mas os princípios do projeto devem chegar até o final da execução. Em cada uma das diretrizes há vários desafios a serem vencidos, como o de entender que projetar é fazer a gestão do desempenho da estrutura ao longo do tempo, controlando o processo de perda da performance e prevenindo falhas durante um tempo que justifique os recursos investidos (SILVA FILHO, 2013).

Conforme as empresas do setor, entrevistadas pelo autor e ainda, segundo Castro (1999) e Panossian (1993), no geral, a predisposição da construção para apresentar problemas patológicos nas estruturas de aço, ou de uma de suas partes são resultantes da má concepção de projeto, erros de cálculo, no sistema de montagem, na escolha inadequada dos perfilados, definição equivocada das espessuras das chapas, do uso de tipos de aço com resistências diferentes das consideradas no projeto, ou ainda, de falta de um controle de qualidade nas etapas de projeto, fabricação e montagem. Tais problemas ainda, muitas vezes são resolvidos de maneira inadequada e ineficiente.

Jardim (2010) cita a preocupação sem precedentes com a implantação de políticas e instrumentos de melhoria da qualidade nas empresas construtoras, que vêm atreladas a inovações nos processos construtivos. A isso se soma a consideração, ainda incipiente, de melhorias nas formas de integração entre projeto (desenvolvimento do produto edificação) e execução nos canteiros de obra.

A necessidade de maior integração entre diversos agentes do processo produtivo foi também identificada por Bobroff (1993), segundo a qual, no momento atual, tenta-se reagrupar projetistas, construtoras e parceiros em uma mesma equipe de trabalho que possibilite a busca de melhores soluções dentro de uma visão global do empreendimento.

Um aspecto importante a se destacar é o da busca de mecanismos de integração entre projeto e produção nos canteiros. O estabelecimento de mecanismos de coordenação de projetos e de valorização dos mesmos, de forma que estejam efetivamente orientados à melhoria das condições de construtibilidade nos canteiros.

De acordo com vários autores, dentre eles, Picchi (1993), Melhado (1994) e Novaes (1996), o projeto é fundamental para que o empreendedor obtenha a qualidade almejada. Todos eles destacam a importância da utilização dos instrumentos para a garantia da qualidade do projeto de edificações, dentre as quais a coordenação de projetos, o planejamento de projetos, a sistematização das informações, a compatibilização dos projetos e a análise crítica.

A não utilização destes implica em adoção de soluções não otimizadas para o sistema de produção do empreendimento, com conseqüente elevação dos custos da obra e ocorrência de patologias.

Segundo Franco e Agopyan (1993), a fase de concepção e de projeto desempenha um papel estratégico na medida em que as decisões tomadas trazem maior repercussão nos custos, velocidade e qualidade dos empreendimentos.

A Qualidade final das estruturas metálicas está dependente da correta aplicação de métodos e procedimentos, em todas as fases do Projeto, desde a fase de definição até à recepção definitiva.

Moraes (2000) afirma que a falta de compatibilização de projetos também é um problema na construção metálica, como ocorre na construção civil em geral. Os profissionais de uma determinada especialidade não participam dos demais projetos e não conhecem as possíveis interferências entre as especialidades. A visão de cliente do processo de projeto resume-se ao contratante ou ao empreendedor. As necessidades dos clientes internos do processo de projeto não são explicitadas, não sendo consideradas no desenvolvimento dos projetos. Não se consegue uma definição completa dos desejos e necessidades de todos os clientes do processo de projeto, contribuindo para a redução do valor final do produto.

Conforme Costa (2012), somente um detalhamento de cálculo estrutural e o projeto básico não são suficientes para garantir a qualidade de uma construção em aço. Os perfis estruturais de um empreendimento representam algo em torno de 30% do projeto e execução da obra, os 70% restantes dividem-se entre fechamentos, acabamentos e outros elementos.

Bauermann (2002) analisa as rotinas de projeto de edifícios de andares múltiplos estruturados em aço, avaliando as dificuldades e problemas enfrentados por equipes multidisciplinares e, propõe alternativas como forma de minimizar as manifestações patológicas, como:

- os sistemas industrializados sejam definidos anteriormente ao início do desenvolvimento dos projetos para execução;
- o planejamento do processo de execução seja iniciado tão logo sejam definidos os sistemas construtivos e as tecnologias;
- a compatibilização das soluções comece ainda no planejamento do processo de projeto.

- No desenvolvimento do projeto para execução, as atividades sejam planejadas com os pré-requisitos necessários, que seja levado em consideração a logística, os prazos de fabricação e o transporte dos componentes industrializados.

Calmon e Moraes (2000) citam algumas observações importantes que se relacionam com o projeto em construções metálicas baseados em Castro (1999):

- Concepção: a compatibilização e o planejamento de modificações devem ser previstos anteriormente, já que as peças são produzidas fora da obra e montadas no canteiro;

- Projeto estrutural: deve levar em conta a padronização, modulação, para melhoria da produtividade na fabricação e montagem.

Assim, a estrutura metálica depende da etapa de projetos, da sua compatibilização a sistemas complementares associados para o bom desempenho da fabricação e montagem, ganhos de produtividade, prazos e custos e a redução de desperdício.

Ainda segundo Bauermann (2002), no desenvolvimento dos projetos deve-se levar em conta todo o processo de produção, e no caso das construções metálicas, incluem-se a fabricação de componentes industrializados, o transporte e a montagem dos mesmos, resultando em um plano de atividade que deve ser desenvolvida pelos especialistas envolvidos no projeto.

Teixeira (2007) apresenta como um dos problemas enfrentados na escolha da construção metálica a falta de sistemas construtivos complementares compatíveis com a mesma, especialmente nos acabamentos e vedações. As opções são pouco difundidas e escassas. Ocorre à utilização da industrialização no momento da montagem da estrutura metálica, sendo que as demais etapas não acompanham, utilizam sistemas convencionais não industrializados da construção, o que gera problemas de interface com a estrutura metálica e atrasa o desenvolvimento da construção.

Segundo a ABECE (2000), as empresas de projeto estrutural deveriam ser contratadas ainda no início da concepção do empreendimento, permitindo a racionalização e compatibilização prévia dos projetos a fim de minimizar improvisações e aumentar a qualidade da edificação. Em se tratando de edifícios em estrutura metálica, esta necessidade se torna ainda maior devido ao processo de

produção da estrutura ser industrializado, exigir precisão milimétrica e maior capacitação técnica.

A dificuldade em especificar materiais que sejam compatíveis com a estrutura metálica provoca a não utilização em larga escala da construção metálica em edifícios de andares múltiplos, gera baixa qualidade final da edificação com a utilização incorreta dos materiais e aumenta o custo final do empreendimento.

Segundo Castro (1999), dentre as diversas formas de patologias construtivas, as chamadas atávicas são aquelas resultantes de má concepção de projeto, erro de cálculo, escolha de perfis ou chapas de espessura inadequada ou aços com resistência mecânica inferior à considerada no projeto estrutural. São perigosas, pois comprometem a segurança e funcionalidade da estrutura e são difíceis de serem reparadas. Quando ocorrem, exigem recuperação de alto custo.

A seguir são indicados alguns itens que devem ser observados nesta fase:

- 1) Qualidade dos Materiais.
- 2) Especificação dos materiais.
- 3) Indicação dos carregamentos adotados.
- 4) Certificados exigidos.
- 5) Ensaio Complementares.
- 6) Especificações.
- 7) Pormenores Construtivos.
- 8) Facilidade de interpretação dos desenhos.
- 9) Posição das juntas, conforme modelo estrutural adotado.
- 10) Filas e eixos de locação da obra posicionados claramente.
- 11) Indicações claras de pontos especiais da estrutura, tais como: rebaixos de vigas e lajes; furos em vigas para passagem de dutos; contraflechas etc.
- 12) Tipos de ligações adotados.
- 13) Plano de Inspeção e Ensaio.
- 14) Especificações da fabricação.

- 15) Especificações de Soldagem.
- 16) Qualificação de Procedimentos de Soldagem.
- 17) Qualificação de Soldadores.
- 18) Especificações de Ensaio.

3.2.2 CONTROLE DE QUALIDADE DE FABRICAÇÃO

O trabalho realizado dentro de uma fábrica de estruturas metálicas está sujeito a diversos métodos de inspeção. O fabricante deve estabelecer métodos de controle de qualidade, dentro do rigor que julgar necessário e que for solicitado pelo cliente, para garantir que todo o trabalho seja executado de acordo com as exigências. A inspeção é executada por funcionário qualificado e certificado para exercer a função e atuam em todas as fases do processo de fabricação. Na maioria das obras o cliente pode contratar inspetores para atuarem junto ao fabricante. Além dos procedimentos de controle de qualidade do fabricante, o material e a qualidade do serviço devem ficar permanentemente sujeitos à inspeção por parte de profissionais qualificados, representantes do proprietário da obra.

Os elementos básicos para o inspetor são os desenhos de detalhes aprovados e a instrução de inspeção.

Se após uma inspeção for constatado defeito, este deverá ser suficientemente retificado, porém não havendo falhas, será remetido um relatório de inspeção oficial indicando, se possível, o tempo gasto com ela.

Bellei (2010) adverte para que os principais itens a serem inspecionados sejam os seguintes:

- a) Certificados da usina para a matéria-prima.
- b) Se espessura do material é inferior ao diâmetro nominal do parafuso + 1/8".
- c) Verificar se as superfícies em contato estão isentas de óleo, pintura, graxa, etc.
- d) Verificar se o processo de soldagem e a sequência empregada, deformaram a peça além dos limites toleráveis especificados na ASTM-A6.

- e) Verificar se as arestas ou superfícies especificadas como usinadas ou chanfradas foram executadas conforme projeto e especificações.
- f) Verificar se a peça depois de pronta tem a contra-flecha exigida no projeto.
- g) Verificar se as soldas temporárias foram removidas e as superfícies limpas.
- h) Verificar o acabamento da soldas nos pontos de contato e se apresentam trincas que comprometem sua integridade.
- i) Verificar se as peças soldadas não apresentam encurtamento, empenos ou outras deformações por conta das contrações de solda.
- j) Verificar se as peças estão executadas de acordo com os desenhos de detalhes aprovados.
- k) Confirmar se as peças a serem embutidos no concreto estão realmente sem pintar.
- l) Verificar se as peças em comprimento inferior a 10 m tem uma variação de no máximo 1,5 mm e para as superiores a 10 m uma variação de no máximo 3 mm.
- m) Na checagem das dimensões reais são observados os gabaritos tamanho 1 x 1, as posições das emendas dos pilares, distância do centro da coluna às chapas de conexões, nervuras, etc.
- n) No caso de parafusos ou furos para recebe-los, são checadas as distâncias entre eles, gabarito de extremidades e diâmetros dos furos.
- o) A inspeção nas marcas de montagem deverá observar se estas estão de acordo com o mostrado nos desenhos de detalhes.
- p) O inspetor deverá observar se nas peças de peso elevado foram marcadas com o sinal “+” na sua posição central.

3.2.2.1 CONTROLE DE QUALIDADE DE FURAÇÃO

As especificações utilizadas para definição das ligações parafusadas são determinadas na ABNT NBR 8800:2008.

São inúmeros os equipamentos utilizados para furação das peças, alguns só tendo justificável sua utilização para fábricas com grande volume de trabalho. As

furações podem ser executadas com broca ou punção. Nos casos da furação puncionada, deve ser verificada a relação entre a capacidade do equipamento, espessura da chapa, diâmetro do furo e folga entre punção e matriz. O punçonnemento é o método mais comum usado para fazer furos para parafusos.

Furos feitos a broca é um sistema usado somente em materiais em que a punção não possa ser utilizada ou para fazer tarefas especiais. Bellei (2010) cita que não há, necessariamente, limites rígidos para o uso da furação puncionada, mas normalmente a espessura do material não deve ser superior ao diâmetro do parafuso mais 3 mm. Quando a peça é puncionada, nota-se uma diferença entre o diâmetro de entrada e o de saída do furo.

Os diâmetros dos furos para parafusos não ajustados deverão ter uma folga máxima de 1,6 mm em relação ao diâmetro do parafuso. No caso de parafusos ajustados, este valor da folga será de 0,5 mm. Nas furações, a precisão deverá ser tal que, após a montagem, um pino de diâmetro igual $0,9 d$, sendo “d” o diâmetro nominal do furo possa ser introduzido perpendicularmente às faces das peças sem deformar os furos. As peças a serem furadas em conjunto deverão ser rigorosamente apertadas, para evitar a penetração de rebarbas entre as superfícies de contato.

3.2.2.2 CONTROLE DE QUALIDADE DE LIGAÇÕES SOLDADAS

Antes de se iniciar a solda, todas as ligações deverão ser previamente inspecionadas, visando à limpeza da junta, posicionamento, pré-aquecimento do metal-base, sequência de soldagem, tratamento da raiz etc. Serão inspecionados durante a fabricação, de acordo com as recomendações técnicas constantes na AWS D1.1 e ABNT NBR 8800:2008.

Apesar de todos os cuidados, é necessária, em muitos casos uma confirmação da qualidade das soldas. Cabe ao engenheiro projetista indicar as regiões críticas, em termos de solicitações estáticas ou dinâmicas, que deverão ser analisadas, e o método de inspeção. Os métodos de inspeção não destrutivo mais usuais em estruturas metálicas são:

- Visual.
- Líquido penetrante.
- Partículas magnéticas.

- Ultrassônicos.
- Radiográficos.
- Estanqueidade.

Os dois primeiros medem trincas superficiais e os demais medem trincas e porosidades mais profundas. Todos os métodos serão aprofundados mais adiante. Os mais usados no caso dos edifícios são o líquido penetrante e o ultrassom.

Qualquer que seja o tipo de inspeção deverá ser feito por pessoal qualificado.

Um aspecto importantíssimo que deve ser definido a respeito dos Ensaio Não Destrutivos é a amostragem, ou seja, a extensão de solda que será objeto dos ensaios. Devem também estar definidos, após os resultados dos ensaios, quais e quantos defeitos serão aceitáveis, e em qual extensão. E, por outro lado, o que será inaceitável e deverá obrigatoriamente ser removido e refeito.

De acordo com Bellei, Pinho e Pinho (2008), para se ter uma boa solda, em qualquer tipo de obra, é necessário seguir quatro passos:

- 1) Um bom projeto de junta, pois o seu desconhecimento pelo projetista pode levar a soluções de fabricação onerosas, com resultados imprevisíveis como trincas, fissurações, porosidades e escórias, que são problemas metalúrgicos, e problemas mecânicos como distorções e empenamentos, etc. Um caso típico de erro de projeto é o fissuramento lamelar, cujo defeito ocorre no metal de base durante a soldagem de ligações rígidas e onde há excessivo volume de solda;
- 2) Estabelecer bons procedimentos de soldagem.
- 3) Usar soldadores devidamente qualificados pelas normas.
- 4) Empregar inspetores competentes e bem treinados.

A ABNT NBR 8800:2008 no item 12.2.1.5, indica a norma AWS D1.1 para ser seguida, com relação à técnica que deve ser empregada na soldagem, à execução, à aparência e à qualidade das soldas, bem como os métodos usados na correção de defeitos. No caso de se descobrir defeitos internos, a aplicação dos critérios determinará a aceitação ou rejeição das juntas analisadas. A rejeição de algumas implicará em nova soldagem e ensaios.

Segundo Bellei (2010), a responsabilidade sobre a qualidade da solda recairá sempre sobre o fabricante, mesmo havendo um inspetor credenciado pela contratante para fiscalizar.

