

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**“PATOLOGIA EM ELEMENTOS DE LIGAÇÃO DE
ESTRUTURAS METÁLICAS”**

Autor: Danielle de Souza Lelis Peixoto

Orientador: Prof^a. Sidnea Eliane Campos Ribeiro

Agosto/2012

Peixoto, Danielle de Souza Lelis.

P379p Patologia em elementos de ligação de estruturas metálicas [manuscrito] / Danielle de Souza Lelis Peixoto. – 2012.

78 f. : il., enc.

Orientadora: Sidnea Eliane Campos Ribeiro.

Especialização – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Curso de Especialização em Construção Civil.

Bibliografia: f. 75-78.

1. Engenharia. – Teses. 2. Patologia da Construção. – Teses.

3. Construção Metálica. – Teses. I. Título. II. Ribeiro, Sidnea Eliane Campos. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

CDU: 624.012.45

DANIELLE DE SOUZA LELIS PEIXOTO

**“PATOLOGIA EM ELEMENTOS DE LIGAÇÃO DE
ESTRUTURAS METÁLICAS”**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da
Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Gestão e Avaliações nas Construções

Orientador: Prof^a. Sidnea Eliane Campos Ribeiro

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2012

DEDICATÓRIA

Aos meus amados George, Mariana e Augusto que contribuíram muito com esta empreitada, em sacrifícios que não foram pequenos, abrindo mão da minha presença, e sendo pacientes com a minha própria falta de paciência. A minha sogra e sogro, pelo apoio e carinho para com meus pequenos. A minha mãe por compreender minha ausência nesta etapa e principalmente pelo exemplo de que as conquistas definitivas exigem esforço e sacrifício, mas que a consciência do dever cumprido é a mais saborosa das recompensas. A Deus por me brindar com esta família maravilhosa.

AGRADECIMENTOS

A Professora Sidnea pela paciência e prestatividade em me orientar em um momento que nem eu mesma conhecia os meus rumos e sequer dispunha de tempo para descobri-los.

Aos professores do Curso de Especialização pela disponibilidade e paciência e pelo desapego em nos transferir o próprio conhecimento, nos enriquecendo profissionalmente e nos levando a refletir sobre o papel de cada um de nós na sociedade, reflexão que muitas vezes, em função da vida corrida e atribulada, nos esquecemos de fazer. Aos funcionários Ivonete e Gilmar que tantas vezes escutaram as nossas lamentações com paciência.

Aos meus queridos colegas da “Pós”, por tornar os momentos de convívio extremamente deliciosos, principalmente às amigas Lania, Ana Carolina e Flávia, cuja amizade guardarei para sempre.

Ao TJMG por colocar à minha frente novos desafios, me fazendo sair da zona de conforto e alçar novos voos. São os desafios que nos fazem sentir vivos.

SUMÁRIO

Resumo

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Conceitos	16
2.1.1	O AÇO ESTRUTURAL	16
2.1.2	Estruturas Metálicas - componentes.....	20
2.1.3	Sistemas de Ligações em Estruturas Metálicas	28
2.1.4	Patologia das Construções.....	42
2.2	Principais patologias que acometem os sistemas metálicos.....	44
2.3	PATOLOGIAS DO AÇO – corrosão	44
2.4	PATOLOGIAS das estruturas metálicas	47
2.5	Patologias das ligações.....	50
2.5.1	ligações parafusadas.....	51
2.5.2	ligações soldadas	55
3	DISCUSSÃO	68
3.1	Impactos das patologias das ligações no mecanismo de transmissão de esforços da estrutura	68
3.2	Principais ações para minimizar a ocorrência de patologias.....	69
4	CONCLUSÃO	73
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cargas Verticais Fonte: IBS/CBCA. 2004.....	21
Figura 2 - Cargas Horizontais Fonte: IBS/CBCA. 2004.....	21
Figura 3 – Estrutura com Pórticos Rígidos - Fonte: IBS/CBCA. 2004.....	23
Figura 4 – Estrutura Contraventada - Fonte: IBS/CBCA. 2004.....	24
Figura 5 - Estrutura com Parede de Cisalhamento - Fonte: IBS/CBCA. 2004 .	25
Figura 6 – Estrutura com Núcleo de Concreto - Fonte: IBS/CBCA. 2004	26
Figura 7 - Estrutura Tubular Fonte: IBS/CBCA. 2004.....	27
Figura 8 - Detalhe colunas de aço com 5 cm de espessura.....	27
Figura 9 - Detalhe placa de base com chumbadores para fixação.....	28
Figura 10 - Detalhe de apoio articulado	28
Figura 11 – Exemplos de Ligações Metálicas (IBS/CBCA – 2004)	30
Figura 12 - Ligação Rígida (IBS/CBCA – 2004).....	31
Figura 13 – Ligação Flexível (IBS/CBCA – 2004)	31
Figura 14 - Cisalhamento Centrado - Fonte: IBS/CBCA. 2004.....	31
Figura 15 - Cisalhamento Excêntrico - Fonte: IBS/CBCA. 2004.....	32
Figura 16 - Exemplo de Tração Centrada - Fonte: IBS/CBCA. 2004	32
Figura 17 - Exemplo de Tração com Cisalhamento - Fonte: IBS/CBCA. 2004	32
Figura 18 - Tipos de Cordões de Solda – IBS/CBCA (2004).....	33
Figura 19 - Fluxo de tensões em solda de filete e solda de entalhe – IBS/CBCA (2004).....	34

Figura 20 – Simbologia para Tipos de Junta (ANDRADE, 2000)	35
Figura 21 – Tipos de Solda (ANDRADE, 2000).....	35
Figura 22 – Símbolos Básicos de Solda (ANDRADE, 2000).....	36
Figura 23 – Simbologia Suplementar de Solda (ANDRADE, 2000)	36
Figura 24 – Simbologia para Indicar a Posição da Soldagem (ANDRADE, 2000)	36
Figura 25 – Locação dos Elementos de um Símbolo de Solda (ANDRADE, 2000).....	37
Figura 26 – Exemplos de Simbologias Típicas de Solda (ANDRADE, 2000)...	37
Figura 27 – Tabela 7 da NBR 8800:2008 – Compatibilidade do metal-base com o metal da solda	38
Figura 28 – Transmissão de Esforços em Parafusos Comuns (IBS/CBCA,2004)	40
Figura 29 – Cones de Pressão (IBS/CBCA,2004).....	40
Figura 30 – Cilindros de Pressão (IBS/CBCA,2004)	41
Figura 31 – Ligação à força cortante por atrito.....	41
Figura 32- Ligação à força cortante por contato.....	41
Figura 33 – Verificações na Chapa Devido a Presença dos Furos (IBS/CBCA,2004)	42
Figura 34 - Tipos de Corrosão - Fonte: PONTE (2003).....	46
Figura 35 - Média geral das falhas em estrutura metálica em vários países europeus.	49
Figura 36 - Erro fabricante, parafuso não se ajusta ao furo. (CASTRO,1999) .	50

Figura 37 - Falha de projeto, falta de compatibilização entre os elementos de ligação. (CASTRO,1999).....	50
Figura 38- Incompatibilidade entre o projeto da estrutura metálica e da estrutura de concreto. (CASTRO,1999)	50
Figura 39 - Flambagem provavelmente devido ao subdimensionamento da peça. (CASTRO,1999)	50
Figura 40- Amassamento em Ligação para Acesso ao Furo – Fonte: CASTRO (1999).....	53
Figura 41 - Falta de Furo no Pilar – Fonte: CASTRO (1999)	53
Figura 42 - Desalinhamento Generalizado – Fonte: CASTRO (1999).....	53
Figura 43 - Peça com comprimento menor que o necessário. – Fonte: CASTRO (1999).....	54
Figura 44 - Peça com comprimento maior que o necessário. – Fonte: CASTRO (1999).....	54
Figura 45 – Ligação instável por falta de aperto nos parafusos. – Fonte: CASTRO (1999).....	55
Figura 46 – Perfis adequados de soldas de filete e suas dimensões: p1 e p2 – pernas e g – garganta. Cordão côncavo (a) e convexo (b). (MODENESI – 2001)	57
Figura 47 – Exemplos de perfis inadequados de soldas de filete (MODENESI – 2001).....	57
Figura 48 – Desalinhamento em junta de topo. (MODENESI – 2001)	58
Figura 49 – Esquema dos tipos de distribuição de porosidade: (a) distribuída, (b) agrupada e (c) alinhada (radiografia esquemática). (MODENESI – 2001) .	59
Figura 50 – Porosidade distribuída – Fonte: CASTRO (1999)	59

Figura 51 – Porosidade vermicular (a) e porosidade agrupada (b) Fonte: BARRA E PEREIRA, 1999	59
Figura 52 – Visualização de inclusão de escória através de radiografia – Fonte: CASTRO (1999)	60
Figura 53- Esquema de inclusão de escória – Fonte: MODENESI (2001).....	60
Figura 54 – Esquema de mordeduras – Fonte: MODENESI (2001).....	60
Figura 55 – Exemplo de mordeuras – Fonte: CASTRO (1999).....	60
Figura 56 – Junta T, mostrando duas mordeduras em solda de filete.....	61
Figura 57 – Localizações usuais das ocorrências de falta de fusão. Fonte: BARRA E PEREIRA, 1999	61
Figura 58 – Exemplos de falta de fusão – Fonte: CASTRO (1999).....	61
Figura 59 – Localizações usuais de ocorrências de falta de penetração	62
Figura 60 – Esquema de falta de penetração Fonte: MODENESI (2001)	62
Figura 61 – Exemplo de falta de penetração Fonte: CASTRO (1999)	62
Figura 62 – Falta de usinagem nas extremidades das ligações- Fonte: CASTRO (1999)	63
Figura 63 – Incompatibilidade entre perfis - Fonte: CASTRO (1999).....	63
Figura 64 – Mistura de ligações - Fonte: CASTRO (1999).....	64
Figura 65 – Amassamento das extremidades- Fonte: CASTRO (1999).....	64
Figura 66 – Trinca no centro do cordão de solda - Fonte: MODENESI (2001)	65
Figura 67 – Descontinuidades diversas Fonte: MODENESI (2001)	65
Figura 68 – Exemplo de trinca no cordão de solda - Fonte: CASTRO (1999)..	65
Figura 69 – Exemplo de trincas Fonte: CASTRO (1999)	65

Figura 70 – Exemplos de radiografias de soldas com descontinuidades: (a) Falta de penetração, (b) inclusão de escória e (c) porosidade agrupada – Fonte: MODENESI (2001)..... 67

Figura 71 - Tipos de problemas e soluções típicas - Fonte : Pannoni (2012) .. 71

Figura 72 - Tipos de problemas e soluções típicas - Fonte : Pannoni (2012) .. 72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do Aço Estrutural.....	17
Tabela 2 – Aços Estruturais ASTM usados no Brasil	18
Tabela 3 – Aços Estruturais ASTM usados no Brasil (continuação)	19
Tabela 4 - Parafusos Estruturais	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos Tipos de Corrosão	45
Quadro 2 - Patologias Mais Comuns Em Estruturas Metálicas	49

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

d = diâmetro em mm

f_u = resistência à ruptura

f_y = resistência ao escoamento

MPa = mega pascal

mm = milímetro

t = menor dimensão do perfil ou diâmetro da seção transversal da barra em milímetro

tf/cm^2 = tonelada-força por centímetro quadrado

FCAW = Flux Cored Arc Welding (arco elétrico com fluxo no núcleo)

GMAW = Gas Metal Arc Welding (arco elétrico com proteção gasosa)

SAW = Submerged Arc Welding (arco submerso)

SMAW = Shielded Metal Arc Welding (arco elétrico com eletrodo revestido)

ASTM = American Society for Testing and Materials, West Conshohocken (Estados Unidos)

AWS = American Welding Society, Miami (Estados Unidos)

CBCA = Centro Brasileiro de Construção em Aço, Rio de Janeiro (Brasil).

IBS = Instituto Brasileiro de Siderurgia, Rio de Janeiro (Brasil).

ISO = International Organization for Standardization, Genebra (Suíça)

NBR = Norma Brasileira

RESUMO

Neste trabalho, faz-se um levantamento das principais patologias que acometem os elementos de ligação em estruturas metálicas. Através de uma revisão bibliográfica são apresentados inicialmente os conceitos do aço estrutural, dos elementos que compõem as estruturas metálicas, das principais tipologias estruturais, além dos componentes e tipos de ligações em estruturas metálicas. Na sequência são apresentados os conceitos de patologia das edificações, as principais patologias que atingem as construções em aço e as patologias que acometem os elementos de ligação.

Conclui-se com uma discussão a cerca das principais ações que podem minimizar, senão evitar o aparecimento de patologias nos elementos de ligação e evitar o comprometimento precoce da estrutura.

1 INTRODUÇÃO

Analogamente ao corpo humano o corpo edifício também é acometido por doenças que comprometem a sua funcionalidade, desempenho e até a própria estabilidade e por consequência a sobrevida da edificação.

Cada sistema construtivo e seus componentes se assemelham aos sistemas e órgãos dos corpos biológicos, e são acometidos por patologias particulares e específicas. O estudo das patologias das edificações, portanto, se divide em tantas especialidades quantos são os sistemas construtivos e suas partes constituintes. No presente trabalho o foco será sobre os sistemas construtivos em estruturas metálicas, particularmente, sobre os elementos de ligação.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma análise geral sobre as patologias que acometem os elementos de ligação em estruturas metálicas, sejam estas ligações parafusadas ou soldadas. Tendo como foco central avaliar como as patologias dos elementos de ligação interferem e prejudicam os mecanismos de transmissão de esforços da estrutura e quais as principais ações para minimizar a ocorrência de patologias nesta componente da estrutura.

Primeiramente buscar-se-á apresentar em linhas gerais os elementos que compõem um sistema construtivo em estrutura metálica e suas funções dentro da estrutura.

Serão estudados os mecanismos de ligação entres os componentes de um sistema metálico, apresentando-se os sistemas de ligações existentes e, em linhas gerais, quais os princípios de transferência de esforços entre a estrutura e os elementos de ligação.

Será apresentada também uma abordagem geral sobre o conceito de patologia das construções e em seguida, mais detalhadamente, as patologias que acometem os sistemas metálicos e em particular os elementos de ligação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Largamente usado na construção civil, o aço pode estar presente como parte das obras ou como material principal. O sistema construtivo em aço permite liberdade no projeto de arquitetura, maior área útil, flexibilidade, compatibilidade com outros materiais, menor prazo de execução, racionalização de materiais e mão-de-obra, alívio de carga nas fundações, garantia de qualidade, maior organização nos canteiros de obras e precisão construtiva.

A seguir serão apresentados alguns conceitos a cerca dos elementos que compõem um sistema metálico e como estes se interrelacionam. E a dinâmica de funcionamento dos elementos de ligações. Assim como os aspectos normativos para sua escolha e dimensionamento.

Também será apresentada uma abordagem geral sobre os conceitos de patologias das edificações e principalmente aquelas que acometem os sistemas metálicos e os seus elementos de ligação.

2.1 CONCEITOS

2.1.1 O AÇO ESTRUTURAL

Na construção civil, o interesse maior incide sobre os aços estruturais de média e alta resistência mecânica por sua capacidade em resistir aos esforços solicitantes, ductilidade e outras propriedades. 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;
- boa trabalhabilidade em operações como corte, furação e dobramento, sem originar fissuras ou outros defeitos.

De acordo com Margarido (2007) os aços estruturais podem ser classificados conforme a tensão de limite de escoamento, como Aço Carbono de Média Resistência, Aço de Alta Resistência e Baixa Liga, Aço Carbono de Baixa Liga Tratado Termicamente e Aços Ligados Tratados Termicamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação do Aço Estrutural

Tipo	Limite de Escoamento (MPa)
Aço carbono de média resistência	210 a 280
Aço de alta resistência e baixa liga	280 a 490
Aço carbono de baixa liga tratado termicamente	320 a 700
Aços ligados tratados termicamente	630 a 700

Fonte: CBCA – Uso do Aço na Arquitetura - MARGARIDO, A. F.

A NBR 8800/2008 estabelece que os aços para uso em estruturas devem ter a sua qualificação estrutural assegurada por norma brasileira ou na falta desta por normatização estrangeira e devem obrigatoriamente possuir resistência de escoamento máxima de 450 MPa e relação entre a resistência à ruptura (f_u) e ao escoamento (f_y) igual ou superior a 1,18.

As tabelas 2 e 3 apresentam os principais tipos de aços estruturais série ASTM usados no Brasil, nas formas como são encontrados no mercado (produto, grau e grupo) e as suas resistências ao escoamento (f_y) à ruptura (f_u) em tf/cm^2 . O símbolo “t” corresponde à menor dimensão ou ao diâmetro da seção transversal da barra em milímetros.

O grau geralmente tem referência com o limite de resistência ao escoamento e os grupos de perfis laminados para efeito de propriedades mecânicas são definidos como:

- grupo 1: Perfis com espessura de mesa inferior ou igual a 37,5 mm;
- grupo 2: Perfis com espessura de mesa superior a 37,5 mm e inferior ou igual a 50 mm;
- grupo 3: Perfis com espessura de mesa superior a 50 mm;
- grupo 4: Perfis tubulares.

Tabela 2 – Aços Estruturais ASTM usados no Brasil

AÇOS ASTM					
DENOMINAÇÃO	PRODUTO	Grau/Grupo		f_v (tf/cm ²)	f_u (tf/cm ²)
A36 – é o mais usado em estruturas metálicas, podendo ser usado em edifícios, pontes e estruturas em geral e ser empregado com ligações rebitadas, parafusadas e soldadas.	Perfis	Todos os grupos		2,50	4,00 a 5,50
	Barras	t ≤ 200			
	Chapas	t ≤ 100			
A570 - é apresentado em vários graus para ser empregado na confecção de perfis de chapa dobrada, devido à sua ductilidade.	Chapas	Todos os grupos	Grau 33	2,30	3,60
			Grau 40	2,80	3,80
A500 – é usado na fabricação de tubos com e sem costura, para tipos redondos, quadrados ou retangulares. É empregado em dois graus. Para tubos sem costura são empregados até a espessura de 12,5 mm e diâmetro de 258 mm. Com costura até 10 mm e diâmetro de 258 mm.	Tubos	Redondo	Grau A	2,32	3,20
			Grau B	2,96	4,08
		Quadrado ou retangular	Grau A	2,74	3,20
			Grau B	3,23	4,08
A501 – é usado tanto na fabricação de tubos com e sem costura, para tipos redondos, quadrados e retangulares. Tem a mesma resistência do A36. É empregado até 25 mm de espessura com diâmetro variando de 12 a 600 mm.	Tubos	Todos os grupos		2,50	4,08

Tabela 3 – Aços Estruturais ASTM usados no Brasil (continuação)

AÇOS ASTM					
DENOMINAÇÃO	PRODUTO	Grau/Grupo	f_v (tf/cm ²)	f_u (tf/cm ²)	
A441 – é usado onde se requer um grau de resistência maior. É apresentado em vários graus, podendo ser empregado em qualquer tipo de estrutura com ligações soldadas, parafusadas ou rebitadas.	Perfis	Grupos 1 e 2	3,45	4,85	
		Grupos 3	3,15	4,60	
	Chapas e barras	t ≤ 19	3,45	4,85	
		t ≤ 19	3,15	4,60	
		19 ≤ t ≤ 38	2,90	4,35	
		38 ≤ t ≤ 100	2,75	4,15	
A572 – é usado onde se requer um grau de resistência maior. É apresentado em vários graus, podendo ser empregado em qualquer tipo de estrutura com ligações soldadas, parafusadas ou rebitadas.	Perfis	Todos os Grupos	Grau 42	2,90	4,15
			Grau 50	3,45	4,50
	Chapas e barras	Grau 42 (t ≤ 150)		2,90	4,15
		Grau 50 (t ≤ 50)		3,45	4,50
A242 – é caracterizado por ter uma resistência à corrosão duas vezes a do aço carbono, podendo ser empregado com ligações soldadas, parafusadas ou rebitadas e em estruturas em geral.	Perfis	Grupos 1 e 2	3,45	4,80	
		Grupos 3	3,15	4,60	
	Chapas e barras	t ≤ 19	3,45	4,80	
		19 ≤ t ≤ 38	3,15	4,60	
		38 ≤ t ≤ 100	2,90	4,35	
A588 – é empregado onde se requer uma redução de peso aliado a uma resistência maior à corrosão atmosférica, que é quatro vezes a do aço carbono. É empregado principalmente em pontes, viadutos e estruturas especiais, pois devido à sua resistência à corrosão pode dispensar a pintura, exceto em ambientes agressivos. Pode ser empregado em estruturas soldadas, parafusadas ou rebitadas.	Perfis	Todos os grupos	3,45	4,85	
	Chapas e barras	t ≤ 100	3,15	4,85	
		100 ≤ t ≤ 127	3,15	4,60	
		127 ≤ t ≤ 200	2,90	4,35	

f_y – tensão de escoamento; f_u – tensão de ruptura

Fonte: CBCA – Uso do Aço na Arquitetura - MARGARIDO, A. F.

