



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

PATOLOGIA DOS EDIFÍCIOS EM ESTRUTURA METÁLICA

AUTOR: EDUARDO MARIANO CAVALCANTE DE CASTRO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Ouro Preto, setembro de 1999.

Castro, Eduardo Mariano Cavalcante de Castro

Patologia dos edificios em estrutura metálica / Eduardo Mariano Cavalcante de Castro;

Orientador Ernani Carlos de Araújo – Ouro Preto, 1999. 202 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, 1999

1. Patologia do edificios em estrutura metálica. I. Título

PATOLOGIA DOS EDIFÍCIOS EM ESTRUTURA METÁLICA

EDUARDO MARIANO CAVALCANTE DE CASTRO

Dissertação defendida e aprovada em 27 de agosto de 1999, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Ernani Carlos de Araújo (Orientador)
Doutor em Estrutura pela Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade Estadual de São Paulo (USP)

DEDICATÓRIA

Aos pais, por todo apoio prestado no decorrer do mestrado. À todos que direta ou indiretamente me acompanharam neste projeto.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre comigo nessa caminhada.

À USIMINAS pelo incentivo técnico e financeiro das várias atividades vinculadas ao Mestrado em Construção Metálica, mostrando assim o seu interesse em promover o desenvolvimento do uso do aço na construção civil.

Às empresas HAIRONVILLE DO BRASIL S.A., PLACO DO BRASIL Ltda, TINÔCO ANTICORROSÃO Ltda, METALPARK ENGENHARIA COMÉRCIO E CONSTRUÇÃO Ltda., TINTAS SUMARÉ S.A. e TEKNO CONSTRUÇÕES, INDÚSTRIA E COMÉRCIO Ltda pela contribuição no envio de material de pesquisa.

Ao engenheiro Milton Galindo Filho (ARISCO), engenheiro e consultor Eduardo Assis (CODEME Estruturas Metálicas), engenheiro Carlos Valério Amorim (CVA Empreendimentos Ltda), engenheiro Zacarias M. Chamberlain (Universidade de Passo Fundo), engenheira Rosemary Alves Arcanjo (USIMINAS), pelo auxílio técnico prestado no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários do mestrado, por tornarem possível esta conquista, e particularmente ao meu orientador, professor Ernani Carlos de Araújo, por sua confiança no êxito deste.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 1 | Edifício em construção | 1 |
| Figura 2 | Lei de evolução dos custos – HELENE ³⁵ | 4 |
| Figura 3 | Parte do Código de Hamurabi | 12 |
| Figura 4 | Exemplo de uma pilha eletrolítica genérica | 29 |
| Figura 5 | Exemplo de um par metálico | 30 |
| Figura 6 | Corrosão em uma ligação metálica – DILLON ²⁵ | 43 |
| Figura 7 | Corrosão em uma coluna de aço – DILLON ²⁵ | 43 |
| Figura 8 | Exemplo de corrosão uniforme em uma coluna metálica | 43 |
| Figura 9 | Terça metálica totalmente corroída | 45 |
| Figura 10 | Corrosão por fresta – DILLON ²⁵ | 46 |
| Figura 11 | Recuperação de coluna deteriorada por corrosão – SANTOS ⁶² | 48 |
| Figura 12 | Formas geométricas preferenciais – SOUZA ^{67,68} | 54 |
| Figura 13 | Arredondamento de cantos – SOUZA ^{67,68} | 54 |
| Figura 14 | Detalhamento preferencial – SOUZA ^{67,68} | 55 |
| Figura 15 | Usar componentes simples – SOUZA ^{67,68} | 55 |
| Figura 16 | Furo de drenagem – DIAS ²⁴ | 56 |
| Figura 17 | Tipos de cordões de solda – SOUZA ^{67,68} | 56 |
| Figura 18 | Preferência por ligações de topo – SOUZA ^{67,68} | 57 |
| Figura 19 | Acúmulo de umidade – DIAS ²⁴ | 57 |
| Figura 20 | Corrosão em frestas | 58 |
| Figura 21 | Contato bi-metálico – COSTA ²¹ | 58 |
| Figura 22 | Base de coluna corroída | 59 |
| Figura 23 | Detalhe de solidarização especular – SOUZA ^{67,68} | 60 |
| Figura 24 | Mecanismo de corrosão por revestimento – NUNES ⁵⁰ | 63 |
| Figura 25 | Corte esquemático de um sistema de revestimento – NUNES ⁵⁰ | 65 |
| Figura 26 | Exemplo de ligação | 78 |
| Figura 27 | Ligação flexível | 79 |
| Figura 28 | Ligação rígida | 79 |
| Figura 29 | Relação momento x rotação para diversos tipos de ligações – RIBEIRO ⁵⁸ | 81 |
| Figura 30 | Exemplo de ligações flexíveis – RIBEIRO ⁵⁸ | 81 |
| Figura 31 | Exemplo de ligações semi-rígidas – RIBEIRO ⁵⁸ | 82 |
| Figura 32 | Exemplo de ligações rígidas – RIBEIRO ⁵⁸ | 82 |
| Figura 33 | Esmagamento da ligação devido a troca do tipo de ligação – JÚNIOR ⁴⁰ | 83 |
| Figura 34 | Radiografia de uma solda porosa | 90 |
| Figura 35 | Solda com inclusão de escória | 94 |
| Figura 36 | Solda apresentando mordedura | 96 |
| Figura 37 | Solda apresentando falta de fusão | 97 |
| Figura 38 | Solda com falta de penetração | 98 |
| Figura 39 | Solda com trincas | 100 |
| Figura 40 | Diversos tipos de empenamento devido à soldagem | 102 |
| Figura 41 | Solda com superposição | 103 |
| Figura 42 | Excesso de respingos ao redor da solda | 106 |
| Figura 43 | Folgas na emenda devido a falta de concordância - BETINELI ¹² , ZACARIAS ⁵⁵ | 108 |
| Figura 44 | Ligação indefinida: soldada ou parafusada? - SANTOS ⁶² | 108 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 45 | Amassamento das extremidades - SANTOS ⁶² | 109 |
| Figura 46 | Não coincidência entre perfis de diferentes dimensões - BETINELI ¹² , ZACARIAS ⁵⁵ | 110 |
| Figura 47 | Corrosão em ligação parafusada – DILLON ²⁵ | 112 |
| Figura 48 | Parafuso com acentuado processo de corrosão – DILLON ²⁵ | 112 |
| Figura 49 | Amassamento em ligação para possibilitar o acesso das chaves de aperto - SANTOS ⁶² | 113 |
| Figura 50 | Falta de furo na coluna - BETINELI ¹² , ZACARIAS ⁵⁵ | 113 |
| Figura 51 | Erro de detalhamento da chapa de ligação - SANTOS ⁶² | 114 |
| Figura 52 | Desalinhamento generalizado da ligação - SANTOS ⁶² | 114 |
| Figura 53 | Erro de projeto: comprimento insuficiente – BETINELI ¹² , ZACARIAS ⁵⁵ | 114 |
| Figura 54 | Erro de projeto: comprimento excessivo – BETINELI ¹² , ZACARIAS ⁵⁵ | 115 |
| Figura 55 | Parafuso “torto” devido a erro na locação do furo – BETINELI ¹² , ZACARIAS ⁵⁵ | 116 |
| Figura 56 | Parafusos mal apertados - SANTOS ⁶² | 116 |
| Figura 57 | Falha por insuficiência de parafusos de fixação das telhas sobre as terças | 121 |
| Figura 58 | Estrago causado pela pressão do vento | 122 |
| Figura 59 | Falha do fechamento em ponto de alto coeficiente de pressão interna | 122 |
| Figura 60 | Exemplo de falha por perda de estabilidade | 123 |
| Figura 61 | Falha de concepção – ausência de um elemento do contraventamento em “K” (em vermelho) | 125 |
| Figura 62 | Base de coluna faltando os chumbadores e com dimensões incorretas do bloco de concreto - SANTOS ⁶² | 125 |
| Figura 63 | Exemplo de falha por escoamento em viga mista | 129 |
| Figura 64 | Flambagem local da mesa | 129 |
| Figura 65 | Flambagem local da alma (em corte) | 130 |
| Figura 66 | Flambagem lateral por torção | 131 |
| Figura 67 | Falha de viga por esforço cortante | 132 |
| Figura 68 | Efeito de carga localizada – ANDRADE ⁰³ | 133 |
| Figura 69 | Falha de coluna por flambagem global | 134 |
| Figura 70 | Falha de coluna por flambagem local da mesa | 135 |
| Figura 71 | Falha de coluna por flambagem da alma | 135 |
| Figura 72 | Corrosão na interface entre laje e viga | 140 |
| Figura 73 | Estrutura metálica com laje maciça | 140 |
| Figura 74 | Vista geral de uma laje mista – CODEME ¹⁸ | 141 |
| Figura 75 | Laje mista + armadura de fissuração e negativa – CODEME ¹⁸ | 142 |
| Figura 76 | Armadura de fissuração na ligação das vigas secundárias (em planta) – CODEME ¹⁸ | 143 |
| Figura 77 | Descolamento do concreto da chapa de aço – CODEME ¹⁸ | 143 |
| Figura 78 | Mecanismo de falha por descolamento – CODEME ¹⁸ | 144 |
| Figura 79 | Diversos pontos de corrosão em uma instalação industrial | 144 |
| Figura 80 | Laje pré-moldada – PREMO | 145 |
| Figura 81 | Alvenaria | 145 |
| Figura 82 | Fachada de vidro | 146 |
| Figura 83 | Placas pré-moldadas – PLACO DO BRASIL | 146 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 84 | Ferros “cabelo” para receber alvenaria solidarizada em pilar metálico | 147 |
| Figura 85 | Exemplo de destacamento entre alvenaria de vedação e estrutura devido às movimentações higrotérmicas diferenciadas | 151 |
| Figura 86 | Fissuras de cisalhamento em alvenarias nos últimos pavimentos | 152 |
| Figura 87 | Deformação da estrutura devido ao vento | 152 |
| Figura 88 | Trinca em fachada de vidro | 153 |
| Figura 89 | Junta telescópica com ferro “cabelo” | 154 |
| Figura 90 | Junta telescópica sem ferro “cabelo” | 154 |
| Figura 91 | Corte esquemático de uma junta telescópica | 154 |
| Figura 92 | Junta telescópica na viga superior e no pilar | 155 |
| Figura 93 | Esquema para instalação de fechamento de tijolos de vidro – COSTA ²¹ | 155 |
| Figura 94 | Esquema para instalação de fechamento de tijolos de vidro – COSTA ²¹ | 156 |
| Figura 95 | Esquema de junta telescópica para fechamentos com fachada de vidro – COSTA ²¹ | 156 |
| Figura 96 | Esquema de construção em alvenaria para estrutura metálica embutida – COSTA ²¹ | 157 |
| Figura 97 | Fissuras em alvenaria sobre balanço | 158 |
| Figura 98 | Detalhe de alvenaria sobre viga contínua | 158 |
| Figura 99 | Fissura na alvenaria sobre o apoio | 158 |
| Figura 100 | Fissuras causadas por uma flecha maior na viga inferior | 159 |
| Figura 101 | Fissuras causadas por uma flecha maior na viga superior | 159 |
| Figura 102 | Fissuras causadas por flechas idênticas nas vigas inferior e superior | 159 |
| Figura 103 | Fechamento composto por painéis pré-moldados de gesso – PLACO DO BRASIL | 160 |
| Figura 104 | Fissuras em fechamentos pré-fabricados (painéis) | 160 |
| Figura 105 | Pontos críticos para penetração de umidade em ligações e nas interfaces com o fechamento – COSTA ²¹ | 161 |
| Figura 106 | Alvenaria aparente + estrutura metálica – COSTA ²¹ | 162 |
| Figura 107 | Contraventamento + junta telescópica | 163 |
| Figura 108 | Fissura em alvenaria devido a arranjo específico entre laje pré-moldada e disposição da viga secundária e alvenaria – JÚNIOR ⁴⁰ | 164 |
| Figura 109 | Fissura horizontal causada por torção da laje de apoio em edifício com estrutura metálica | 165 |
| Figura 110 | Seccionamento de perfil estruturas para passagem de tubulação – SOUZA ⁶² | 167 |
| Figura 111 | Seccionamento de coluna para passagem de tubulação – BETINELI ¹² , ZACARIAS ⁵⁵ | 167 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabela 1 | Tabela prática de nobreza em água do mar – NUNES ⁵⁰ | 31 |
| Tabela 2 | Velocidade de corrosão – NETO ⁴⁸ | 51 |
| Tabela 3 | Esquema de pintura 1 – DIAS ²⁴ | 74 |
| Tabela 4 | Esquema de pintura 2 – DIAS ²⁴ | 75 |
| Tabela 5 | Esquema de pintura 3 – DIAS ²⁴ | 75 |
| Tabela 6 | Esquema de pintura 4 – DIAS ²⁴ | 75 |
| Tabela 7 | Esquema de pintura 5 – DIAS ²⁴ | 75 |
| Tabela 8 | Esquema de pintura 6 – DIAS ²⁴ | 76 |
| Tabela 9 | Esquema de pintura 7 – DIAS ²⁴ | 76 |
| Tabela 10 | Esquema de pintura 8 – DIAS ²⁴ | 76 |
| Tabela 11 | Compatibilidade de tintas – DIAS ²⁴ | 77 |
| Tabela 12 | Eletrodos para soldagem a arco elétrico - OKUMURA ⁵¹ | 120 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------------|--|
| AISI | American Iron and Steel Institute |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| BCCA | Bloco de concreto celular autoclavado |
| COS-AR-COR | Nome comercial para o aço de alta resistência a corrosão produzido pela COSIPA |
| COSIPA | Companhia Siderúrgica Paulista |
| CSN | Companhia Siderúrgica Nacional |
| ddp | diferença de potencial |
| EPS | poliestireno expandido – isopor |
| IBRACON | Instituto Brasileiro do Concreto |
| MAG | metal active gas |
| MIG | Metal inert gas |
| NIOCOR | Nome comercial para o aço de alta resistência a corrosão produzido pela CSN |
| USIMINAS | Usinas Siderúrgicas Minas Gerais |
| USI-SAC | Nome comercial para o aço de alta resistência a corrosão produzido pela USIMINAS |