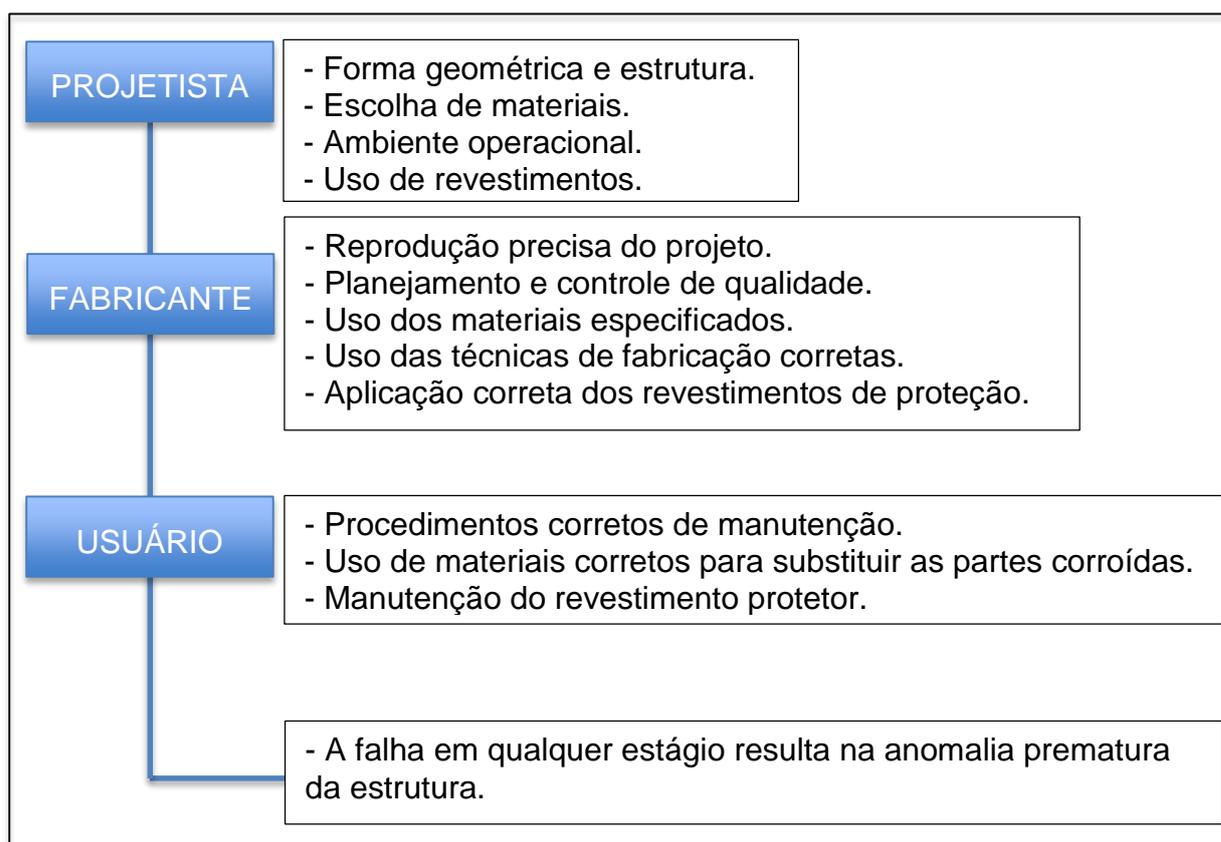
Todos os soldadores devem ser qualificados de acordo com as exigências das normas vigentes. Atualmente a ABNT NBR 14842:2015 - *Critérios para Qualificação e Certificação de Inspetores de Soldagem* e a PETROBRAS N-2033 de 2011 - *Inspeção de Fabricação - Qualificação de Pessoal* estabelecem os critérios e a sistemática para a qualificação e certificação de inspetores de soldagem.

3.2.3 CONTROLE DE CORROSÃO

A corrosão é um processo de deterioração do material que produz alterações prejudiciais e indesejáveis nos elementos estruturais. Sendo o produto da corrosão um elemento diferente do material original, a liga acaba perdendo suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade e estética.

Existem três estágios importantes na vida de uma estrutura: projeto, construção e utilização, conforme Quadro 01. O controle da corrosão desempenha um papel importante em cada um destes estágios:

Quadro 01: Quadro esquemático dos estágios da estrutura.



Fonte: PANNONI, 2016 – adaptado.

A falha de qualquer um destes aspectos do controle da corrosão resultará, possivelmente, na falha prematura da estrutura.

O controle da corrosão pode ser feito de vários modos, mas os mais importantes são:

- Alteração do projeto.
- Modificação do ambiente.
- Aplicação de revestimentos de barreira.
- Seleção de materiais.
- Proteção anódica ou catódica.

São apresentados a seguir algumas recomendações para o controle da corrosão na fase de projeto.

1 - Evite o contato elétrico entre metais e ligas diferentes:

Evite todos os pares bimetálicos possíveis. Não é verdadeiro dizer que a junção de metais distantes na série galvânica provocará problemas de corrosão. Existem inúmeros exemplos de metais ou ligas conectados eletricamente que nunca apresentaram problemas. A corrosão só acontecerá se uma cela galvânica for formada, isto é, se houver dois metais ou ligas situados distantes na série galvânica conectados eletricamente e imersos em um mesmo eletrólito.

Os efeitos galvânicos acontecem quando a diferença de potencial medida (com um multímetro, p.ex.) entre os dois metais ou ligas imersos no mesmo eletrólito particular supera os 0,05 V.

O meio mais comum de se prevenir da corrosão galvânica é intercalar, entre os dois metais ou ligas, um isolante elétrico. Dentre os muitos compostos orgânicos existentes no mercado alguns resistem às altas pressões de contato exigidas em muitas situações. É importante ressaltar que o material isolante não deve ser poroso, pois ele poderia absorver água e propiciar a formação da corrosão por frestas. A utilização de juntas coladas auxilia em muito a prevenção da corrosão galvânica, impedindo o ingresso de eletrólitos

Algumas vezes é conveniente introduzir uma peça intermediária, que pode ser facilmente substituída ou então que tenha um potencial intermediário. Um exemplo

desta última situação é o do uso de arruelas de zinco entre parafusos de aço conectando chapas de alumínio.

Outra solução possível é a utilização de pintura. Recomenda-se pintar os componentes mais nobres e os menos nobres. Caso não se possa pintar todo o conjunto, recomenda-se pintar o membro mais nobre do par galvânico (membro catódico). A pintura apenas do membro menos nobre (anódico) pode agravar a situação, pois ela poderá levar ao intenso ataque por pites nos poros do revestimento.

Pannoni (2011), sugere algumas formas de evitar a corrosão:

2 - Evitar frestas:

A corrosão por frestas pode se estabelecer sempre quando existir uma abertura que possa acumular umidade. As juntas devem ser dispostas de modo a propiciar linhas limpas e contínuas. Soldas sem qualidade, com pouca penetração, descontínuas ou com respingos, colaboram para o desenvolvimento de frestas.

Qualquer ponto onde duas superfícies metálicas são separadas por uma pequena distância é uma cela de corrosão em potencial. A umidade entra pela fresta, em muitos casos, por ação capilar. Onde o líquido está em contato com o ar, o oxigênio consumido no processo de corrosão é rapidamente repostado, mas, no fundo da fresta, a água estará empobrecida em oxigênio. O oxigênio do exterior deve se difundir por meio do eletrólito para atingir o fundo da fresta. Isso costuma ser muito dificultado pelas condições de estagnação do líquido e pela existência de produtos de corrosão que dificultam ou mesmo impedem o deslocamento iônico.

Frestas são formadas em muitas situações, como por exemplo, atrás de pontos de solda descontínuos, em juntas parafusadas ou rebitadas ou mesmo em chapas sobrepostas.

3 - Evitar celas de aeração diferencial:

A corrosão bimetálica é bastante comum e destrutiva, mas celas de aeração diferencial causadas por diferenças de oxigenação do eletrólito são ainda mais comumente observadas, e costumam causar danos ainda maiores.

Uma cela de aeração diferencial, conforme apresentado na Figura 17, pode ser desenvolvida em qualquer situação onde a água estiver em contato com uma superfície. Assim, todo cuidado deve ser tomado para se prevenir do ingresso da água

em áreas onde ela possa ficar retida por longos períodos. Frestas potenciais devem ser preenchidas com selantes (epoxídicos, poliuretânicos ou à base de silicone).

Figura 17: Celas de aeração sujeita a corrosão.



Fonte: Autor

Deve-se permitir a ventilação de todo conjunto, para que a água possa evaporar.

4 - Promover a drenagem e a ventilação:

Quando a chuva ou o orvalho umedecem uma estrutura metálica, pontos de ferrugem serão observados após a evaporação da água. Cada gota age como uma cela de aeração diferencial, mas, se a superfície tiver a oportunidade de secar (isto é, se existir ventilação adequada), a corrosão será limitada.

Problemas sérios podem ser observados nas partes inferiores das estruturas, onde a ventilação é menos eficiente (a região é protegida das correntes de ar).

5 - Evitar o uso de materiais absorventes (feltro, amianto, tecido) em contato com a superfícies metálica:

Materiais porosos e absorventes (como por exemplo, lã de rocha, não tecidos, feltro, etc.) tem sido muito utilizados como isolantes térmicos, isolantes acústicos, etc. Estes materiais podem absorver água como uma “esponja”, possibilitando a ocorrência de celas de aeração diferencial na interface material absorvente/metal.

Os materiais absorventes de água devem ser evitados em todas as situações em que a umidade relativa do ambiente exceda (costumeiramente) os 60%.

3.2.4 CONTROLE DE QUALIDADE NA MÃO DE OBRA

Todos os soldadores devem ser qualificados de acordo com as exigências das normas vigentes. Atualmente a ABNT NBR 14842:2015 - *Critérios para Qualificação e Certificação de Inspetores de Soldagem* e a PETROBRAS N-2033 de 2011 - *Inspeção de Fabricação - Qualificação de Pessoal* estabelecem as condições exigíveis para qualificação de pessoal responsável pela inspeção de serviços e fabricação dos materiais a serem utilizados.

A ABNT NBR 14842:2015 define atribuições e responsabilidades básicas inerentes ao inspetor de soldagem, como a qualificação de procedimento de soldagem e de soldadores/operadores de soldagem, verificação de soldadores/operadores de soldagem, verificação do material de base, verificação dos consumíveis, inspeção de equipamentos de soldagem, inspeção antes da soldagem, inspeção durante a soldagem, inspeção após soldagem, ensaios não-destrutivos, ensaio de dureza, tratamento térmico após soldagem, reparo de solda e registro de resultados.

Já a norma da PETROBRAS N-2033 além de outros critérios, define um Plano de Inspeção e Testes (PIT), documento elaborado pelo fornecedor contido no seu Plano da Qualidade, seguindo os padrões estabelecidos pelas normas ISO de gestão da qualidade.

Para as modalidades que fazem parte do Sistema Nacional de Qualificação e Certificação, os certificados são emitidos pelos Bureau de Certificação e são eles:

- Ensaio Não Destrutivo: Bureau de Certificação da ABENDE.
- Inspeção Subaquática: Bureau de Certificação da ABENDE.
- Controle Dimensional: Bureau de Certificação da ABENDE.
- Soldagem e Dutos terrestres: Bureau de Certificação da FBTS.
- Soldagem e Dutos terrestres: Bureau de Certificação da FBTS.
- Pintura Industrial: Bureau de Certificação da ABRACO.

A qualificação da mão de obra para a execução de estruturas metálicas é a diferença essencial, em matéria de controle de qualidade, entre esse método construtivo e os métodos construtivos com o uso do concreto.

3.2.5 CONTROLE DE QUALIDADE DE MONTAGEM

Apesar de recursos disponíveis como a modelagem em ambiente BIM, atualmente ainda é muito utilizado em fábricas de pequeno e médio porte a pré-montagem para algumas estruturas. Para se evitar erros na fabricação, deve-se evitar qualquer tipo de alteração ou adequação na execução da obra, como recortes e furos. As formas das peças devem se limitar ao menor número de tipos possíveis, assim como evitar a variação no diâmetro dos furos e nos seus espaçamentos. Tais fatos ocorrem por erros nos desenhos.

A montagem da estrutura deverá obedecer a um planejamento geral da obra com base nos desenhos de montagem e considerando principalmente os seguintes pontos:

- a) Descarga e armazenamento das peças seguindo um agrupamento por tipo e sequência de montagem.
- b) Verificar a necessidade de calços e pinos para levantamento das peças, assim como prever áreas para pré-montagem ou formação de subconjuntos.
- c) Prever a necessidade de estacionamento da estrutura, distâncias necessárias, interferências, contraventamentos provisórios, etc.
- d) Separar os parafusos para montagem por tipo de junta a ser ligada, por níveis, áreas, etc.
- e) Evitar a utilização de meios de trabalho inadequados.
- f) Evitar que a desativação de equipamentos instalados provisoriamente para sustentação da estrutura seja efetuada por profissionais sem a devida capacitação.

Antes da montagem final das partes componentes de uma estrutura, pode ser feita uma pré-montagem do conjunto por meio de pontos de soldas, cavilhas ou grampos, para possibilitar a checagem do conjunto em todas as dimensões.

A estabilidade final da estrutura depende do uso correto dos dispositivos de fixação.

Nas estruturas onde as especificações permitem, são usados parafusos comuns nas conexões. Porém nas conexões sujeitas a ações dinâmicas ou para grandes carregamentos, o parafuso de alta resistência deve ser utilizado.

Geradores de solda; transformadores de solda ou máquinas automáticas de solda são providos com controles ajustáveis para obter da solda características e taxas de depósitos mais adequados ao tipo de trabalho.

Soldas longas de tamanho uniforme são depositadas por soldadoras automáticas que alimentam o fio e fluxo de solda no arco a uma velocidade controlada.

No final de cada unidade executada é feita a inspeção não só para checar as dimensões, mas também a locação das chapas para as conexões.

Durante e após sua montagem, a estrutura é inspecionada com o objetivo de verificar se o montador obedeceu aos critérios mínimos de tolerâncias.

Dentre os principais itens a serem inspecionados em uma montagem estrutural, chamamos a atenção para os seguintes:

- a) Execução de correções de furação, cortes adicionais, desbastamento que não prejudiquem a integridade e a segurança da estrutura.
- b) Verificar se os espaços livres sob as placas de base dos pilares foram devidamente preenchidos com argamassa ou outro tipo qualquer de enchimento.
- c) Com o fim de evitar acidentes, verificar se os corrimãos foram montados de forma segura.
- d) Verificar não só se a estrutura está contraventada provisoriamente para montagem, mas também se as conexões desses contraventamentos estão adequadas.
- e) Verificar se as áreas de contatos dos parafusos de alta resistência estão isentos de ferrugens, rebarbas, pintura, etc., e se os métodos empregados no aperto foram adequados, assim como se existe o controle diário das ferramentas de torque à sua calibração.

As ligações soldadas devem ser preferencialmente executadas em fábrica. Sua execução no canteiro pode calhar em condições adversas e com menor controle de qualidade, resultando em ligações deficientes. Contudo, caso não seja possível evitar as soldas, se deve incluir alguns cuidados. A disponibilidade de energia pode ser obtida com geradores. O posicionamento das peças pode ser proporcionado por berços de apoio agregados a peça principal na fabricação ou na montagem. A fixação

provisória da peça (para que se possa liberá-la do guindaste), será resolvida com a presença de um soldador em cada ponto de apoio. Neste caso será executado um filete de solda com a resistência necessária para suportar os esforços do peso próprio e do vento, até que se proceda a soldagem completa da ligação. Após isso o guindaste estará liberado para buscar a próxima peça (PINHO, 2005).

3.2.5.1 CONTROLE DE QUALIDADE DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS

A parafusagem das conexões estruturais na oficina, quando permanente ou definitiva, é feita com chaves manuais ou de impacto. Em muitas conexões são usados parafusos ASTM A307, normalmente chamados parafusos comuns, quando permitido pelas especificações. Estes parafusos podem ser apertados a mão, com chaves manuais, girando o parafuso ou a porca até que as partes conectadas estejam perfeitamente assentadas. Entretanto, o uso de chaves de impacto operadas a ar comprimido é mais econômico.

Segundo Lucchini, (2009) a parafusagem é o processo mais usado na montagem de campo, pela facilidade de sua execução. Os parafusos ASTM A307, também conhecidos como parafusos comuns, são geralmente utilizados em conexões de peças secundárias, não sujeitas a esforços dinâmicos, como terças, vigas de tapamento, etc. As porcas correspondentes a estes parafusos devem ser apertadas de acordo com as especificações, de modo a evitar o seu afrouxamento. Para tanto, quando necessário, pode-se usar arruelas de travamento, porcas de travamento, porcas de obstrução, amassamento da rosca, ponto de solda, etc.

Os parafusos de alta resistência ASTM A325, A490 ou equivalentes, são geralmente usados em ligações muito solicitadas ou sujeitas a cargas dinâmicas. Podem ser empregados em conexões a esmagamento, em que o esforço se transmite pelo contato do corpo do parafuso com a parede do furo, ou em conexões tipo fricção, pelo atrito entre as peças. Em conexões a esmagamento, as roscas podem estar incluídas nos planos de cisalhamento ou fora deles.

É importante que o montador conheça as considerações de utilização do parafuso, para que dê o aperto ou torque adequado.

Conforme o tipo de parafuso e de ligação, será obrigatória a aplicação de torque adequado a cada conjunto parafuso-porca. Os parafusos de alta resistência devem ser apertados de forma a se obter uma força mínima de tração (T_m) adequada

a cada diâmetro e tipo de parafuso usado. A tração no corpo do parafuso e a consequente força de atrito entre as peças dependem da intensidade do torque aplicado no conjunto parafuso-porca. Este torque e a força de tração mínima é fornecida pela ASTM e equivale a aproximadamente 70% da resistência característica à tração do parafuso (PINHO, 2005).