2.1.2 ESTRUTURAS METÁLICAS - COMPONENTES

Segundo PINHO (1999), simplificada, os elementos que compõem um sistema de estruturas metálicas são essencialmente os pilares, as vigas, as vigas secundárias, os sistemas de treliças e os contraventamentos.

Já GESCHWINDNER (2008) define os componentes estruturais em função dos esforços a que estão submetidos. Para este autor existem cinco tipos principais de componentes estruturais: os membros de tensão, os membros de compressão, os membros de flexão, os membros de força combinada e as conexões. Os membros de tensão são normalmente encontrados como contraventamentos e componentes do sistema de treliças que suportam apenas as forças de tração ou extensão. Os membros de compressão são as colunas, escoras ou pilares, são os membros verticais ou nos contraventamentos e sistemas treliçados as peças que estão sendo comprimidas ou esmagadas. Os membros de flexão são conhecidos como vigas, vigas mestras, travessas, terças e vergas. Cada um destes elementos tem sua própria aplicação estrutural, mas normalmente vão suportar os momentos de flexão e as forças de cisalhamento como cargas primárias e as forças axiais e de torção como cargas secundárias. Os membros de força combinada são as peças submetidas à flexão e compressão axial.

Com a função de promover a união dos componentes estruturais e garantir a continuidade e a unicidade da estrutura e a consequente transmissão das cargas e esforços solicitantes são utilizados os elementos de ligação ou conexões.

2.1.2.1 TIPOLOGIAS ESTRUTURAIS

A principal função de um sistema estrutural é definir e apoiar os ambientes em uma edificação. Para que isso aconteça é necessário que o sistema seja capaz de distribuir todas as cargas associadas ao uso determinado para a edificação e seu próprio peso.

As cargas verticais, Figura 1, devem estar distribuídas para a fundação com

segurança. Assim como a estrutura também deve ser capaz de suportar as forças horizontais, Figura 2, consideradas forças induzidas, associados ao vento e a possíveis abalos.

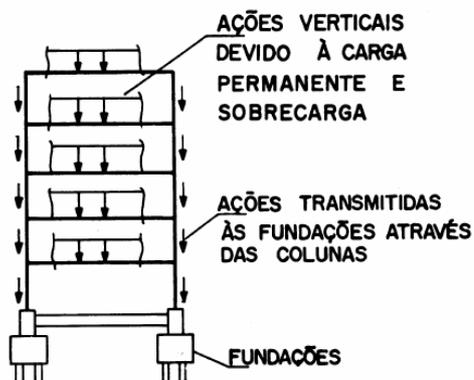


Figura 1 - Cargas Verticais
Fonte: IBS/CBCA. 2004

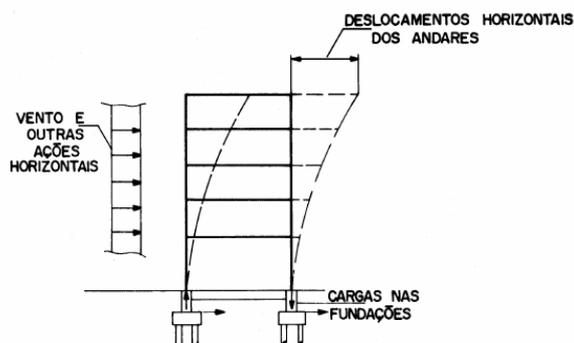


Figura 2 - Cargas Horizontais
Fonte: IBS/CBCA. 2004

A NBR 8800/2008 estabelece que na análise estrutural deve-se considerar a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos sobre a estrutura, levando-se em consideração a sua natureza e as suas possíveis combinações e aplicando-se os respectivos coeficientes de ponderação. Esta verificação é feita tanto para os estados limites últimos quanto para os estados limites de serviço.

Ainda segundo a referida norma as ações podem ser classificadas em Permanentes, Variáveis e Excepcionais:

As Ações Permanentes são aquelas que possuem valores constantes ao longo de toda a vida útil da estrutura, ou aquelas que sofrem acréscimo ao longo do tempo, mas que tendem a um valor limite constante.

Estas ações se subdividem em Diretas e Indiretas. As Diretas são aquelas constituídas pelo peso próprio da estrutura, dos seus elementos construtivos fixos e das instalações permanentes, assim como também pelos empuxos e pelo peso de materiais granulosos permanentes na estrutura.

As Ações Permanentes Indiretas são constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio e imperfeições geométricas.

As Ações Variáveis, como o próprio nome já diz, se refere às ações que apresentam variações significativas durante a vida útil da estrutura. Geralmente estão associadas ao uso da estrutura (sobrecargas em pisos, coberturas, equipamentos, divisórias móveis, etc.) e a cargas devido a pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas devido à ação do vento e à variação de temperatura da própria estrutura.

A NBR 8800/2008 também classifica como Variáveis as ações devido a choques e vibrações a que a estrutura estiver sujeita devido ao uso, devendo ser feita durante o dimensionamento a verificação destes efeitos assim como a verificação da possibilidade de fadiga.

As Ações Excepcionais são aquelas com duração extremamente curta e com probabilidade de ocorrência durante a vida útil da estrutura muito baixa. São exemplos, o choque de veículos, explosões, incêndios, enchentes, abalos sísmicos.

Na NBR 8800/2008 estão definidos os critérios para consideração de cada uma das ações que atuam sobre a edificação.

Como já mencionado, a enorme gama de possibilidade de combinações entre os elementos estruturais e as formas de ligação, permite uma maior liberdade arquitetônica. Para a escolha da tipologia estrutural ótima deve-se buscar aquela que resista aos esforços de maneira mais econômica.

De acordo com o IBS (2004) as configurações estruturais típicas podem ser classificadas em função da forma como são resistidos os esforços horizontais. As principais tipologias são as estruturas com pórticos rígidos, as estruturas contraventadas, as estruturas com paredes de cisalhamento, as estruturas com núcleo de concreto e as estruturas tubulares, a seguir será apresentada uma breve explanação a cerca de cada uma destas tipologias.

2.1.2.1.1 Estrutura com Pórticos Rígidos

Ao longo das filas e eixos da estrutura, as ligações de algumas vigas com

colunas, convenientemente escolhidas, são projetadas como rígidas, de forma a se obter um conjunto de pórticos verticais rígidos com a mesma altura do edifício.

Dessa forma, a estrutura composta por pórticos verticais rígidos e lajes rígidas adquire estabilidade como um todo para as cargas horizontais em função da rigidez à flexão das vigas e colunas que compõem os pórticos.

As vigas que não fazem parte dos pórticos são rotuladas nas colunas. Os esforços horizontais atuantes no plano do piso são transferidos aos pórticos através da rigidez da laje de piso dos andares. Como exemplificado na figura 3.

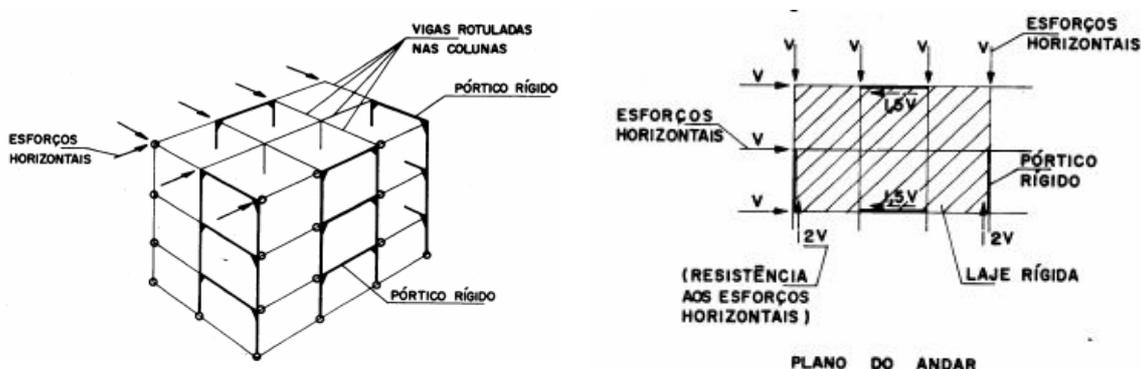


Figura 3 – Estrutura com Pórticos Rígidos - Fonte: IBS/CBCA. 2004

A principal vantagem desse sistema é deixar livres para a utilização todos os vãos entre colunas, sem os inconvenientes dos contraventamentos ou paredes dos demais sistemas.

As principais desvantagens são:

- sistema menos econômico comparado com os outros;
- as ligações engastadas vigas-colunas são de execução mais elaborada;
- as colunas dos pórticos rígidos são expressivamente mais pesadas porque, além da compressão, são dimensionadas também a flexão e as deformações horizontais são fator preponderante no dimensionamento, ocasionando menor aproveitamento da resistência do aço.

2.1.2.1.2 Estrutura Contraventada

A estabilidade estrutural é obtida através de contraventamentos verticais ao invés de ligações vigas-colunas engastadas. Os contraventamentos geralmente, em “X” ou “K” são colocados ao longo de toda a altura do edifício.

A estrutura adquire rigidez horizontal através de efeitos de tração e compressão nas diagonais, além dos efeitos adicionais de tração e compressão nas colunas adjacentes aos contraventamentos.

Também nesse sistema estrutural, os esforços são transferidos aos pórticos através da rigidez das lajes dos pisos. Como pode ser visto na figura 4.

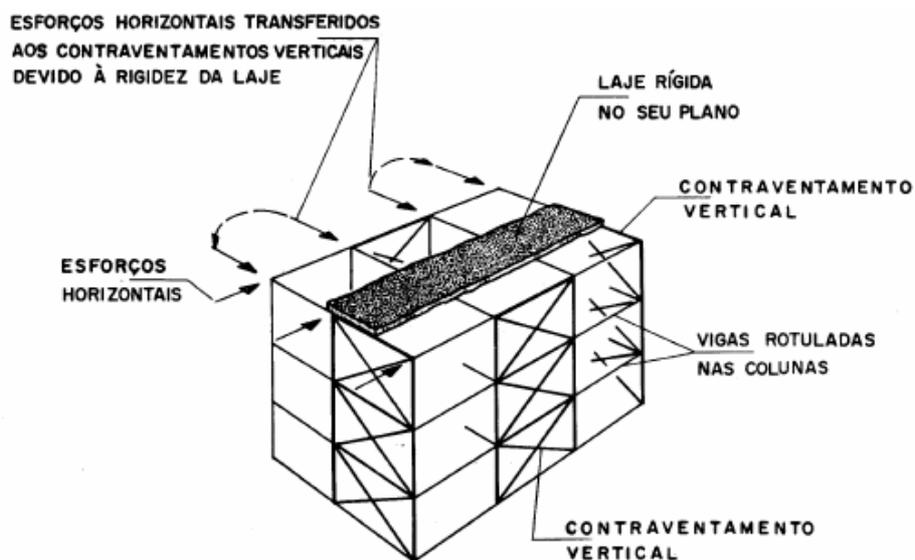


Figura 4 – Estrutura Contraventada - Fonte: IBS/CBCA. 2004

A principal desvantagem desse sistema é a interferência provocada pelos vãos contraventados internamente com a circulação dentro do edifício e externamente com a colocação de esquadrias nas fachadas.

As principais vantagens são:

- resulta em um edifício mais leve, portanto mais econômico;
- as ligações das vigas com colunas são de execução mais fácil;

- as colunas são mais leves porque são dimensionadas apenas ao efeito de forças normais;
- alta rigidez proporcionando baixos deslocamentos horizontais.

2.1.2.1.3 Estrutura com Paredes de Cisalhamento

Nesse caso a rigidez horizontal da estrutura é conseguida através de paredes de concreto armado ou alvenaria estrutural, construídas nos vãos entre vigas e colunas, em cada andar.

Alternativamente, uma parede armada pode substituir uma linha inteira de colunas no edifício, de tal forma que, além do enrijecimento horizontal por ela promovido, também absorva as cargas verticais das colunas. Como ilustrado na figura 5.

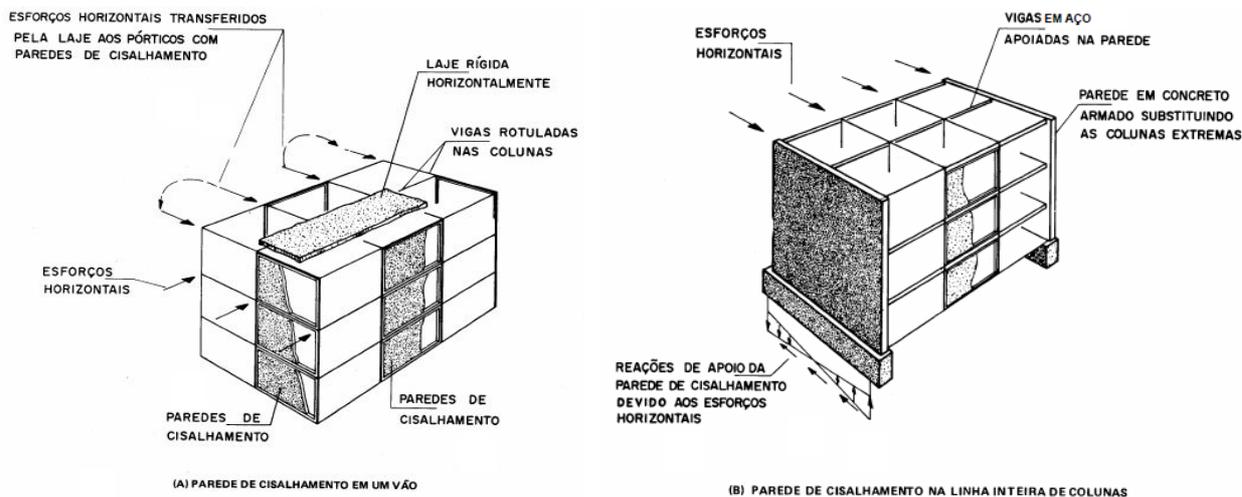


Figura 5 - Estrutura com Parede de Cisalhamento - Fonte: IBS/CBCA. 2004

Esse sistema também conduz a uma estrutura final leve, com as vigas rotuladas nas colunas.

As suas principais desvantagens são com relação às paredes de cisalhamento:

- perda de flexibilidade de circulação interna e de recursos arquitetônicos nas fachadas, devido à presença das paredes de cisalhamento;

- necessidade destas paredes serem construídas numa rapidez compatível com a montagem da estrutura, ou a utilização de contraventamentos de montagem.

2.1.2.1.4 Estrutura com Núcleo de Concreto

Esta solução tem a conveniência de conciliar a circulação vertical com um núcleo rígido de concreto, que é usado para dar estabilidade horizontal à estrutura do edifício. Como visto na figura 6.

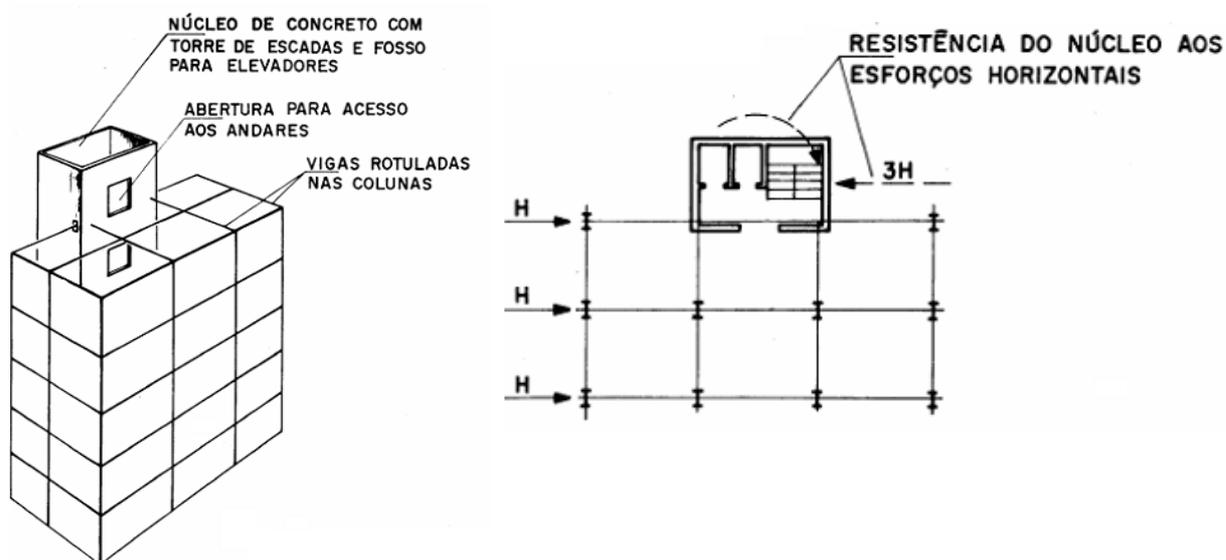


Figura 6 – Estrutura com Núcleo de Concreto - Fonte: IBS/CBCA. 2004

As torres de escadas e o poço dos elevadores ficam localizados no interior desse núcleo, estando assim isolados do corpo do edifício através das paredes laterais do núcleo, ao longo de toda altura.

Como às vezes o núcleo está localizado fora do centro de gravidade do edifício ele, além dos esforços horizontais e verticais, tem também que absorver esforços de torção.

A conveniência dessa solução surge quando, além de necessária a presença do núcleo por questões de segurança (contra incêndio, por exemplo), a ação de resistir aos esforços horizontais não exigir espessura de parede elevada e, portanto, antieconômica.

Uma desvantagem é a possibilidade de atraso na montagem da estrutura em decorrência da velocidade de execução do núcleo de concreto.

2.1.2.1.5 Estrutura Tubular

É o resultado da evolução estrutural dos edifícios de grande altura. Os pórticos ou contraventamentos são trazidos para as faces externas do edifício, ao longo de toda altura e todo perímetro, obtendo-se na forma final um grande tubo reticulado altamente resistente aos efeitos de flexão e torção, como ilustrado nas figuras 7 e 8. Este sistema estrutural foi utilizado em grandes edificações como World Trade Center.

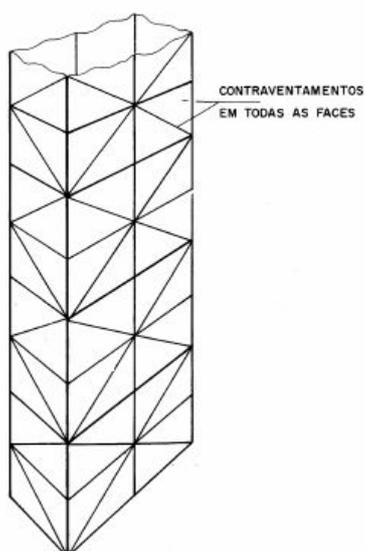


Figura 7 - Estrutura Tubular
Fonte: IBS/CBCA. 2004



Figura 8 - Detalhe colunas de aço com 5 cm de espessura

2.1.2.2 INTERFACE COM AS FUNDAÇÕES

Nas construções metálicas as fundações devem ser observadas com critério uma vez que a forma como são consideradas as transmissões das cargas para o solo interferem diretamente no desempenho da edificação.