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|------|
| | DEDICATÓRIA | IV |
| | AGRADECIMENTO | V |
| | LISTA DE FIGURAS | VI |
| | LISTA DE TABELAS | IX |
| | LISTA DE SIGLAS | X |
| | RESUMO | XIII |
| | ABSTRACT | XIV |
| 1. | CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. | JUSTIFICATIVAS | 2 |
| 1.2. | OBJETIVOS | 4 |
| 1.3. | RESTRICÇÕES | 4 |
| 1.4. | SISTEMÁTICA DE ESTUDO | 5 |
| 2. | CAPÍTULO II - AÇO, PATOLOGIA E CONSTRUÇÃO CIVIL | 7 |
| 2.1. | PEQUENO HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO NO BRASIL | 8 |
| 2.2. | AS DEFICIÊNCIAS DA CONSTRUÇÃO EM AÇO NA ATUALIDADE | 10 |
| 2.3. | PEQUENO HISTÓRICO DA PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES | 12 |
| 2.4. | PORQUE OS PROBLEMAS PATOLÓGICOS OCORREM | 15 |
| 2.5. | ESTRUTURA DAS PATOLOGIAS | 16 |
| 2.6. | ORIGEM DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS | 17 |
| 2.7. | AÇO x CONCRETO | 18 |
| 3. | CAPÍTULO III – PATOLOGIAS DO AÇO | 25 |
| 3.1. | CORROSÃO | 25 |
| 3.1.1. | Mecanismo genérico | 26 |
| 3.1.2. | A pilha eletroquímica | 28 |
| 3.1.3. | O meio | 35 |
| 3.1.4. | Relação entre área anódica e área catódica | 41 |
| 3.2. | CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS | 42 |
| 3.2.1. | Formas de corrosão em estruturas metálicas | 43 |
| 3.2.2. | Manutenção | 47 |
| 3.2.3. | Custos de intervenção | 48 |
| 3.2.4. | Corrosão em elementos galvanizados | 48 |
| 3.2.5. | Corrosão em estacas portantes de aço | 50 |
| 3.2.6. | Aço de alta resistência à corrosão | 52 |
| 3.2.7. | Recomendações de projeto para se evitar a corrosão | 53 |
| 3.3. | REVESTIMENTOS ORGÂNICOS | 61 |
| 3.3.1. | Mecanismos de proteção | 63 |
| 3.3.2. | Disposição e classificação das tintas | 64 |
| 3.3.3. | Tipos e aplicações das tintas | 65 |
| 3.4. | PATOLOGIA DAS TINTAS | 67 |
| 3.4.1. | Defeitos de ordem estética | 68 |
| 3.4.2. | Defeitos de ordem geral | 70 |
| 3.4.3. | Defeitos de ordem econômica | 73 |
| 3.4.4. | Sugestões para esquemas de pintura | 74 |
| 3.4.5. | Recomendações | 77 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.5. | LIGAÇÕES | 78 |
| 3.6. | PATOLOGIA DAS LIGAÇÕES | 84 |
| 3.6.1. | Patologia das ligações soldadas | 85 |
| 3.6.1.1. | A influência do soldador | 88 |
| 3.6.1.2. | Controle de qualidade | 88 |
| 3.6.2. | Análise das patologias da solda | 89 |
| 3.6.3. | Condições básicas para o sucesso na soldagem elétrica | 107 |
| 3.6.4. | Defeitos de execução das ligações soldadas | 107 |
| 3.6.5. | Patologia das ligações parafusadas | 110 |
| 3.6.6. | Recomendações de norma | 116 |
| 3.6.6.1. | Parafusos | 117 |
| 3.6.6.2. | Soldas | 118 |
| 3.7. | FALHA ESTRUTURAL | 120 |
| 3.7.1. | Acidentes aerodinâmicos | 120 |
| 3.8. | PERDA DE ESTABILIDADE ESTRUTURAL | 123 |
| 3.8.1. | Modos de perda de estabilidade dos perfis estruturais | 127 |
| 4. | CAPÍTULO IV - PATOLOGIAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO | 136 |
| 4.1. | PATOLOGIA DAS LAJES | 139 |
| 4.2. | FECHAMENTO PARA EDIFÍCIOS DE AÇO | 145 |
| 4.2.1. | Patologia dos fechamentos | 148 |
| 4.2.2. | Observações importantes | 162 |
| 4.3. | Interferências entre projetos | 166 |
| 5. | CAPÍTULO V – CONCLUSÃO | 169 |
| 5.1. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 170 |
| 5.2. | SUGESTÕES | 171 |
| | ANEXO A – RECOMENDAÇÕES | 173 |
| | ANEXO B – GLOSSÁRIO | 177 |
| | BIBLIOGRAFIA | 184 |

RESUMO

Atualmente existem vários estudos e publicações envolvendo patologia dos edifícios no meio acadêmico, mas, na grande maioria deles, o tipo de construção abordada é aquela em que a estrutura é executada em concreto armado. Com menos ênfase, temos ainda alguns estudos envolvendo as patologias das construções em madeiras e por último, de modo bem sucinto, alguns artigos relativos às construções em aço.

Sendo o aço um material de natureza e características bastante diferenciadas das do concreto armado e da madeira, verifica-se que alguns dos problemas que surgem quando de sua utilização são bastante específicos. É imperativo saber lidar com estes problemas para poder manter o desempenho de qualquer edificação em patamares aceitáveis durante sua vida útil. Porém, em nosso país, muito pouco se conhece sobre esta metodologia construtiva, e conseqüentemente os diversos problemas que surgem em função de sua utilização nas construções, muitas vezes, são resolvidos de maneira inadequada e ineficientes.

Neste trabalho é apresentado um levantamento de problemas patológicos que ocorrem nas construções executadas em estrutura metálica e que necessariamente estão vinculados com a estrutura. Procurou-se também indicar soluções propondo procedimentos de manutenção, reparos e reforços, estabelecendo assim critérios para se prevenir e fiscalizar as causas das patologias.

No desenvolvimento do trabalho não se analisa os aspectos estatísticos, e conforme a norma brasileira para dimensionamento de edifícios de aço, NBR 8800/86⁰⁸, os estudos restringem-se a edifícios residenciais, comerciais e industriais, cujo elemento de sustentação seja o aço estrutural.

ABSTRACT

It has existed today in the academic middle several studies and publications involving pathology of the buildings, but, in their great majority, the type of approached construction is that which the structure is executed in reinforced concrete. With less emphasis, we have had still some studies involving the pathologies of wood structures and at last, in a very brief way, some relative articles to the steel structures.

Because the steel is a material of nature and quite differentiated characteristics from the one of the reinforced concrete and wood, it is verified that some of the problems that appear when it is used they are quite specific. It is imperative to know how to work with these problems in order to maintain the performance of any construction in acceptable levels during its useful life. However, in our country, it is known a few about this constructive methodology, and, consequently, the several problems that appear in function of its use in the constructions many times are resolved in an inadequate and inefficient way.

In this document it has been presented a rising of pathological problems that happen in the constructions executed in metallic structure and that are necessarily linked with the structure. It was also tried to indicate solutions proposing maintenance procedures, repairs and reinforcements, establishing some criterious to take precautions and to fiscalize the causes of the pathologies.

In the development of the document it is not analyzed the statistical aspects, and according to the Brazilian norm to design steel buildings, NBR 8800/86⁰⁸, the studies limit to residential, commercial and industrial buildings, whose sustentation element is the structural steel.

CAPÍTULO I.

1. INTRODUÇÃO

É interessante notar a reação das pessoas ao se depararem com uma edificação estruturada em aço. Estamos tão acostumados a ver estruturas de concreto que quando nos deparamos com um edifício de aço, ou mesmo de qualquer outro sistema estrutural, muitas vezes desviamos a atenção para observar a edificação. É da natureza do homem observar fatos estranhos ao seu cotidiano, e o contraste que um sistema construtivo diferente, particularmente a estrutura metálica, causa em um ambiente urbano no Brasil ainda



gera este tipo de reação nas pessoas (figura 1).

Figura 1 – Edifício em construção

Mas, deixando de lado questões estéticas e psicológicas, vamos voltar nossa atenção para aspectos técnicos das edificações em aço. A intenção de se introduzir o assunto dessa maneira serviu apenas para apresentar a edificação de aço como um elemento que ainda não possui penetração no segmento da construção civil brasileira. E qual é o objetivo de se apresentar a situação desta forma? Simplesmente para mostrar que a

estrutura metálica não é um sistema estrutural difundido entre a população, incluindo aqui grande parcela do setor da construção civil. Isso significa que, do servente até o mestre de obra, passando ainda por engenheiros e arquitetos, poucos são aqueles que possuem o conhecimento técnico mínimo para conceber e construir um edifício de aço sem a ocorrência de problemas típicos deste tipo de construção.