O torqueamento pela chave de impacto calibrada executado com ferramentas elétricas ou pneumáticas proporciona grande rapidez e agilidade a montagem. As máquinas de torque devem ser aferidas com certa frequência, de acordo com as exigências das normas. O aperto com torquímetro de estalo pode tornar-se pouco prático, dependendo da posição e do número de ligações.

Os métodos de indicação direta de torque são muito práticos, principalmente com parafusos tipo TC (controle de tração), mas não dispensam a inspeção necessária para qualquer tipo de ligação cujo torque seja imprescindível.

A ABNT NBR 8800:2008, diz que os parafusos de alta resistência devem ser apertados de forma a obter uma força mínima de protensão apropriada a cada diâmetro e tipo de parafuso usado, independentemente da ligação ser por atrito ou por contato. O aperto deve ser aplicado pelo método da rotação da porca, da chave calibrada, ou do indicador direto de tração.

4. INSPEÇÕES NA FABRICAÇÃO

Plano de Inspeção e Ensaio é o documento onde se enumeram todas as Inspeções e Ensaio a efetuar, os procedimentos a seguir, as Normas e critérios de aceitação, quem executa quem certifica, que tipo de documentos deverão ser emitidos por cada inspeção ou ensaio. Este documento depois de concluídas cada uma das operações a que ele se refere, deve ser assinado por forma a certificar o seu cumprimento.

A inspeção e verificação ocorrem em cada fase do processo de fabricação e no final da montagem. O intuito é garantir que as imperfeições sejam suficientemente pequenas para não se tornarem "defeitos", por meio dos quais possam prejudicar o desempenho da estrutura. Os procedimentos que são usados a este respeito incluem aprovação prévia de competência do soldador e as especificações de soldagem a serem utilizadas.

Ambrozewicz (2003) relata que não basta inspecionar e eliminar falhas, é necessário especificar e implantar uma estrutura de trabalho para toda a organização, documentada, com procedimentos técnicos e gerenciais integrados, para coordenar as ações dos trabalhadores e equipamentos, de modo a garantir a satisfação do cliente a custos competitivos.

Técnicas de inspeção por ensaios não destrutivos permitem verificar a extensão dos danos e defeitos encontrados nas peças e ligações das estruturas metálicas. Estas inspeções servem como fundamento na tomada de decisão para aplicação de medidas de manutenções corretivas, preventivas ou até mesmo a tomada de decisão na reabilitação das estruturas (COSTA, 2012).

4.1 FABRICAÇÃO

Estando o projeto adequado, faz-se a qualificação dos materiais, do processo, dos soldadores e do procedimento. A simples combinação soldador – equipamento e materiais não significa que a estrutura possa ser fabricada adequadamente.

Com a aprovação dos materiais, passa-se à fase de qualificação de soldadores, de processos e procedimentos.

O fato de um indivíduo ser um soldador não implica que o mesmo possa soldar qualquer material em quaisquer circunstâncias. Muitas vezes um soldador é excelente para soldagem pelo processo a arco manual com eletrodo revestido e totalmente incapaz pelo processo MIG (*Metal Inert Gas*). Os testes de qualificação são padronizados por entidades normativas que prescrevem toda a metodologia a ser empregada.

A qualificação de processos e procedimentos também é exigida e sua especificação deve ser acompanhada de testes de qualificação.

De grande importância também é o controle durante a fabricação objetivando assegurar que os processos, métodos e procedimentos, especificados pelo projeto, foram seguidos.

Após a fabricação da estrutura, cabe ao controle de qualidade examiná-la no que concerne a defeitos superficiais e internos. Ensaio não destrutivo desempenha nesta fase um papel de extrema relevância. Entre eles pode-se citar: para detecção de defeitos superficiais, Líquidos Penetrantes e ensaios magnéticos e para determinação de descontinuidades internas, Ultrassom e Radiografia.

4.1.1 PRINCIPAIS ETAPAS DA INSPEÇÃO DE SOLDAGEM

Nesse momento serão apresentados os principais requisitos para se realizar inspeções em soldas. Os procedimentos de soldagem, a qualificação dos soldadores e a inspeção propriamente dita, são explicitados a seguir.

4.1.1.1 Soldagem

Antes de serem executadas, as soldas de responsabilidade, ou seja, soldas referentes às peças principais e que receberão as maiores solicitações, nas estruturas em aço devem possuir garantias sobre a sua qualidade. Os materiais utilizados nos eletrodos, nos fluxos e arames devem estar de acordo com as normas citadas. A embalagem, transporte, armazenagem e conservação dos eletrodos devem garantir as características necessárias ao trabalho de soldagem.

Entretanto, a maneira de soldar, a técnica empregada, o equipamento e a amperagem utilizadas devem estar em harmonia com o consumível utilizado e este com o metal-base a ser unido. Estas e outras variáveis características farão parte de

uma Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS). As EPS's indicarão o número de passes de solda, a voltagem e amperagem de cada passe, o tipo de junta, a posição em que será executada, a espessura e o tipo do eletrodo. As normas AWS (American Welding Society), da ASME (American Society of Mechanical Engineers) ou as especificações da API (American Petroleum Institute) são as mais conhecidas e aceitas mundialmente no que prescrevem para a qualificação de procedimentos de soldagem.

A responsabilidade sobre a qualidade da solda será sempre do fabricante ou do montador, embora haja inspetor ou empresa credenciada pelo contratante para a fiscalização. Quando exigido, o fabricante deve fornecer uma EPS completa, que descreva todas as variáveis essenciais, não essenciais e, quando forem requeridas, as variáveis suplementares para cada processo de soldagem, como por exemplo:

- a) Processo de soldagem (Manual, arco-submerso, etc.).
- b) Tipo de junta e sua configuração.
- c) Especificação e espessura do material base.
- d) Especificação e classe do material de deposição.
- e) Temperatura de pré-aquecimento (mínima).
- f) Temperatura entre passes (máxima).
- g) Número aproximado de passes.
- h) Parâmetros de soldagem (voltagem, amperagem, velocidade).
- i) Controle do material de solda.

As informações acima podem constar em um Registro de Qualificação de Procedimento (RQP). Este será o documento onde estarão consolidadas as características da solda. Também devem ser registrados no RQP os tipos de ensaios, o número de testes de cada tipo e os resultados dos mesmos.

4.1.1.2 Qualificação dos Procedimentos de Soldagem

Para que possam ser utilizados, os EPS devem ter sua adequação e qualidade avaliados por testes específicos. Para a qualificação dos procedimentos os testes mais comumente usados são os de tração e dobramento de face, dobramento de raiz, dobramento lateral além do teste de impacto.

Existem procedimentos de soldagem que são considerados pré-qualificados desde que atendam às exigências da norma AWS D1.1. Estes procedimentos são aqueles em se julgou existir um histórico de aceitabilidade e de desempenho, não estando sujeitos aos testes de qualificação impostos as outras EPS. De qualquer maneira, sempre que exigidos, serão efetuados testes não-destrutivos mesmo nas juntas pré-qualificadas procurando-se seguir as orientações da norma.

A norma AWS D1.1, cobre os requisitos de soldagem aplicáveis a estruturas soldadas de aço carbono e aços de baixa liga. Mesmo quando o procedimento for aprovado pela entidade competente, continua sendo unicamente do fabricante a responsabilidade pela qualidade da junta soldada. Os cortes e entalhes que receberão deposição de solda, não devem ter estrias que permitam inclusões de impurezas.

4.1.1.3 Qualificação dos Soldadores

Para garantir a qualidade da solda é preciso realizar a qualificação dos procedimentos de soldagem, dos soldadores e operadores de soldagem. As qualificações são completamente fundamentadas em Normas e Especificações técnicas, de modo que, seguindo-se o passo a passo do estabelecido numa determinada Norma por meio dos seus requisitos, consegue-se, ao se comparar os resultados obtidos com a tecnologia em teste, com o critério de aceitação e conseqüentemente do seu emprego na obra principal.

O termo "qualificação" significa que um soldador ou operador de soldagem cumpre com os requisitos de uma determinada norma/procedimento e está qualificado para executar soldas, no âmbito desta norma/procedimento. Para serem certificados, os soldadores devem possuir as competências necessárias para produzir uma boa solda, que seja visualmente aceitável e que também cumpra os requisitos estabelecidos para os testes.

Não basta os procedimentos e materiais serem corretos se a execução for deficiente. As vantagens da soldagem só podem ser obtidas com pessoal treinado. Alguns testes de qualificação são exigidos dos operadores, conforme a complexidade dos procedimentos de solda, de acordo com as normas nacionais e internacionais. Geralmente estes testes são baseados nas prescrições da AWS B2.1 ou da ASME seção IX. Os soldadores qualificados possuirão um certificado que especificará as

posições e tipos de junta nas quais está qualificado e o prazo de validade do documento.

Para qualificar um soldador utiliza-se um procedimento, no qual se especifica quais corpos de prova devem ser preparados e executados e as posições de teste exigidas pelo trabalho a ser realizado. A seguir os corpos de prova serão fatiados e submetidos a ensaios visuais macrográficos, de raios-X, tração ou dobramento, conforme o caso. Estes testes serão realizados e analisados em laboratórios credenciados. Quando está qualificado para as posições mais complexas (5G e 6G, por exemplo), normalmente o soldador se qualifica para as posições mais simples automaticamente (1G, por exemplo).

4.1.1.4 Inspeção de Soldas

A inspeção das soldas deve ser feita de acordo com os requisitos da AWS D1.1. A inspeção visual que for necessária deverá ser especificada nos documentos de licitação e do projeto. Quando forem necessários ensaios não destrutivos (END's), o processo, a extensão, a técnica e os padrões de aceitação deverão ser claramente definidos nos documentos de licitação e do projeto.

A seguir são detalhados os procedimentos para a realização das inspeções.

4.2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA LIGAÇÕES SOLDADAS

Os ensaios não destrutivos são utilizados para determinar características, propriedades (ensaios físico - químicos), dimensões (ensaios metrológicos) ou comportamento de peças ou equipamentos (ensaios funcionais).

A seguir, no Quadro 02, são apresentados os ensaios não destrutivos mais comuns realizados em estruturas metálicas, com suas respectivas características, vantagens e desvantagens.

Quadro 02: Quadro com os ENDs mais comuns realizados em estruturas metálicas, com suas respectivas características, vantagens e desvantagens.

Características dos Ensaios Não Destrutivos para ligações soldadas			
Ensaio Não Destrutivo	Características	Vantagens	Desvantagens
Inspeção Visual	<p>É o primeiro ensaio a ser realizado.</p> <p>Todas as soldas devem ser inspecionadas visualmente.</p> <p>Possibilidade de identificação rápida de descontinuidade e em peças de geometria complexa.</p> <p>Também é utilizado para verificar a peça em si, como paralelismo entre abas, linearidade e planicidade.</p>	<p>Simplicidade.</p> <p>Ausência de equipamentos sofisticados.</p> <p>Custo reduzido</p>	<p>Detecta apenas falhas superficiais.</p> <p>Necessidade de limpeza prévia da superfície, deixando-a isenta de imperfeições que podem mascarar o ensaio.</p>
Líquido Penetrante	<p>Descontinuidades superficiais em materiais não porosos, metálicos e não metálicos.</p> <p>Materiais que podem ser ensaiados: aços carbonos em geral, aços inoxidáveis, alumínio, bronze, titânio e vidros.</p>	<p>Aplicável em materiais magnéticos ou não magnéticos.</p> <p>Fácil visualização e caracterização da descontinuidade.</p> <p>Aplicável em peças de geometrias complexas.</p> <p>Custo relativamente reduzido.</p>	<p>Detecção exclusivamente de descontinuidades abertas à superfície.</p> <p>Necessidade de limpeza rigorosa antes da execução do ensaio.</p> <p>Com as técnicas convencionais não é aplicável em materiais porosos.</p>
Partículas Magnéticas	<p>Utilizado na detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em peças de materiais ferromagnéticos.</p>	<p>Simplicidade de aplicação, fácil execução, rápido e de baixo custo de operação.</p> <p>Alta sensibilidade na detecção de descontinuidades superficiais.</p> <p>Detecção de descontinuidades pouco subsuperficiais da peça.</p> <p>Pode ser realizado em peças de geometria complexa.</p>	<p>Pode ser aplicado apenas em materiais ferromagnéticos.</p> <p>Forma e orientação das descontinuidades em relação ao campo magnético interferem fortemente no resultado do ensaio, sendo necessária, em muitos casos, a realização de mais de um ensaio na mesma peça.</p>

Continua na próxima página...

Características dos Ensaios Não Destrutivos para ligações soldadas (continuação)			
Ensaio Não Destrutivo	Características	Vantagens	Desvantagens
Ensaio Radiográfico	Pode ser aplicado durante as etapas de fabricação ou em serviços de manutenção. Defeitos, como vazio e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções, são facilmente detectados desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça.	Registro permanente por meio de filme ou imagem digitalizada de fácil compreensão, facilitando a situação de análise, laudo e documentação, inclusive no acompanhamento através de auditoria. Inspecciona o interior das peças.	Difícil aplicação em peças de geometria complexa. Necessidade de acesso às duas faces da peça. Limitações na detecção de descontinuidades planares (trincas) que são as mais graves em relação à integridade estrutural das peças. Exige cuidados de radioproteção que incluem o isolamento da área, prejudicando sua aplicação em períodos normais de trabalho. É um método relativamente caro.
Ultrassom	Pode ser aplicado durante as etapas de fabricação ou em serviços de manutenção. Defeitos, como vazio e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções.	Elevado poder de penetração que permite a detecção de descontinuidades existentes no interior das peças, numa vasta gama de espessuras e materiais. Sensibilidade elevada na detecção de descontinuidades muito pequenas. Precisão na determinação da localização, dimensão e forma das descontinuidades. Não necessita de acesso a ambos os lados da superfície a ser ensaiada.	Exige operadores muito experientes. Difícil de aplicar a peças de geometria complexa e/ou de difícil acesso. O registro permanente do teste não é facilmente obtido.

Fonte: ABENDI, 2015; SANTOS, 1999. Adaptado.

Esses ensaios darão origem a relatórios de inspeção que devem ser elaborados por técnicos qualificados, por órgão qualificador reconhecido, e aprovados pelo supervisor do controle de qualidade. Esses ensaios são detalhados a seguir.

4.2.1 INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual é qualificada pela norma da Petrobras N - 1597 REV. D - Ensaio não - destrutivo visual.

A inspeção visual é sem dúvida o mais poderoso método de inspeção disponível. Por causa de sua relativa simplicidade e ausência de equipamento

sofisticado, algumas pessoas menosprezam sua importância. Porém, é o único método de inspeção que realmente pode melhorar a qualidade de fabricação e montagem reduzindo a ocorrência de defeitos de soldagem. É o primeiro a ser realizado.

A inspeção visual começa muito antes do arco ser aberto. Todas as juntas de ligações a serem soldadas são previamente inspecionadas, visando a limpeza da junta, posicionamento das peças entre si, pré-aquecimento do metal base, sequência de soldagem, tratamento da raiz, ponteamento para fixações dos elementos, etc.

A menos que haja outra especificação, as superfícies a serem soldadas no campo, numa faixa de 50 mm de cada lado da solda, devem estar isentas de materiais que impeçam a soldagem adequada ou que produzam gases tóxicos durante a operação de soldagem. A pintura destas áreas deve ser evitada. Após a soldagem tais superfícies deverão receber a mesma limpeza e proteção previstas para toda a estrutura.

O ensaio visual analisará os seguintes quesitos da solda, dentre outros:

- a) Aspecto externo geral da solda.
- b) Porosidades superficiais.
- c) Presença de escória na superfície.
- d) Mordeduras.
- e) Respingos excessivos.
- f) Trincas visíveis.
- g) Falta de penetração quando visíveis pelo lado oposto.
- h) Desalinhamentos.
- i) Entalhe sem reforço ou mal preenchido.
- j) Comprimento ou garganta de solda em desacordo com o projeto.

Todas as soldas devem ser totalmente inspecionadas visualmente e devem atender os critérios de aceitação da Tabela 6.1 da AWS D1-1 e estar livres de trincas, sobreposições e descontinuidades.

A AWS D1-1 estabelece critérios para a aceitação de inspeção visual, como: qualquer trinca deve ser considerada inaceitável, a despeito do tamanho; todas as

crateras devem ser preenchidas até a seção transversal completa da solda e a mordedura não deve exceder 1/32 in (1 mm).

Na inspeção visual, verificam-se também a peça em si, como o paralelismo entre as abas, o esquadro, a linearidade e a planicidade do perfil. Se necessário, a peça pode passar por uma desempenadeira, que corrigirá quaisquer desvios geométricos.

A inspeção visual, para ter algum valor, deve ser executada por profissional qualificado, que detectará numa inspeção cuidadosa trincas superficiais grosseiras, excessos e falta de solda etc.

4.2.2 LÍQUIDO PENETRANTE

Este ensaio é normatizado pela norma Petrobras N - 1596 REV H - Ensaio não - destrutivo - Líquido penetrante.