Em edifícios, torres e galpões, um sistema de distribuição de cargas que pode ser utilizado em fundações são placas de base niveladas e fixadas por chumbadores na interface entre o perfil e o sistema de fundação para garantir a

transferência de cargas. (Figura 9)

Já em pontes e viadutos onde ocorre uma movimentação maior da estrutura em função da transmissão das cargas de rolagem, o sistema mais comum de ligação entre a estrutura e o sistema de fundação são os apoios articulados que permitem a livre movimentação da estrutura. (Figura 10)



Figura 9 - Detalhe placa de base com chumbadores para fixação



Figura 10 - Detalhe de apoio articulado

2.1.3 SISTEMAS DE LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Denominam-se ligações todos os detalhes construtivos que tenham por finalidade promover a união das partes que compõem a estrutura, assim como a união da estrutura com elementos externos, sejam estes fundações ou estruturas adjacentes (IBS/CBCA, 2004).

Além de promover a união entre as partes, as ligações tem a função de transmitir os esforços de uma peça a outra, portanto, é fundamental que elas sejam dimensionadas para trabalharem de forma semelhante às peças a ela conectadas, sustentando as solicitações provenientes de reações da estrutura frente às cargas de projeto.

De acordo com FRUCHTENGARTEN (2001), CASTRO (1999) e IBS/CBCA (2004) as ligações metálicas são formadas pelos elementos de ligação (enrijecedores, cobrejuntas, cantoneiras de assento, consoles, etc.) e os meios de ligação (soldas, parafusos e barras rosqueadas). Cada um dos componentes da ligação devem ser dimensionados de forma a resistir aos

máximos esforços solicitantes de cálculo. Estes esforços são determinados a partir da combinação das ações para os estados limites últimos, conforme orientações da NBR 8800/2008.

O tipo de ligação a ser utilizado depende das características de cada projeto, mas os sistemas usualmente utilizados são as ligações parafusadas e as ligações soldadas. As ligações por rebite, usadas até a década de 60, caíram em desuso devido a sua baixa resistência mecânica, a necessidade de execução por mão de obra especializada e dificuldades nos procedimentos de inspeção e controle. Para as ligações executadas ainda na fábrica, usa-se normalmente a solda, já nas montagens em campo são preferidas as ligações parafusadas. (IBS/CBCA, 2004)

SILVA (2012) destaca que a conjugação das ilimitadas possibilidades de cortes, furação e soldaduras dos componentes que formam um elemento de ligação tem por resultado um número ilimitado de tipos de ligações. A figura 11 apresenta alguns exemplos de ligações metálicas.

CASTRO (1999) e IBS/CBCA (2004) acrescentam que uma ligação pode ser classificada em função da relação entre o momento fletor transmitido por esta e a rotação relativa entre as linhas elásticas dos elementos conectados, são as ligações rígidas, flexíveis e semi-rígidas. Define-se como ligações rígidas aquelas nas quais é garantida a continuidade da estrutura e as rotações relativas são totalmente restringidas, ou admitida uma restrição da ordem de 90% da rotação teórica verificada sob condição de rótula ideal (Figura 12). Já para as ligações flexíveis não há restrição quanto às rotações relativas ou admite-se um restrição máxima igual a 20% da rotação teórica, verificada sob a condição de rótula ideal (Figura 13). As ligações que não se enquadram nas definições acima são denominadas semi-rígidas.

Silva (2012), citando Dowling, Knowles e Owens (1988) ressalta que a previsão do comportamento das ligações metálicas apresenta um elevado grau de incerteza devido principalmente à associação de sua complexidade geométrica às imperfeições, tensões residuais, situações de contato e escorregamento e uma falta de repetibilidade na produção das ligações.

CASTRO (1999) também alerta para esta complexidade uma vez que as ligações reais não correspondem na sua totalidade ao modelo teórico adotado na sua concepção.

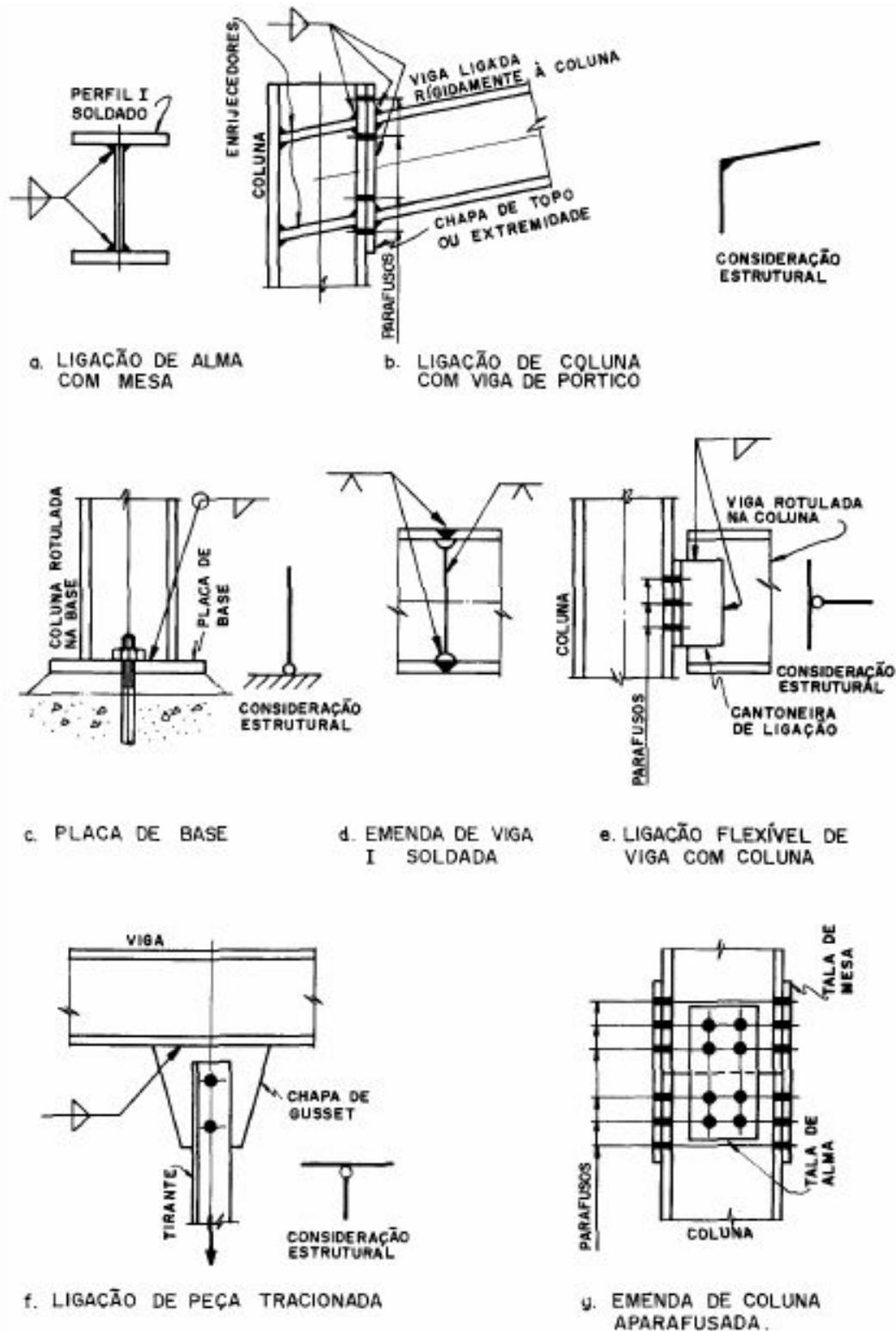


Figura 11 – Exemplos de Ligações Metálicas (IBS/CBCA – 2004)

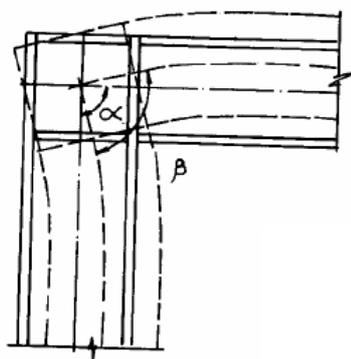


Figura 12 - Ligação Rígida
(IBS/CBCA – 2004)

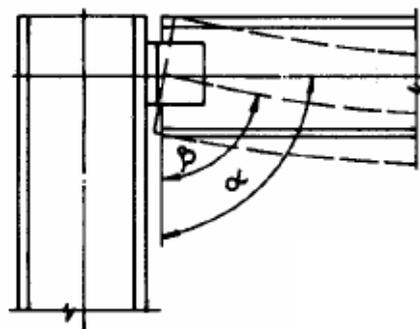


Figura 13 – Ligação Flexível
(IBS/CBCA – 2004)

Ainda segundo o IBS/CBCA (2004) além da classificação em relação aos meios de ligação (soldadas ou parafusadas), as ligações podem ser classificadas também em relação aos tipos de esforços solicitantes e a posição relativa destes e dos grupos de parafusos ou linhas de solda resistentes. As ligações parafusadas devem resistir aos esforços de tração e cisalhamento, já as ligações soldadas devem resistir aos esforços de tração, compressão e cisalhamento. De acordo com a posição relativa entre o ponto de aplicação da carga e as linhas de parafusos ou soldas as ligações são classificadas em cisalhamento centrado (Figura 14), cisalhamento excêntrico (Figura 15), tração ou compressão (Figura 16), tração ou compressão com cisalhamento (Figura 17).

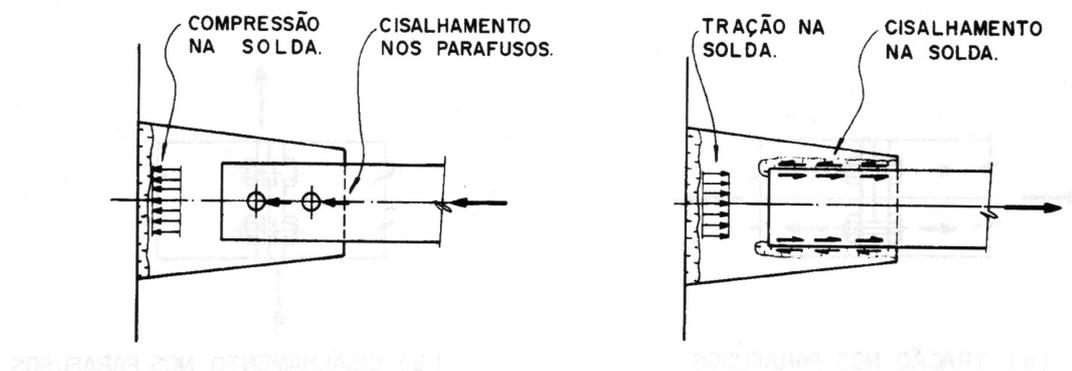


Figura 14 - Cisalhamento Centrado - Fonte: IBS/CBCA. 2004

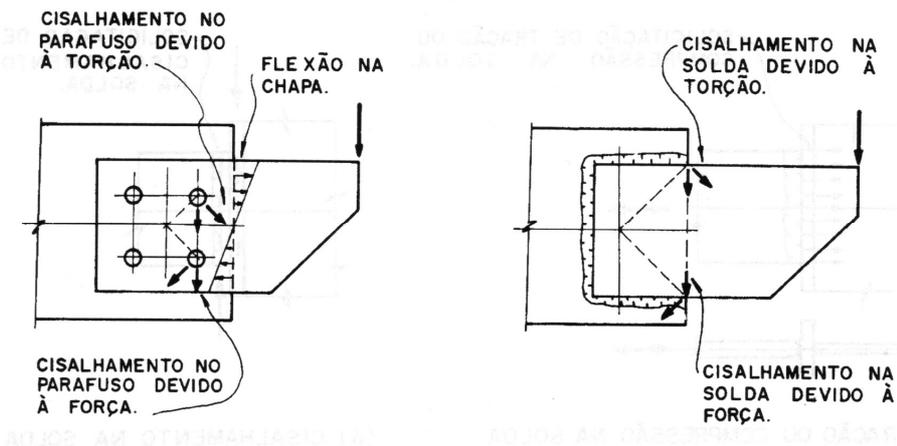


Figura 15 - Cisalhamento Excêntrico - Fonte: IBS/CBCA. 2004

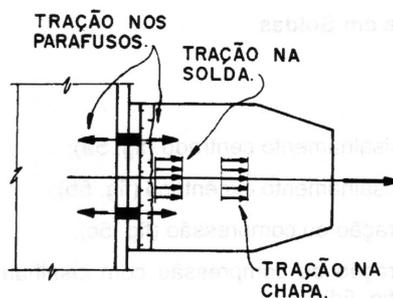


Figura 16 - Exemplo de Tração Centrada - Fonte: IBS/CBCA. 2004

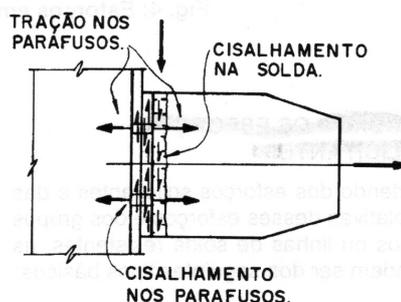


Figura 17 - Exemplo de Tração com Cisalhamento - Fonte: IBS/CBCA. 2004

2.1.3.1 LIGAÇÕES SOLDADAS

A solda pode ser definida como um meio de ligação que produz a aglutinação de materiais, aquecendo-os a temperaturas adequadas, com utilização eventual de pressão e materiais consumíveis. (ANDRADE, 2000)

CASTRO (1999) define a solda como um meio de ligação que atua tal como

uma “cola” que se incorpora ao metal base, possibilitando que as tensões sejam transmitidas diretamente pelo meio de ligação, como se fosse a ligação fosse monolítica com as peças ligadas. O mesmo autor ainda destaca que uma solda bem executada dificilmente entrará em colapso antes das peças ligadas, uma vez que a resistência do metal que a compõe é sempre superior a resistência do metal base.

Teoricamente a solda consiste no melhor dispositivo de ligação, uma vez que garante ao longo da junta a continuidade das propriedades químicas e físicas da peça, proporcionando economia e aproveitamento de material, redução dos elementos de ligações, maior rigidez estrutural, redução significativa de peso em aço e agilidade na fabricação e montagem.

As principais vantagens deste tipo de ligação são a economia do material, a rigidez da estrutura mais próxima do modelo teórico, a facilidade de realizar modificações nos desenhos, maior possibilidade de corrigir erros durante a montagem, a menor quantidade de peças utilizadas, resultando em menor tempo de detalhe, fabricação e montagem. Já as desvantagens são a redução no comprimento para estruturas com grande extensão, a disponibilidade de fornecimento de energia elétrica suficiente no local da montagem, o maior cuidado exigido na análise da possibilidade de fadiga da ligação.

Os principais tipos de solda são os de filete e os de entalhe, sendo estes últimos de penetração total ou parcial. (figura 18)

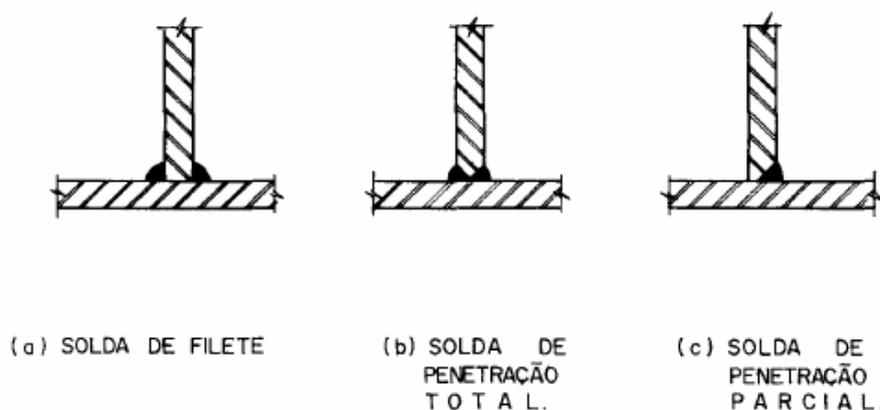


Figura 18 - Tipos de Cordões de Solda – IBS/CBCA (2004)

A figura 19 ilustra o caminho dos esforços solicitantes em uma solda de filete e em uma solda de entalhe. Na solda de filete (a) a descontinuidade do material altera o fluxo de tensões, enquanto na solda de entalhe por penetração total (b) o fluxo de tensões não sofre alterações, como se o material fosse um conjunto único.

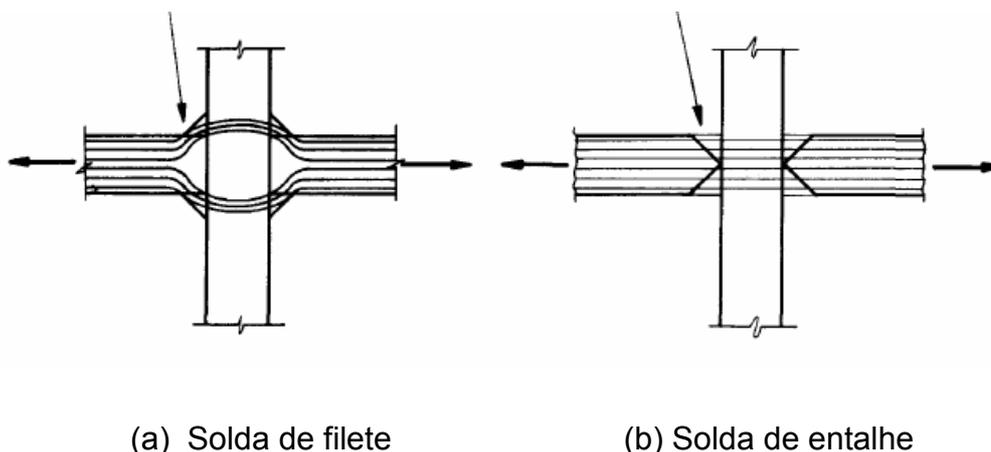


Figura 19 - Fluxo de tensões em solda de filete e solda de entalhe – IBS/CBCA (2004)

Os processos de soldagem mais utilizados na fabricação das estruturas de aço são, segundo ANDRADE (2000):

- arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW – Shielded Metal Arc Welding);
- arco submerso (SAW – Submerged Arc Welding);
- arco elétrico com proteção gasosa (GMAW – Gas Metal Arc Welding);
- arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW – Flux Cored Arc Welding).

A escolha de qual tipo de solda a ser utilizado é função do tipo de ligação, dos esforços a que a peça está submetida e deverão ser resistidos pela ligação e das disposições normativas que regulam a sua utilização.

Todas as disposições da norma “Structural Welding Code” AWS D1.1 da American Welding Society são aplicáveis as ligações soldadas dimensionadas em conformidade com a NBR 8800/2008, observadas as exceções discriminadas no corpo da norma.

As ligações soldadas são especificadas seguindo uma simbologia normatizada pela AWS, as figuras 20 a 25 a seguir definem os principais símbolos utilizados, e quais os elementos devem estar presentes na composição da simbologia. A figura 26 apresenta alguns exemplos de símbolos típicos de solda. (ANDRADE, 2000).