O concreto armado é ainda hoje o principal modelo estrutural adotado na maioria das construções brasileiras. O seu aspecto construtivo é amplamente difundido, de fácil aprendizagem e, principalmente, de fácil aquisição, o que o torna preferencial em relação aos demais sistemas estruturais. Estes e outros fatores contribuíram decisivamente para que se instalasse no país uma “cultura do concreto”, e essa cultura se enraizou de tal maneira que hoje as estruturas de aço ocupam uma parcela menos expressiva das construções.

Não queremos aqui negar as qualidades e benefícios do concreto. Se ele alcançou tal nível de penetração nas construções em geral é porque com certeza possui suas vantagens, e negar isso seria no mínimo insensato. Mesmo as edificações em aço, usualmente, possuem vários elementos executados em concreto tais como as fundações, lajes, escadas e reservatórios. O aço não está proposto aqui com o intuito de substituir o concreto. Procuramos apenas apresentá-lo como elemento alternativo para ser utilizado nas edificações, e que em determinadas circunstâncias se mostra muito mais adequado à situação do que as edificações em concreto armado.

Porém isso também implica na necessidade de se fazer uma divulgação dos aspectos construtivos do aço, incluindo aqui os problemas típicos que acometem este sistema estrutural. Daí a importância do estudo das patologias de edifícios estruturados em aço para que os envolvidos com este campo tenham uma referência na hora de executarem suas edificações.

1.1. JUSTIFICATIVAS

Uma edificação deve oferecer condições de uso, segurança e conforto de forma que as atividades ali desenvolvidas não sofram interferências do meio em que está inserida. Qualquer situação anormal que venha a ocorrer com a edificação pode causar prejuízos de toda ordem de grandeza em consequência da alteração destas atividades. Devemos estar atentos e preparados para perceber, identificar e propor soluções para estes problemas. Vários são os motivos pelos quais deve-se ressaltar a importância do estudo das patologias

e seus processos de ocorrência. Mas as justificativas de maior relevância estão relacionadas abaixo:

- i. Necessidade de divulgação e esclarecimento das manifestações patológicas e de suas respectivas terapias;
- ii. são fenômenos evolutivos - quanto antes detectadas, menor o custo da recuperação (figura 2);
- iii. fornecer subsídios para prevenção através de controle de qualidade mais apurado;
- iv. orientar as intervenções de forma a otimizar os custos e processos de recuperação, de acordo com o item 1.3 da NBR 8800/86⁰⁸;
- v. carência de pesquisas e publicações na área de construção metálica;
- vi. condicionar novos métodos construtivos;
- vii. estabelecer uma nova linha de pesquisa;
- viii. subsidiar a revisão das normas;
- ix. divulgação da “cultura do aço”.

O aspecto financeiro é, sem sombra de dúvida, o de maior destaque entre todos. Já foi comprovado para as estruturas de concreto armado que a soma dos custos de execução de uma edificação com o custo de estudo e correção de qualquer manifestação patológica é sempre maior que o custo de execução e manutenção de uma estrutura com desempenho adequado. Em uma linguagem mais simples significa dizer que é mais barato construir com qualidade, com programação de manutenção, do que economizar na construção, em detrimento da qualidade, implicando em futuros gastos com recuperação da estrutura. Isso sem contar que os gastos com recuperação crescem em progressão geométrica a medida que se posterga a tomada de decisões (figura 2).

Este gráfico mostra que para se conseguir a mesma qualidade e durabilidade, gasta-se cinco vezes mais à medida que se posterga a tomada de decisões. Parece um tanto exagerado, mas é coerente com a realidade. Diante deste quadro, consideramos importante um trabalho que traga um maior esclarecimento a respeito das morbidades que acontecem nas edificações estruturadas em aço.

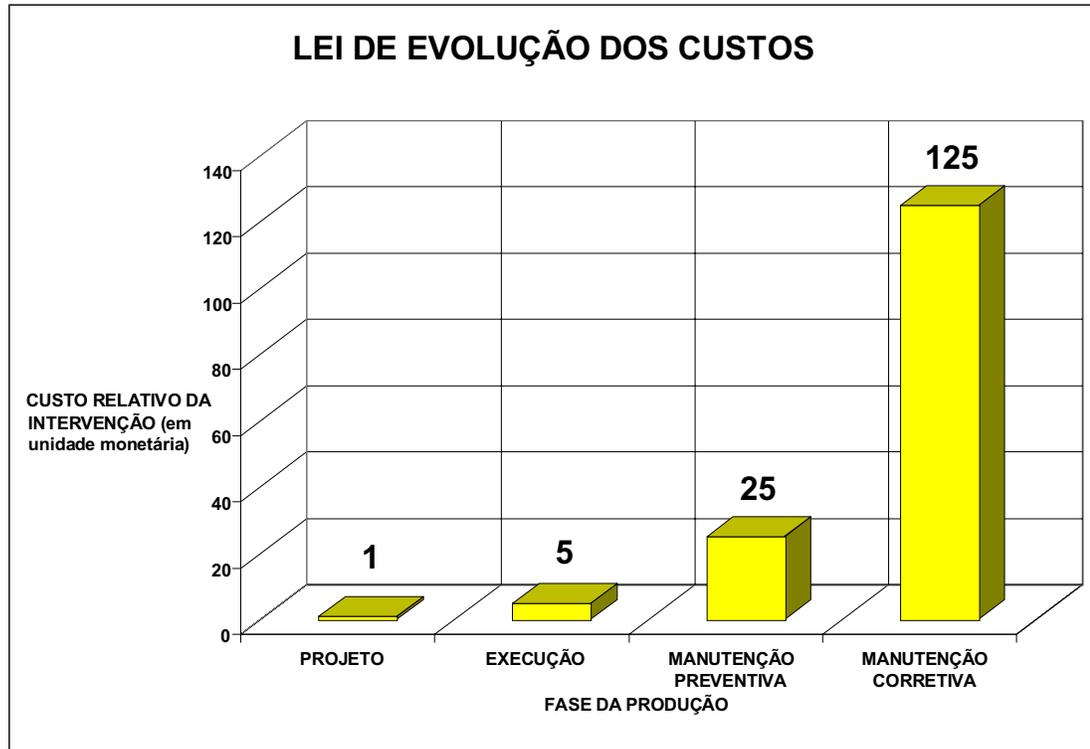


Figura 2 – Lei de evolução dos custos - HELENE³⁵

1.2. OBJETIVOS

- i. Fazer um levantamento das patologias em edificações estruturadas em aço;
- ii. estabelecer suas origens, causas, mecanismos e terapias;
- iii. comparar com as edificações estruturadas em concreto;
- iv. discutir o custo das intervenções para os casos de patologia apresentados.

1.3. RESTRIÇÕES

As restrições a seguir procuram delimitar a extensão da pesquisa de modo a complementar os objetivos apresentados anteriormente. Isso é importante para se definir o campo de atuação no qual a pesquisa foi baseada, evitando assim levar em conta qualquer tipo de patologia dos edifícios em estrutura metálica.

- i. Desvinculação de fatores estatísticos;
- ii. vinculação obrigatória do problema patológico com a estrutura metálica;

- iii. edificações de uso residencial, comercial ou industrial, de acordo com o item 1.2 da NBR 8800/86⁰⁸;
- iv. enfoque para problemas mais comuns.

1.4. SISTEMÁTICA DE ESTUDO

Este trabalho visa apresentar os problemas mais comuns, não só estruturais como também construtivos, relativos a esse sistema, apresentando de forma simples uma relação das patologias mais comuns, suas origens, causas e também propor terapias, de forma a se criar um banco de dados consistente. Essa sistematização de informações deverá servir de auxílio visando identificar as causas mais comuns dos problemas e as possibilidades de reparação ou reforço necessários de forma que a edificação cumpra seu papel satisfatoriamente. Inicialmente procuraremos adotar a mesma filosofia de trabalho utilizada nos edifícios com estrutura de concreto armado. Esta analogia servirá como diretriz para os trabalhos de pesquisa, possibilitando também fazer um paralelo entre os dois tipos de estrutura.

O trabalho será subdividido da seguinte forma:

Capítulo II

Abordagem geral sobre edifícios em aço, patologia e terapia das edificações, diferenças básicas entre as edificações de aço e as de concreto. Considerações sobre patologias em edificações de aço.

Capítulo III

Estudo de mecanismos básicos de patologias na estrutura de aço e seus componentes.

Capítulo IV

Descrição dos principais tipos de patologias relativas à construção devido a sua interação com a estrutura. Infiltrações, trincas em alvenaria devido a movimentação da estrutura (dilatação térmica, deslocamentos, efeitos do vento), infiltrações e falhas dos fechamentos. Considerações sobre metodologias construtivas.

Capítulo V

Conclusão, considerações finais e sugestões para novos trabalhos.

CAPÍTULO II.

2. AÇO, PATOLOGIA E CONSTRUÇÃO CIVIL

É muito difícil para qualquer pessoa se enveredar por novos caminhos, principalmente quando estes não estão exatamente definidos. O homem tende sempre a desconfiar de novas tecnologias simplesmente pelo fato de não se ter domínio sobre ela. Porém, a partir do momento em que ele passa a dominar esta tecnologia, ele não somente a adota em seu cotidiano como também passa a difundir e desenvolver a mesma.

Com a estrutura metálica a coisa não podia ser diferente, pelo menos em termos de Brasil. Ainda mais quando já existe um sistema estrutural relativamente eficiente e com características amplamente difundidas entre os construtores em geral: o concreto armado. Nós fazemos parte de uma geração que nasceu e cresceu com uma mentalidade voltada para este sistema. É uma linguagem comum a todos os canteiros de obras, e portanto é natural que nos sintamos desconfortáveis quando pensamos em empregar o aço estrutural, ou outro sistema qualquer, no lugar do concreto armado. Pior ainda quando optamos por algum e começam a aparecer problemas que normalmente não ocorrem nas edificações em concreto armado, ficando então aquela imagem negativa, que é a pior consequência entre todas.

Ficamos então em um impasse: qual é o melhor sistema a ser empregado sem que corramos riscos de adaptação com o novo sistema? A resposta é simples: qualquer sistema que melhor satisfaça as nossas necessidades, incluindo aí outros sistemas como a madeira, alvenaria estrutural e até mesmo outros sistemas não convencionais, como o bambu (muito usado nos países asiáticos) e outros. Existe uma diversidade muito grande de situações construtivas em que um é mais adequado que o outro. Cabe ao corpo técnico decidir qual o

mais apropriado para uma situação específica. Nessa escolha devem ser levados em conta as vantagens e desvantagens de cada um, o que acaba por pesar para um mais que para outro. Com certeza o fator custo é o mais relevante na hora de se fazer a escolha, mas não podemos simplesmente nos prender a um deles porque é com ele que nós sabemos trabalhar.