Bellei (2010) explica que o ensaio de Líquido Penetrante (LP) envolve a aplicação de um líquido que por sua ação capilar revela através da superfície possíveis trincas, fissuras, porosidade, mordeduras, sobreposição etc. O método fundamenta-se no princípio da penetração de um líquido por efeito de capilaridade, dentro da descontinuidade não visível na superfície inspecionada. Quando o excesso de líquido penetrante for cuidadosamente removido da superfície, aplica-se um produto contrastante, absorvente, denominado revelador (à base de talco ou gesso), que absorverá o líquido penetrante contido na descontinuidade. Isto resulta em uma mancha no revelador, mostrando que uma descontinuidade está presente. Para se ter um bom índice de aproveitamento, é necessário que a superfície seja limpa, com removedores de gordura, óleos e graxas, antes de se iniciarem os serviços. Este ensaio é limitado a detectar descontinuidades superficiais. Não tem nenhuma capacidade de descobrir descontinuidades mais profundas, mas é altamente efetivo em identificar as continuidades que podem ser omitidas ou serem muito pequenas para serem identificadas com inspeção visual. É o ensaio seguinte a ser especificado quando a inspeção visual não é suficiente para garantir um nível mínimo de qualidade.

Esse ensaio detecta microtrincas superficiais da ordem de 0,001 mm de largura, porém podem ocorrer falsas indicações de ranhuras.

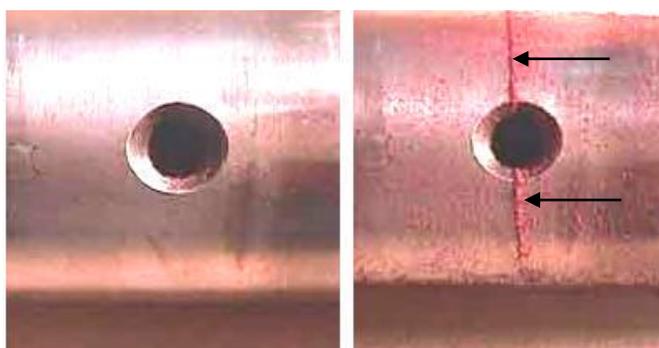
4.2.3 PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

A inspeção por partículas magnéticas é qualificada pela norma da Petrobras N-1598 REV.E - ensaio não - destrutivo - partículas magnéticas.

A inspeção de partícula magnética (MT) destina-se à revelação de defeitos superficiais, assim como o LP, mas esse utiliza a mudança do fluxo magnético induzido na superfície inspecionada, que acontece quando um campo magnético cruza com uma descontinuidade. Esta mudança na densidade de fluxo magnético aparecerá como um padrão diferente quando as partículas magnéticas forem aplicadas na superfície da solda. O processo é efetivo em localizar descontinuidades, tanto na superfície quanto sub-superficiais da ordem de 0,5mm. Para estruturas em aço, a inspeção por partícula magnética é mais efetiva que a de líquido penetrante, e conseqüentemente, é preferida na maioria das aplicações. A inspeção por partícula magnética pode revelar trincas próximas à superfície, inclusões de escória, e porosidade, além de descontinuidades mascaradas por esmerilhamento, óxidos, e as escondidas sob pinturas.

As fotos da Figura 18, mostram o resultado de um ensaio realizado em uma peça que acabou de receber um furo, visualmente não apresenta nenhuma descontinuidade, porém após o ensaio de PM a trinca fica evidente.

Figura 18: Foto da esquerda mostrando a peça antes da inspeção por partículas e a foto da direita mostrando a trinca originada do furo.



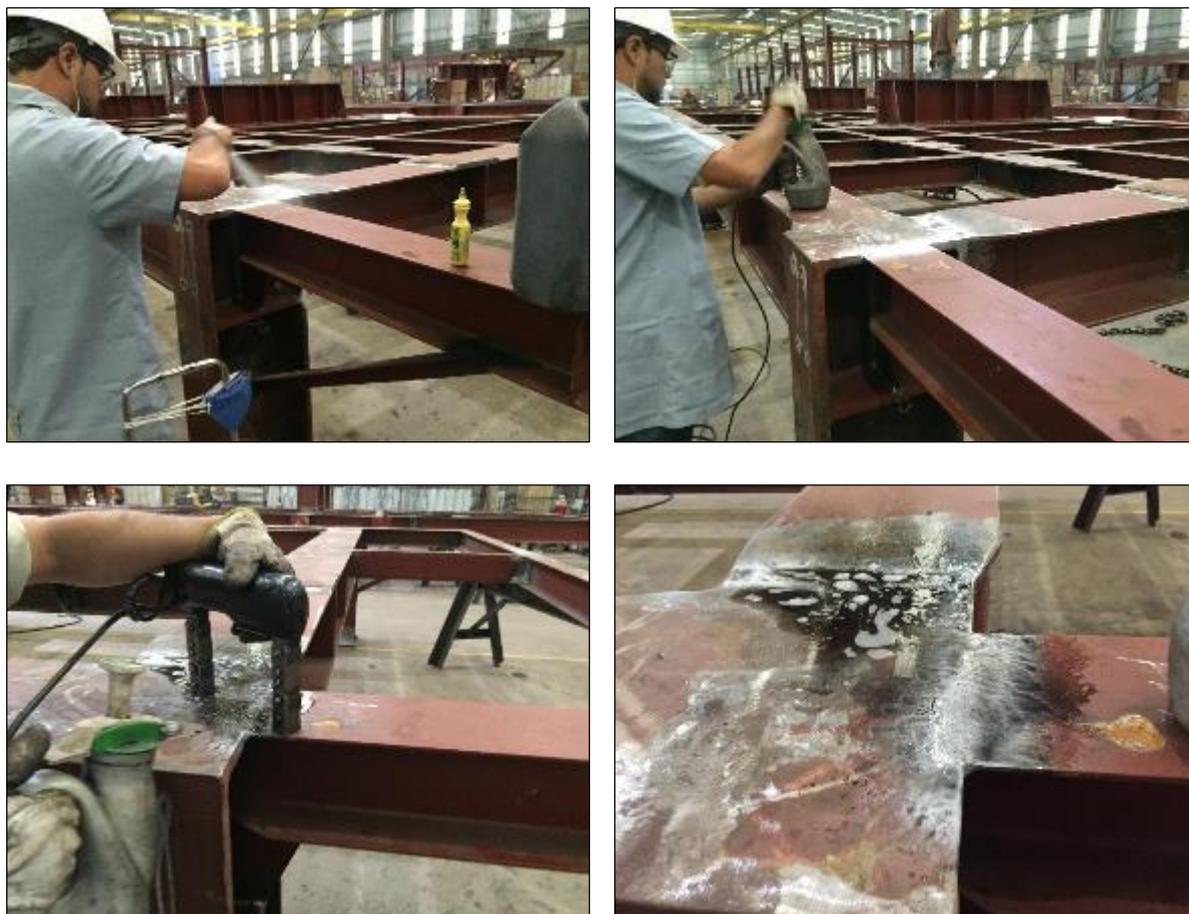
Fonte: (ANDREUCCI, 2014).

A inspeção por partícula magnética é mais eficaz quando a região é inspecionada duas vezes: uma vez com o campo localizado paralelamente, e outra com o campo perpendicular ao eixo da solda. O ensaio é realizado com a criação de

um campo magnético por meio de um equipamento portátil com duas pontas articuladas que são ligadas a peça, chamado “Yoke”.

A seguir são apresentadas, na Figura 19, as fotos registradas na visita técnica à fábrica de estruturas metálicas, nelas é ilustrado a inspeção de partículas magnéticas.

Figura 19 - Inspeção em solda por partícula magnética.



Fonte: Autor.

No ensaio da foto anterior não foi possível identificar nenhuma descontinuidade. Todas as descontinuidades relevantes detectadas devem ser devidamente identificadas, mapeadas e registradas no relatório de inspeção. As descontinuidades reprovadas por norma, código de projeto ou critério de aceitação/rejeição, devem ser removidas até a profundidade de 1 mm, desde que não ultrapassem a espessura mínima de projeto do equipamento. Caso exista descontinuidade que permaneça após esta remoção, o processo de remoção deve ser acompanhado e autorizado pela fiscalização. Nesta situação deve ser medida a espessura residual na região removida.

4.2.4 ENSAIOS RADIOGRÁFICOS

O ensaio radiográfico é qualificado pela norma Petrobras. N - 1595 REV. G - Ensaio não - destrutivo – Radiografia.

Destina-se à revelação de defeitos internos dos materiais, sendo muito usado na detecção de defeitos em juntas soldadas, exceto para soldas de filete cujo resultado pode ser duvidoso.

A inspeção por ensaios radiográficos utiliza raios-x ou raios gama que atravessam a solda e sensibilizam um filme fotográfico exposto no lado oposto da junta. Radiografias são produzidas por geradores de alta voltagem, enquanto as gamagrafias são produzidas por desintegração atômica de isótopos radioativos.

Sempre que radiografia é usada, precauções devem ser tomadas para proteger os operadores do excesso de exposição à radiação.

Os ensaios radiográficos contam com a capacidade dos materiais de reterem parte da energia dos raios em seu interior quando são atravessados por eles. Diferentes materiais possuem taxas de absorção diferentes e materiais finos absorvem menos radiação que materiais espessos. Quanto mais alta a densidade do material, maior a taxa de absorção.

Como níveis diferentes de radiação atravessam os materiais, o filme será exposto em diferentes regiões em maior ou menor grau. Quando o filme é revelado, o resultado da radiografia mostrará uma imagem projetada no plano do filme, mostrando a estrutura interna da peça.

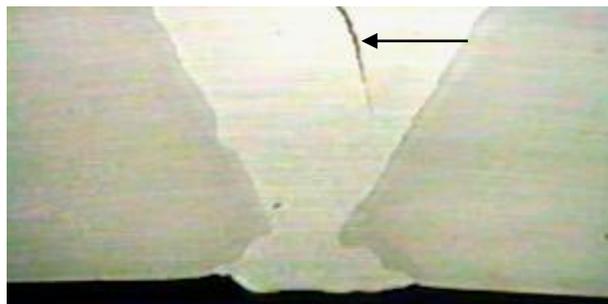
Uma radiografia é na realidade um negativo. As discontinuidades, que representam as regiões onde os raios foram menos absorvidos, aparecerão mais escuras que o restante da solda. Partes mais finas aparecerão mais escuras nas radiografias. A porosidade será revelada como pontos pequenos, escuros e circulares. A escória também é geralmente mais escura, e parecerá semelhante a porosidade, mas será irregular em sua forma. As trincas aparecem como linhas escuras. Falta de fusão aparecerá como lugares escuros e o reforço excessivo resultará em uma região mais clara.

Os ensaios radiográficos são mais aplicáveis a soldas de entalhe de penetração total, não sendo muito adequados a soldas de penetração parcial ou de

filete. É um ensaio aplicado em soldas de grande responsabilidade devido ao alto custo.

Na Figura 20 é apresentado um corte da secção transversal de uma junta soldada de topo com penetração total (JTPT) contendo uma indicação de trinca longitudinal na superficial na solda.

Figura 20: Junta soldada apresentando trinca longitudinal na superficial na solda.



Fonte: ANDREUCCI, 2014.

A gamagrafia é um documento comprovado e a distinção do tipo de descontinuidade detectado é mais fácil, além de poder ser executado em qualquer tipo de superfície.

4.2.5 ULTRASSOM

A inspeção por Ultrassom é qualificada pela norma Petrobras N - 1594 REV.F - Ensaio não - destrutivo – Ultrassom.

A inspeção por ultrassom, destina-se à revelação de defeitos internos nos materiais, assim como os ensaios radiográficos, e conta com a transmissão de ondas sonoras de alta frequência através dos materiais. É muito utilizado para análise de qualquer tipo de junta soldada. Os materiais livres de descontinuidade transmitirão o som ao longo de sua espessura de um modo ininterrupto. Um transdutor “ouve” o som refletido na face oposta da peça que está sendo inspecionada. Se uma descontinuidade existir entre o transdutor e o lado de trás da peça, uma resposta diferente do nível de referência será enviada para o receptor indicando a presença desta descontinuidade. Os pulsos são convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela LCD ou em um tubo de raios catódicos do aparelho. A magnitude da perturbação recebida da descontinuidade é proporcional a quantidade de som

refletido. O aparelho de ultrassom é um dispositivo sofisticado e muito efetivo em localizar até pequenas descontinuidades.

As dimensões reais das descontinuidades podem ser estimadas com uma razoável precisão, fornecendo meios para que a peça possa ser aceita ou rejeitada, baseando-se em critérios de aceitação das normas aplicáveis. Trata-se de um ensaio poderoso e relativamente mais barato que as radiografias.

Esta inspeção é importante principalmente em juntas soldadas como as juntas de chafro ("groove welds") ou mesmo juntas de topo com grandes espessuras, pois a radiografia industrial não consegue boa sensibilidade de imagem. As dimensões reais das descontinuidades podem ser estimadas com uma razoável precisão, fornecendo meios para que a peça possa ser aceita ou rejeitada, baseando-se em critérios de aceitação das normas aplicáveis. Trata-se de um ensaio poderoso e relativamente mais barato que as radiografias.

Na Figura 21 são apresentadas algumas fotos do ensaio de Ultrassom, realizado em visita técnica na empresa Sidertec (Ibaté-SP).

Figura 21: Inspeção em solda por ensaio de Ultrassom.



Fonte: Autor.

Ao contrário dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio por ultrassom não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação. A localização, a avaliação do tamanho e a interpretação das descontinuidades encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultrassônico, enquanto que outros exames não definem tais fatores. Por exemplo, um defeito mostrado num filme radiográfico define o tamanho do defeito mas não sua profundidade e em muitos casos este é um fator importante para proceder a um reparo.

Porém, para se aplicar este ensaio é necessário grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor. Além disso, existe a falta de registro documental e a difícil aplicação em peças de geometria complexa.

4.3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA INSPEÇÃO DE PINTURA

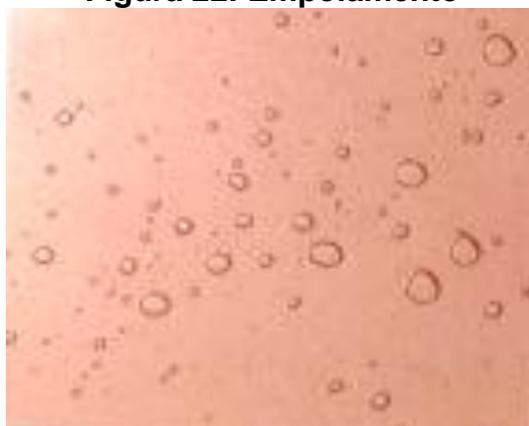
4.3.1 INSPEÇÃO VISUAL DA SUPERFÍCIE PINTADA

Após a aplicação de cada demão de tinta, toda a superfície pintada deve ser inspecionada visualmente ou com auxílio de algum instrumento ótico para identificar eventual aparecimento de defeitos (NUNES; LOBO, 2014).

A seguir são apresentados as principais falhas em pinturas industriais, seguidas de fotos para ilustração:

- Poros: são normalmente ocasionados por má qualidade da tinta, adição inadequada de solvente ou temperatura de superfície elevada.
- Bolhas ou empolamento e Crateras (Figura 23): normalmente ocasionadas por má qualidade da tinta ou adição inadequada de solvente. Empolamento (Figura 22) são bolhas surgidas em superfícies pintadas que caracterizam a falta de aderência da película de tinta naquele ponto e em regiões imediatas. São muito frequentes em algumas tintas epóxis de acabamento ou acrílicas.

Figura 22: Empolamento



Fonte: ABRACO, 2011.

Figura 23: Crateras

Fonte: ABRACO, 2011.

- Fiapos (Figura 24): normalmente ocasionados por seleção inadequada do método de aplicação (por exemplo, o bico da pistola), inabilidade do aplicador ou inadequação das condições climáticas, particularmente ventos. São muito frequentes em tintas acrílicas.

Foto 24: Fiapos

Fonte: ABRACO, 2011.

- Manchas (Figura 25): ocorre na forma de manchamento da área pintada, apresentando manchas pontuais (Figura 25) ou generalizada, suas causas podem estar associadas tinta a mal misturada (heterogênea) ou respingos de solvente sobre a tinta fresca ou seca.

Figura 25: Mancha pontual em área pintada.



Fonte: ABRACO, 2011.

- Escorrimentos (Figura 26): normalmente ocasionados por diluição excessiva ou deficiência de capacitação do aplicador.