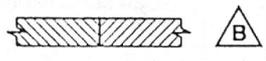
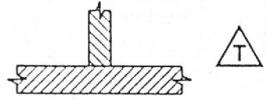
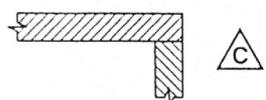
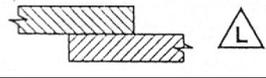
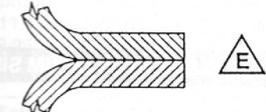
TIPO DE JUNTA	SIMBOLOGIA
TOPO	
TÊ	
CANTO	
SOBREPOSTA	
BORDA	

Figura 20 – Simbologia para Tipos de Junta (ANDRADE, 2000)

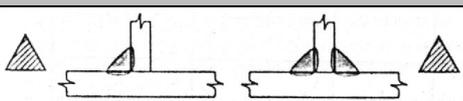
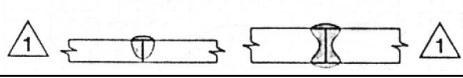
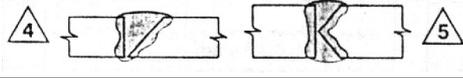
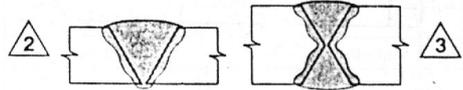
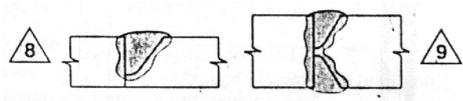
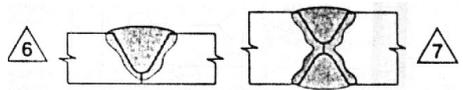
TIPO DE SOLDA	SIMBOLOGIA
FILETE SIMPLES E DUPLO	
RETA	
ENTALHE EM BISEL	
ENTALHE EM V	
ENTALHE EM J	
ENTALHE EM U	

Figura 21 – Tipos de Solda (ANDRADE, 2000)

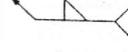
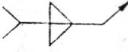
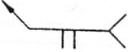
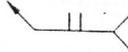
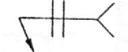
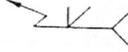
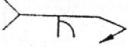
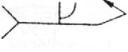
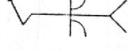
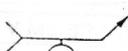
TIPO DE SOLDA		SIGNIFICADO DA LOCALIZAÇÃO		
		LADO DA SETA	OUTRO LADO	AMBOS OS LADOS
FILETE				
RETA				
ENTALHE	BISEL			
	V			
	J			
	U			

Figura 22 – Símbolos Básicos de Solda (ANDRADE, 2000)

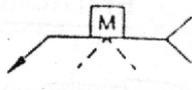
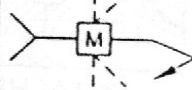
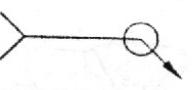
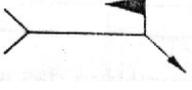
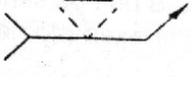
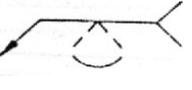
CONTRA CHAPA		ESPAÇADOR		SOLDA EM TODO O CONTOURO	
SOLDA DE CAMPO		ACABAMENTO FACEADO		ACABAMENTO CONVEXO	

Figura 23 – Simbologia Suplementar de Solda (ANDRADE, 2000)

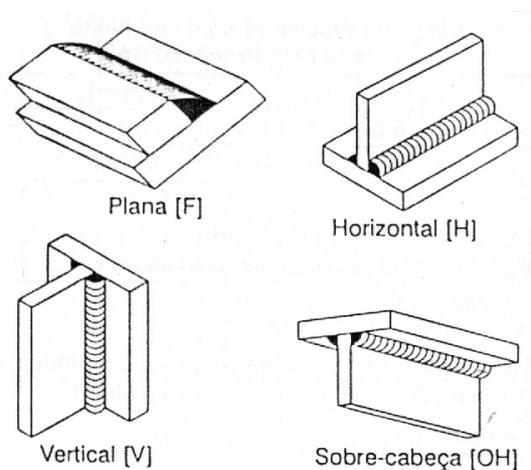


Figura 24 – Simbologia para Indicar a Posição da Soldagem (ANDRADE, 2000)

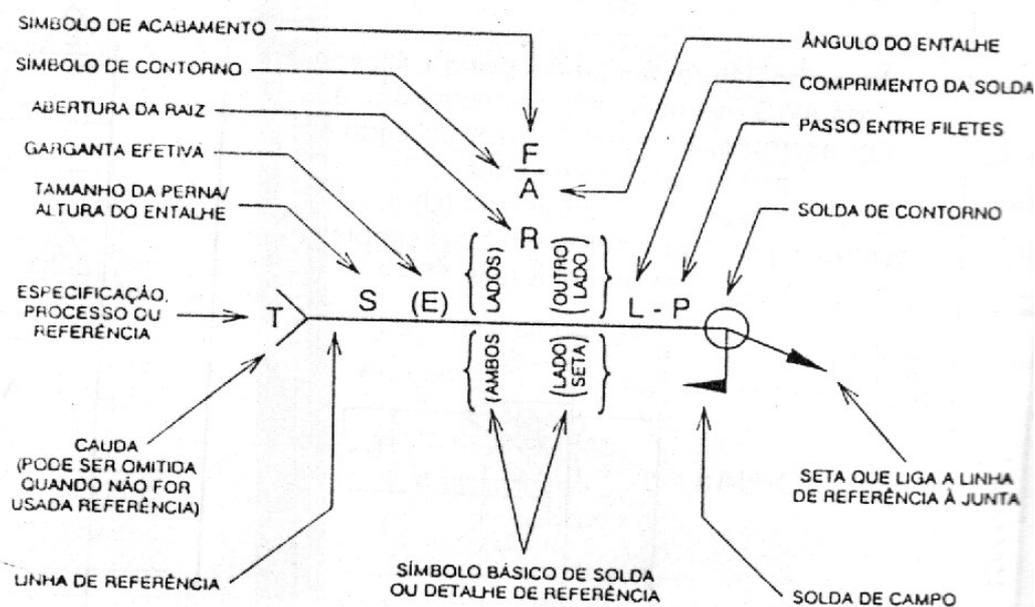


Figura 25 – Locação dos Elementos de um Símbolo de Solda (ANDRADE, 2000)

SÍMBOLOGIA TÍPICA DE SOLDAS	
<p>SOLDA DE FILETE DUPLO</p> <p>TAMANHO DA PERNA → 5</p> <p>300 → COMPRIMENTO DO FILETE. SUA CAMBIO INDICA QUE A SOLDA SE ESTENDE ENTRE INCLINAÇÕES ABERTAS DE DIREÇÃO.</p>	<p>SOLDA DE FILETES INTERMITENTES EM CADEIA</p> <p>TAMANHO DA PERNA → 8</p> <p>50 - 300 → COMPRIMENTO DOS FILETES</p> <p>50 - 300 → PASSO (DISTÂNCIA ENTRE CENTROS) DOS FILETES.</p>
<p>SOLDA DE FILETES INTERMITENTES ALTERNADOS</p> <p>TAMANHO DA PERNA → 8</p> <p>50 - 300 → COMPRIMENTO DOS FILETES</p> <p>50 - 300 → PASSO (DISTÂNCIA ENTRE CENTROS) DOS FILETES.</p>	<p>SOLDA DE ENTALHE EM V</p> <p>8 + 13 → ALTURA DO ENTALHE</p> <p>90° → ABERTURA DA RAZ</p> <p>0 → ANGULO DO ENTALHE</p> <p>→ PENETRAÇÃO DA RAZ</p>
<p>SOLDA DE ENTALHE EM BISEL DUPLO</p> <p>OMISSÃO DE TAMANHO INDICA QUE A ALTURA DO ENTALHE DEVERÁ SER IGUAL À ESPESURA DAS PARTES SOLDADAS</p> <p>3 → ANGULO DO ENTALHE → 50°</p> <p>13 → ABERTURA DA RAZ</p> <p>A SETA APONTA CONTRA A PARTE A SER ENTALHADA.</p>	<p>COMBINAÇÕES DE TIPOS DE SOLDA</p> <p>5 → 3 → 60°</p> <p>8 → 5</p>

Figura 26 – Exemplos de Simbologias Típicas de Solda (ANDRADE, 2000)

No dimensionamento da ligação é importante definir qual o eletrodo ou metal de solda será utilizado e este deverá possuir propriedades compatíveis ao metal base. A tabela 7 da NBR 8800/2008, apresenta alguns dos metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados e remete à consulta da AWS D1.1 para casos não exemplificados.

FAKURY (2000) esclarece que as soldas deverão ser verificadas para dois estados limites últimos, quais sejam:

- escoamento da área do metal base na região adjacente à solda: o colapso da

ligação ocorre em função escoamento da região responsável por transmitir os esforços solicitantes até a solda, comprometendo a transmissão adequada destes.

- ruptura da área efetiva do metal de solda, que provoca o rompimento da ligação.

	Metal-base		Metal da solda compatível			
	ABNT	ASTM	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	Arco submerso (SAW)	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)
Grupo I	NBR 6648 (CG-26 - $t \leq 20$ mm) NBR 6649 (CF-26) NBR 6650 (CF-26) NBR 7007 (MR 250 - $t \leq 19$ mm)	A36 ($t \leq 19$ mm) A500 Grau A A500 Grau B	AWS A5.1 - E60XX, E70XX AWS A5.5 ^e - E70XX-X	AWS A5.17 - F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E6XT-X, E6XT-XM, E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^e - E6XTX-X, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM
Grupo II	NBR 5000 (G-30) NBR 5000 (G-35) NBR 5004 (F-32/Q-32) NBR 5004 (F-35/Q-35) NBR 5004 (Q-40) NBR 5008 (CGR 400) ^d NBR 5008 (CGR 500) ^d NBR 5008 (CGR 500A) ^d NBR 5920 (CFR 500) ^d NBR 5921 (CFR 400) ^d NBR 5921 (CFR 500) ^d NBR 6648 (CG-26 - $t > 19$ mm) NBR 6648 (CG-28) NBR 6649 (CF-28) NBR 6650 (CF-28) NBR 6650 (CF-30) NBR 7007 (MR 250 - $t > 19$ mm) NBR 7007 (AR-350) NBR 7007 (AR-350 COR) NBR 8261 (Graus B e C)	A36 ($t > 19$ mm) A242 ^d A572 Grau 42 A572 Grau 50 A572 Grau 55 A992 A588 ^d	AWS A5.1 - E7015, E7016, E7018, E7028 AWS A5.5 ^e - E7015-X, E7016-X, E7018-X	AWS A5.17 - F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^e - E7XTX-X, E7XTX-XM
Grupo III	NBR 5000 (G-42) NBR 5000 (G-45) NBR 5004 (Q-42) NBR 5004 (Q-45) NBR 7007 (AR-415)	A572 Grau 60 A572 Grau 65 A913 ^c	AWS A5.5 ^e - E8015-X, E8016-X, E8018-X	AWS A5.23 ^e - F8XX-EXXX-XX, F8XX-ECXXX-XX	AWS A5.28 ^e - ER80S-XXX, E80C-XXX	AWS A5.29 ^e - E8XTX-X, E8XTX-XM

^a Em juntas constituídas de metais-base de grupos diferentes, podem ser usados metais da solda compatíveis com o metal-base de maior resistência ou de menor resistência, devendo-se usar eletrodos de baixo hidrogênio para a segunda opção. O preaquecimento deve ser baseado no grupo de maior resistência.

^b Quando for feito alívio de tensões nas soldas, o metal da solda não pode conter mais de 0,05 % de vanádio.

^c As limitações da AWS D1.1 relativas à entrada de calor não se aplicam ao ASTM A913, graus 60 e 65.

^d Podem ser necessários processos e materiais de soldagem especiais (por exemplo: eletrodos de baixa liga E80XX-X) para atender às características de resistência à corrosão atmosférica e de resistência ao choque do metal-base - ver AWS D1.1.

^e Metais de solda dos grupos B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, B9, ou qualquer grau BXH, na AWS A5.5, A5.23, A5.28 e A5.29, não são pré-qualificados.

Figura 27 – Tabela 7 da NBR 8800:2008 – Compatibilidade do metal-base com o metal da solda

2.1.3.2 LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Neste tipo de elemento estrutural os meios de ligação são os parafusos comuns ou de alta resistência e as barras redondas rosqueadas, normalmente utilizadas como chumbadores ou tirantes (NBR- 8800/2008, ANDRADE,2000).

A escolha dos parafusos é função direta da responsabilidade da ligação no conjunto estrutural. Nas ligações onde o colapso pode comprometer a estabilidade estrutural é necessário o uso de parafusos de alta resistência, ficando o uso dos parafusos comuns limitado às ligações secundárias ou que não tenham função estrutural. (FAKURY, 2000) A tabela 4 apresenta as especificações, as propriedades mecânicas e os diâmetros disponíveis dos parafusos estruturais mais usados.

Tabela 4 - Parafusos Estruturais

TIPO	ESPECIFICAÇÃO	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)	LIMITE DE RESISTÊNCIA (MPa)	DIÂMETRO d
COMUM	ASTM A 307	-	415	$\frac{1}{2}'' \leq d \leq 4''$
	ISO 898 classe 4.6	235	390	$12 \text{ mm} \leq d \leq 48 \text{ mm}$
ALTA RESISTÊNCIA	ASTM A 325	635 560	825 725	$\frac{1}{2}'' \leq d \leq 1''$ $1'' \leq d \leq 1 \frac{1}{2}''$
	ASTM A 490	895	1035	$\frac{1}{2}'' \leq d \leq 1 \frac{1}{2}''$

FONTE: FAKURY (2000)

Os parafusos de alta resistência exigem cuidados especiais em relação a arruelas e acabamento da superfície e a especificação de torque de montagem, cuidados estes que são dispensados quando são usados parafusos comuns. (IBS/CBCA, 2004, ANDRADE, 2000)

IBS/CBCA (2004) define que nas ligações com parafusos comuns os esforços

de tração são transmitidos através do corpo dos parafusos, figura 28 (a), enquanto que os esforços de cisalhamento, devido ao deslizamento entre as chapas, são transmitidos por cisalhamento do corpo do parafuso e o contato de sua superfície lateral com a face do furo, figura 28 (b).

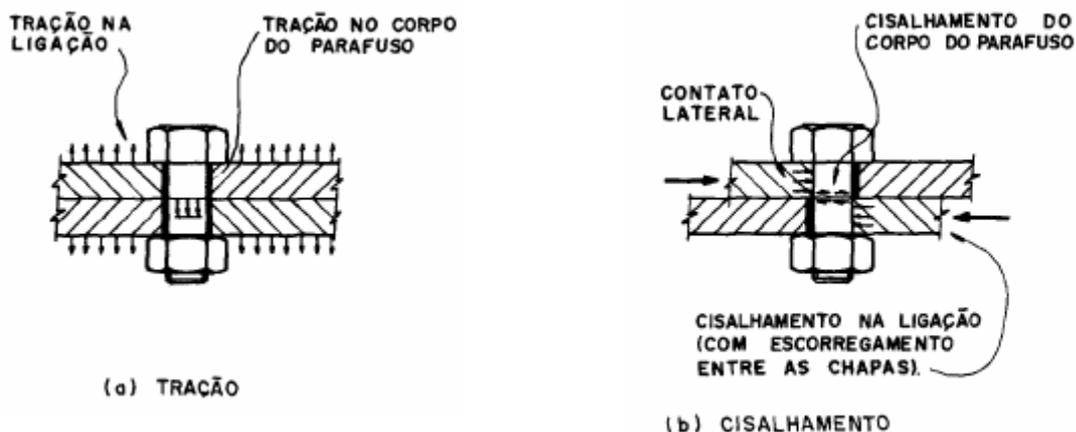


Figura 28 – Transmissão de Esforços em Parafusos Comuns (IBS/CBCA,2004)

Enquanto nas ligações com parafusos de alta resistência, estes devem ser instalados com uma protensão mínima equivalente a 70% da resistência nominal à tração (FAKURY, 2000). Devido à esta protensão, as superfícies de contato entre as chapas ficam firmemente pressionadas através dos “cones de pressão” (IBS/CBCA, 2004), que simplificadamente podem ser definidos como um cilindro de pressão com regiões circulares das chapas, altamente comprimidas, com o parafuso no centro, altamente tracionado, como pode ser visto na figura 29.

Assim o esforço de tração nestas ligações é absorvido no sistema através da diminuição de pressão no cilindro e pequeno aumento de tração no parafuso, como ilustrado na figura 30.

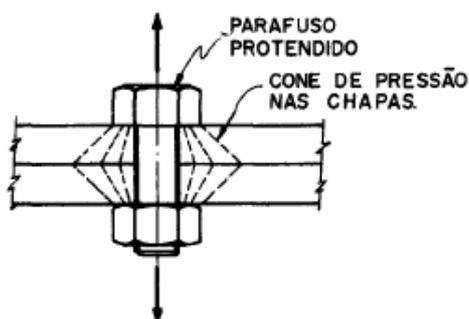


Figura 29 – Cones de Pressão (IBS/CBCA,2004)

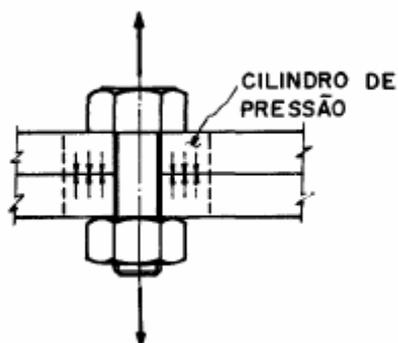


Figura 30 – Cilindros de Pressão
(IBS/CBCA,2004)

Já os esforços de cisalhamento podem ser absorvidos por dois mecanismos distintos, ou por atrito, ou por contato. Nas ligações por atrito, não é permitido o deslizamento entre as chapas, e a resistência ao esforço atuante é feita pelo atrito gerado na superfície de contato das chapas conectadas. Nas ligações por contato não há restrição ao deslizamento entre as chapas e a resistência aos esforços atuantes se dá pelo contato do corpo do parafuso com a parede dos furos, ocasionando a sollicitação de corte no parafuso. As figuras 31 e 32 ilustram as ligações por atrito e por contato, respectivamente (FAKURY, 2000).

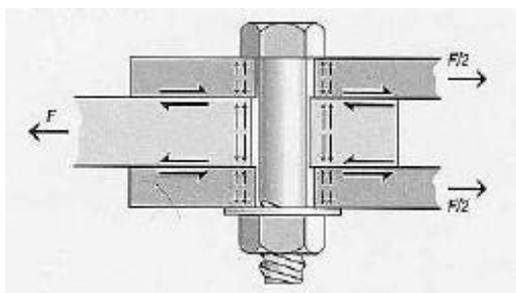


Figura 31 – Ligação à força cortante por atrito

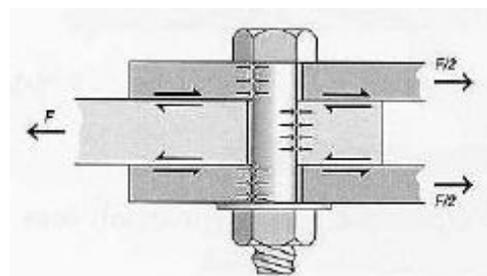


Figura 32- Ligação à força cortante por contato

FAKURY (2000) e IBS/CBCA destacam que as ligações por contato são indicadas no caso de carregamentos predominantemente estáticos, onde o eventual deslizamento entre as partes ligadas não compromete a integridade da ligação, nem o comportamento global da estrutura. Já as ligações por atrito são recomendadas para carregamentos dinâmicos e para os casos onde o deslizamento entre as partes ligadas comprometa a estabilidade estrutural.

Nas ligações parafusadas deverão ser verificadas também as possibilidades de ruína das chapas envolvidas, seja por rasgamento do furo à borda da chapa, rasgamento entre os furos e esmagamento do furo, como ilustrado na figura 33.

(FAKURY, 2000 e IBS/CBCA, 2004).