2.1. PEQUENO HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO NO BRASIL

Historicamente verifica-se que o principal fator que emperrou o desenvolvimento do aço na construção foi a demora na criação das siderúrgicas em território nacional. Isso gerou uma grande dificuldade no fornecimento de perfis estruturais, que tinham de ser importados, e fez com que o aço se tornasse inviável tanto técnica como economicamente para a grande maioria das aplicações na construção civil. De acordo com DIAS²³ as primeiras obras em aço eram vinculadas à construção das primeiras estradas de ferro no Brasil. Eram estações ferroviárias e algumas pontes de aço importadas da Inglaterra ainda no tempo do império. Para a construção da primeira usina siderúrgica de grande porte em território nacional (Companhia Siderúrgica Nacional) foi preciso importar perfis metálicos para a conclusão dos galpões. Mesmo na época do surgimento de Brasília, onde havia condições favoráveis ao uso do aço devido à pressa e disponibilidade de recursos financeiros, todos os prédios dos ministérios e os dois prédios anexos do Congresso foram executados com estrutura de aço importados. E ainda assim as obras de maior destaque são justamente aquelas executadas em concreto, como o Palácio do Planalto, as cúpulas do Congresso Nacional, a Catedral de Brasília, o Palácio da Alvorada e outros.

Até a década de 70, as construções metálicas eram restritas praticamente a instalações industriais e galpões metálicos. Somente a partir de meados dos anos 80 a estrutura metálica começou a ser utilizada em maior escala em nosso país. Existe uma dificuldade muito grande em se trabalhar com esse sistema pois os construtores ainda utilizam a mesma sistemática construtiva do concreto para o aço. A primeira coisa que devemos ter em mente é que a estrutura metálica possui uma metodologia construtiva própria, e não ter conhecimento dessa tecnologia implica em se adotar uma solução que pode ser incompatível com o sistema estrutural (ver item 2.7). Surgem então os problemas, e a estrutura metálica acaba adquirindo uma imagem negativa por um problema que não está diretamente vinculado a ela.

Este histórico da construção metálica serve para mostrar que a introdução dela no mercado brasileiro foi bastante recente e se direcionava basicamente para instalações industriais e edifícios leves. Com isso o desenvolvimento de tecnologia construtiva para outros tipos de edificações metálicas ficou relegada a um segundo plano, e as conseqüências disso são sentidas ainda hoje. Devido a uma incapacidade técnica (ver item 2.5.b) a construção metálica padece de alguns males que poderiam ser facilmente evitados.

A construção em aço hoje

Estamos vivendo atualmente uma expansão do uso de novas tecnologias de construção, incluindo aqui outros sistemas estruturais. O aço está sendo redescoberto pelos nossos projetistas, que estão procurando aproveitar suas vantagens. Mesmo que em alguns casos essa opção implique em um custo maior, este é quase sempre amortizado pela economia decorrente de outros aspectos. Hoje o maior mercado para o aço dentro do segmento da construção civil se encontra na construção de prédios industriais e de shoppings centers devido justamente as suas características estéticas, de industrialização e rapidez, e em alguns casos sua elevada capacidade de carga. Edifícios comerciais, teatros, escolas e outros também são projetados, mas em uma escala bem menor. Infelizmente, este setor ainda é restrito somente a alguns segmentos de maior poder aquisitivo do mercado, mas percebe-se que pouco a pouco, o aço vem abrindo espaço e se popularizando, ocupando uma parcela cada vez maior dentro do mercado.

Por que a estrutura metálica ainda não deslanchou no Brasil como em outros países? A resposta é relativamente simples: apesar de o Brasil ser um dos maiores produtores mundiais de aço, o preço da estrutura de aço ainda é mais caro do que a de concreto. Até hoje, o maior entrave para uma maior penetração do aço ainda está em seu elevado custo diante do concreto. Porém esta é uma situação que tende a se equilibrar visto que o aço possui um grande potencial de crescimento devido às suas vantagens pouco exploradas, enquanto que o concreto está em uma posição já estabilizada, e com alguns problemas de ordem técnica, tais como desperdício de materiais, desníveis, desaprumos, velocidade de construção, etc. Estes problemas geram custos que ficam agregados à construção, e normalmente não são computados no preço final da obra, estão sendo muito considerados por algumas empresas .

Além disso, a maior vantagem da estrutura metálica atualmente é a grande redução

de prazos de construção. Automaticamente isso implica também em um maior desembolso por parte dos agentes financiadores, já que eles têm que desembolsar uma quantia um pouco maior em menos tempo, e nem sempre existe essa disponibilidade financeira. Concluimos com isso que nem sempre a melhor solução técnica é a mais indicada.

Atualmente há tecnologia disponível para resolver todos os problemas que aparecem nas construções de aço. Contudo o caminho para se adquirir este conhecimento pode ser bastante sinuoso, e este é exatamente um dos maiores entraves quando o assunto é estrutura metálica. Difundir esta tecnologia construtiva nos meios envolvidos consiste em um dos primeiros passos para a popularização das estruturas metálicas.

2.2. AS DEFICIÊNCIAS DA CONSTRUÇÃO EM AÇO NA ATUALIDADE

Quando se faz a opção pelo aço vê-se que o processo construtivo é quase artesanal e aplicado a um sistema estrutural apropriado a uma filosofia industrial, ou seja, estamos construindo com o aço praticamente da mesma maneira que com o concreto, ou seja, tijolo sobre tijolo. Isso não necessariamente implica na ocorrência de problemas de compatibilidade entre os elementos estruturais de aço e os diversos elementos construtivos, porém se as diferenças não forem consideradas em pontos específicos durante as etapas de concepção, projeto e construção, fatalmente os problemas aparecerão. Este e outros fatores contribuem bastante para a ocorrência de problemas patológicos, que são os objetos de estudo dessa pesquisa.

Mas, como elemento estrutural alternativo ao concreto armado, o uso do aço estrutural na construção civil também requer um maior nível de qualificação das pessoas que trabalham com esta tecnologia. Isso porque a própria concepção do projeto em aço é diferente: planejada, industrializada, pré-fabricada, montada *in loco*, etc. Atualmente esta tecnologia está se difundindo gradualmente em nossa cultura. Várias universidades, associações e empresas vinculadas ao setor metalúrgico estão se empenhando para tornar o aço um produto capaz de competir com o concreto e outros sistemas estruturais. Porém constata-se que o país ainda é muito carente em pesquisas e publicações a respeito desse assunto. A falta de conhecimento técnico sobre concepção, materiais, cálculo e construção muitas vezes implica em produtos cuja qualidade fica comprometida. Também os estudos e pesquisas relativas a esta área ficaram relegados a um segundo plano, e só recentemente tem se procurado este desenvolvimento, incentivando o uso do aço na construção civil e

diminuindo a defasagem tecnológica que existe em relação aos países mais desenvolvidos.

Outro entrave importante acontece ainda durante a etapa de concepção da obra. Os arquitetos em geral têm muitas dificuldades em conceber uma edificação com estruturas metálicas pois, muitas vezes, eles utilizam a mesma lógica conceptiva do concreto armado. Constata-se hoje que vários edifícios construídos em aço foram concebidos originalmente em concreto armado e depois adaptados para o aço. Uma edificação com estruturas metálicas tem que nascer com uma concepção em aço para aproveitar melhor as suas potencialidades. Aspectos como modulação, grandes vãos, lajes pré-fabricadas, painéis de fechamentos e outros são importantes para a obtenção de um melhor resultado. Não podemos esquecer ainda de levar em consideração as suas próprias limitações, como a proteção contra incêndio e a falta de diversidade de perfis estruturais, o que diminui um pouco a margem de aplicação do aço.

Normalmente as publicações que tratam sobre estrutura metálica se restringem ao comportamento, cálculo e dimensionamento das mesmas. Poucas se referem a concepção arquitetônica, estrutural e aos procedimentos construtivos. Quase não existem trabalhos em língua portuguesa que abordem especificamente as técnicas, procedimentos e materiais adotados para construção e manutenção em aço. O próprio ensino universitário apresenta deficiências em relação a este assunto pois as disciplinas relacionadas com a concepção de projetos e com a construção civil são basicamente direcionadas para as estruturas de concreto e pouca abordagem é oferecida em se tratando das estruturas de aço. Assim fica bem mais difícil se evitar a ocorrência de problemas patológicos pois várias informações necessárias para um perfeito entendimento de tal sistema estrutural não são tão difundidos quanto aqueles relacionados com as estruturas em concreto armado.

Atualmente ainda existem áreas da estrutura metálica no Brasil que não possuem normas específicas, ou quando possuem estas estão defasadas, obrigando as pessoas que trabalham no setor a recorrerem a publicações estrangeiras que nem sempre são coerentes e adaptáveis com a nossa realidade. As empresas que atuam no ramo de siderurgia e estrutura metálica estão, já a algum tempo, promovendo e incentivando estudos referentes à construção metálica como um todo. Procura-se assim preencher as lacunas existentes de forma a proporcionar condições para a aplicação deste tipo de elemento estrutural. Citamos aqui os grupos de estudos que estão desenvolvendo as novas normas brasileiras para dimensionamento de perfis formados a frio e proteção de estruturas de aço em situação de incêndio (a serem publicadas).

2.3. PEQUENO HISTÓRICO DA PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES

Segundo MCKAIG⁴⁷ e LICHENSTEIN⁴⁴, o código de Hamurabi (Babilônia, ± 1950 A.C. – figura 3), consiste na primeira forma de reconhecimento da existência de problemas construtivos. Basicamente resumia-se em um conjunto de cinco leis que estabeleciam a responsabilidade do construtor com o dono da edificação caso esta apresentasse problemas ou chegasse ao colapso:

- i. Se um construtor constrói uma casa para um homem e esta não for forte o bastante, e a casa que ele construiu entrar em colapso causando a morte do dono, o construtor deverá ser condenado à morte;
- ii. se um construtor causar a morte do filho do dono da casa, então o filho do construtor deverá ser condenado à morte;
- iii. se um construtor causar a morte de um escravo do dono da casa, então o construtor deverá ressarcir o dono da casa com outro escravo de igual valor;
- iv. se o construtor destruir uma propriedade do dono da casa, então ele deverá reconstruir esta propriedade por sua própria conta;
- v. se o construtor construir uma casa para um homem e não a construir de acordo com as especificações, se uma parede estiver ameaçando cair, o construtor deverá reforçá-la por sua própria conta.



Figura 3 – Parte do Código de Hamurabi

Verifica-se que era uma relação que consistia em se intimidar o construtor para que ele produzisse uma casa segura para o seu dono. Estes por sua vez procuravam sempre seguir os métodos tradicionais de construção para se evitar riscos inerentes a qualquer metodologia construtiva nova.

Vários casos de colapsos das edificações estão relatados no decorrer da história. Porém, devido a não catalogação sistemática das causas e também das diferentes

tecnologias construtivas entre as construções atuais e as antigas, vamos nos ater somente para os casos ocorridos a partir da Revolução Industrial. Isto porque foi somente a partir desta época que a demanda por construções de grande porte começou a exigir novas tecnologias de construção. A tradicional estrutura de pedras, madeira e alvenaria começava então a dar lugar para as novas metodologias construtivas em aço e em concreto armado, amplamente utilizadas até os dias atuais.

Segundo HELENE³⁶, em 1856, Robert Stephenson, então presidente do Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha, propôs a primeira catalogação de acidentes, casualidades e procedimentos corretivos visando a sistematização de informações para futuros trabalhos de prevenção. A partir de então vários trabalhos foram executados visando estabelecer as causas e conseqüências dos diversos problemas patológicos que ocorriam nas construções em geral.

Em 1926, Henry Lossier emprega o termo “patologia” para delimitar o estudo dos danos nas estruturas de concreto armado, ressaltando ainda que o estudo dos acidentes e suas causas também fazem parte da engenharia. Em 1951 o italiano Caetano Casteli publica um livro sobre os problemas no concreto armado denominado “Patologia del Cemento Armado”. Em 1976 o Instituto Eduardo Torroja (Espanha) implanta o primeiro curso de especialização na área de patologia denominado “Patologia de las Construcciones”, destinado a professores e pesquisadores que atuam na área de engenharia civil. Contudo a maioria destes trabalhos teve seu enfoque direcionado basicamente para as estruturas de concreto.