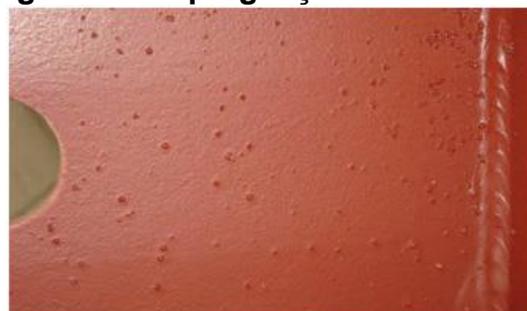
Figura 26: Escorrimento de tinta em superfície.



Fonte: ABRACO, 2011.

- Impregnação de abrasivos (Figura 27): normalmente ocasionados pela execução de jateamento sem que uma tinta anteriormente aplicada tenha alcançado a secagem ao toque.

Figura 27: Impregnação de abrasivos



Fonte: ABRACO, 2011.

- Gretamento ou fendilhamento (Figura 28): normalmente observados em tintas inorgânicas de zinco aplicadas em grandes espessuras.

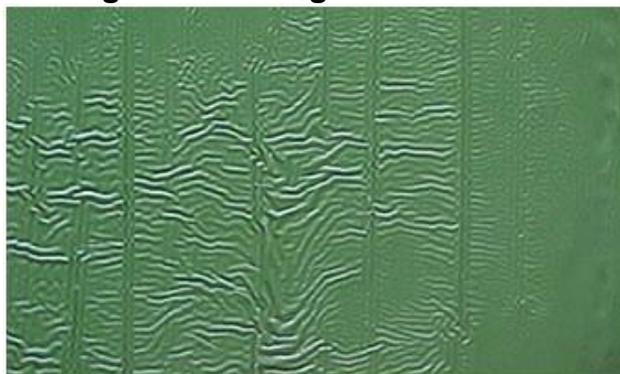
Figura 28: Gretamento ou fendilhamento



Fonte: ABRACO, 2011.

- Enrugamento (Figura 29): normalmente observado em tintas de alumínio fenólico aplicadas em superfícies com temperatura excessiva.

Figura 29: Enrugamento da tinta



Fonte: ABRACO, 2011.

- Sangramento (Figura 30): é a formação de manchas na superfície do acabamento. Esta ocorrência é mais acentuada na aplicação ou logo após a aplicação, como resultado da solubilização de pigmentos solúveis nas demãos anteriores, que se difundem. Normalmente, ocasionado quando da aplicação de demão subsequente com incompatibilidade química em relação à demanda anterior, ou não observância do intervalo mínimo entre demãos ou tempo de secagem para repintura.

Figura 30: Sangramento

Fonte: ABRACO, 2011.

- Espessura irregular (falta ou excesso): é a falta de uniformidade do filme, fora das tolerâncias médias. As áreas em escassez apresentam pouca cobertura, podendo até favorecer a corrosão. As causas podem ser: mão-de-obra não qualificada; trincha ou rolo inadequado; pintura com pistola ao vento; tinta muito viscosa ou com pouco alastramento; diluição incorreta; falta de controle da espessura úmida; pistola com pulverização espasmódica.

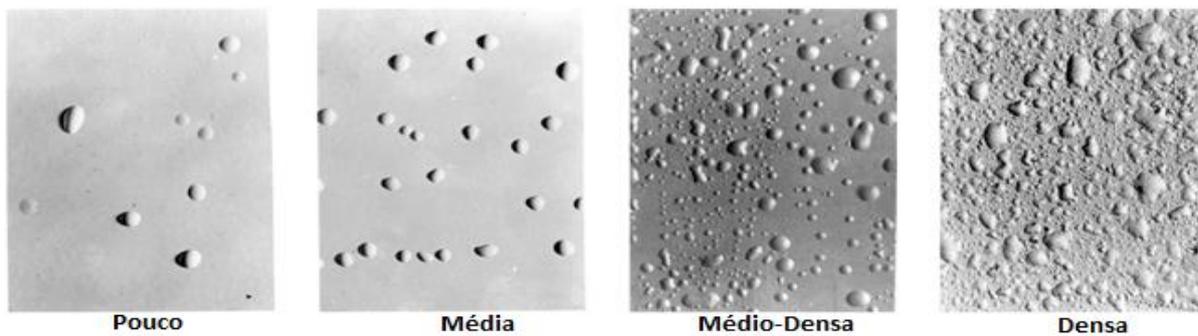
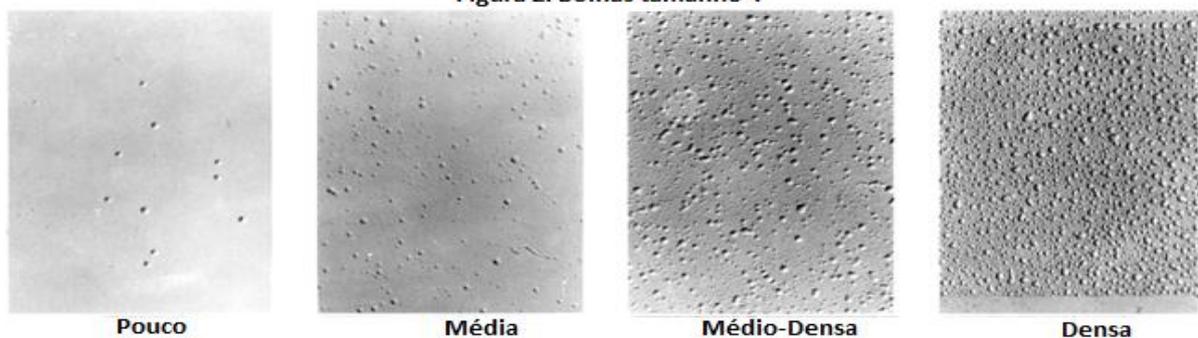
Atualmente, a experiência do inspetor é que, na maior parte das vezes, determina se o defeito é aceitável ou não. Contudo a Norma ASTM D 714 (2009), estabelece um método para qualificação do empolamento em função do tamanho e da distribuição das bolhas.

A Norma ASTM D 714 (2009) classifica as bolhas quanto ao tamanho e frequência que são apresentadas na superfície. Os tamanhos, são classificados numa escala de 0 a 10, onde o número 10 significa ausência de bolhas. Bolhas Nº 8 representam o menor tamanho facilmente identificadas a olho nu. A frequência é qualificada em: D – Densa, MD - Médio-Densa, M – Média, F – Pouco.

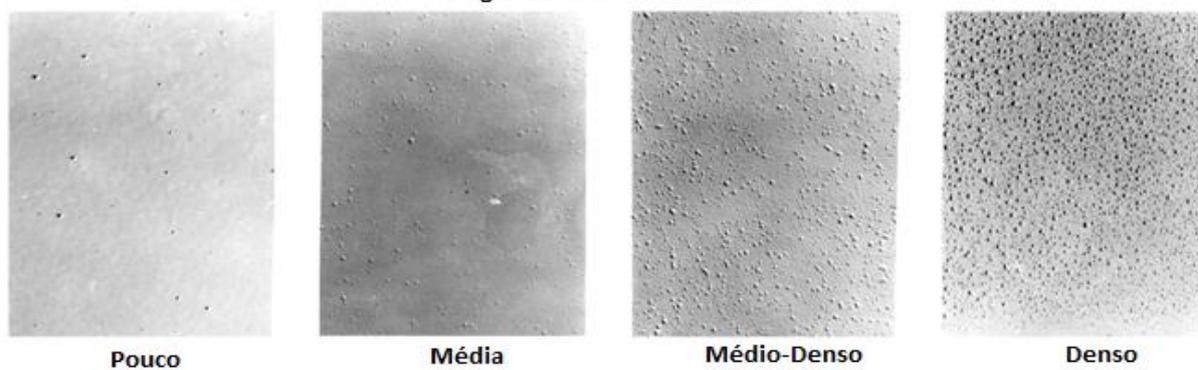
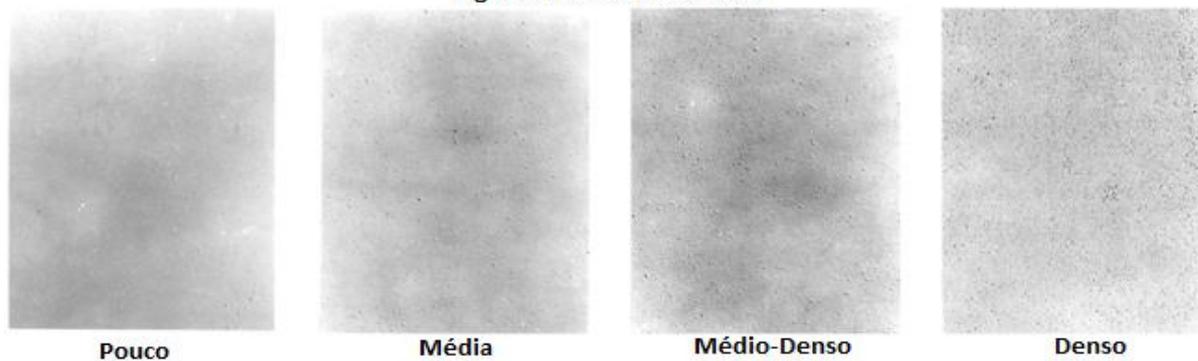
A amostra é avaliada quanto ao aparecimento e evolução de bolhas e classifica-se conforme os padrões visuais apresentados nas Figura 31 e 32, a seguir:

Figura 31: Graus de formação de bolhas (tamanhos 2 e 4).

Exemplos visuais que ilustram graus de formação de bolhas

Figura 1: Bolhas tamanho 2**Figura 2: Bolhas tamanho 4**

Fonte: Norma ASTM D 714, 2009.

Figura 32: Graus de formação de bolhas (tamanhos 6 e 8).**Figura 3: Bolhas tamanho 6****Figura 4: Bolhas tamanho 8**

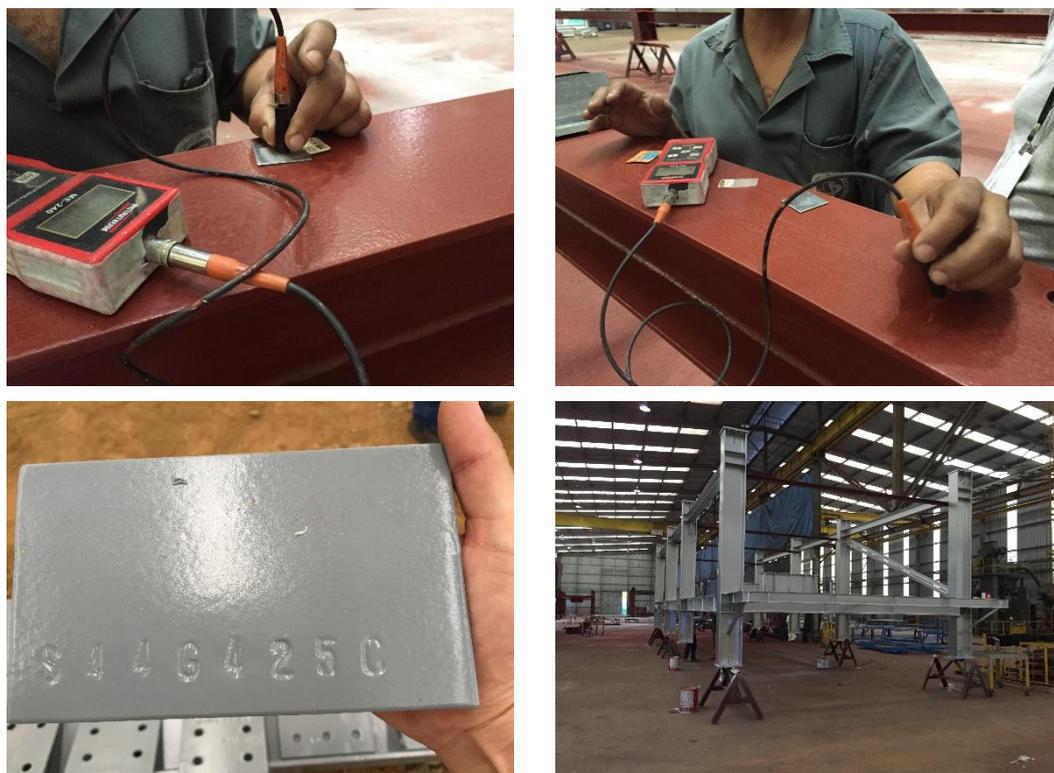
Fonte: Norma ASTM D 714, 2009.

4.3.2 AFERIÇÃO DAS ESPESSURAS DAS PELÍCULAS DE TINTA

Esta é a mais tradicional das ações de controle de qualidade durante a aplicação de um esquema de pintura. A medição das espessuras das películas de tinta é muito importante e deve ser realizada para cada demão de tinta em dois estágios, primeiramente é medida a espessura da película úmida e posteriormente com a película seca. A medição da espessura de película úmida normalmente é feita pelo pessoal da execução e visa o controle da aplicação, evitando descontinuidades ou consumo exagerado da tinta. Esta medição é realizada com auxílio de instrumento do tipo calibre comparador (NUNES; LOBO, 2014).

Para a espessura da película seca é utilizado instrumentos do tipo elcometer, microtes ou eletrônicos e todos têm funcionamento baseados no princípio de emissão de campo magnético. As imagens da Figura 33 a seguir foram registradas em um das visitas técnicas realizadas pelo autor.

Figura 33: Medição da espessura de película de tinta



Fonte: Autor

A inspeção das películas secas de tinta consiste em avaliar algum tipo de deficiência na película de tinta, isso por estarem sujeitas a falhas que podem afetar a real necessidade do desempenho das tintas. As falhas podem ser pontuais ou

generalizadas, que podem ter como principal causador itens já relacionados com controles de processos, condições ambientais e aplicabilidade dos produtos.

Esse controle tem como objetivo evidenciar a camada de tinta seca especificada pelo boletim técnico da tinta, pois, a tinta serve como uma barreira que promove a proteção anticorrosiva no substrato.

Segundo a norma Petrobras N-13 revisão K, a medição da espessura deve ser afetada após decorrido o tempo de secagem para repintura de cada demão e deve ser realizado um número de medições correspondente, em valor absoluto, a 10 % da área total pintada.

Como critério de aceitação ou rejeição deste item da norma Petrobras N-13 estabelece que nenhuma medição de espessura deve apresentar valor inferior à espessura mínima de película seca especificada no esquema de pintura. Onde houver constatação de espessura mínima inferior à especificada, a área deve ser mapeada por meio de novas medições e em seguida ser aplicada uma demão adicional. Para tintas ricas em zinco a tinta deve ser totalmente removida para nova aplicação. São aceitas áreas com aumento de até 40% da espessura prevista por demão no esquema de pintura. Para aumentos superiores a 40% deve ser contatado o fabricante sobre a possibilidade de aceitação. Para tintas ricas em zinco, é aceito um aumento de até 20% acima da espessura mínima por demão prevista no esquema

4.3.3 DETERMINAÇÃO DE DESCONTINUIDADES

O teste de descontinuidade normalmente deve ser realizado após a conclusão da aplicação de esquemas de pintura de alto desempenho no que diz respeito a corrosão. Quando efetuado, deve abranger toda a superfície pintada. É especialmente recomendado para esquemas de pintura que irão trabalhar em imersão permanente e em atmosferas muito úmidas e agressivas (NUNES; LOBO, 2014).

Existem dois aparelhos diferentes para avaliar eventuais descontinuidades no esquema de pintura. Ambos têm como princípio avaliar a capacidade de uma corrente elétrica de atravessar a película de tinta. O aparelho por via úmida é de baixa voltagem e só identifica falhas passantes, ou seja, que atravessam toda a espessura do esquema de pintura. Uma esponja de poliuretano, na extremidade do cabo,

encharcada em água salgada, cria condições ideais para a corrente elétrica atravessar a película de tinta na região da falha e indicá-las por meio de um sinal luminoso ou sonoro. Já o aparelho por via seca é de alta voltagem (até 30.000 volts). A grande vantagem desse aparelho é o poder de identificar qualquer tipo de falha, passante ou não, inclusive regiões com baixas espessuras. A desvantagem é que é inadequado para esquemas de baixa espessuras, pois por menor que seja a voltagem regulada, a corrente pode perfurar a película de tinta.

Desse modo, ao aparelho de via úmida é utilizado para avaliar descontinuidades em esquemas de pintura cuja espessura total não ultrapasse 100 μm , e o de via seca, para os demais casos.

4.4 TOLERÂNCIAS NA FABRICAÇÃO

As estruturas metálicas, como qualquer outro tipo de estrutura ou outro tipo de fabricação, requerem padrões de tolerância que permitam ter uma estrutura de qualidade e durabilidade e se comportem de acordo com o que foi calculado.

Bellei (2010) alega que, fundamentado na experiência, resultado de diálogos constantes com os setores de fabricação e montagem da FEM S/A, que deve se estabelecer, que para se obter uma fabricação mais racional e com custos compatíveis é preciso respeitar padrões de tolerância, a saber:

Padrão I

(Riguroso) - Para estruturas que requerem maior rigor dimensional, como pilares de edifícios de múltiplos andares, vigas de rolamento, estruturas-suporte de grandes cargas, pontes ferroviárias etc.