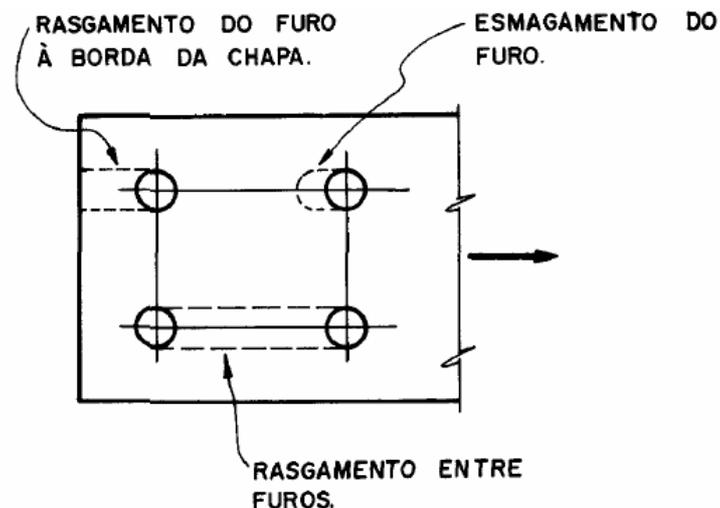


Figura 33 – Verificações na Chapa Devido a Presença dos Furos (IBS/CBCA,2004)

Pode-se elencar como as principais vantagens deste tipo de ligação a rapidez na execução das ligações de campo, além da possibilidade de ser executada em locais onde não há energia elétrica, a exigência de pouca mão-de-obra e não muito qualificada e a melhor resposta às tensões de fadiga.

Como desvantagens citam-se a necessidade de verificação de áreas líquidas e esmagamento das peças, a previsão antecipada de parafusos na obra e a necessidade de realizar pré-montagem na fábrica.

2.1.4 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

Patologia é um conceito usado no ramo da construção civil para estudar a origem das modificações e movimentos que ocorrem estruturalmente e/ou funcionalmente num edifício.

As falhas localizadas ou globais nas estruturas metálicas podem levar à perda parcial de algum componente ou ao colapso parcial ou total da edificação ao atingir alguns dos estados limites de resistência, ou ainda, o estado limite de utilização, provocando perdas humanas ou perdas econômicas importantes.

Para explicar uma patologia é necessário realizar um diagnóstico. Diagnóstico é definido como um conjunto de procedimentos que possuem dependência

recíproca e são organizados objetivamente para entender e explicar uma patologia através de suas manifestações e conseqüências. Para se estabelecer um diagnóstico correto é necessário que esses procedimentos estejam apoiados em metodologias sustentadas por processos científicos. (PEZZATO, 2010)

CASTRO (1999) apresenta uma classificação para as patologias em estruturas metálicas nas seguintes categorias:

- Adquiridas: São patologias estruturais provenientes da ação de elementos externos, como a poluição atmosférica, umidade, gases ou líquidos corrosivos e vibrações excessivas provocadas pelo uso indevido da estrutura. Resultam, em geral, de problemas relacionados com a falta de preparo inicial da estrutura ou com a falta de manutenção. A corrosão é a mais visível.

- Transmitidas: Originárias de vícios ou desconhecimento técnico na etapa de fabricação ou montagem da estrutura. São, por esse motivo, transmitidas de obra para obra. São exemplos, a prática de muitos soldadores que não se preocupam em retirar a pintura dos pontos de solda, ignorando que a carbonização da tinta prejudica a qualidade do serviço, assim como os casos de falta de prumo e alinhamento da estrutura.

- Atávicas: São patologias resultantes de má concepção de projeto, erros de cálculo, escolhas de perfilados ou chapas de espessuras inadequadas ou, ainda, do uso de tipos de aço com resistência diferente das consideradas no projeto. Não são fáceis de reparar, costumam exigir reforços, adições, escoramentos etc.

PEZZATO (2010) e ROSCOE (2008) acrescentam a esta classificação as patologias de natureza acidentais, que são caracterizadas pela ocorrência de algum fenômeno atípico, resultado de uma solicitação incomum, como a ação da chuva com ventos de intensidade anormal, recalques estruturais e incêndios, dentre outros.

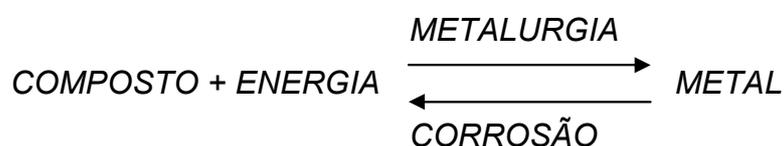
2.2 PRINCIPAIS PATOLOGIAS QUE ACOMETEM OS SISTEMAS METÁLICOS

Nos sistemas construtivos em aço pode-se agrupar as patologias em duas classes distintas. A primeira diz respeito às patologias que acometem os materiais utilizados, no caso específico do aço, o grande vilão são os processos corrosivos. Já a segunda se refere às patologias do sistema construtivo. A seguir detalha-se cada um destas classes.

2.3 PATOLOGIAS DO AÇO – CORROSÃO

GENTIL (1996) define os processos de corrosão como reações químicas heterogêneas ou reações eletroquímicas, que ocorrem de maneira geral na superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo.

GENTIL (1996) também esclarece que a obtenção de um metal se faz através do processo de metalurgia, que consiste na transformação da matéria prima consumindo uma determinada quantidade de energia.



Os metais assim obtidos encontram-se em nível energético superior em relação ao composto original. Daí a espontaneidade dos processos corrosivos, sob o aspecto termodinâmico.

PONTE (2003) observa que devido a esta instabilidade termodinâmica a tendência de todos os metais, excetos os nobres, é reagirem com a atmosfera transformando-se em óxidos, hidróxidos ou outros compostos semelhantes. O que torna possível a utilização destes metais é que em ambientes pouco agressivos a velocidade das reações do processo corrosivo são extremamente baixas.

É citado pelo este autor que *“todos os metais podem ser utilizados sempre que sua velocidade de deterioração seja aceitavelmente baixa”*. (PONTE (2003))

Por ser uma reação natural, a corrosão é considerada a patologia mais comum que se manifesta nas construções metálicas. Mas enquanto frente ao meio ambiente a velocidade das reações pode ser extremamente baixa, ao se inserir no meio um agente agressivo há um incremento significativo nesta velocidade, acelerando o processo corrosivo e tornando-o extremamente nocivo. A deterioração do metal pelo processo corrosivo leva a perda da resistência mecânica, ductibilidade, elasticidade do metal, além de causar prejuízos de ordem estética.

GENTIL (1996) esclarece que existem várias formas de corrosão e alerta sobre a importância de se identificar corretamente na etapa de diagnóstico da patologia qual o tipo de corrosão que está presente para que seja adotada a medida corretiva apropriada. O autor agrupa as diversas formas de corrosão conforme o quadro 1, em função da sua aparência ou forma de ataque, das suas causas ou mecanismos.

Não é objetivo do presente estudo definir cada um dos tipos de corrosão, uma descrição detalhada sobre estes pode ser obtida junto a estudos específicos sobre o tema. A figura 34 ilustra alguns dos diferentes tipos de corrosão.

Quadro 1 – Classificação dos Tipos de Corrosão

EM FUNÇÃO DE:	TIPOS
Morfologia	Uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular (ou intercrystalina), intragranular (ou transgranular ou transcrystalina), filiforme, por esfoliação, gráfrica, dezincificação, em torno do cordão de solda e empolamento pelo hidrogênio
Causas ou mecanismos	Por aeração diferencial, eletrolítica ou por correntes de fuga, galvânica, associada a solicitações mecânicas (corrosão sob tensão fraturante), em torno de cordão de solda, seletiva (gráfrica e dezincificação), empolamento ou fragilização pelo hidrogênio
Fatores mecânicos	Sob tensão, sob fadiga, por atrito, associada à erosão
Meio corrosivo	Atmosférica, pelo solo, induzida por microorganismos, pela água do mar, por sais fundidos, etc.
Localização do ataque	Por pite, uniforme, intergranular, transgranular, etc.

Fonte: GENTIL (1996)

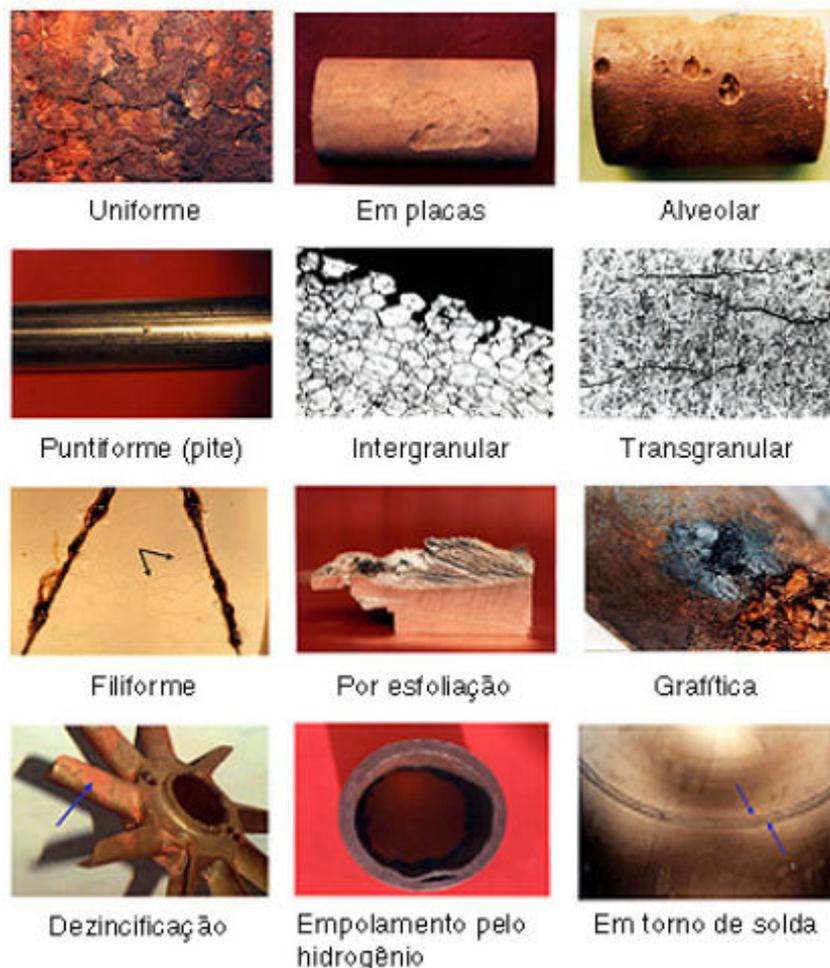


Figura 34 - Tipos de Corrosão - Fonte: PONTE (2003)

Em função do meio onde ocorre a corrosão esta pode ser classificada como corrosão eletroquímica ou corrosão química (PONTES, 2003, GENTIL, 1996 e SILVA, 2009). GENTIL (1996) estabelece que para a ocorrência da corrosão eletroquímica é necessária a presença de um anodo e um catodo, de um eletrólito e de um circuito metálico para passagem dos elétrons no sentido anodo-cadoto. A corrosão eletroquímica é mais frequente na natureza e basicamente está associada à exposição do metal num meio no qual existe a presença de moléculas de água, juntamente com o gás oxigênio ou íons de hidrogênio, num meio condutor.

PANNONI (2012) destaca que o fenômeno de corrosão envolve uma grande variedade de mecanismos e agrupa o processo de corrosão eletrolítica em quatro tipos, destacando a incidência estimativa com que ocorrem:

- corrosão em meio aquoso (90%);
- oxidação e corrosão quente (8%);
- corrosão em meios orgânicos (1,8%);
- corrosão por metais líquidos (0,2%).

A corrosão química, também denominada corrosão em meio não aquoso ou corrosão seca, ou oxidação em altas temperaturas, surgiu basicamente com a industrialização, envolvendo operações em temperaturas elevadas.

Caracterizam-se por:

- a) realizarem-se necessariamente na ausência de água;
- b) realizarem-se devido à interação direta entre o metal e o meio corrosivo, não havendo deslocamento de elétrons, como no caso das pilhas de corrosão eletroquímica. Pode-se ter a presença de substâncias agressivas associadas a temperaturas elevadas. Algumas substâncias agressivas atuam no estado de gás ou vapor, e outras fundidas. Entre os meios corrosivos a altas temperaturas estão: enxofre e gases contendo enxofre, hidrogênio, vapor de água, amônia, carbono e gases contendo carbono, cinzas de óleos combustíveis contendo enxofre, sódio e vanádio. (SILVA, 2009)

Um tipo de corrosão muito comum é a corrosão galvânica. Esta ocorre quando metais ou ligas com potencial eletro-químicos diferentes são acoplado um ao outro. Para que a corrosão galvânica ocorra é necessário que existam três condições concomitantes: 1. metais diferentes; 2. presença de eletrólito; 3. contato elétrico entre os dois metais.

2.4 PATOLOGIAS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

A estrutura metálica pode apresentar diversos tipos de patologia com diferentes tipos e graus de manifestações. Falhas podem se originar de ações humanas, como deficiências na elaboração dos projetos, falta de mão de obra especializada, utilização de materiais de baixa qualidade; ou podem ser

originadas de causas naturais ligadas ao envelhecimento dos materiais componentes das estruturas (por exemplo, corrosão) e de ações externas ambientais.

Na construção metálica podem ser identificadas as seguintes etapas: concepção estrutural (projeto, detalhamento e dimensionamento), fabricação, montagem, utilização e manutenção. Falhas em cada uma destas etapas tem impacto de menor ou maior magnitude na ocorrência de patologias.

Messeguer (1991) alerta que erros na etapa de elaboração dos projetos são a causa de grande parte dos problemas patológicos. A precisão é uma característica fundamental de um sistema construtivo metálico, o detalhamento tem que ser com precisão milimétrica e os cuidados devem ser redobrados.

As falhas comuns nas etapas de projeto e fabricação da estrutura são:

- erros de dimensionamento;
- ausência de elementos estruturais como contraventamentos e conectores para enrijecer a estrutura o que compromete a estabilidade do sistema;
- ausência de ancoragem dos elementos construtivos entre si, estrutura metálica/concreto, estruturas metálicas para cobertura, etc.;
- incompatibilidade entre a estrutura metálica e os elementos de fundação, gerando excentricidades e esforços não previsto no dimensionamento;
- ausência ou excesso de parafusos de ligação, ou com furação incorreta;
- ausência de chumbadores nas bases das fundações;
- deficiência na concepção do sistema de fundações.

Um projeto mal elaborado é o principal responsável pelas patologias e degradação precoce de uma estrutura. Messeguer (1991) destaca que 41% das patologias que acometem as estruturas metálicas estão diretamente ligados a erros no cálculo, no detalhamento, na elaboração das plantas executivas e construtivas e nas plantas de montagem, como mostra a figura 35.

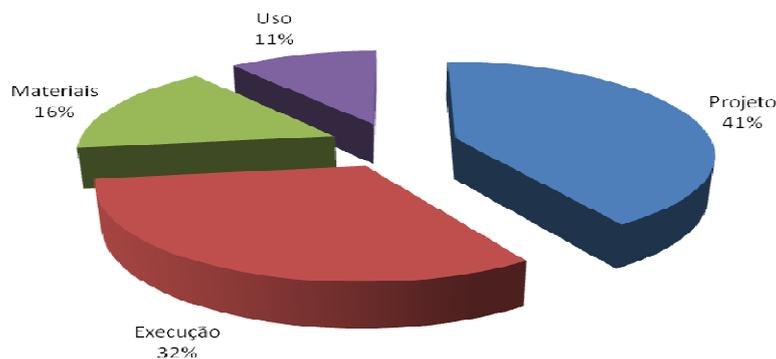


Figura 35 - Média geral das falhas em estrutura metálica em vários países europeus.

Fonte: Adaptado de Messeguer-1991 em PRAVIA e BETINELLI

As patologias que ocorrem com maior frequência em estruturas de aço podem ser agrupadas conforme apresentado no quadro 2.

As figuras 36 a 39 ilustram alguns exemplos clássicos de falhas observadas em estruturas metálicas de diferentes obras e que poderiam ser evitadas a partir de um maior cuidado e controle nas etapas de projeto e fabricação da estrutura.

Quadro 2 - Patologias Mais Comuns Em Estruturas Metálicas

TIPO	CAUSA	CONSEQÜÊNCIA
Corrosão localizada	Deficiência de drenagem das águas pluviais e deficiências de detalhes construtivos	Acúmulo de umidade e de agentes agressivos
Corrosão generalizada	Ausência de mecanismo de proteção contra a corrosão	Processo de corrosão
Deformações excessivas	Sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto, deficiências na disposição de travejamentos e excentricidades causadas por erros de fabricação e montagem.	Instabilidade na estrutura
Flambagem local ou global	Dimensionamento incorreto, com a concepção equivocada dos modelos estruturais, deficiências no enrijecimento local de chapas ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto	Instabilidade na estrutura
Fratura e propagação de fraturas	Detalhes de projeto inadequados que geram concentração de tensões, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas.	Instabilidade na estrutura

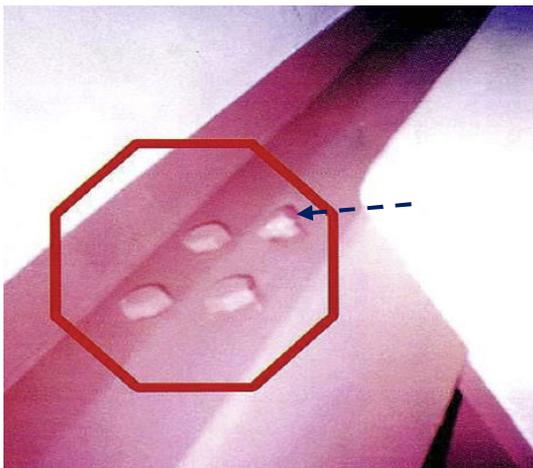


Figura 36 - Erro fabricante, parafuso não se ajusta ao furo. (CASTRO,1999)



Figura 37 - Falha de projeto, falta de compatibilização entre os elementos de ligação. (CASTRO,1999)

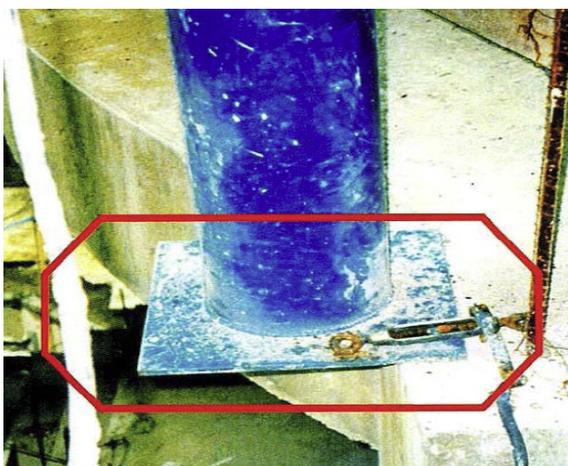


Figura 38- Incompatibilidade entre o projeto da estrutura metálica e da estrutura de concreto. (CASTRO,1999)

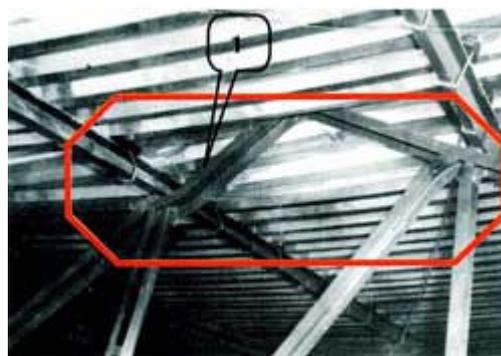


Figura 39 - Flambagem provavelmente devido ao subdimensionamento da peça. (CASTRO,1999)

2.5 PATOLOGIAS DAS LIGAÇÕES

Como já mencionado, nas estruturas metálicas a estabilidade do conjunto estrutural e a capacidade de absorver e conduzir as cargas a que a edificação está submetida é função dos elementos estruturais e dos elementos de ligação. As ligações tem a função de unir os elementos estruturais, transmitindo os esforços de uma peça a outra, portanto, é fundamental que elas sejam dimensionadas para trabalharem de forma semelhante às peças a elas conectada, sustentando as solicitações provenientes de reações da estrutura frente às cargas de projeto.