Início no Brasil

De acordo com LICHENSTEIN⁴⁴ o estudo das patologias no Brasil somente tomou impulso a partir dos grandes acidentes ocorridos no ano de 1971 com o pavilhão de exposições da Gameleira em Belo Horizonte, e o viaduto Paulo Frontin no Rio de Janeiro. No ano seguinte, após um ciclo de palestras abordando o assunto, foi fundado o IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto – que veio finalmente promover um estudo sistematizado sobre os problemas patológicos que ocorrem nos edifícios em concreto.

Em nível nacional a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo foi a primeira a implementar um curso de especialização sobre Patologia das Construções, em 1979. Também a Universidade Federal do Rio Grande do Sul tem apresentado relevante

contribuição no desenvolvimento de pesquisas na área de patologia. Desde então vários trabalhos foram publicados sedimentando os conceitos e idéias a respeito desse assunto. Contudo, a grande maioria destes envolvia as edificações estruturadas em concreto.

Panorama atual da patologia das edificações

A patologia das edificações é uma das mais recentes áreas de pesquisa que estão em destaque dentro da engenharia civil, não só no Brasil como também nos demais países. Felizmente as discussões atuais procuram abordar não somente o aspecto da segurança, mas também o resultado da obra acabada no atendimento às satisfações e anseios dos usuários. Assim não somente os problemas estruturais são abordados como também os problemas dos demais componentes. Muitas áreas já foram pesquisadas, destacando-se particularmente as estruturas de concreto armado. Também já foram feitos diversos trabalhos sobre fundações, alvenarias, argamassas, madeiras e outros.

Já em relação às estruturas de aço, não se conhece algum trabalho sobre patologia desenvolvido especificamente para a engenharia civil. O que existe são trabalhos de caráter genérico que possuem aplicações neste campo, como por exemplo estudos sobre corrosão. Também porque o estudo das patologias encontradas nos edifícios com estrutura metálica requerem um certo conhecimento prático que somente aqueles que estão envolvidos com edifícios de aço possuem. A maior parte dos problemas catalogados se referem a aplicações que estes possuem em diversos tipos de indústrias.

No IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES²⁰, realizado em outubro de 1997 na cidade de Porto Alegre/RS, verifica-se que nenhuma das palestras abordava temas sobre patologia dos edifícios em construção metálica. Não que isso seja um descaso para com este tipo de construção, só que não é fácil encontrar engenheiros pesquisadores afins com esta área.

Segundo ARANHA⁰⁴, apesar de existir um número muito grande de edificações reparadas ou reforçadas (principalmente em concreto armado e protendido), ainda não dispomos de regulamentação específica ou métodos normalizados para reparação. Somente a Austrália possui Norma Oficial para a realização de reparos. Na Espanha, em obras onde o controle de qualidade esteve presente de forma aguda e eficiente, tem sido possível observar a redução ou até mesmo a inexistência de patologias.

Em nossas escolas de engenharia, arquitetura e cursos técnicos muito se aprende

sobre como calcular, projetar e construir, mas, no que se refere à manutenção e recuperação das edificações, somente de alguns anos para cá é que se começaram a desenvolver e divulgar estudos científicos visando identificar e solucionar os diversos casos.

2.4. PORQUE OS PROBLEMAS PATOLÓGICOS OCORREM

Segundo HELENE³⁶, os problemas patológicos normalmente são provocados pela ação de agentes agressivos, aos quais a edificação não é capaz de se adaptar de pronto no momento oportuno. Raramente a ação do agente agressivo tem valor absoluto. Entre várias edificações expostas à ação das mesmas condições de exposição, algumas passam a apresentar problemas patológicos e outras não, e, além disso, entre aquelas que os apresentam, umas apresentam um quadro grave, enquanto que outras apresentam um quadro atenuado.

Cada edificação possui uma resistência característica à ação de cada um dos agentes agressivos. A edificação pode ser imune à determinada intensidade de atuação de determinados agentes e não o ser para intensidades maiores. Por outro lado, pode acontecer das características da edificação favorecerem a ação de um agente agressivo. A predisposição da estrutura, ou de uma de suas partes, para apresentar problemas patológicos pode ser originada durante a fase de projeto, de construção ou ser adquirida na fase de uso.

Diante deste quadro de incerteza, não é possível prever qual será a reação da edificação quando submetida ao agente agressivo, muito menos estabelecer um controle sobre este. Uma determinada patologia pode ter diversas causas e origens, apesar de o mecanismo de desenvolvimento ser um só. Por outro lado, se determinarmos os diversos tipos de origens poderemos realizar um trabalho de prevenção através de um bom planejamento e manutenção.

O entendimento integral deste processo de interação é indispensável. A este entendimento, que explica cientificamente os fenômenos ocorridos e seu desenvolvimento damos o nome de “diagnóstico”, e é a partir dele que se estabelecem medidas de prevenção ou correção de problemas.

2.5. ESTRUTURA DAS PATOLOGIAS

De acordo com COZZA²², citando o engenheiro Paulo Alcides Andrade, podemos dividir as principais patologias das estruturas metálicas em três categorias: adquiridas, transmitidas e atávicas.

a) Patologias adquiridas

São patologias estruturais provenientes da ação de elementos externos, ou seja, a estrutura sofre a ação de agentes agressivos: líquidos corrosivos, atmosfera poluída, incêndios, vibrações, etc. São resultantes, em geral, de problemas relacionados com a falta de preparo inicial da estrutura ou com a falta de manutenção. É o típico caso de estrutura que não consegue se adaptar à ação do agente patológico. A corrosão é a mais freqüente e visível delas.

b) Patologias transmitidas

Originárias de vícios ou desconhecimento técnico do pessoal de fabricação ou montagem da estrutura, ou construção civil. São transmitidas de obra para obra por simples ignorância. Podemos citar como exemplo as soldas sobre superfícies pintadas ou enferrujadas, cuja presença das impurezas podem se incorporar à solda prejudicando seu desempenho, ou ainda a não utilização ou má aplicação de mastic em juntas sujeitas a infiltração. Incluem-se aqui os casos de falta de prumo.

c) Patologias atávicas

São patologias resultantes de má concepção de projeto, erros de cálculo, escolha de perfílados ou chapas de espessura inadequada, ou ainda do uso de tipos de aço com resistência diferentes das consideradas no projeto. Muitas vezes comprometem a segurança e funcionalidade da estrutura e estão relacionados com o descuido, cobiça ou economia. São difíceis de serem reparadas e normalmente exigem uma recuperação de alto custo.

2.6. ORIGEM DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS

De acordo com MCKAIG⁴⁷, normalmente os problemas patológicos das edificações têm sua origem devido a ignorância, descuido ou cobiça do homem. Abaixo temos uma lista classificando as causas das patologias na construção. Não é uma lista restrita apenas a edifícios, podendo ser vinculada a qualquer tipo de obra de engenharia.

a) Ignorância

- i. Incompetência dos homens responsáveis pelo projeto, construção ou inspeção;
- ii. supervisão por chefes ou encarregados sem a mínima qualificação;
- iii. contratação de manutenção por homens sem a mínima qualificação;
- iv. homens sem a mínima qualificação técnica fazendo suposições de vital responsabilidade que deveriam ser de atribuição de seus respectivos encarregados;
- v. competição sem supervisão;
- vi. ocorrência de situações sem precedentes anteriores;
- vii. insuficiência de informações preliminares.

b) Descuido

- i. Por parte de engenheiros e arquitetos que, devido a sua auto confiança, relegam a segundo plano pontos importantes do trabalho;
- ii. do empreendedor ou do supervisor que aproveita uma chance sabendo que ele está se arriscando;
- iii. do projetista por não fazer uma correta coordenação na produção dos projetos.

c) Cobiça / economia

- i. Diminuição de custos em detrimento de aspectos como segurança e qualidade;
- ii. manutenção relegada a um segundo plano.

É difícil conceber algum tipo de falha que não esteja incluída em um destes itens. O mais comum deles é a ocorrência de problemas patológicos devido à ignorância do

homem, pois, quando este detém o conhecimento, é preciso que exista outro motivo (ou motivos) para que ele não atinja o seu objetivo da melhor maneira possível. Já o descuido é vinculado a grupos de trabalho que não possuem um controle de qualidade eficiente. E a cobiça é, moralmente, a pior forma de ocorrência dos problemas, pois expõe os consumidores a situações indesejáveis que poderiam ser evitadas. Deve-se sempre procurar reduzir os custos, porém nunca em detrimento da qualidade ou segurança da edificação.

2.7. AÇO x CONCRETO

A necessidade de se fazer um estudo envolvendo as diferenças básicas entre as estruturas de aço e as de concreto se deve ao fato dos dois materiais apresentarem propriedades e características distintas frente às diversas situações de trabalho. Não se trata de se apresentar uma comparação entre as vantagens e desvantagens entre o aço e o concreto, já amplamente difundidas entre os conhecedores do assunto, e sim uma divagação entre as etapas de concepção, projeto, construção e comportamento dos dois tipos de sistemas estruturais.

Como neste trabalho estamos utilizando a mesma filosofia utilizada para as edificações estruturadas em concreto armado, temos que esclarecer estas diferenças para não se fazer uma análise de uma edificação estruturada em aço com os mesmos conceitos e critérios daquela estruturada em concreto armado. Conseqüentemente, cada estrutura apresenta um comportamento próprio que deve ser levados em consideração para se poder determinar as causas e origens das patologias.

a) Trabalhabilidade

a.1) Concreto armado

O concreto armado é um material moldável, ou seja, assume qualquer forma desejada desde que seja exequível e estável. Isso significa que o projetista tem maior liberdade para definir formas mais criativas de acordo com sua vontade bastando apenas se fazer o molde da peça. O melhor exemplo dessa plasticidade é a cidade de Brasília, onde o arquiteto Oscar Niemeyer explorou com sucesso essa característica do concreto.

a.2) Aço

O aço é um material geométrico, não plástico. Se por um lado isso se torna um fator limitante em termos de criatividade, por outro tem a vantagem de apresentar um novo material de funções estruturais com grande potencial estético. Observação: o fato de ser não plástico não implica dizer que os perfis de aço não possam assumir uma determinada curvatura. Estas curvaturas podem ser criadas com função estética ou estrutural, como no caso das contra-flechas previstas no anexo C da NBR 8800/86⁰⁸, ou ambas as funções, desde que existam um procedimento de cálculo e execução criteriosos.

b) Homogeneidades / heterogeneidades

b.1) Concreto armado

O concreto armado é um material heterogêneo, composto de areia, brita, cimento, água, ferro redondo trefilado e, em alguns casos, aditivos misturados nas devidas proporções e adequadamente executado em campo. Qualquer tipo de problema, seja com os materiais, seja com o método construtivo (montagem das formas, posição das armaduras, etc.), tem conseqüências em seu desempenho. Devido a estas imprecisões, os coeficientes de segurança do concreto são bem maiores que os que seriam necessários se houvesse um controle rigoroso durante sua execução. O concreto não é exatamente um corpo totalmente rígido, e, apesar de seu aparente monolitismo, ele, muitas vezes, apresenta trincas em sua superfície quando submetido a tensões de tração ou compressão.