Padrão II

(Normal) - Para estruturas convencionais, como galpões industriais, exceto vigas de rolamento, vigas de edifícios etc.

Padrão III

(Comercial) - Para estruturas secundárias e complementares, como estacas, postes, escadas, corrimãos etc.

As estruturas podem estar enquadradas em um padrão, mas algumas de suas partes podem estar em outro. O objetivo é que com tempo e sugestões de outros fabricantes tenhamos uma norma nacional de tolerâncias na fabricação de estruturas metálicas.

A ABNT NBR 8800:2008 orienta a tolerância na fabricação da seguinte maneira: é aceita uma variação de 1 mm no comprimento total de barras com ambas as extremidades usinadas, com rugosidade média igual ou inferior a 12,5 μm , para ligação por contato.

Barras sem extremidades usinadas para contato, e que devem ser ligadas a outras partes metálicas da estrutura, podem ter uma alteração em relação ao comprimento detalhado em até 2 mm, para as barras de até 9.000 mm, e até 3 mm, para barras com comprimentos acima de 9.000 mm.

Uma barra de perfil laminado pode ter as mesmas tolerâncias permitidas pela ASTM A6 para os perfis W. Para os perfis soldados deve ser obedecida a ABNT NBR 5884:2013. A tolerância de falta de linearidade de barras comprimidas não pode ultrapassar 1/1.000 do comprimento do eixo longitudinal entre pontos que serão lateralmente contraventados.

Vigas e treliças detalhadas sem especificação de contraflecha devem ser fabricadas de tal forma que, após a montagem, qualquer flecha devida à laminação ou à fabricação fique voltada para cima. Caso seja especificada contraflecha mas a flecha decorrente da laminação ou da fabricação seja igual ou superior a 75 % desse valor, a contraflecha pode ser dispensada. A contraflecha pode ter 13 mm acima do valor estipulado nas vigas de alma cheia com até 15 m de comprimento, mais 3 mm para cada 3 m ou fração que ultrapassar os 15 m, e 1/800 da distância entre apoios acima do valor estipulado nas treliças.

Qualquer diferença de altura em emendas com talas, dentro das tolerâncias prescritas, deve ser compensada por chapas de enchimento, com o conhecimento do responsável pelo projeto. Nas emendas soldadas de topo, o perfil da solda pode ser adaptado para se ajustar às variações permissíveis de altura, desde que a solda tenha a seção transversal mínima necessária e que a declividade da sua superfície satisfaça os requisitos da AWS D1.1.

5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Cada anomalia observada em uma edificação pode ter diversas causas e origens, mesmo o mecanismo de desenvolvimento sendo um só. Por outro lado, apenas por meio da identificação dos diversos tipos e origens, pode realizar-se um bom planejamento e manutenção.

No Brasil, as construções desde pequeno porte até as de grande porte, como pontes, viadutos, túneis, obras hidráulicas, construções residenciais e comerciais, sofrem pela ação do clima. Elevados gradientes de temperatura, muitas vezes no mesmo dia, grandes volumes de chuvas, poluição e ambientes de grande agressividade contribuem para o surgimento de manifestações patológicas que estão associadas com uma ou mais formas de deterioração.

Este trabalho não está diretamente relacionado às anomalias em si, e nem aos mecanismos de degradação das estruturas, mas sim, em apresentar os defeitos que ocorrem por falhas ou ausência de controle de qualidade no projeto, fabricação ou montagem estruturas metálicas, com a intenção de garantir a vida útil de projeto da estrutura.

Nesse sentido, no Quadro 03 apresenta-se as principais origens de manifestações patológicas na construção civil em geral.

Quadro 03: Principais causas de anomalias na construção civil em geral.

Fontes de anomalias na construção	
Causa	Porcentagem
Projeto	42,00%
Execução	28,40%
Materiais	14,50%
Uso	9,50%
Vários	5,60%

Fonte: HENRIQUES, 2001.

As anomalias em estruturas metálicas também são, na grande maioria, resultantes de falhas de projetos, erros na fabricação e montagem das estruturas

causadas por negligência ou inexistência de controle de qualidade ou então da falta de manutenção.

Segundo Pravia e Betinelli (2016) as manifestações patológicas mais comuns em estruturas de aço podem ser definidas em seis tipos principais, conforme mostrados no Quadro 04.

Quadro 04: As manifestações patológicas mais comuns e as principais causas.

Manifestações patológicas no aço	Principais causas
Corrosão localizada	Causada por deficiência de drenagem das águas pluviais e deficiências de detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Causada pela ausência de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Causadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto original, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.
Flambagem local ou global	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fratura e propagação de fraturas	Falhas estas iniciadas por concentração de tensões, devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

Fonte: PRAVIA; BETINELLI, 2016.

De maneira geral, os agentes agressivos que afetam o comportamento das construções durante o seu tempo de vida útil são:

- Ações ambientais, como elevada umidade, respingos de marés, etc.
- Agentes externos agressivos: águas contaminadas, terrenos com solo contaminado, gases nocivos, produtos químicos, etc.

Causas naturais ligadas ao envelhecimento dos materiais componentes das estruturas (por exemplo, corrosão).

A corrosão é um tipo de deterioração que pode ser facilmente encontrada em obras metálicas e se caracteriza como um fenômeno patológico de maior conhecimento público. O aço oxida quando em contato com gases nocivos ou umidade, necessitando por isso de cuidados para prolongar sua durabilidade.

Segundo Castro (1999) como o fenômeno da corrosão envolve vários tipos de mecanismos, é importante conhecê-los para que, no caso de sua ocorrência, se possa rapidamente estabelecer um diagnóstico. A Inspeção Predial é fonte de informação para a manutenção, apresentada por meio de laudo com o levantamento de anomalias, sua classificação quanto ao risco e urgência de cada uma delas, gerando lista de prioridades com orientações técnicas e informando o estado de conservação da edificação. Falhas de manutenção ou ausência de manutenção preventiva, derivando numa possível degradação acelerada da estrutura, podem comprometer a sua segurança.

5.1 FALHAS EM PROJETOS

A vida útil de uma estrutura nasce no projeto e se consolida na execução, mas os conceitos do projeto devem chegar até a conclusão da execução. Em cada uma das diretrizes há vários desafios a serem vencidos, como o de entender que projetar é fazer a gestão do desempenho da estrutura ao longo do tempo, controlando o processo de perda do desempenho e prevenindo falhas durante um período que justifique os recursos investidos.

Segundo empresas do setor entrevistadas pelo autor, no geral, a predisposição da construção para apresentar problemas patológicos nas estruturas de aço, ou de uma de suas partes são resultantes da má concepção de projeto, erros de cálculo, má compatibilidade dos projetos, no sistema de montagem, na escolha inadequada dos perfilados, definição equivocada das espessuras das chapas e do uso de tipos de aço com resistências diferentes das consideradas no projeto. Ou ainda, por falta de um controle de qualidade nas etapas de projeto, fabricação e montagem. Tais problemas ainda, muitas vezes são resolvidos de maneira inadequada e ineficiente.

De extrema importância, é a integração entre as áreas de projeto, fabricação e montagem, onde deverão ser discutidas as soluções de projetos e as características

das peças fabricadas, de tal sorte a se evitar na montagem a não disponibilidade de equipamentos, custo excessivo, incompatibilidade da sequência construtiva, alteração no esquema estático e falta de segurança do trabalho. (RAAD JÚNIOR, 1999).

As fotos da Figura 34 apresentam situações devido a falhas de projeto:

Figura 34: Falhas em construções metálicas provenientes de erros ou incompatibilidade de projetos.



Fonte: Autor

Nas fotos anteriores são apresentadas falhas como incompatibilidade dos projetos de estruturas metálicas com os de estruturas em concreto armado e falhas no gabarito de furação. Os novos furos tiveram a necessidade de serem executados na montagem devido a pequena distância deixada entre o furo e a borda da estrutura de concreto, além da coincidência com as armaduras das vigas.

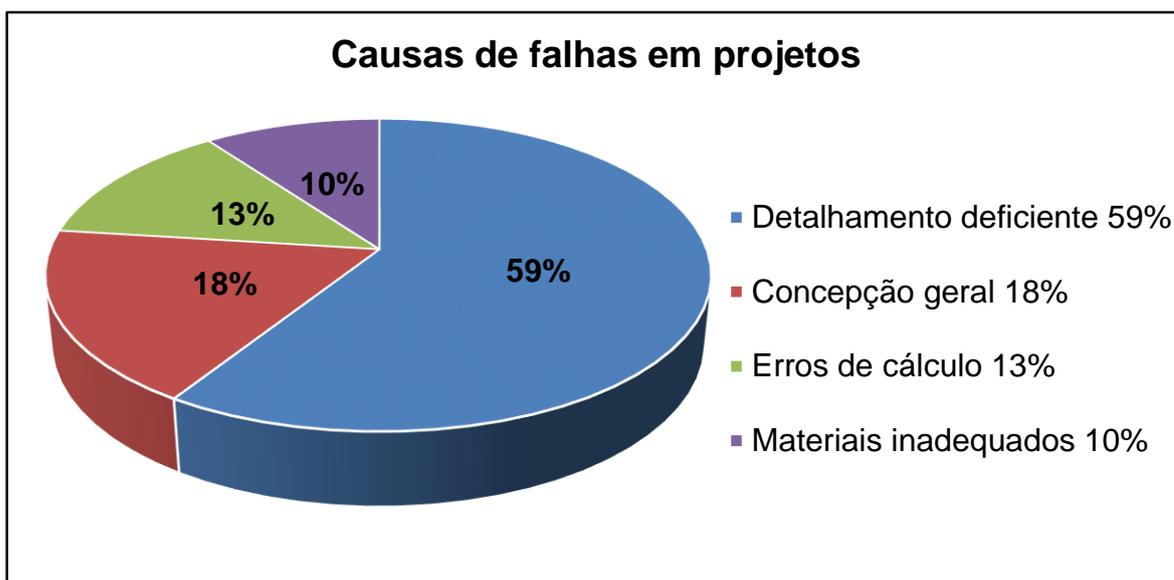
Segundo Bauermann (2002), no desenvolvimento dos projetos deve-se levar em conta todo o processo de produção, e no caso das construções metálicas, incluem-se a fabricação de componentes industrializados, o transporte e a montagem dos mesmos, resultando em um plano de atividade que deve ser desenvolvida pelos especialistas envolvidos no projeto.

As estruturas metálicas requerem cuidados no momento da concepção do projeto e caderno de encargos (detalhamento das ligações e tratamentos de

prevenção). Falhas no seu cumprimento originam problemas frequentes, como corrosão dos elementos resistentes e uma menor segurança à incêndios. Outro grande problema enfrentado em obra é a presença de locais inacessíveis para o aperto dos parafusos.

A seguir é apresentado o Quadro 05 com as principais causas que originam anomalias em estruturas metálicas provenientes de falhas em projeto.

Quadro 05: Principais causas de falhas em projetos de estruturas metálicas.



Fonte: (BUREAU SECURITAS, 1979).

Em projetos, devem ser previstos espaços para facilitar a execução da montagem. Para realizar uma ligação, é preciso colocar o parafuso no furo, colocar a anilha e a porca no outro lado e ainda ter espaço para a movimentação da chave de aperto e do braço do montador. No caso da Figura 35 é possível notar a falta de previsão de espaço para a parafusagem.

Figura 35: Adaptação na montagem por falta de previsibilidade de espaço para os parafusos.



Fonte: (NETTO, 2010).

Na Figura e na parte destacada, podem ser vistas dobras nos perfis para colocação dos parafusos; esta prática pode ser danosa à estrutura.

Pode acarretar basicamente dois problemas: falta de resistência nos parafusos, se estes têm áreas inferiores às calculadas; susceptibilidade de escoamento ou rotura na região dos furos, se esses tiveram de ser ampliados por divergências no projeto.

Neste caso a ligação deve ser recalculada para verificar a estabilidade desejada. Esses erros ocorrem, muitas vezes, devido à não observância das diferentes fases de um projeto. Muitas vezes, o projetista realiza alterações e se esquece de passar a informação para todos os níveis do projeto, chegando à obra um modelo de versão anterior e ao fabricante o modelo atualizado.

5.2 FALHAS NA FABRICAÇÃO

As atividades executadas nas fábricas de estruturas metálicas devem passar por diversos métodos de inspeção. O fabricante deve estabelecer métodos de controle de qualidade, para garantir que todo o trabalho seja executado de acordo com as exigências. A inspeção é executada por funcionário qualificado e certificado para exercer a função e atuam em todas as fases do processo de fabricação. Na maioria das obras o cliente pode contratar inspetores para atuarem junto ao fabricante.

Além dos procedimentos de controle de qualidade do fabricante, o material e a qualidade do serviço devem ficar permanentemente sujeitos à inspeção por parte de profissionais qualificados, representantes do proprietário da obra.

As falhas mais comuns que podem ocorrer na fase de fabricação e estão relacionadas as soldas, furações e pinturas das estruturas. Na Figura 36, são apresentados alguns exemplos de falhas na soldagem que pode ser inspecionadas visualmente.

Figura 36: Falhas na soldagem que podem ser inspecionadas visualmente.

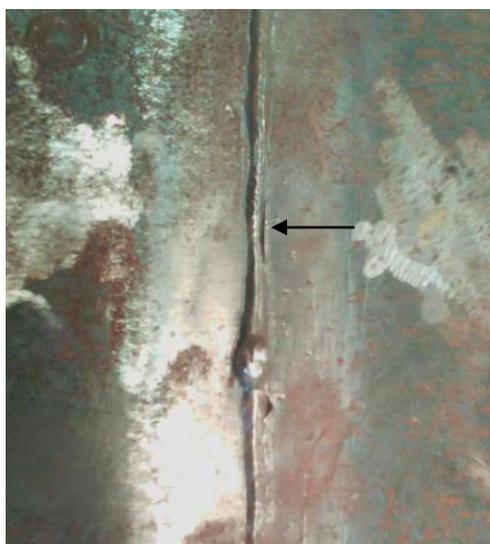


Foto 01: Falta de Fusão na soldagem.

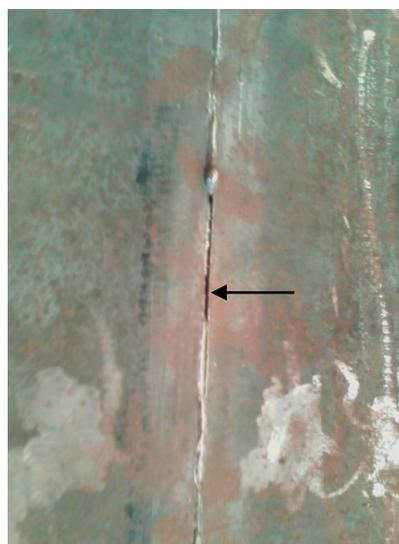


Foto 02: Falta de penetração.



Foto 03: 1-Sobreposição/ 2-Mordedura.



Foto 04: Porosidade.

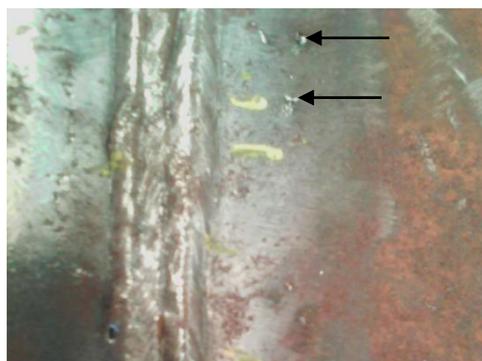


Foto 05: Respingos.

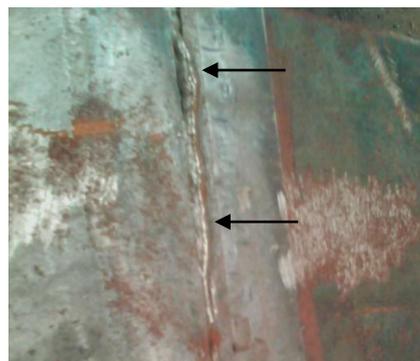


Foto 06: Penetração excessiva.

Fonte: (NETTO, 2010).

5.3 FALHAS NA PINTURA

A pintura industrial é uma técnica de proteção anticorrosiva existente, e tem por finalidade aplicação de revestimentos anticorrosivos por meio da pintura, sendo uma das técnicas mais utilizadas para proteção do aço. Os defeitos encontrados nas pinturas são, em sua maioria, identificados visualmente. No Quadro 06, são apresentados os defeitos mais comuns encontrados na prática, suas formas de apresentação, eventuais causas e possíveis correções.

Quadro 06: Alguns defeitos em pinturas de estruturas metálicas.