Como a estrutura é fabricada em partes e sua montagem é feita no local da obra, a concepção e a execução das ligações exigem cuidados especiais, uma vez que falhas nesta parte da estrutura podem comprometer todo o conjunto.

2.5.1 LIGAÇÕES PARAFUSADAS

As ligações parafusadas possuem maior grau de flexibilidade e são largamente utilizadas na montagem final da estrutura *in loco*. Exige, entretanto, cuidados especiais na execução para garantir que a estrutura se aproxime ao máximo das previsões de projeto. Na fase de projeto e fabricação, o uso destas ligações, exige que a peça seja milimetricamente detalhada e fabricada com medidas exatas. Deve-se levar em conta também no projeto as condições para montagem e aperto da estrutura.

Segundo CASTRO (1999), as patologias nas ligações parafusadas podem ser agrupadas em três tipos básicos, quais sejam, **colapso da ligação**, **problemas de corrosão** e **detalhamento incorreto**.

As patologias relativas ao colapso da ligação englobam as seguintes situações:

- ruína por cisalhamento do fuste do parafuso: o parafuso rompe devido à presença de uma tensão de cisalhamento superior à resistência de cálculo;
- ruína por rasgamento da chapa junto ao parafuso: Ocorre devido a inadequações no projeto da chapa, normalmente com dimensões insuficientes para o carregamento que a solicitará. A chapa pode ter seu furo alargado, o que aumentará a flexibilidade da estrutura, ou pode ter sua superfície rasgada na direção da tensão;
- ruína por esmagamento/estriccionamento do fuste do parafuso: Atua de forma semelhante ao cisalhamento do parafuso, causando grande deformação no parafuso e seu conseqüente escoamento. A conseqüência para a estrutura é o grande deslocamento que ela sofrerá;
- ruína por esmagamento da chapa: É o caso em que a chapa não chega

a rasgar, porém o escoamento nela ocasionado na região do furo pode gerar deslocamentos sérios à estrutura;

- ruína por tensionamento axial do fuste do parafuso: Muitas ligações são feitas utilizando do parafuso apenas a sua resistência axial. Caso a tensão gerada pela tração do parafuso seja superior à resistência do fuste, o parafuso pode escoar e romper, levando a estrutura ao colapso;
- ruína por dobramento do parafuso: Em parafusos longos, dependendo da sollicitação, podem ocorrer momentos capazes de dobrar o parafuso;
- ruína por rasgamento global da chapa na ligação: Caso em que a tensão normal é maior que a tensão de escoamento da chapa, rompendo-a não somente na região do parafuso, mas em toda a sua secção transversal.

Os problemas de corrosão estão associados principalmente a existência de frestas na ligação que permite a entrada de umidade no interior desta. Esta patologia pode ser minimizada através de mecanismos de proteção da estrutura, seja por revestimento da ligação com argamassa, seja por aplicação de pinturas anti-corrosivas ou a aplicação de selantes na borda das frestas.

O detalhamento incorreto em projeto acarreta patologias e problemas já na montagem da estrutura, gerando ônus ainda na fase de obra. A seguir ilustramos as principais falhas de detalhamento de projeto.

- Dificuldade de Realização de Aperto do Parafuso: O detalhamento da ligação não leva em consideração o acesso de ferramentas para a realização do aperto dos parafusos, assim na obra o montador adota procedimentos que podem comprometer o funcionamento do conjunto, como exemplificado na figura 40.



Figura 40- Amassamento em Ligação para Acesso ao Furo – Fonte: CASTRO (1999)

- Gabarito de Furação Errado: o detalhamento incorreto ou insuficiente leva a furação errada na etapa de fabricação, assim na montagem ou furos sobram ou parafusos faltam, como pode ser visto nas figuras 41 e 42.



Figura 41 - Falta de Furo no Pilar –
Fonte: CASTRO (1999)

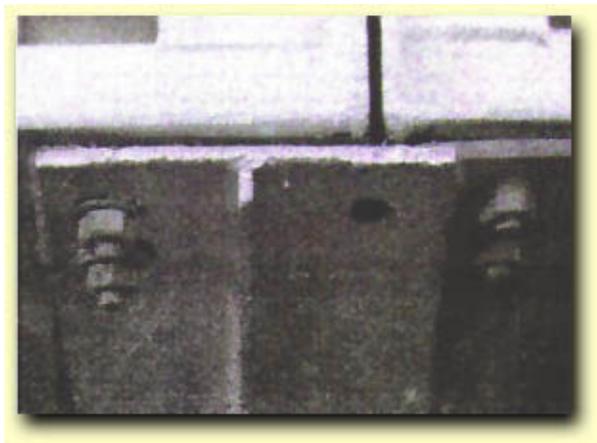


Figura 42 - Desalinhamento Generalizado –
Fonte: CASTRO (1999)

- Erros de Cálculo no Comprimento das Peças: como já mencionado a precisão é uma importante particularidade na construção metálica. Estas falhas geralmente ocorrem devido a erros de cálculo, pois envolve ângulos e distâncias. Quando peças são calculadas com comprimento incorreto, geram ônus na fase de obra, além de comprometer o conjunto estrutural. Um exemplo são as peças com comprimento inferior ao necessário (figura 43), esta situação

além de comprometer a estética pode ser um ponto de instabilidade na estrutura uma vez que além da solda os furos sobrando reduzem a resistência do perfil. Na figura 44, um exemplo de peça com comprimento maior, os serviços de corte e furação foram realizados na obra, comprometendo o cronograma de montagem.

– Diâmetro Errado dos Furos ou do Parafuso: pode acarretar basicamente dois problemas, falta de resistência nos parafusos, se esses têm áreas inferiores às calculadas ou suscetibilidade de escoamento ou ruptura na região dos furos, se esses tiveram de ser ampliados por divergências no projeto. Existe, portanto a necessidade de recalculer a ligação para verificar a estabilidade desejada.

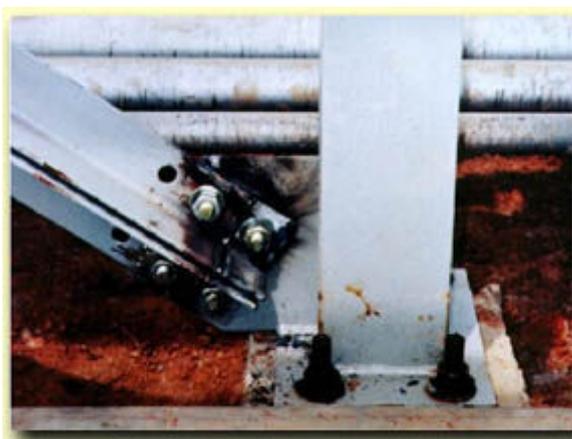


Figura 43 - Peça com comprimento menor que o necessário. – Fonte: CASTRO (1999)



Figura 44 - Peça com comprimento maior que o necessário. – Fonte: CASTRO (1999)

– Parafuso Incompatível com a Ligação: existe o risco da troca de parafusos em montagens, colocando-se parafusos comuns no lugar dos de alta resistência, especificados em projeto. Essa falha pode ser fatal e implica em cuidados no recebimento e na armazenagem dos materiais, bem como na confiabilidade do fornecedor.

– Erros na Locação de Furos durante a Fabricação: muitas empresas não possuem um meio automático de furação, cabendo aos operários traçarem os furos com trenas e riscadores para o executarem manualmente. A peça toda é suscetível ao erro, chegando à obra com medidas erradas que impedem a montagem ou fazem o parafuso entrar de maneira inclinada, podendo dobrar

quando carregado.

– Falta de Aperto do Parafuso: Em muitas obras, as estruturas metálicas são executadas de forma apressada, deixando para trás ligações incompletas ou mal finalizadas (figura 45). A NBR 8800/08 regulamenta os procedimentos de aperto dos parafusos de ligações em estruturas metálicas, uma vez que a sua deficiência pode inutilizar a ligação e comprometer todo o sistema de transferência de esforços.



Figura 45 – Ligação instável por falta de aperto nos parafusos. – Fonte: CASTRO (1999)

2.5.2 LIGAÇÕES SOLDADAS

Como já mencionado o metal das soldas tem resistência superior ao metal base, e se bem executada este tipo de ligação dificilmente entra em colapso antes do metal base. Portanto, as patologias em ligações soldadas geralmente estão associadas a falhas durante o processo de execução e podem ser evitadas a partir do cuidado e controle durante o procedimento de soldagem.

CASTRO (1999) elenca e define os principais defeitos que ocorrem neste tipo de ligação. Estes podem ser agrupados em duas categorias distintas, as patologias do cordão de solda e as patologias do conjunto da ligação. As patologias do primeiro grupo geralmente estão associadas a problemas durante o processo de soldagem, seja por falta de capacitação da mão de obra ou por uso de equipamentos e instalações inadequados. Já as do segundo grupo

geralmente tem como causas falhas no de detalhamento do projeto, fabricação e montagem das peças.

O primeiro grupo de patologia ainda pode ser dividido em duas categorias: as descontinuidades dimensionais e as descontinuidades estruturais.

MODENESI (2000) define como descontinuidade qualquer interrupção da estrutura típica ou esperada de uma junta solda, seja por falta de homogeneidade das características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda. Entretanto, a simples existência destas descontinuidades não consiste na classificação da junta como defeituosa. Para estabelecer a condição de defeito é preciso avaliar as descontinuidades frente ao uso previsto para a peça e às exigências técnicas e limites admissíveis definidos em projeto e ou contratos pertinentes. Quando atestado o defeito as juntas precisam ser reparadas ou substituídas.

A seguir é apresentada uma breve explanação das patologias inseridas nos dois grupos.

2.5.2.1 PATOLOGIAS DO CORDÃO DE SOLDADA

2.5.2.1.1 Descontinuidades Dimensionais

As descontinuidades dimensionais podem ser definidas como irregularidades nas dimensões ou forma dos cordões de solda, comprometendo a similaridade e forma especificadas em projeto. As principais descontinuidades dimensionais são: (MODENESI, 2001)

- Distorção: Consiste na modificação da forma e dimensões da peça soldada proveniente da deformação térmica do metal base durante o processo de soldagem. Tem por causa o excesso de soldagem, a execução de soldagem em juntas livres, a seleção incorreta do chanfro ou da sequência de soldagem. A correção desta patologia exige medidas onerosas como o desempenamento mecânico ou térmico, a remoção da solda e a execução de nova soldagem.
- Preparação Incorreta da Junta: Falhas desta natureza aumentam a

tendência para a formação de outros tipos de descontinuidades estruturais e necessitam ser corrigidas antes de iniciado o processo de soldagem. São exemplos a execução dos chanfros fora das dimensões e formas especificadas em projeto, comprometendo a espessura do cordão de solda e o próprio processo de soldagem.

– Dimensão incorreta da solda: quando executadas com dimensões inferiores às de projeto comprometem a resistência mecânica esperada para a junta. Quando executadas com dimensões superiores constituem em desperdício de material, além de aumentar as chances de distorção. A verificação da dimensão das soldas é usualmente feita por meio de gabaritos. A figura 46 apresenta os parâmetros de dimensionamento de um cordão de solda.

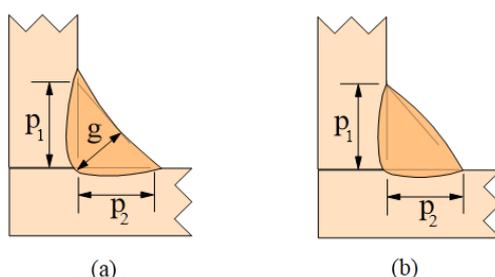


Figura 46 – Perfis adequados de soldas de filete e suas dimensões: p_1 e p_2 – pernas e g – garganta. Cordão côncavo (a) e convexo (b). (MODENESI – 2001)

– Perfil Incorreto da Solda: Variações geométricas bruscas agem como concentradores de tensão, facilitando o aparecimento de trincas. O perfil do cordão pode também ser considerado como inadequado quando (i) facilitar o aprisionamento escória entre passes de soldagem, (ii) levar ao acúmulo de resíduos e, assim, prejudicar a resistência à corrosão da estrutura ou (iii) fazer com que a solda tenha, em alguns locais, dimensões incorretas. A figura 47 ilustra exemplos de perfis inadequados de soldas.

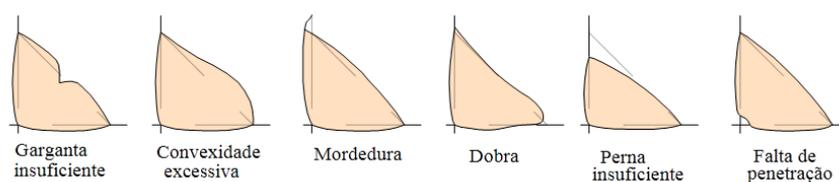


Figura 47 – Exemplos de perfis inadequados de soldas de filete (MODENESI – 2001)

- Formato incorreto da junta: o posicionamento ou o dimensionamento inadequado das peças pode levar a problemas como o desalinhamento em juntas de topo (figura 48), assim como pode ser considerado um importante fator para a obtenção de juntas soldadas com um formato incorreto.

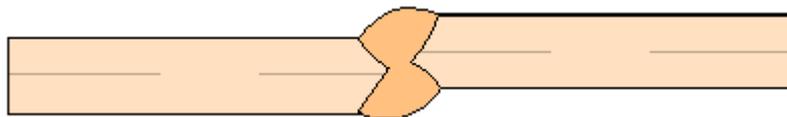


Figura 48 – Desalinhamento em junta de topo. (MODENESI – 2001)

2.5.2.1.2 Descontinuidades estruturais

- Porosidade: consiste na formação de cavidades gasosas (1 mm) ou formações vermiculares (10 mm), que têm por consequência a descontinuidade da solda e a redução de sua área efetiva. Esta patologia pode ocorrer com qualquer tipo de equipamento de soldagem por arco elétrico e sua ocorrência geralmente está associada à inabilidade ou negligência do soldador. Como em função da posição em que ocorre esta patologia possui diferentes causas, o conhecimento do soldador é fundamental para sua prevenção, tanto na escolha dos eletrodos que serão usados que precisam estar devidamente secos e íntegros no seu revestimento, como o manuseio do equipamento de soldagem, que deverá estar ligado a uma rede estável, com amperagem correta e devidamente ajustado. O metal base e o eletrodo deverão ser compatíveis, assim como a superfície deverá estar livre de impurezas e resíduos, como ferrugem, óleos, tintas e umidade.

Quanto à sua distribuição na solda, MODENESI (2001) e CASTRO (1999) esclarecem que a porosidade pode ser dividida em: (a) uniformemente distribuída, (b) agrupada (associada, em geral, com pontos de abertura ou de interrupção do arco) e (c) alinhada (que ocorre, em geral, no passe de raiz), figura 49.

As figuras 50 e 51 ilustram casos de porosidade vistos através de radiografias de ligações.

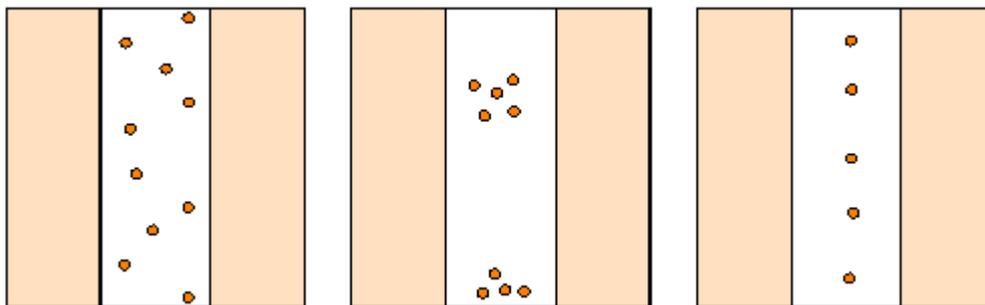


Figura 49 – Esquema dos tipos de distribuição de porosidade: (a) distribuída, (b) agrupada e (c) alinhada (radiografia esquemática). (MODENESI – 2001)

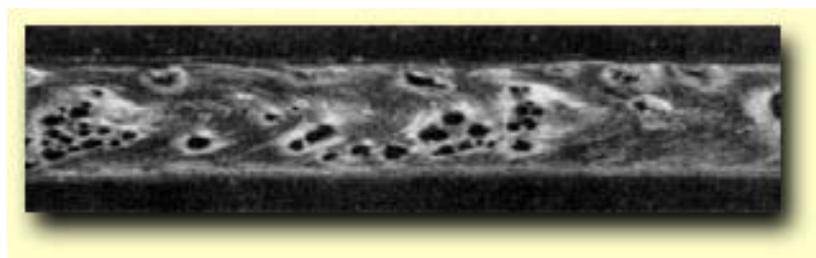


Figura 50 – Porosidade distribuída – Fonte: CASTRO (1999)

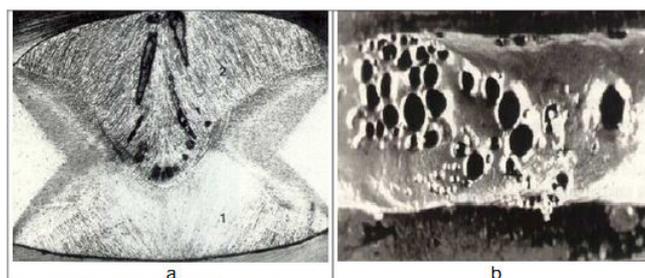


Figura 51 – Porosidade vermicular (a) e porosidade agrupada (b)
Fonte: BARRA E PEREIRA, 1999

– Inclusão de escória: Outra patologia que tem por causa a negligência ou imperícia do soldador e por consequência o enfraquecimento do cordão de solda. Se caracteriza pela presença de partículas de óxidos ou sólidos não-metálicos que ficam aprisionados entre passes de solda ou entre esta e o metal base, como pode ser visto nas figuras 52 e 53. A sua causa é a limpeza incorreta ou ineficiente da escória que se forma no processo de soldagem por eletrodo revestido. MODENESI (2001) alerta que as inclusões de escória podem agir como concentradores de tensão favorecendo a iniciação de trincas.

– Inclusão de Tungstênio: MODENESI (2001) também define a inclusão de tungstênio como uma patologia exclusiva das soldagens do tipo GTAW, que pode ocorrer caso o eletrodo toque a peça ou a poça de fusão, ocorrendo a transferência de partículas de tungstênio para a solda.