b.2) Aço

O aço é um material homogêneo. Isso implica maior precisão em termos de dimensionamento do que o concreto pois as deformações ocorridas na obra são muito próximas daquelas verificadas no cálculo. Conseqüentemente qualquer variação de sobrecarga também terá um efeito muito maior na estrutura de aço do que na de concreto. Porém o fato de ser um material homogêneo não implica em se trabalhar com fatores de segurança menores, pois essa consideração já está implícita nas formulações de dimensionamento.

c) Concepção

c.1) Concreto armado

A concepção de um projeto em concreto armado é muito mais simples do que em aço. A menor quantidade de detalhes a serem observados e a possibilidade de se fazerem modificações durante a construção fazem com que as estruturas de concreto sejam muito mais simples em sua concepção do que as estruturas de aço. No Brasil infelizmente ainda são feitos projetos sem se verificar a interação entre eles. O concreto consegue se adaptar à falta de planejamento inerente a este sistema devido justamente ao fato de ser um material plástico executado *in loco*, ou seja, até a hora da concretagem é possível se fazer modificações ou correções.

c.2) Aço

O projeto de arquitetura de um edifício em aço tem que nascer em aço. Além disso é preciso haver uma comunicação entre o projetista da arquitetura com os demais projetistas em vistas de se alcançar um resultado ótimo. Não obedecer esta premissa certamente produzirá algumas incompatibilidades entre eles. O projeto em aço exige um número muito maior de homens/hora de trabalho para haver uma compatibilização adequada de projetos. Qualquer modificação deve ser pensada e planejada com antecedência pois as peças estruturais são produzidas em fábrica e somente montadas em campo.

d) Projeto estrutural

d.1) Concreto armado

Na fase de desenvolvimento do anteprojeto estrutural faz-se um pré dimensionamento dos elementos estruturais, obtém-se os esforços solicitantes e a partir desses esforços faz-se o detalhamento das armaduras. As ligações entre lajes, vigas e pilares são quase sempre rígidas devido à própria natureza do sistema. A estrutura é

normalmente calculada e detalhada como um pórtico rígido, não dependendo normalmente de nenhuma implementação de outros materiais ou elementos estruturais para ficar estável estaticamente. As vigas são consideradas contínuas na maioria das situações. A extensão das peças depende unicamente de parâmetros de cálculo pois a moldagem é feita *in loco*. O problema desse tipo de sistema estrutural é que ele é muito suscetível ao erro humano. Nas estruturas de concreto armado a precisão utilizada é centimétrica.

d.2) Aço

A primeira coisa a se fazer ao se iniciar o anteprojeto estrutural é o lançamento estrutural e o detalhamento das ligações dos elementos estruturais (rígida/flexível, soldada/parafusada). Os detalhes de ligação são impostos pelo engenheiro projetista baseado em fatores como imposição da arquitetura, energia elétrica no local da obra, economia devido ao tipo de ligação, qualidade de montagem e inspeção, transporte dos perfis, sistema de estabilização vertical (contraventamentos), problemas de fadiga, etc. Só então se faz um pré dimensionamento dos perfis e a obtenção dos esforços solicitantes. A verificação dos perfis e das ligações, diferentemente do concreto, é feita comparando-se os esforços solicitantes com a resistência da peça ou ligação. As vigas de aço normalmente são biapoiadas.

A padronização de uma estrutura metálica é uma das primeiras coisas que pode ser percebida para quem trabalha com este sistema. Deve-se levar em consideração o comprimento das peças devido a problemas com transporte. A estrutura de aço depende do concreto para compor elementos estruturais como lajes mistas, vigas mistas e pilares mistos. Também as fundações e os reservatórios dos edifícios, em sua quase totalidade, são executadas em concreto. A unidade de medida utilizada nas estruturas de aço é o milímetro.

e) Industrialização

e.1) Concreto armado

A edificação em concreto armado possui uma natureza de fabricação manufaturada devido ao fato de ser um elemento plástico. Isso traz algumas desvantagens como uma

menor precisão da estrutura, perda de tempo, retração, desaprumos, desníveis, etc. Todos estes fatores dificultam a utilização de outros componentes pré-fabricados tais como fechamentos e instalações que exigem certos requisitos para serem implementados. É um sistema que emprega mão de obra de baixa qualidade técnica e sistemas convencionais de produção. Também por isso gera uma grande perda de materiais que não aparece nas planilhas de custo e fica incorporada na construção. Em nosso país esse sistema ainda é uma vantagem pois os custos da mão de obra e desses materiais convencionais ainda é mais barato do que o correspondente industrializado.

e.2) Aço

Esta é uma das mais importantes características do aço. A industrialização permite racionalizar o processo de produção, não somente incrementando a velocidade de execução da estrutura, como também a implementação de outros componentes pré-fabricados na edificação. Esse procedimento permite uma grande diminuição do prazo de construção, aumenta a precisão, praticamente eliminando os desníveis e desaprumos e acaba com as perdas de materiais na obra. Porém exige mão de obra qualificada em todas as faixas técnicas. Infelizmente este sistema é, ainda hoje, mais caro do que o processo tradicional, contudo permite uma amortização do investimento num prazo bem mais curto.

f) Proteção superficial

f.1) Concreto armado

O concreto armado por si só não necessita de qualquer tipo de proteção externa. Normalmente, a preocupação maior está relacionada com as barras de aço contidas na estrutura e que são muito mais suscetíveis a ataques dependendo das condições ambientais e do próprio concreto. Uma estrutura bem projetada e executada pode permanecer séculos sem qualquer tipo de problema. A própria massa do concreto é um elemento protetor e poucos são os agentes que efetivamente a atacam, como por exemplo ácidos, alguns sais e aditivos incorporados e até mesmo a água. Abrimos aqui um parêntese no caso do incêndio pois que, em determinadas situações, é necessário se aumentar a camada de recobrimento das armaduras a fim de se obter um maior tempo de resistência ao fogo.

f.2) Aço

O aço é um material que, na maioria das situações, necessita de revestimento protetor. Existem dois fatores que praticamente impõem que se aplique tais revestimentos: a corrosão e o incêndio. Os dois fenômenos podem provocar a perda de estabilidade da estrutura e por isso devem ser prevenidos. Os meios mais usuais de prevenção contra a corrosão são a pintura e a galvanização ou ainda a adoção de aços com alta resistência à corrosão. Já a proteção contra incêndio é utilizada em determinadas circunstâncias como medida de segurança da estrutura para lhe garantir um determinado tempo de resistência ao fogo em caso do sinistro. Muitas vezes os dois revestimentos fazem parte da estética da edificação.

g) Deslocabilidade estrutural

g.1) Concreto armado

A estrutura em concreto armado possui uma robustez muito maior que a estrutura de aço. Essa robustez é consequência principalmente de uma maior massividade estrutural e do enrijecimento das ligações entre os elementos estruturais. Apesar de ser calculada como um pórtico deslocável, essa robustez garante pequenos deslocamentos à estrutura quando solicitada por carregamento lateral. A vantagem que esse sistema traz é a solidarização da estrutura com a alvenaria de fechamento sem a necessidade de juntas de dilatação.

g.2) Aço

Devido ao menor peso, as dimensões reduzidas das peças, ao tipo de ligação e ao sistema de estabilização vertical as estruturas de aço se tornam muito mais flexíveis que as estruturas de concreto. Quando a edificação é solicitada por algum carregamento lateral o deslocamento da estrutura é bastante acentuado. Esse deslocamento provoca esforços cisalhantes nos elementos de vedação que se não forem devidamente considerados podem

provocar fissuras e outros tipos de patologias. Uma das vantagens desta flexibilidade é uma melhor absorção de recalques e deslocamentos pela estrutura. Vigas de aço estão submetidas ainda a um fenômeno chamado flambagem lateral que é o fenômeno de deslocamento lateral combinado com torção em uma viga submetida a momento fletor maior que o admissível.

CAPÍTULO III.

3. PATOLOGIAS DO AÇO

Este capítulo visa apresentar os problemas patológicos que acontecem nas estruturas de aço. Quem aborda este tema percebe logo as diferenças entre os problemas que acontecem com a estrutura metálica e a estrutura de concreto. Apesar de estarem submetidas a condições estáticas semelhantes, as características e propriedades da estrutura são bastantes distintas, o que diferencia bastante os problemas específicos de cada uma.

Antes de cada patologia, é feita uma abordagem teórica sobre o assunto procurando mostrar o seu mecanismo genérico para se estabelecer uma relação entre origem, causa e diagnóstico. Esta abordagem procura apresentar de uma forma simplificada um estudo sobre o conhecimento existente a respeito do assunto específico, procurando destacar o ponto de vista do engenheiro civil, já que vários dos assuntos são abordados genericamente nas fontes pesquisadas.

3.1. CORROSÃO

Resolvemos abordar primeiramente a corrosão devido ao fato de este ser o fenômeno patológico de maior conhecimento público. É preciso desmistificar a estrutura metálica como um elemento fadado ao desgaste por um processo corrosivo, e apresentá-la como uma estrutura resistente, não somente mecanicamente como a outros tipos de agentes agressivos.

A maioria das pessoas conhece, ou já ouviu falar, de um fenômeno de deterioração de materiais ferrosos chamado ferrugem. Quem nunca se deparou com uma geladeira ou

fogão com suas partes tomadas por ferrugem, uma lâmpada travada no soquete, um portão de ferro emperrado, ou ainda aquele escapamento barulhento dos automóveis? Todos estes casos têm em comum a formação da ferrugem sobre a superfície de cada material, dando origem assim aos problemas mencionados. A ferrugem é o mais difundido exemplo de um fenômeno de degradação dos materiais denominado corrosão.

Segundo GENTIL²⁹, RAMANATHAN⁵⁷ e PANOSSIAN⁵² corrosão é um processo de deterioração dos materiais produzindo alterações prejudiciais indesejáveis nestes. Este fenômeno, ao entrar em ação, faz com que os materiais percam suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, estética, etc., já que o produto da corrosão é um elemento que não possui as características do material original.

Além de materiais ferrosos, a corrosão também acontece nos demais metais, como o zinco, o manganês, o alumínio, etc, e até em metais considerados nobres como a prata, o ouro e a platina. Também a deterioração de materiais não metálicos, como concreto, borracha, polímeros e madeira, devido à ação do meio ambiente é considerado por alguns autores como corrosão.

Percebe-se então que a corrosão é um fenômeno muito amplo e que aborda os mais diferentes tipos de materiais. Mas é com os metais que este fenômeno alcança uma conotação de destaque. Devido à grande aplicação deste nos mais diversos campos, as conseqüências da ocorrência deste fenômeno ocasionaram e ainda ocasionam os mais diversos acidentes, causando enormes prejuízos até que se compreendesse melhor o seu mecanismo de atuação. Como o fenômeno da corrosão envolve vários tipos de mecanismos, é importante conhecê-los para que, no caso de sua ocorrência, possamos rapidamente estabelecer um diagnóstico.

3.1.1. Mecanismo genérico

Genericamente podemos dizer que a corrosão é um processo inverso do processo de fabricação dos metais não nobres. Neste, o metal é obtido adicionando-se energia (processos térmicos, químicos, elétricos e mecânicos) ao minério de ferro até reduzi-lo ao estado metálico. Na corrosão, o metal em estado metálico tende a reagir espontaneamente com o meio em que está inserido, perdendo aquela energia introduzida na fabricação e voltando a um estado não metálico.