Falhas e defeitos nas pinturas - causas e soluções		
Descrição dos tipos de falhas ou defeitos	Causas	Correções
<p>Impregnação (lixa): Superfície da tinta apresenta-se áspera como lixa.</p>	<p>Abrasivos e poeiras levados pelo vento para a tinta ainda úmida. Pintura sobre superfícies contaminadas com abrasivos e poeira. Aplicação de tintas com rolo ou trincha contaminados com pelos, areia, poeira ou abrasivo.</p>	<p>Proteger a área a ser pintada. Retirar a tinta ainda úmida com panos umedecidos em solventes. Lixar a pintura contaminada e aplicar nova demão.</p>
<p>Poros (porosidade): A película de tinta apresenta descontinuidades invisíveis a olho nu ou não.</p>	<p>Superfície contaminada. Retenção de solvente ou ar no filme de tinta. Atomização deficiente. Temperatura do substrato muito alta. Água no ar de atomização da pistola.</p>	<p>Lixar a superfície e aplicar nova demão, ou retirar toda a pintura e fazer nova aplicação.</p>

Continua na próxima página...

Falhas e defeitos nas pinturas - causas e soluções (continuação)		
Descrição dos tipos de falhas ou defeitos	Causas	Correções
<p>Crateras: A película de tinta apresenta pequenas e uniformes crateras.</p>	<p>Retenção de solvente ou ar na aplicação. Água e/ou óleo no ar de atomização da pistola. Substrato muito quente. Pressão muito alta. Respingos de água sobre a tinta fresca. Superfície contaminada. Tinta contaminada, principalmente com silicone.</p>	<p>Lixar a superfície e aplicar nova demão, ou retirar toda a pintura e fazer nova aplicação.</p>
<p>Manchas: A película de tinta apresenta-se manchada.</p>	<p>Homogeneização inadequada. Área de trabalho contaminada. Respingos de solvente, inclusive água. Defeitos de formulação.</p>	<p>Lixar a superfície e aplicar nova demão.</p>
<p>Inclusão de pelos e fiapos: A pintura apresenta-se impregnada de pelos ou fiapos visíveis ou retirada no interior do filme de tinta.</p>	<p>Contaminação de tina fresca ou de superfície com pelos e fiapos trazidos pelo vento. Contaminação da superfície a ser pintada ou da tinta ainda úmida por pelos de trincha, panos e rolos. Tintas contaminadas com essas impurezas.</p>	<p>Filtrar a tinta e/ou remover as impurezas da tinta ainda úmida e retocar. Lixar a superfície após a secagem e verificar se os equipamentos de aplicação e a área de trabalho estão propícios para a aplicação.</p>
<p>Escorrimientos/decaimento: A tinta apresenta escorrimento leve (lágrima) ou pesado (barriga), ocorrendo em superfícies verticais, inclinadas ou sobre cabeça.</p>	<p>Diluição excessiva da tinta. Excesso de tinta. Pistola próxima à superfície. Defeito de formulação Superfície muito lisa. Superfície fria. Especificação inadequada de tinta</p>	<p>Controlar a espessura da película úmida. Remover o excesso de tinta quando ainda úmida, por meio de trincha e/ou boneca de pano. Raspar, lixar e, após a secagem da tinta, retocá-la.</p>
<p>Pele ou casca de laranja: A pintura apresenta-se rugosa semelhante a uma casca de laranja.</p>	<p>Ocorre nas aplicações com pistola devido:</p> <ul style="list-style-type: none"> - à proximidade da superfície. - à pressão baixa na pistola. - a um solvente muito volátil - à tinta muito viscosa. - à umidade no solvente. - à um bico inadequado. 	<p>Ajustar as condições de aplicação. lixar e aplicar novas demãos.</p>

Continua na próxima página...

Falhas e defeitos nas pinturas - causas e soluções (continuação)		
Descrição dos tipos de falhas ou defeitos	Causas	Correções
<p>Pulverização seca (over spray): A superfície da tinta apresenta um aspecto fosco e áspero, porém sem o desprendimento do pó.</p>	<p>Solvente muito volátil. Pistola muito distante da superfície ou com pressão excessiva. Temperatura ambiente muito elevada.</p>	<p>Aplicar um pano umedecido com solvente antes da secagem da tinta. Após a secagem, lixar e aplicar nova demão, ajustando a distância da pistola à superfície e/ou utilizando um solvente menos volátil, adequado para a temperatura ambiente elevada.</p>
<p>Empolamento (bolhas): A película de tinta apresenta-se com saliências semiesféricas que variam de tamanho e intensidade.</p>	<p>Retenção de solventes. Processo corrosivo acelerado. Efeito de eletrosmose (quando há excesso de corrente de proteção catódica). Contaminação da superfície do ar e/ou dos equipamentos de aplicação com sal, óleo, água e outros. Incompatibilidade entre demãos de tintas. Umidade relativa do ar elevada. Superfície fria.</p>	<p>Após secar, lixar as partes afetadas, preparar a superfície e repintar conforme a especificação técnica. A depender da extensão do problema, deve-se remover ou lixar a pintura a aplicar novas demãos.</p>
<p>Enrugamento: A película de tinta apresenta-se irregular, com encolhimento e/ou ondulação da película.</p>	<p>Espessura da película muito alta. Solventes muito voláteis. Superfície fria. Não atendimento dos intervalos entre demãos.</p>	<p>Após secar, lixar as partes afetadas, preparar a superfície e A depender da extensão do problema, deve-se remover ou lixar a pintura a aplicar novas</p>
<p>Sangramento: A película apresenta-se manchada pelo afloramento de substâncias ou pigmento da cor da demão que está abaixo, devido à solubilidade da demão inferior.</p>	<p>Cores claras sobre cores escuras, principalmente sobre o vermelho ou marrom. O solvente do novo acabamento dissolve a ação de solventes fortes da tinta de acabamento provoca a dissolução da tinta de fundo, com o conseqüente manchamento do acabamento. Aplicação de tintas sobre tintas à base de alcatrão</p>	<p>Dar uma demão de selagem. Consultar o fabricante quanto a recomendação de produtos</p>
<p>Oxidação Precoce: A superfície pintada apresenta-se com pontos de corrosão logo após a aplicação da primeira ou das primeiras demãos.</p>	<p>Rugosidade excessiva (picos expostos). Película muito fina em meios muito agressivos.</p>	<p>Controlar a rugosidade. Aplicar demãos mais espessas em ambientes mais agressivos. Diminuir, dentro dos limites, os intervalos entre demãos para reduzir os riscos de corrosão precoce.</p>

Fonte: (NUNES; LOBO, 2014. Adaptado).

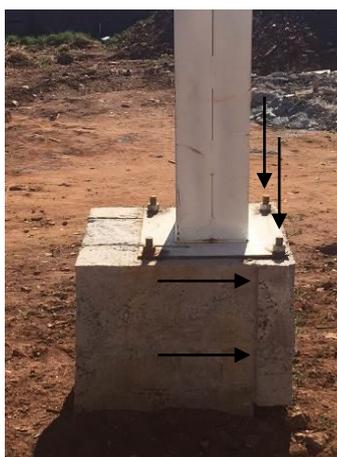
Não é raro observar esquemas de pintura, que teoricamente seriam de grande desempenho, falharem rapidamente por aspectos associados à má qualidade de aplicação. Como consequência de deficiências de aplicação, as películas de tinta ficam sujeitas a falhas e defeitos que podem comprometer seu desempenho.

5.4 FALHAS NA MONTAGEM

Devido às condições particulares de cada obra, como acessibilidade, topografia local, disponibilidade de canteiro, tipo de estrutura, entre outras, a montagem estará sujeita a desafios específicos e próprios de cada empreendimento. Sendo assim, deve ser elaborado um plano de montagem que contempla desenhos e diagramas de montagem, desenhos e constituintes dos subconjuntos da estrutura (treliças), programação de embarque, lista de expedição (define composição de cada subconjunto e modo a ser enviado para obra), cronograma e prazo final, no intuito de orientar todo o processo relacionado aos aspectos específicos de montagem, tipo de estrutura e concepções de fabricação (RAAD JUNIOR, 1999).

Na Figura 37 são expostas algumas fotos que revelam falhas na montagem de esturras metálicas.

Figura 37: Falhas na montagem de estruturas metálicas.



1 – Eixo do pilar; 2 – Eixo do Bloco de fundação.



Fonte: Autor

As fotos anteriores apresentam falhas no momento da montagem, como erro de locação das estruturas. O eixo do pilar da estrutura metálica não coincidiu com o eixo do bloco de fundação, com isso, foi realizado, de maneira inadequada e ineficiente, um prolongamento no bloco de concreto, porém, sequer chegou-se a concretar até a cota inicial do bloco, deixando um volume de concreto suspenso e sem função estrutural. Outras falhas apresentadas correspondem a emendas soldadas no canteiro de obras, o que prejudica o controle de qualidade dessas ligações e demonstram a falta de planejamento na montagem, e parafusos danificados por razão de imprecisão e falta de capacitação da mão de obra.

5.5 FALHAS NA MANUTENÇÃO

Para se evitar danos maiores nas estruturas metálicas, a implantação de manutenções preventivas ou corretivas deve ser executada frequentemente, por profissionais com experiência neste tipo de avaliação e inspeções, utilizando os ensaios não destrutivos como uma ferramenta de grande importância, sendo possível avaliar a integridade e o atual estado de uso das edificações em estruturas metálicas.

A existência de planos de manutenção nas edificações é fundamental para que se disponha do conhecimento atualizado das condições funcionais da estrutura de modo a que se possam programar antecipadamente as intervenções de conservação necessárias para que estas estruturas mantenham os níveis de segurança adequados e de desempenho durante seu tempo de vida, sem necessidade de grandes reparações. Estas intervenções devem prever a implantação de sistema de manutenção dos materiais verificando sua conformidade técnicas, operacionais e gestão.

Os planos de manutenção devem compreender inspeções rotineiras anuais, que se baseiam numa observação visual e durante as quais podem ser efetuadas operações simples de manutenção e limpeza; as inspeções principais com uso de técnicas de inspeção mais específicas, com a aplicação de ensaios não destrutivos, que poderá variar entre anuais, de 3 (três) anos e de 5 (cinco) anos (COSTA, 2012).

A corrosão é o principal processo de deterioração do aço que produz alterações prejudiciais e indesejáveis nos elementos estruturais. Sendo o produto da corrosão um elemento diferente do material original, a liga acaba perdendo suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, estética, etc.

Em certos casos quando a corrosão está em níveis elevados, torna-se impraticável sua remoção sendo, portanto, a prevenção e controle as melhores formas de evitar problemas.

Em estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE, 2005), foi verificado que mais de 60% dos acidentes ocorridos em edifícios com mais de 10 anos estão relacionados à deficiência ou inexistência de manutenção, perda precoce de desempenho e degradação acentuada. O estudo ainda concluiu que em mais da metade dos acidentes avaliados houve o colapso parcial ou total do sistema estrutural, ora por falta de manutenção, ora por erros de projeto ou de execução daí a importância desse trabalho.

6. CRITÉRIOS PROPOSTOS PARA INSPEÇÃO

Neste trabalho apresentou-se os critérios mínimos que devem ser utilizados no controle de qualidade de projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas, além das principais manifestações patológicas e suas origens, motivadas por falhas no controle de qualidade em alguma etapa da construção. Manifestações essas, corroboradas em visitas técnicas realizadas em obras de estruturas metálicas. Relatou-se também os ensaios não destrutivos predominantes em ligações soldadas, com suas características, vantagens e desvantagens, assim como para a pintura de estruturas metálicas, expondo as principais falhas nessa etapa. Com isso, propõe-se um procedimento para elaboração do projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas, com controle de qualidade da gestão das principais fases do processo e utilizando os ensaios não destrutivos mais comuns no Brasil.

Um aspecto importantíssimo a ser definido a respeito dos ensaios não destrutivos é a amostragem, ou seja, a extensão de solda que será objeto dos ensaios. Devem também estar definidos, após os resultados dos ensaios, quais e quantos defeitos serão aceitáveis, e em qual extensão. Normas mais completas como as da Petrobras definem a amostragem de solda que devem sofrer inspeção para cada tipo de ensaio, no entanto, essa preposição é direcionada para as necessidades específicas da Petrobras, como plataformas petrolíferas, navios-sonda, estruturas metálicas industriais e com elevada agressividade ambiental.

As estruturas metálicas, como qualquer outro tipo de estrutura ou outro tipo de fabricação, requerem padrões que permitam ter uma estrutura de qualidade e durabilidade e se comportem de acordo com o que foi calculado, sem exageros ou negligências.

Propõe-se neste trabalho diferentes níveis de controle de qualidade nas ligações soldadas, com base nos padrões de construção indicados por Bellei (2010) para as tolerâncias de fabricação e na extensão e seleção de ensaios não destrutivos recomendados pela Norma N-293 REV H da Petrobras.

Bellei (2010) estabelece padrões como sendo rigoroso, normal e comercial. Contudo, adaptou-se esses padrões, discriminando mais tipos de estruturas em cada

padrão e alterando o nome do padrão comercial para brando. Portanto, a seguir estão os três padrões propostos:

Padrão I (Riguroso) - Para estruturas que requerem maior rigor dimensional, como vigas e pilares de edifícios industriais, edifícios com mais de quatro pavimentos, vigas de rolamento, estruturas-suporte de grandes cargas, pontes ferroviárias, etc.

Padrão II (Normal) - Para estruturas convencionais, como galpões industriais, exceto vigas de rolamento, vigas e pilares de edifícios de pequeno porte, pórticos, mezaninos, steel-decks, etc.

Padrão III (Brando) - Para estruturas secundárias e complementares, como estacas, postes, escadas, corrimãos, plataformas de acesso, etc.

As estruturas podem estar enquadradas em um padrão, mas algumas de suas partes podem estar em outro. O objetivo é que com tempo e sugestões de outros fabricantes se tenha uma norma nacional controle de qualidade na fabricação e montagem de estruturas metálicas para diversos tipos de utilização.

Por fim, se elaborou um plano de inspeção, indicando quais verificações devem ser feitas e a sua amostragem, baseado nos diferentes padrões estabelecidos de estruturas metálicas, conforme Quadro 07.

Quadro 07: Extensão e seleção de END para ligações soldadas.

Extensão e seleção de END para ligações soldadas, conforme o padrão da estrutura.					
Padrão (Nível de Inspeção)	Tipo de solda	Extensão dos ensaio (%)			
		ER	US	PM ou LP	Visual
I	JASA	-	-	100	100
	JTPT	-	50	100	100
	JAPT	-	100	100	100
II	JASA	-	-	50	100
	JTPT	-	50	50	100
	JAPT	-	50	50	100

Os símbolos utilizados significam:

- JASA: junta de ângulo com solda de filete.
- JTPT: junta de topo com penetração total.
- JAPT: junta de ângulo com penetração total.
- ER: ensaio radiográfico.

- e) US: ensaio por ultrassom.
- f) PM: ensaio por partículas magnéticas.
- g) LP: ensaio por líquido penetrante.

As soldas dos componentes de nível de inspeção III devem ser totalmente inspecionadas visualmente segundo a AWS D1.1/D1.1M. Os ensaios de PM e LP podem ser tratados como equivalentes, com preferência para a utilização do PM. Portanto, sempre que previsto o ensaio PM mas não for possível realizar, poderá ser usar do LP, sendo o inverso também válido.

A extensão dos ensaios indicados no Quadro 07 para os níveis de Inspeção I e II são aplicáveis para cada solda. Todas as soldas dos componentes de nível de inspeção I, II e III devem ser inspecionadas por ensaio visual.

A extensão dos ensaios indicados neste Quadro para os níveis de Inspeção I e II são aplicáveis para cada solda.

Para o nível de inspeção I, se uma solda em que esteja especificada a extensão parcial de END revelar defeitos, duas outras regiões adjacentes da mesma solda devem ser examinadas cada uma com a extensão original. Se nos dois ensaios adicionais não forem revelados defeitos, a solda pode ser aceita após o reparo e ensaio da região original. Se um dos dois exames adicionais revelar defeitos, toda a solda deve ser ensaiada.

Pelo lado interno, quando houver acesso, aplicar o mesmo percentual.

Em regiões sem acesso para o ensaio por partículas magnéticas pode ser utilizado líquido penetrante.

Para o nível de inspeção I, os casos de reparo do chanfro, a superfície deve ser ensaiada com líquido penetrante, em 100 %, ou por meio de partículas magnéticas (técnica dos eletrodos). No caso de enchimento adicional com solda no chanfro, a superfície deve ser ensaiada 100 % com líquido penetrante e ultrassom.

Nos locais de membros nível I e II, onde forem removidas soldas provisórias, deve ser realizado ensaio por partícula magnética em 100 % da região, após esmerilhamento.