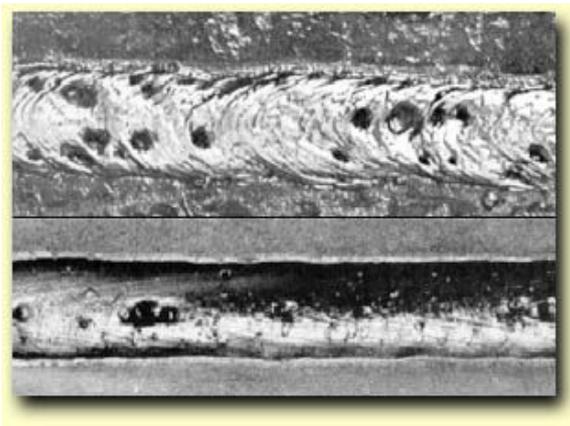


Figura 52 – Visualização de inclusão de escória através de radiografia – Fonte: CASTRO (1999)

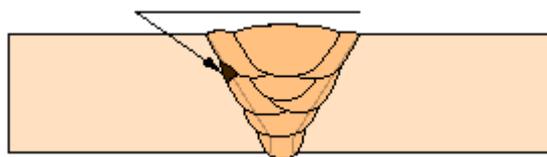


Figura 53- Esquema de inclusão de escória – Fonte: MODENESI (2001)

– Mordeduras: Outra patologia associada à falta de qualificação do soldador é caracterizada pela falha no enchimento do cordão de solda, onde o metal base é deslocado por fusão e o sulco resultante deste deslocamento não é preenchido pelo metal da solda, aparecendo assim reentrâncias agudas ao longo do cordão de solda. A mordedura pode ocorrer no interior da solda ou na última camada do cordão, no primeiro caso favorece a inclusão de escória, enquanto no último caso tem por consequência a redução da seção resistente e o aparecimento de pontos preferenciais para início do processo de ruptura quando a ligação for submetida a estados de fadiga. As figuras 54 a 56 ilustram casos de mordeduras.

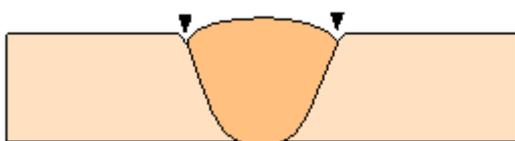


Figura 54 – Esquema de mordeduras – Fonte: MODENESI (2001)



Figura 55 – Exemplo de mordeuras – Fonte: CASTRO (1999)

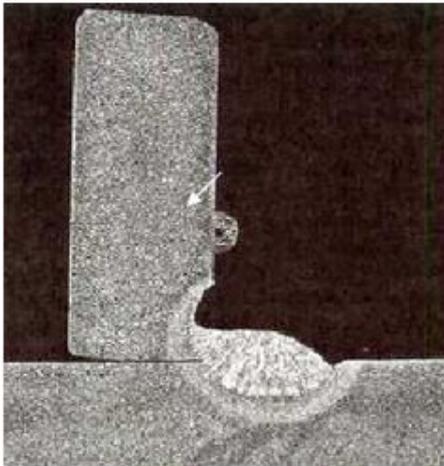


Figura 56 – Junta T, mostrando duas mordeduras em solda de filete

– Falta de Fusão: Caracteriza-se pela ausência de união por fusão entre passes de solda ou entre a solda e o metal, resultando em uma solda fraca. Na região afetada ocorre a redução da seção efetiva da solda para resistir aos esforços solicitantes, além de uma concentração severa de tensões, que pode propiciar o início de trincas. As figuras 57 e 58 demonstram a ocorrência desta patologia.

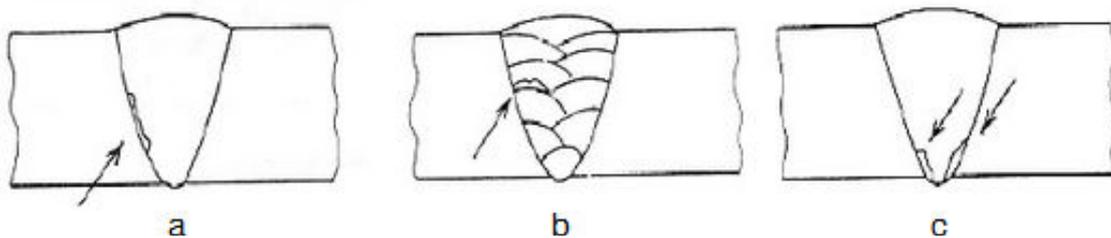


Figura 57 – Localizações usuais das ocorrências de falta de fusão.
Fonte: BARRA E PEREIRA, 1999

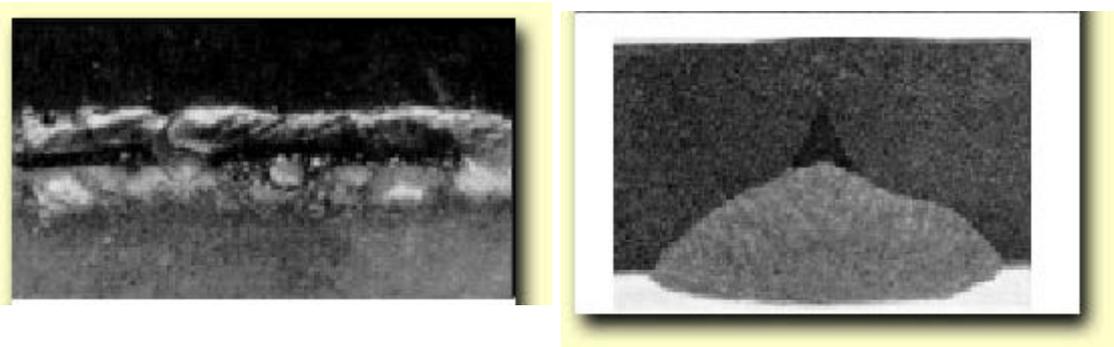


Figura 58 – Exemplos de falta de fusão – Fonte: CASTRO (1999)

– Falta de Penetração: Consiste em uma falha em se fundir e encher completamente a raiz da junta. As consequências desse defeito são a

soldagem incompleta da junta, a fusão deficiente e a formação de escória na raiz. É um defeito inadmissível em juntas de maior solicitação e com grande responsabilidade estrutural. As figuras 59 a 61, a seguir, ilustram esta patologia.

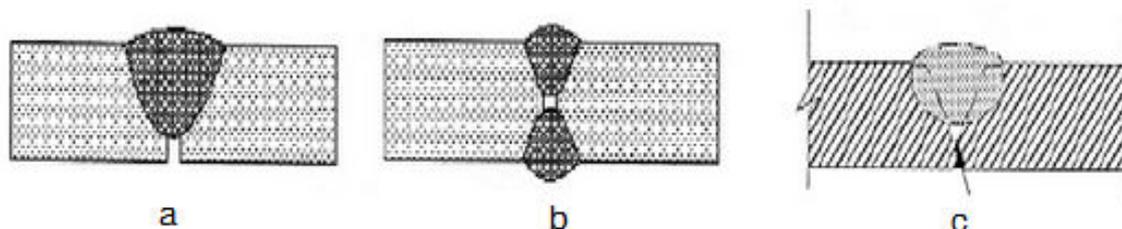


Figura 59 – Localizações usuais de ocorrências de falta de penetração

Fonte: BARRA E PEREIRA, 1999

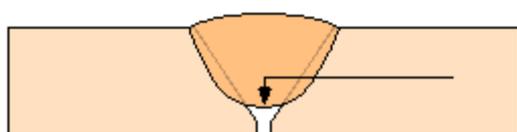


Figura 60 – Esquema de falta de penetração

Fonte: MODENESI (2001)

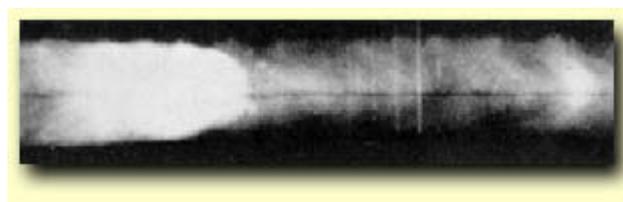


Figura 61 – Exemplo de falta de penetração

Fonte: CASTRO (1999)

– Trincas: Por serem fortes concentradores de tensão esta pode ser considerada a patologia mais grave em juntas soldadas. Resultam da incapacidade do material, devido a existência de pontos de fragilização, em resistir a tensões de tração, sejam elas tensões transientes, residuais ou de causa externa. Podem se formar desde o procedimento de soldagem até durante o uso da estrutura. As figuras 62 a 65 ilustram alguns casos de trincas em soldas.

2.5.2.2 PATOLOGIAS DO CONJUNTO DA LIGAÇÃO

Para que a ligação seja eficiente e desempenhe seu papel dentro da estrutura, não basta que os cordões de solda sejam executados com zelo e maestria, é preciso também que o conjunto da ligação apresente um arranjo espacial que lhe confira estabilidade.

Assim também são consideradas patologias defeitos que comprometam este arranjo harmônico e estável. Geralmente estes defeitos estão associados a

falhas em projeto e problemas nas etapas de fabricação e montagem da estrutura. As principais patologias são:

- Falta de usinagem das extremidades das ligações: O corte irregular das extremidades da junta impossibilita a perfeita aproximação entre as partes. Consequências: introdução de tensões não previstas em projeto, alinhamento irregular da peça e imprecisão geométrica (Figura 62).

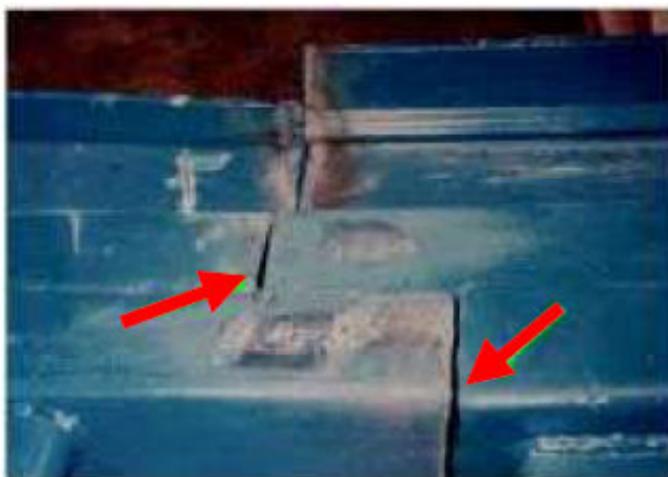


Figura 62 – Falta de usinagem nas extremidades das ligações- Fonte: CASTRO (1999)

- Incompatibilidade entre perfis: A utilização de perfis com dimensões diferentes soldados entre si consiste em erro de projeto ou fabricação. Tem por consequência a não continuidade física da ligação, podendo acarretar excentricidades, variação das propriedades geométricas e descontinuidades não previstas no dimensionamento da estrutura (Figura 63).



Figura 63 – Incompatibilidade entre perfis - Fonte: CASTRO (1999)

- Mistura de ligações: Recurso técnico necessário (Figura 64). Enfraquece

a ligação e insere tensões não previstas em projeto.

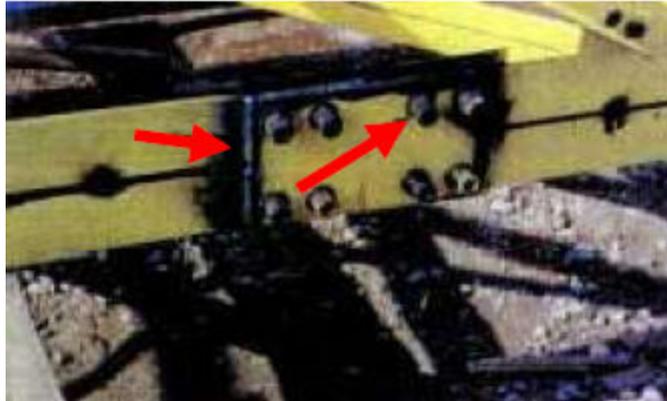


Figura 64 – Mistura de ligações - Fonte: CASTRO (1999)

– Amassamento das extremidades: consiste no amassamento IRREGULAR das bordas do perfil a fim de produzir uma ligação soldada. Entretanto, este procedimento causa um enfraquecimento do perfil estrutural devido a alterações de suas propriedades geométricas (Figura 65).

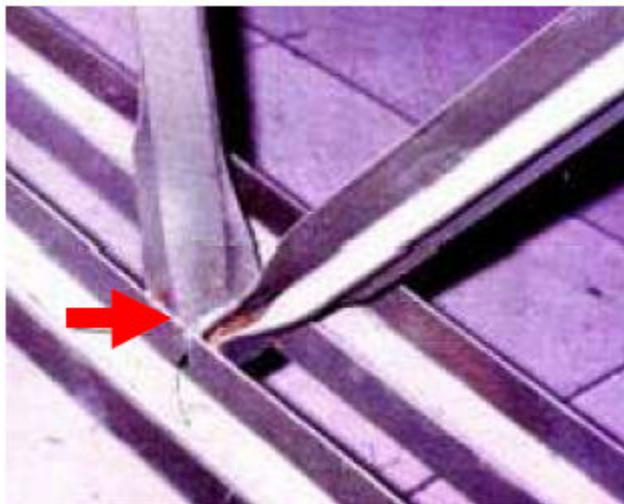


Figura 65 – Amassamento das extremidades- Fonte: CASTRO (1999)

CASTRO (1999) ainda considera como patologias as deficiências ligadas a estética da ligação, como o mau acabamento do cordão de solda ou o excesso de respingos no entorno do cordão, ainda que estas não signifiquem qualquer fragilização estrutural da ligação.

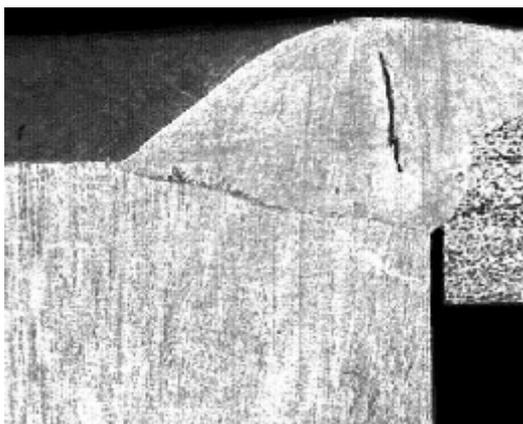


Figura 66 – Trinca no centro do cordão de solda - Fonte: MODENESI (2001)

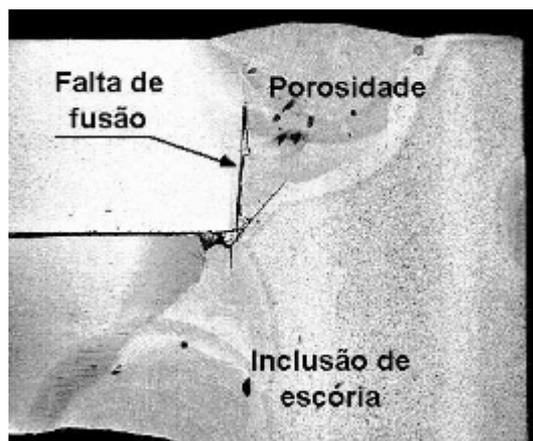


Figura 67 – Descontinuidades diversas
Fonte: MODENESI (2001)

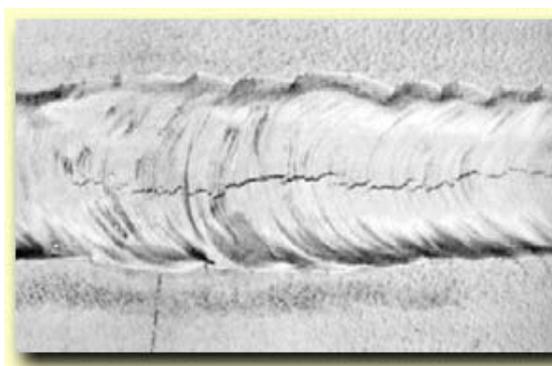


Figura 68 – Exemplo de trinca no cordão de solda - Fonte: CASTRO (1999)

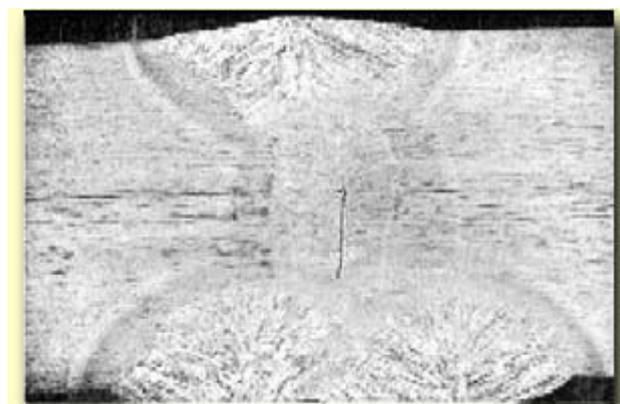


Figura 69 – Exemplo de trincas
Fonte: CASTRO (1999)

2.5.2.3 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Em função das diversas variáveis que envolvem o procedimento de soldagem partindo desde componentes mais controláveis como os equipamentos e as soldagens automáticas, até aquelas de difícil controle, como a figura do soldador e as condições atmosféricas, tornam-se fundamentais, principalmente em ligações de grande responsabilidade estrutural, os serviços de inspeção das juntas soldadas.(CASTRO, 1999; MODENESI, 2001).

Os serviços de inspeção deverão sempre ser planejados em função do porte e complexidade da obra e podem ser realizados antes, durante e após os procedimentos de solda.

Quando realizados antes da soldagem tem por objetivo garantir que as especificações e desenhos de projeto foram compreendidos e que as juntas estão devidamente preparadas, verificar se os profissionais envolvidos nos procedimentos possuem a devida qualificação, verificar se os equipamentos, os recursos e insumos necessários para a realização da soldagem estão devidamente disponibilizados e na qualidade especificada.

Quando realizados durante a soldagem os trabalhos de inspeção tem por objetivo controlar a montagem e o ajuste das peças, atestar a qualidade das soldas, controlar a ocorrência de possíveis distorções, verificar se os procedimentos de soldagem estão de acordo com os planos de fabricação, verificar os métodos de controle da temperatura de pré-aquecimento e entre passes, verificar se está adequado o manuseio dos insumos consumíveis, verificar a qualificação dos soldadores frente as operações executadas, verificar a qualidade da limpeza das soldas entre passes e no acabamento final. Nesta etapa podem ser realizados os primeiros procedimentos de inspeção não destrutiva, como exame visual e outros.

Após o procedimento de soldagem, os trabalhos de inspeção tem por objetivo avaliar a conformidade das soldas com os desenhos e especificações técnicas e as condições de limpeza das mesmas, além do controle de possíveis reparos. Demais avaliações deverão ser feitas através de procedimentos de inspeção não destrutiva, ou se possível por inspeção destrutiva, como ensaios mecânicos em amostras.

Os métodos de inspeção não destrutivos são de suma importância, uma vez que na maioria dos casos se torna inviável a realização de ensaios que danifiquem as peças soldadas, o mais simples consiste na própria inspeção visual, com o olhar atento e experiente, e o uso de equipamentos simples como lupas, microscópios e outros o profissional é capaz de avaliar a qualidade das soldas realizadas além de conferir as medidas especificadas através do uso de gabaritos e réguas. Outros métodos de avaliar se há descontinuidades superficiais na ligação são o ensaio a líquido penetrante e a inspeção por partículas magnéticas. Para identificar e avaliar descontinuidades no interior da

ligação soldada existem os métodos de ultrassom e radiografias por emissão de raio x, ou a gamatografia, com emissão de raios gama. Estes dois últimos processos são realizados em situações justificadas, devido ao elevado custo e a lentidão na obtenção dos resultados. A figura 66 ilustra diferentes tipos de patologias identificadas através de radiografia.