Com exceção de alguns metais nobres, que podem ocorrer no estado elementar, os metais são geralmente encontrados na natureza sob a forma de compostos, sendo comum as ocorrências de óxidos e sulfetos metálicos. Os compostos que possuem conteúdo energético inferior aos dos metais são relativamente estáveis. Deste modo, os metais tendem a reagir espontaneamente com os líquidos ou gases do meio ambiente em que são colocados.

Mas para que o fenômeno aconteça é necessário que algumas condições estejam presentes. A influência do meio é o principal fator condicionante para o desenvolvimento do processo. Também as características químicas e físicas do metal afetam muito esse fenômeno. Estas duas condições devem, necessariamente, estar atuando em conjunto para que as reações químicas de corrosão ocorram.

Existem materiais que se corroem em um determinado meio, sob determinadas condições, e outros não. Os metais nobres podem permanecer anos sem perder o seu brilho metálico, mas quando submetidos a determinadas condições ambientais acabam por se corroer. O ouro e a platina, quando submetidos a ação da mistura de ácido clorídrico (HCl) e ácido nítrico (HNO₃) se corroem, enquanto que o ferro não é atacado. O cobre sofre corrosão acentuada quando sujeito à ação de soluções amoniacais. O alumínio, em presença de ácido clorídrico, cal ou bases fortes é rapidamente corroído. O ferro, em presença de ácido sulfúrico concentrado, não é atacado. Concluimos então que o fenômeno da corrosão leva em consideração o metal, o meio ambiente em que está inserido e as condições de atuação deste meio.

Temos dois mecanismos básicos que abrangem todos os processos corrosivos existentes na natureza: a corrosão química e a corrosão eletroquímica. No primeiro caso a oxidação do metal ocorre sem a transferência de elétrons e é um mecanismo restrito basicamente a processos industriais submetidos a altas temperaturas, portanto serão desconsiderados neste trabalho. O segundo se caracteriza basicamente pela transferência de elétrons do ânodo para o cátodo através de uma ligação elétrica e um meio eletrólito que envolve os eletrodos, e constitui praticamente quase todos os casos de formação da

corrosão. As condições necessárias para a ocorrência desse processo são:

- i. Presença de água líquida;
- ii. temperatura relativamente baixa – normalmente temperatura ambiente;
- iii. formação de uma pilha eletroquímica.

Podemos comparar o fenômeno da corrosão com o fenômeno da ocorrência do fogo. Para que este aconteça é necessária a presença de três elementos: combustível, oxigênio e calor. Basta eliminar qualquer um destes elementos e o fenômeno se extingue. Com a corrosão a situação é semelhante. Basta eliminar qualquer um dos elementos citados anteriormente para que o processo deixe de ocorrer. Por exemplo, nos desertos, onde a presença de água é escassa, a corrosão é nula ou insignificante.

A corrosão é um fenômeno complexo e as suas formas de atuação podem assumir vários aspectos. As condições acima são observadas em um incontável número de situações do nosso cotidiano. Tanto a água como a temperatura são elementos cotidianos naturais. Vamos então analisar particularmente o fenômeno da pilha eletroquímica pois é justamente aí que encontramos a razão da ocorrência do fenômeno.

3.1.2. A pilha eletroquímica

A corrosão eletroquímica só pode ocorrer se houver um deslocamento de elétrons entre o ânodo e o cátodo. Isso implica na existência de um circuito elétrico com características bastante peculiares para dar origem ao fenômeno. Destacamos então a existência de quatro elementos fundamentais:

- | | |
|-------------|---|
| Ânodo: | Elemento ou região de maior potencial elétrico, em que a corrente elétrica sai do material e onde ocorre o desgaste por corrosão. |
| Cátodo: | Elemento ou região onde são promovidas as reações catódicas responsáveis pela formação da força eletromotriz. É o responsável pela origem do fenômeno da corrosão. Não sofre desgaste por corrosão. |
| Eletrólito: | Solução condutora que envolve tanto a região anódica como a catódica. |

Ligação elétrica: Estabelece contato direto entre a região anódica e catódica

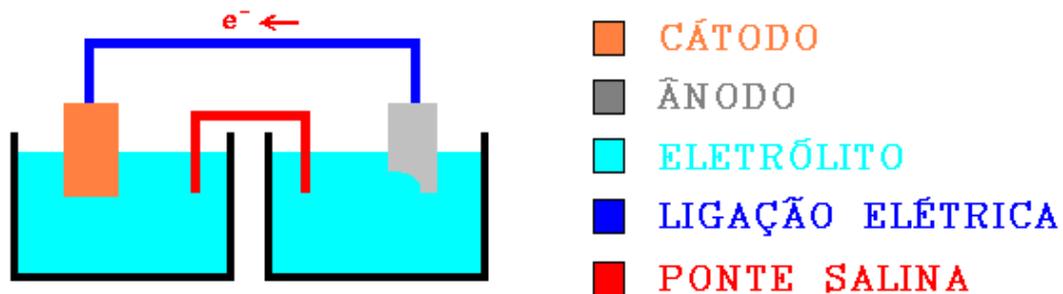


Figura 4 – Exemplo de uma pilha eletrolítica genérica

O mecanismo mostrado na figura 4 apresenta genericamente como ocorre o processo da corrosão, não falando nada sobre as causas e outros detalhes. Verifica-se assim a necessidade de um estudo mais detalhado para explicar porque aparecem estas regiões anódicas e catódicas, dando origem às correntes elétricas e ao circuito responsável pelo aparecimento do fenômeno. Questões como “por que, em um mesmo pedaço de metal, surgem regiões anódicas e catódicas” ou “por que um determinado metal é corroído em um determinado meio e outro não” podem ser melhor compreendidas ao se analisar aspectos da termodinâmica e das heterogeneidades destes. Também devemos considerar que é muito comum a existência de dois ou mais mecanismos responsáveis pela ocorrência do processo.

Reações catódicas

Existe um princípio fundamental da corrosão que estabelece que a soma da velocidade de todas as reações anódicas deve ser igual à soma da velocidade das reações catódicas. Isso significa dizer que a velocidade de corrosão no ânodo está vinculada unicamente ao número de reações químicas que ocorrem no cátodo de uma pilha eletroquímica, ou seja, se não houver nenhuma reação catódica no eletrodo, não aparecerá nenhuma corrente elétrica responsável pela formação da corrosão no ânodo e conseqüentemente o processo de corrosão neste não ocorrerá. Como esta reação é a responsável pela força eletromotriz que dá origem à corrente, temos, então, identificada a origem do fenômeno. Experimentalmente verifica-se que as duas principais reações

catódicas em corrosão aquosa são:

A reação de evolução do hidrogênio

$2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2$ (meios muito ácidos ou meios fracamente ácidos, neutros e alcalinos desaerados)

A reação de redução do oxigênio

$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (meios fracamente ácidos aerados)

$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$ (meios neutro e alcalinos aerados)

Embora existam outros tipos, as duas acima representam a quase totalidade dos casos. Como a maioria das soluções aquosas contém oxigênio dissolvido, normalmente a principal reação catódica é a redução do oxigênio, apesar de as duas reações acima poderem ocorrer simultaneamente. Porém existem diversas situações em que podemos ter predomínio de um ou de outro.

a) A pilha de eletrodos metálicos diferentes

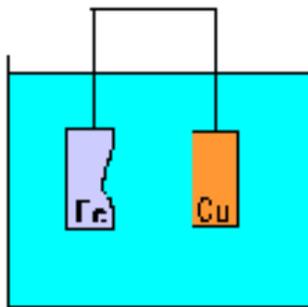


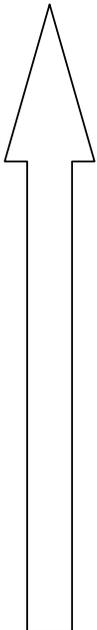
Figura 5 – Exemplo de um par metálico

Submetendo-se vários metais a uma análise em laboratório, sob diferentes condições, verifica-se que cada um possui diferente tendência para ceder ou receber elétrons em relação a um eletrodo padrão, de acordo com o meio. Isso implica na

existência de uma ordem preferencial entre os metais para ocorrência das reações de oxidação e redução (e também da corrosão). Segundo o desenho da figura 5, quando colocamos dois metais diferentes em contato, devido a esta diferença, surge uma **ddp** (diferença de potencial) entre os dois e, ao colocarmos estes metais junto a uma solução eletrolítica, fecha-se um circuito elétrico no qual o metal com maior tendência para ceder elétrons (neste caso o ferro) funcionará como ânodo e o outro metal (cobre) como cátodo.

Surge então a pilha eletroquímica de eletrodos metálicos diferentes, também conhecida como pilha galvânica. Quanto maior esta diferença entre os dois metais para ceder ou receber elétrons, maior será a **ddp** entre o ânodo e o cátodo e maior será a taxa de corrosão que ocorre no ânodo. Sem nos preocuparmos com os aspectos da termodinâmica e eletroquímicos, temos na tabela 1 uma série galvânica de materiais metálicos em água do mar.

Tabela 1 - Tabela prática de nobreza em água do mar - NUNES⁵⁰, RAMANATHAN⁵⁷

| | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Magnésio e sua ligas 2. Zinco 3. Alumínio comercialmente puro (1100) 4. Cádmio 5. Liga de alumínio (4,5 Cu; 1,5 Mg; 0,6 Mn) 6. Aço carbono 7. Ferro fundido 8. Aço inoxidável 9. Ni-Resist (ferro fundido com alto níquel) 10. Aço inoxidável (ativo) AISI-304 (18-8 Cr-Ni) 11. Aço inoxidável (ativo) AISI-316 (18-10-2 Cr-Ni-Mo) 12. Liga de chumbo e estanho (solda) 13. Chumbo 14. Estanho 15. Níquel (ativo) 16. Inconel (ativo) 17. Latões (Cu-Zn) 18. Cobre 19. Bronze (Cu-Sn) 20. Cupro níqueis (60-90 Cu, 40-10 Ni) 21. Monel (70 Ni 30 Cu) 22. Solda prata 23. Níquel (passivo) 24. Inconel (passivo) 25. Aço inoxidável ao cromo (11-13 Cr passivo) 26. Aço inoxidável AISI-304 (passivo) 27. Aço inoxidável AISI-316 (passivo) 28. Prata 29. Titânio 30. Grafite 31. Ouro 32. Platina | <p>EXTREMIDADE ANÓDICA (onde ocorre corrosão)</p>  <p>EXTREMIDADE CATÓDICA (reações catódicas)</p> |
|---|---|

A tabela 1 nos apresenta a tendência dos metais para se corroerem. Ela é muito útil para se prever qual metal sofrerá o ataque por corrosão no caso de haver contato entre si (o mais próximo da extremidade anódica). Neste caso o eletrólito é a água do mar, que é um dos eletrólitos mais comuns e representativos encontrados na natureza. Contudo este não é o problema de corrosão mais comum, e é relativamente fácil de ser resolvido pois as técnicas para evitar o seu aparecimento são relativamente simples. Pode ser facilmente prevenido desde que na etapa de projeto sejam tomadas as devidas precauções.