As juntas com penetração total, soldadas por um só lado, sem cobre junta, exceto juntas circunferenciais em estacas, devem ter o percentual de inspeção complementada para:

- a) JTPT = 100 % ER.
b) JAPT = 100 % US.

Para JTPT onde haja acesso para ensaio visual pelo lado da raiz da junta soldada e nos casos onde não haja acesso, porém a vida a fadiga da junta seja superior há 100 anos, o ensaio radiográfico pode ser substituído pelo ensaio por ultrassom. O percentual dos demais ensaios deve ser mantido conforme indicado no Quadro 07.

Após a realização de pesquisas em diversas bibliografias, elaborou-se três esquemas de pintura para três tipos de agressividade ambiental. Nos Quadros 08, 09 e 10 são apresentadas algumas sugestões para esquemas de pinturas de estruturas metálicas em diferentes condições ambientais.

Quadro 08: Esquemas de pintura para ambientes normais – Pouco agressivos.

AMBIENTE COM CONDIÇÕES NORMAIS – POUCO AGRESSIVOS (Locais abrigados e secos / Rual, urbano afastado da faixa litorânea, industrial leve)								
Exemplos	Limpeza de Superfície	Tinta de Fundo	Nº de demãos	Espessura do filme seco por demão (µm)	Tinta de acabamento	Nº de demãos	Espessura do filme seco por demão (µm)	Espessura total (µm)
1	Limpeza Mecânica ou com solvente (St1 ou SP1)	Fosfato de zinco alquídico	2	30	Esmalte fenólico pigmentado com alumínio	2	30	120
2	Jateamento Sa 2½ ou Hidrojateamento WJ 2	Fosfato de zinco epóxi	1	100	Esmalte alquídico	2	30	160
3	Limpeza mecânica com St3 ou Hidrojateamento WJ 4	Mastique Epóxi	1	100	Esmalte alquídico	2	30	160

Quadro 09: Esquemas de pintura para ambientes normais – Mediamente agressivos.

AMBIENTE COM CONDIÇÕES NORMAIS – MEDIAMENTE AGRESSIVOS (Locais desabrigados e úmidos / Urbano litorâneo, industrial agressivo)								
Exemplos	Limpeza de Superfície	Tinta de Fundo	Nº de demãos	Espessura do filme seco por demão (µm)	Tinta de acabamento	Nº de demãos	Espessura do filme seco por demão (µm)	Espessura total (µm)
1	Jateamento Sa 2½ ou Hidrojateamento WJ 2	Fosfato de zinco epóxi	1	100	Epóxi de alta espessura	1	120	220
2	Limpeza mecânica com St3 ou Hidrojateamento WJ 4	Mastique Epóxi	1	100	Esmalte acrílico	2	30	160
3	Jateamento Sa 2½ ou Hidrojateamento WJ 2	Fosfato de zinco epóxi	1	100	Polisiloxano	1	50	150

Quadro 10: Esquemas de pintura para ambientes normais – Altamente agressivos.

AMBIENTE COM CONDIÇÕES NORMAIS – ALTAMENTE AGRESSIVOS (Locais desabrigados, industriais ou marítimos, exposto ao intemperismo)											
Exemplos	Limpeza de Superfície	Tinta de Fundo	Nº de demãos	Espessura do filme seco por demão (µm)	Tinta intermediária	Nº de demãos	Espessura do filme seco por demão (µm)	Tinta de acabamento	Nº de demãos	Espessura do filme seco por demão (µm)	Espessura total (µm)
1	Jateamento Sa 2½ ou Hidrojateamento WJ 2	Fosfato de zinco epóxi	1	100	Fosfato de zinco epóxi	1	100	Poliuretano acrílico	2	35	270
2	Jateamento Sa 2½ ou Hidrojateamento WJ 2	Óxido de ferro de alta espessura	1	100	Óxido de ferro de alta espessura	1	100	Epóxi de alta espessura	1	120	320
3	Jateamento Sa 2½ ou Hidrojateamento WJ 2	Etil silicato de zinco	1	70	Óxido de ferro de alta espessura / Epóxi de alta espessura	1 / 1	30 / 120	Polisiloxano	1	50	270

Em determinadas companhias é comum a padronização dos esquemas de pintura, inclusive com a edição de Normas que regulam o uso desses esquemas. As vantagens dessa padronização estão no uso de um número menor de tintas, na uniformização dos esquemas e na facilidade de contratação dos serviços de pintura.

Nesses procedimentos podem ser definidos as partes a serem pintadas, além dos esquemas de pintura de acordo com a agressividade dos ambientes e condições operacionais que estão expostas as estruturas.

7. CONCLUSÃO

A construção em estrutura metálica é um sistema que possui características próprias tanto na concepção quanto no desenvolvimento. Isso significa que desde a etapa do projeto até a fase final da montagem, existem cuidados que devem ser observados para não cometer erros construtivos, facilmente evitáveis por meio do planejamento e fiscalização eficientes. Normas e padrões para estruturas metálicas de pequeno e médio porte que garantam a qualidade e a vida útil do projeto, ainda não são realidade no Brasil.

Diante do exposto, se pode constatar que a proposta apresentada é um fomento à discussão sobre critérios para o controle de qualidade de estruturas metálicas, desde as mais complexas, até as mais comuns. As últimas inclusive, são as que constituem a grande maioria das construções metálicas no Brasil e é por esse motivo se deve aprofundar os estudos nessa matéria.

Desta forma, pode-se deduzir que é possível demonstrar que o controle de qualidade se faz uma ferramenta essencial para garantir a vida útil das estruturas, uma vez que ao longo do processo construtivo, permite garantir uma padronização nas estruturas.

Trabalhos de levantamento de incidências patológicas em estruturas metálicas, por meio de inspeções rotineiras, podem ser considerados como a base de uma metodologia racional e analítica de se encarar os problemas de durabilidade, vida útil, manutenção e gerenciamento de obras. Por meio da sistematização dos processos de obtenção e construção de um banco de dados referentes às estruturas, pode-se criar um sistema de gerenciamento com o objetivo de conhecer o real estado da obra, analisar e diagnosticar as suas condições, planejar e priorizar as intervenções, elaborar orçamentos mais próximos da realidade, além de ter informações gerais que garantam tomadas de decisões adequadas.

Esforços devem ser feitos no sentido de concretizar os conceitos atuais de durabilidade, vida útil e patologia das estruturas metálicas, tanto no meio técnico quanto no acadêmico. Muitas são as incidências patológicas que podem ser evitadas, caso fossem aplicados antecipadamente os conhecimentos sobre as suas causas.

Desta maneira, nas fases de concepção, projeto e execução, poderiam ser tomadas as medidas cabíveis de prevenção.

A proposta de inspeção em estruturas metálicas, assim como o fluxograma das etapas para projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas, propostos pelo autor neste trabalho, podem ser o início para o aprofundamento de outras pesquisas com a finalidade de evoluir, de modo geral, a qualidade das estruturas no Brasil.

O intuito do estudo foi contribuir para a capacitação dos profissionais, fornecendo base de sustentação para a formação de engenheiros, arquitetos, técnicos e mão de obra especializada, promovendo o intercâmbio dos resultados da pesquisa com o setor produtivo e incentivando outras pesquisas científicas e tecnológicas, além de colaborar na revisão e elaboração de futuras normas.

Sugere-se para pesquisas futuras o aprofundamento nas propostas apresentadas neste trabalho, com a realização de ensaios e uma abrangência maior no número de profissionais e empresas do setor, cedendo a opiniões e a experiência na parte prática do processo. Desse modo, poderá validar ou aperfeiçoar a proposta, sempre no sentido de aumentar a eficiência no controle de qualidade, padronizando e sistematizando as atividades inerentes à concepção de estruturas metálicas em diversos ambientes de agressividade.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Qualidade na prática**: Conceitos e Ferramentas. Curitiba: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Regional do Paraná, 2003. 118 p.

AMERICAN WELDING SOCIETY - AWS D1-1 - "**Structural Welding Code**" –Steel. 22 ed. 2010. Miami- EUA.

ANDERY, P. R. P. Experiências em torno à implementação de sistemas de garantia da qualidade em empresas de projeto. In: IV WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS. **Anais...**Rio de Janeiro: UFRJ, 2004. 12 p.

ANDREUCCI, R. **Ensaio por Partículas Magnéticas**. Associação brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção (ABENDI). 68 p. São Paulo. Out.2014.

ARANHA, P.M.S. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica**. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) - UFRGS, Porto Alegre,1994.

ASTM **714-02** (Reapproved 2009), "Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints" (West Conshohocken, PA: ASTM).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO (ABRACO) - **Manual do Curso para Inspetor de Pintura Industrial Nível 1**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL (ABECE). **Manual de escopo de projetos e serviços de estrutura**. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO (ABENDI). **Guia de END e Inspeção**. São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14842**: Critérios para a qualificação e certificação de inspetores de soldagem. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: Edificações Habitacionais- Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5000: Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica. Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5008**: Chapas grossas e bobinas grossas, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5884**: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6648**: Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800**: Projeto e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios. ago. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14323**: Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio. ago. 2003.

BAUERMANN, M. **Investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos de aço**. 2002. 269 p. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002

BELLEI, I.H. **Edifícios industriais em aço**- Projeto e cálculo. 6 ed. São Paulo: Pini, 2010. 502 p.

BELLEI, I.H.; PINHO, F.O.; PINHO, M.O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2.ed. São Paulo: Pini, 2008. 562p.

BOBROFF, J. The project management: a new profile for the actors in the building industry. São Paulo, 1993. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Avanços em Tecnologia e Gestão da Produção de Edificações. **Anais...** São Paulo: USP/ANTAC, 1993. p. 41-54.

BRINCK, F.M.; CÂNDIDO, L.C.; NEVES, F.A. Avaliação da integridade estrutural da Ponte Marechal Hermes - rio São Francisco/MG. **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 60, n.2, p. 285-294, abr./ jun. 2007.

BUREAU SECURITAS. **Étude statistique de 10000 dossiers de sinistres**. Annales de L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, nº378, Paris, France, 1979.

CALMON, J. L., MORAES, F. R. de. **Diagnóstico da construção metálica de edifícios**. Análise preliminar à luz dos princípios da Lean Construction. In: ENTAC, 8. Anais... Salvador: ANTAC, 2000a v.1 p. 453-460.

CÂNDIDO, L.C. **Fundamentos do Aço e suas Patologias**. Disciplina do Curso de Mestrado em Construção Metálica- UFOP, Notas de aula, Ouro Preto, 2005.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil, área de concentração: Construção Metálica) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

CBCA. **Características do aço na construção civil**. Módulo 3. 29 f. 2015.

COSTA, F. G. **Manutenção das estruturas metálicas com utilização dos ensaios não destrutivos**. Construmetal 2012. São Paulo, 2012.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem**. 159 p. 2. ed. São Paulo: Zigurate, 1998.

FRANCO, L.S.; AGOPYAN, V. **Implementação da Racionalização Construtiva na fase de projeto**. Boletim técnico da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/94. São Paulo, 1993.

GUARNIER, C.R.F. **Metodologias de detalhamento de Estruturas Metálicas**. 396 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 1999.

HELENE, P.R.L **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1992. 213p.

HELENE, P.R.L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 231 f. Tese (Livre docência). São Paulo: Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HENRIQUES, F. M. A. **Noção de Qualidade em Edifícios**. Comunicação ao Congresso Nacional da Construção. Lisboa, 2001.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **O aço: Processo siderúrgico**. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--etapas.asp>>. Acesso em mai. 2015.

JARDIM, F.G. **Análise da Especificação de materiais e componentes construtivos no processo de projeto de construções metálicas**.106f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

LANDESMANN, A.; MOUÇO, D.L. Análise estrutural de um edifício de aço sob condições de incêndio. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, 60(2): 285-294, abr. jun. 2007.

LICHTENSTEIN, N.B. **Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. 191 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) - São Paulo, 1985.

LOURENÇO, L.C.; LOURENÇO, M.V.C.; MENDES, L.C. **Verificação da corrosão e de outras patologias em pontes metálicas**. Teoria e Prática na Engenharia civil, n.14, p. 25-29, out. 2009.

LUCCHINI, J.R. **Processos de fabricação e montagem de estruturas metálicas na construção civil**. 146 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). São Paulo, 2009.

MAC. Disponível em <http://www.macportas.com.br/servicos/>>. Acesso em abr. 2016.

MELHADO, S. B. **Qualidade do Projeto na Construção de Edifícios: Aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. São Paulo, 1994. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 295p.

MESEGUER, A. G. **Controle e Garantia da Qualidade na Construção**. São Paulo: SINDUSCON/SP, 1991.

MORAES, F. R. de. **Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de empreendimentos em construção metálica – uma visão segundo a nova filosofia de produção**. 244 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

NETTO, E. P. G. **Estudo de caso da implantação do controle de qualidade na fabricação e soldagem de estruturas metálicas em aço carbono**. 47 p. Monografia (Curso Técnico em Mecânica). São José do Rio Preto, 2010.

NOVAES, C. C. **Diretrizes para a garantia da qualidade do projeto na produção de edificações**, São Paulo, 1996. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 389p.

NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. 5 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

PANNONI, F.D. **Princípios básicos do controle da corrosão na etapa de projeto**. Disponível em <http://wwwo.metallica.com.br/principios-basicos-do-controle-da-corrosao-na-etapa-de-projeto>. Acesso em mai. 2016.

PANNONI, F.D. Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. **Coletânea do uso do aço**. 5 ed. 80 f. 2011.

PANOSSIAN, Z. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. São Paulo: [s.n.], 2 v., 1993.

PETROBRAS. **N- 13 REV.K**. Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura. 28 f. Dez.2012.

PETROBRAS. **N- 133 REV.J**. Soldagem. 63 f. set.2002.

PETROBRAS. **N- 1594 REV.F**. Ensaio não - destrutivo - Ultrassom. 22 f. dez.2004.

PETROBRAS. **N- 1595 REV. G**. Ensaio não - destrutivo - Radiografia. 19 f. Nov.2012.

PETROBRAS. **N- 1596 REV H**. Ensaio não - destrutivo - Líquido penetrante. Set. 2013.

PETROBRAS. **N- 1597 REV. D**. Ensaio não - destrutivo visual. 6 f. ago. 1996.

PETROBRAS. **N- 2033 REV. F**. Inspeção de fabricação - qualificação de pessoal. 84 f. out. 2011.

PETROBRAS. **N- 293 REV.G.** Fabricação e Montagem de Estruturas Metálicas, 35 f. jan.2001.

PETROBRAS. **N-1598 REV.E.** Ensaio não - destrutivo- partículas magnéticas. 17 f. nov.2003.

PICCHI, F. A. **Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios.** São Paulo 1993. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 461p.

PINHEIRO, A.C.F.B. **Estruturas Metálicas.** 2ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 316p.

PINHO, M. O. **Transporte e montagem.** Rio de Janeiro: Instituto brasileiro de siderurgia centro brasileiro da construção em aço (IBS/CBCA), 2005. 144p.

PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. **Falhas em estruturas metálicas:** Conceitos e estudos de caso. Curso de Engenharia Civil da FEAR –UPF. Disponível em:<Portal metálica>. Acesso em 22 abr. 2016.

PROGER ENGENHARIA LTDA. **Estruturas metálicas-** Notas de Aula. Disponível em: <<http://www.dionisio.eng.br/metálica/EM01.htm#C9>>. Acesso em: jun. 2015.

RAAD JUNIOR, A.A. **Diretrizes para fabricação e montagem das estruturas metálicas.** 243 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Ouro Preto, 1999.

REBELLO, Y. C. P. **Dimensionamento de estruturas em aço:** Parte 01 / Coordenação de Sidnei Palatnik. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2010.

RIBAS, R. A. J. **Avaliação das condições físico-constitutivas e de desempenho de uma edificação estruturada em aço.** Estudo de caso: prédio da UFOP. 210 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

ROSA, G. R.; PRAVIA, Z.M.C. Planos de manutenção para empreendimentos em estruturas de aço. **Revista Construção Metálica.** ed. 103. p. 38-42. 2011.

SALES, U.C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação.** 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2001.

SANTOS, J. F. O. **Ensaio Não Destrutivos:** guia do formando. Portugal, Lisboa: Instituto do Emprego e Formação Profissional, 1999. 154p.

SILVA NETO, P.R.; FERREIRA, C.V. **Patologia em construções mistas concreto e aço. Construmetal.** Centro Universitário Adventista de São Paulo, Campus Engenheiro Coelho. São Paulo, 2006.

SILVA FILHO, L. C. P. **Condições necessárias (cuidados recomendados) para assegurar a durabilidade e vida útil de estruturas (de concreto)**. 14º Seminário de Tecnologia de Estruturas – SindusCon-SP. São Paulo, 2013

TEIXEIRA, R.B. **Análise da gestão do processo de projeto estrutural de construções metálicas**. 2007. 248 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Ed. Pini, 1992.