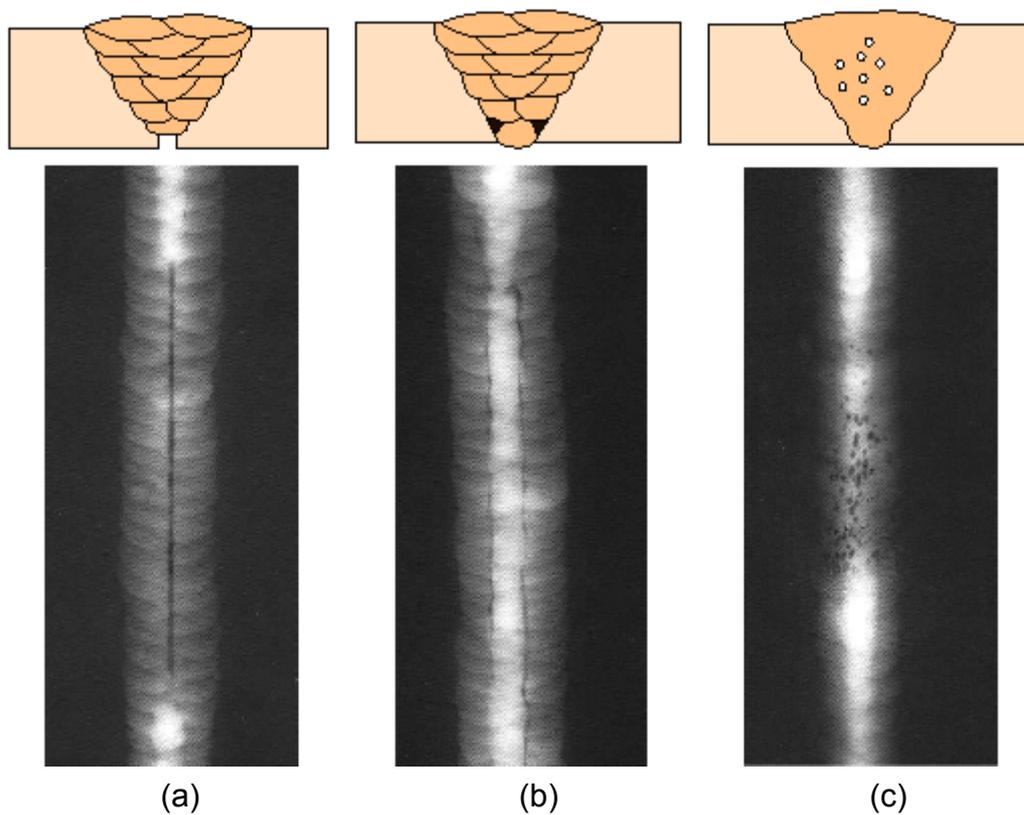


Figura 70 – Exemplos de radiografias de soldas com discontinuidades: (a) Falta de penetração, (b) inclusão de escória e (c) porosidade agrupada – Fonte: MODENESI (2001)

3 DISCUSSÃO

3.1 IMPACTOS DAS PATOLOGIAS DAS LIGAÇÕES NO MECANISMO DE TRANSMISSÃO DE ESFORÇOS DA ESTRUTURA

Na etapa de concepção e projeto da edificação são feitos questionamentos e definidos todos os parâmetros de dimensionamento da estrutura. Define-se qual a tipologia estrutural que será adota e assume-se os pressupostos de funcionamento do conjunto estrutural, ou seja, a quais esforços cada peça estará submetida, quais os estados limites últimos que deverão ser verificados e como funcionará o conjunto estrutural.

Responsáveis por manter a unicidade e a continuidade do conjunto estrutural estão os elementos de ligação. Também nesta etapa escolhe-se qual o tipo de ligação será utilizada, soldada ou parafusa, e em qual etapa da obra ela será executada, na fábrica ou em campo, e todos os outros parâmetros para o seu funcionamento. A ligação será rígida ou flexível? Rotulada ou engastada? Estão presentes esforços de tração, de cisalhamento ou de flexão?

Patologias nos elementos de ligação comprometem todos os pressupostos definidos em projeto, desencadeando um efeito em cadeia, que pode vir a comprometer a estabilidade da estrutura.

O primeiro efeito da patologia é a diminuição da vida útil da ligação e da edificação. Quando uma ligação perde sua capacidade de resistir aos esforços solicitantes ocorre uma descontinuidade na transmissão de cargas da estrutura, ocasionando uma mudança no comportamento desta, com o acomodamento da mesma e uma mudança do fluxo de caminhamento das cargas, submetendo peças a esforços não previstos.

Um simples meio de ligação se rompe ou perde a sua capacidade de resistência sujeita toda a ligação a esforços para a qual não foi dimensionada, e assim numa reação em cadeia toda a ligação pode ficar comprometida.

O comprometimento da ligação sujeita as peças conectadas a esforços também não previstos, que, por consequência, podem levar ao colapso da

peça. O colapso das peças estruturais compromete a estabilidade da estrutura e pode levar a ruína precoce da edificação.

3.2 PRINCIPAIS AÇÕES PARA MINIMIZAR A OCORRÊNCIA DE PATOLOGIAS

Como visto anteriormente patologias nos elementos de ligação podem sujeitar a estrutura a uma reação em cadeia que pode ter por consequência até o comprometimento da estabilidade da edificação. Mas como minimizar e até evitar a ocorrência das patologias estruturais?

Como já mencionando falhas na etapa de projeto são responsáveis pela grande maioria das patologias que acometem as construções metálicas e especificamente sobre os elementos de ligação esta relação não é diferente. Cuidados na etapa de projeto, além de ser bem menos onerosos, são consideravelmente eficazes na redução da ocorrência de patologias e por consequência no desgaste precoce da estrutura.

A particularidade da construção metálica é que a sua fabricação e montagem ocorrem em locais distintos. Na etapa de projeto é importante se considerar todos os aspectos que envolvem a fabricação e a montagem da estrutura, procurando-se antever possíveis dificuldades construtivas, diminuindo assim as adaptações de canteiro, que podem muitas vezes contrariar os pressupostos de projeto.

Deve-se também, projetar a estrutura, com vistas ao uso e preservação da edificação, evitando-se locais de acesso dificultado para possíveis manutenções.

A escolha dos materiais que compõem a estrutura deverá ser norteadada em função da localização da edificação e da agressividade do meio onde está inserida, utilizando-se materiais adequadamente resistentes.

Por exemplo, em estruturas metálicas aparentes é obrigatória à utilização de aços resistentes à corrosão atmosférica, sejam estes patináveis, pintados, aços zincados ou aços com revestimento de alumínio-zinco (Al-Zn). Em atmosfera

marinha e ambientes altamente agressivos, tanto os aços patináveis quanto os zincados deverão ser revestidos por pintura, enquanto que os aços com revestimento de alumínio-zinco (Al-Zn), a pintura pode ser aplicada apenas para efeito estético.

Ainda com grande efeito na redução da ocorrência de patologias, nas etapas de fabricação, e montagem é fundamental os serviços de inspeção e controle para garantir que as ligações serão executadas conforme especificado em projeto e com as técnicas adequadas.

Durante o uso da edificação, a inspeção também é uma ferramenta importante, com objetivo de identificar precocemente patologias que estão se instalando e subsidiando os programas de manutenção preventiva da estrutura. Esta por sua vez, apesar de muitas vezes negligenciada pelos gestores das edificações, é bem menos onerosa que as manutenções corretivas. E estas últimas chegam a ser tão dispendiosas que inviabilizam a recuperação da patologia e condenam a estrutura.

A seguir citam-se alguns mecanismos de proteção que podem ser adotados ainda nas fases de concepção estrutural que tem por objetivo minimizar o aparecimento das patologias relacionadas à corrosão nos elementos de ligação.

Ainda com relação à corrosão podemos tomar uma série de precauções na fase de projeto, como por exemplo:

- evitar arestas vivas, recessos, rebarbas, gretas ou cavidades;
- em locais onde a água pode ficar retida, prever furos de drenagem;
- as cantoneiras devem ser projetadas para permitir o livre fluxo de ar, de forma a acelerar o processo de secagem;
- executar o recozimento de peças para retirada de tensões residuais;
- em regiões catódicas, diminuir a superfície de contato;

- isolar metais distantes na tabela galvânica. Deve-se evitar que o aço entre em contato com o cobre, bronze ou outro metal;
- evitar peças semi-enterradas ou semi-submersas;
- em soldas longas, manter a continuidade do filete, evitando-se cavidades;
- usar preferencialmente ligações soldadas sempre que possível, visto que trazem menos problemas que as parafusadas.

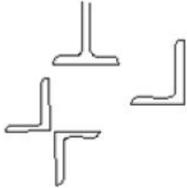
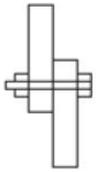
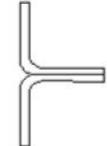
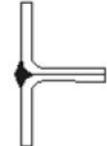
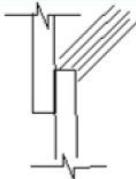
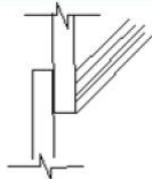
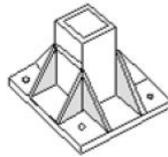
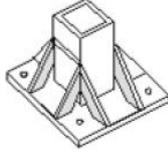
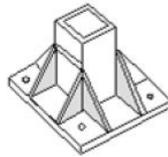
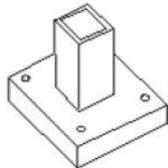
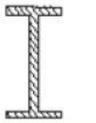
PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA	PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA
UMIDADE E SUJEIRA PODEM SE ACUMULAR NA FENDA	UTILIZE PERFILT OU OUTRA GEOMETRIA	UMIDADE PENETRA NA FENDA	UTILIZE CORDÃO DE SOLDA OU SELANTE
			
CORROSÃO POTENCIAL (FRESTA)	ELIMINE A FENDA POR SOLDAGEM OU SELANTE (EPOXI OU POLIURETANO)	CONDIÇÃO DESFAVORÁVEL	CONDIÇÃO FAVORÁVEL
			
CANTOS VIVOS E SOLDA DESCONTINUA	CANTOS ARREDONDADOS E SOLDA CONTINUA	REFORÇOS CRIAM ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA	ELIMINE O ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA
			
CUIDADO COM O ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA	CRIE SITUAÇÕES QUE EVITEM O ACÚMULO DE SUJEIRA E ÁGUA		
			
			

Figura 71 - Tipos de problemas e soluções típicas - Fonte : Pannoni (2012)

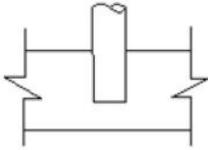
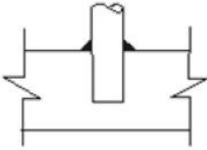
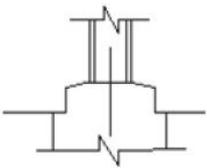
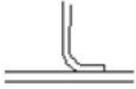
PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA	PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA
UMIDADE E SUJEIRA PODEM SE ACUMULAR NA FENDA	USE SELANTE PARA DIFICULTAR O INGRESSO DA ÁGUA	ÁGUA RETIDA	NÃO ACUMULA ÁGUA
			
		SOLDADA NA BASE E CRIA FRESTA	SOLDE O TOPO DA JUNTA
			
A CHAPA DE BASE E OS CHUMBADORES NO NÍVEL DO SOLO RESULTA EM RETENÇÃO DE ÁGUA	A CHAPA DE BASE ACIMA DO SOLO, SOBRE BASE DE CONCRETO PROMOVE A PROTEÇÃO. INCLINAÇÃO PARA DRENAGEM DA ÁGUA	ENRUECEDORES IMPEDEM A DRENAGEM	DEIXE FURO PARA DRENAGEM
			
		CRIAÇÃO DE FRESTA	ELIMINAÇÃO DE FRESTA
			

Figura 72 - Tipos de problemas e soluções típicas - Fonte : Pannoni (2012)

4 CONCLUSÃO

Para que uma estrutura em aço cumpra adequadamente a função para qual é projetada e construída, a mesma deverá atender aos seguintes critérios de desempenho:

- segurança estrutural;
- segurança ao fogo;
- ligação do aço a outros materiais;
- durabilidade.

Ao longo do trabalho, pode ser visto a importância dos sistemas de ligação frente aos critérios acima elencados, uma vez que cada elemento dentro da estrutura tem uma função específica e previamente definida e cabe aos elementos de ligação garantir a continuidade da estrutura e a transmissão dos esforços solicitantes. A ocorrência de patologias interfere nas premissas de funcionamento da estrutura, definidas na etapa de concepção e projeto, modificando as formas de transmissão dos esforços e comprometendo a funcionalidade dos componentes estruturais, o que pode levar inclusive ao colapso da edificação.

Quando a patologia já se encontra instalada, são fundamentais os trabalhos de prospecção e diagnóstico para determinar as causas de sua ocorrência e por consequência conduzir ao tratamento adequado, uma vez que cada patologia tem causas e profilaxia específicas.

COSTA JUNIOR E SILVA (2003), citando PICHHI e AGOPYAN, 1993; DÓREA e SILVA, 1999, consideram que o processo de construção pode ser dividido em cinco etapas principais: o planejamento, projeto, materiais, execução e uso. A qualidade obtida em cada etapa tem sua devida importância no resultado final do produto, assim como na satisfação do usuário e principalmente no controle da incidência de manifestações patológicas na edificação na fase de uso.

Em cada uma destas etapas, vários são os fatores que interferem na qualidade final do produto, dentre eles pode-se citar:

- no planejamento, a definição dos níveis de desempenho desejados;
- no projeto, a programação de todas as etapas da obra, os desenhos, as especificações e as descrições das ações;
- nos materiais, a qualidade e a conformidade com as especificações;
- na execução, a qualidade e a conformidade com as especificações;
- no uso, o tipo de utilização previsto para o ambiente construído aliado ao programa de manutenção.

Para se obter a diminuição ou a eliminação dos problemas patológicos deve existir um maior controle de qualidade nestas etapas do processo, principalmente nas etapas de planejamento, projeto e execução, visto que falhas nestas etapas são responsáveis pela maioria das ocorrências patológicas.

A abordagem de manutenção também deve ser feita de forma a contextualizá-la no processo de construção, procurando durante todas as etapas do processo situá-la como um dos fatores relevantes a ser considerado. Devem ser tomadas medidas para assegurar, nas várias etapas do processo construtivo, o delineamento e a projeção de manutenção futura.

O estabelecimento de rotinas de manutenção é importante para o prolongamento da vida útil das estruturas. A manutenção e o tratamento preventivo das peças metálicas evitam o comprometimento da estabilidade estrutural e são muito menos onerosos do que as manutenções corretivas, quando as peças metálicas muitas vezes já se encontram em estado tão avançado de degradação que comprometem o próprio uso da estrutura. Estes custos, muitas vezes, são tão elevados que inviabilizam a recuperação estrutural, condenando a edificação à ruína.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Péricles Barreto de. **Curso básico de estrutura de aço**, 3ª ed. Belo Horizonte: IEA Editora LTDA, 2000. 179p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2ª Ed. Rio de Janeiro, ago 2008. 237p.

BARRA, S.R.; PEREIRA, A.S. **Descontinuidades em soldagem**. Trabalho de pesquisa da disciplina Metalurgia da Fratura e Fadiga. Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1999. 33p.

CASTRO, E.M.C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. 1999. 202p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999. Disponível em: < <http://www.dc120.4shared.com/download/qKB41Sem/Tese-EduardoCastro.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2012.

COSTA JUNIOR, M.P.; SILVA, M.G.S., **A Influência do Processo Produtivo no Controle de Patologias e nos Processos de Manutenção**. Revista Engenharia, Ciência e Tecnologia - Volume 6. nº4 - julho/agosto – 2003.

DÓREA, S.C.; SILVA, L.F. **Estudo sobre índices da patologia das construções paralelo entre a situação mundial e a brasileira**. In: V Congresso Iberoamericano da patologia de las construciones – CONPAT 99. Proceedings. 18 a 21 de outubro de 1999. Montevideo – Uruguai. p. 609-616. *Apud* COSTA JUNIOR, M.P.; SILVA, M.G.S., **A Influência do Processo Produtivo no Controle de Patologias e nos Processos de Manutenção**. Revista Engenharia, Ciência e Tecnologia - Volume 6. nº4 - julho/agosto – 2003.

DOWLING, P.J.; KNOWLES, P.; OWENS, G.W. **Structural steel design**.

London: Butterworths, 1998. 416p. *Apud* SILVA, L.S. **Ligações metálicas: métodos avançados de análise e dimensionamento**. Coimbra. Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/ligacoes-metalicas-metodos-avancados-de-analise-e-dimensionamento>>. Acesso em: 8 mar. 2012.

FAKURY, R.H. **Estudos avançados em estruturas de aço**. Publicação Interna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da UFMG. Belo Horizonte, 2000.

FRUCHTENGARTEN, J. (Coord.). **Projeto de norma de revisão da NB-143**. III Seminário Internacional – O Uso de Estruturas Metálicas na Construção Civil. Belo Horizonte, 2001.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3ª Edição. Ed. LTC. Rio de Janeiro. 1996. 345p.

GESCHWINDNER, L. F., **Unified design of steel structures**. John Wiley & Sons, 2008. p.3-7.

IBS/CBCA. Instituto Brasileiro de Siderurgia. Centro Brasileiro de Construção em Aço. **Edifícios de Pequeno Porte Estruturados em Aço**. 3 ed. Série Manual de Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2004. 76p.

IBS/CBCA. Instituto Brasileiro de Siderurgia. Centro Brasileiro de Construção em Aço. **Ligações em estruturas metálicas**. 3 ed. Série Manual de Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2004. 88p.

MARGARIDO, A. F. **O uso do aço na arquitetura**. CBCA. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

MESEGUER, A.G., **Controle e garantia da qualidade na construção**. São Paulo: SINDUSCON/SP 1991. *Apud* PRAVIA, Z.M.C., BETINELLI, E. A., **Falhas em estruturas metálicas: conceitos e estudo de casos**. Disponível em <<http://www.metallica.com.br/patologias-comuns-em-estruturas-metalicas>>. Acesso em: 15/02/2012.

MODENESI, P.J. **Descontinuidades e Inspeção em Juntas Soldadas**. Apostila Soldagem I. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais,

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. 15p. Disponível em: <<http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas/emt019/descontinuidades.pdf>>. Acesso em: 10 de julho de 2012.

PANNONI, F. D., **A prevenção da corrosão em estruturas metálicas**. Disponível em <http://www.cbca-ibs.org.br/noticias/Artigo_ILAFA_Pannoni_2006.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2012.

PEZZATO, L. M. **Patologia no sistema de revestimento cerâmico** – Um Estudo de Caso em Fachadas. 2010. 162p. Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-30042010-101558/publico/leila_pezzato.pdf>. Acesso em: 05 out 2010.

PICCHI, F. AGOPYAN, V. **Sistemas da qualidade na construção de edifícios**. Boletim técnico da escola Politécnica da USP, BT/PCC/104, São Paulo: EDUSP. 1993. *Apud* COSTA JUNIOR, M.P.; SILVA, M.G.S., **A Influência do Processo Produtivo no Controle de Patologias e nos Processos de Manutenção**. Revista Engenharia, Ciência e Tecnologia - Volume 6. nº4 - julho/agosto – 2003.

PINHO, F.O. **Uma nova era para o aço**. Extraído da revista Técnica 36 – set/out – 1999. p.18-23. Disponível em: <http://pcc2435.pcc.usp.br/pdf/Uma_nova_era_para_o_aco.pdf> Acesso em: 02 abril 2012.

PONTE, H. A. **Fundamentos da Corrosão**. Apostila da disciplina eletroquímica aplicada e corrosão. Universidade Federal do Paraná. 2003. 16p. Disponível em: <<http://www.gea.ufpr.br/arquivos/lea/material/Apostila%20Corrosao.pdf>>. Acesso em: 05 abril 2012

PRAVIA, Z.M.C., BETINELLI, E. A., **Falhas em Estruturas Metálicas: Conceitos e Estudo de Casos**. Disponível em <<http://www.metallica.com.br/patologias-comuns-em-estruturas-metalicas>>. Acesso em: 15/02/2012.

ROSCOE, M. T. **Patologia em revestimento cerâmico de fachadas**. 2008. 81p. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2008.

SILVA, L.S. **Ligações metálicas: métodos avançados de análise e dimensionamento**. Coimbra. Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/ligacoes-metalicas-metodos-avancados-de-analise-e-dimensionamento>>. Acesso em: 8 mar. 2012.

SILVA, S.D. **Pintura em Pó Industrial**. Tintas WEG. 2009. Disponível em: <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-pintura-industrial-com-tintas-liquidadas-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 23 abr 2012.