Nos edifícios metálicos é relativamente comum encontrarmos situações em que dois metais estejam em contato caracterizando este tipo de pilha. A galvanização de telhas, parafusos, porcas e arruelas entre outros, constitui o maior exemplo de como este contato entre metais (aço carbono e zinco) acontece. Isto sem levar em consideração as torres metálicas de transmissão de energia e comunicações que são inteiramente constituídas de elementos galvanizados. Como o aço estrutural, ou aço carbono, é mais nobre do que o zinco utilizado no revestimento, o fenômeno de corrosão ocorrerá no zinco e não no aço, o que é a situação desejada nestes casos pois a vida útil do elemento se prolonga consideravelmente. Também é possível se encontrar situações em que temos esquadrias metálicas indevidamente em contato com a estrutura, o que também caracteriza este tipo de fenômeno.

b) A pilha de ação local

É a mais comum de ocorrer nos materiais que não formam película apassivadora. De acordo com RAMANATHAN⁵⁷, este é um tipo de pilha em que a **ddp** surge principalmente devido as heterogeneidades do material. Estas heterogeneidades provocam em um mesmo corpo regiões anódicas e catódicas. O interior do metal funciona como ligação elétrica, bastando apenas a presença do eletrólito para ocorrer o processo de corrosão.

É um dos tipos de corrosão que acontecem normalmente em elementos de aço e na película de zinco que recobre o aço galvanizado. A corrosão, ou se estende por toda a superfície exposta, ou se concentra em regiões preferencialmente anódicas dos elementos. As principais heterogeneidades causadoras de uma **ddp** (diferença de potencial) entre dois pontos de um metal são:

- **Inclusões, segregações, bolhas e trincas**

Compostos normalmente presentes em metais comerciais e impurezas que surgem por ocasião do resfriamento funcionam como microcátodos no retículo cristalino, provocando corrosão localizada nos pontos de incrustação. Bolhas e trincas, pelo fato de poderem armazenar água em seu interior, criam condições para o surgimento de corrosão por concentração ou aeração diferencial.

- **Estados diferentes de tensões**

As regiões tensionadas do metal apresentam um potencial diferente das demais, funcionando normalmente como ânodo em relação ao restante do elemento.

- **Polimento diferencial**

Metais com diferença de rugosidade em sua superfície apresentam também diferentes potenciais. Quanto maior o polimento, maior será o seu potencial, funcionando a superfície mais rugosa como ânodo.

- **Diferença no tamanho e no contorno dos grãos**

Durante sua fabricação, ao se solidificar, o metal forma agrupamentos cristalinos chamados grãos. Estes grãos podem possuir diversos tamanhos e orientações que influem no potencial de cada um. Grãos menores funcionam como ânodos enquanto que os maiores como cátodos. Já a região de contorno dos grãos apresenta imperfeições no retículo cristalino em relação ao interior do grão. Geralmente esta região funciona como ânodo em relação ao interior do grão.

- **Tratamentos térmicos diferentes**

Se um metal sofre um processo de aquecimento localizado, tal como solda ou corte por maçarico, aquela região aquecida pode apresentar potencial diferente do resto. Normalmente a região aquecida passa a funcionar como ânodo enquanto que o resto do

metal como cátodo. Na solda, a região que funciona como ânodo não é a do cordão e sim a do entorno do cordão, conhecida como zona termicamente afetada, já que o metal de solda normalmente é mais nobre do que o metal base.

- **Materiais de diferentes épocas de fabricação**

Com o passar dos anos novas tecnologias e produtos metálicos vão surgindo, de modo que as características destes produtos se tornam diferentes das de seus antecessores. Portanto os potenciais destes novos produtos, por vários motivos, são diferentes, ocasionando então uma **ddp** entre eles.

- **Diferenças de temperatura e de iluminação**

Diferenças de temperatura podem provocar um tipo de pilha conhecida como termogalvânica. A região anódica se localiza onde a temperatura for mais alta, enquanto que a catódica na mais baixa. Normalmente esta diferença de temperatura surge devido à diferença de temperatura existente no próprio eletrólito. Já a iluminação faz com que a região iluminada funcione como cátodo, enquanto que a região de sombra como ânodo.

c) A pilha ativa-passiva

É um tipo de pilha que ocorre em materiais que apresentam película apassivadora. Exemplos de metais em que ocorre este fenômeno são: alumínio, níquel, molibdênio, titânio, zircônio, aço inoxidável, cromo, etc. Se esta película for rompida, seja por ação mecânica, seja por ação desestabilizadora de íons halogenetos, surge então uma pilha formada pela película (região catódica) e pelo metal exposto no rompimento (região anódica). A corrosão neste caso se caracteriza basicamente pela formação de pequenos pontos localizados de corrosão chamados “pites”. Este tipo de corrosão não se aplica para o aço carbono e para o zinco.

d) A pilha de concentração iônica

É uma pilha que surge sempre que um material metálico se encontra exposto a uma

solução com concentrações diferentes de seus próprios íons e sem a presença de oxigênio dissolvido. Onde houver maior concentração dos íons metálicos teremos uma região catódica e onde tivermos menor concentração, teremos a região anódica. É um tipo de corrosão que ocorre mais em equipamentos específicos sujeitos a ação deste tipo de eletrólito. Não é um tipo de corrosão muito comum na natureza já que a maioria das soluções aquosas encontra-se em contato com o oxigênio atmosférico, o que favorece a sua dissolução na solução provocando um outro tipo de corrosão chamada corrosão por aeração diferencial.

e) A pilha de aeração diferencial

Juntamente com a pilha de ação local, é a que mais se aplica nas estruturas metálicas. Semelhante à pilha de concentração iônica, a pilha de aeração diferencial surge devido à diferença de concentração do íon oxigênio na solução. A região de menor concentração funciona como ânodo e a região de maior concentração como cátodo. É muito comum acontecer em peças que formem gotas de água em sua superfície, onde a corrosão acontece na região mais interna das gotas devido à menor concentração de oxigênio e também no interior de frestas e trincas, onde a concentração de oxigênio é menor no interior da fresta.

3.1.3. O meio

Para haver corrosão, é preciso que os quatro elementos básicos estejam presentes: o ânodo, o cátodo, a ligação elétrica e o eletrólito. O próprio metal, na maioria das situações reais, se torna o elemento de ocorrência dos três primeiros. Porém o quarto elemento, ou seja o eletrólito, pode aparecer sob diferentes condições. Em edificações, a origem do eletrólito vem essencialmente de um dos seguintes meios:

- i. atmosfera;
- ii. água;
- iii. solo.

Existem vários outros tipos de corrosão baseados no meio. Porém estes mostrados

acima são responsáveis pela grande maioria dos ataques nas estruturas metálicas em geral.

a) Corrosão em atmosfera

Este é o processo mais comum de ocorrência de corrosão nas estruturas metálicas. A origem do eletrólito está relacionado com a localização do empreendimento, com os índices de umidade, com as características pluviométricas, temperatura e outros. Construções junto à orla marinha estão sujeitas à presença de íons cloretos e outros halogenetos. Já as zonas industriais produzem essencialmente gases oriundos da queima de combustíveis com alto teor de enxofre, além de diversos outros tipos de contaminantes. Ambientes urbanos e semi-industriais se caracterizam basicamente pela queima de combustível de veículos automotores e gases industriais, com altos índices de óxidos de enxofre e dióxido de carbono. Apenas os ambientes rurais propiciam uma melhor condição ambiental para a não ocorrência do processo de corrosão em virtude de sua atmosfera ser relativamente limpa dos contaminantes.

Primeiro é necessário se fazer uma pequena análise das partes que compõem a atmosfera para então se entender como se forma o eletrólito. Além dos gases comuns, como o O_2 , o CO_2 , vapor d'água e o N_2 , a atmosfera também é composta por óxidos de enxofre, amônia, íons cloreto, poeira, cinzas e outros de menor importância. O eletrólito neste caso se constitui basicamente da água que se condensa na superfície metálica (água de condensação de chuva, orvalho, neblina, etc.) juntamente com gases, sais de enxofre e cloretos dissolvidos, além de poeiras e outros poluentes diversos que podem acelerar o processo corrosivo.

Pode-se caracterizar melhor os ambientes corrosivos ou as condições que favorecem a corrosão atmosférica da seguinte forma:

- i. Atmosfera marinha: sobre a orla marinha até 500m da praia com ventos predominantes na direção da estrutura a ser pintada;
- ii. atmosfera junto à orla marinha: aquela situada além de 500m da praia e até onde os sais podem alcançar;
- iii. atmosfera industrial: envolve regiões com muitos gases provenientes de combustão, particularmente gases oriundos de combustíveis com alto teor de enxofre;
- iv. atmosfera úmida: locais com umidade relativa média acima de 60%;

- v. atmosfera urbana e semi industrial: ocorre nas cidades onde se tem uma razoável quantidade de gases provenientes de veículos automotores e uma indústria razoavelmente desenvolvida;
- vi. atmosfera rural e seca: locais, em geral no interior, onde não há gases industriais, sais em suspensão e a umidade relativa do ar se apresenta com valores sempre mais baixos.

A ação corrosiva da atmosfera depende fundamentalmente dos seguintes fatores:

- **Partículas sólidas**

As partículas sólidas, sob a forma de poeira, existem na atmosfera e a tornam mais corrosiva pois pode ocorrer:

- i. Deposição de material não metálico como sílica, que embora não atacando diretamente o material metálico cria condições de aeração diferencial, ocorrendo corrosão localizada abaixo do depósito: as partes sujeitas à poeira são as mais atacadas em peças estocadas sem nenhuma proteção;
- ii. deposição de substâncias que retêm umidade ou são higroscópicas: aceleram o processo corrosivo, pois aumentam o tempo de permanência de água na superfície metálica. Como exemplo podem ser citados cloreto de cálcio e cloreto de magnésio que são substâncias higroscópicas, e o óxido de cálcio;
- iii. deposição de sais que são eletrólitos fortes, como sulfato de amônio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, e cloreto de sódio, NaCl; daí a maior ação corrosiva de atmosferas marinhas devido à presença de névoa contendo sais como NaCl e cloreto de magnésio MgCl_2 ;
- iv. deposição de material metálico: se o material metálico depositado for de natureza química diferente daquele da superfície em que estiver depositado, poderá ocorrer formação de pilhas de eletrodos metálicos diferentes com a conseqüente corrosão do material mais ativo;
- v. deposição de partículas sólidas que, embora inertes para o material metálico, podem reter sobre a superfície metálica gases corrosivos existentes na atmosfera: caso de partículas de carvão que, devido ao seu grande poder de adsorção, retiram por exemplo, dióxido de enxofre, SO_2 , de atmosferas industriais, o qual com a umidade

presente forma o ácido sulfuroso, H_2SO_3 , e também ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que têm intensa ação corrosiva.

• Gases

Os gases mais freqüentemente encontrados na atmosfera são monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO_2 , dióxido de enxofre SO_2 , trióxido de enxofre SO_3 , gás sulfídrico H_2S e amônia NH_3 . A presença desses gases está vinculada à existência de indústrias poluentes e circulação de veículos. Estes gases são responsáveis pela formação de chuvas ácidas e agentes desestabilizantes de películas apassivadoras.

• Umidade relativa

A influência da umidade na ação corrosiva da atmosfera depende das características locais da instalação. Regiões com altas taxas de umidade relativa, ou indústrias com equipamentos geradores de vapor, favorecem bastante a formação de eletrólitos nas superfícies metálicas e conseqüentemente da corrosão, enquanto que lugares com baixas taxas de umidade relativa a níveis de corrosão são relativamente baixos.

A rápida aceleração do processo corrosivo, quando a umidade atinge um valor crítico, chama-se umidade crítica, definida como a umidade relativa acima da qual o metal começa a corroer-se de maneira apreciável. Se além da umidade houver também a presença de substâncias poluentes, evidentemente que a velocidade de corrosão é acelerada. Sabe-se que o ferro, em atmosfera de baixa umidade relativa, praticamente não sofre corrosão. Em umidade relativa em torno de 60% o processo corrosivo é lento, mas acima de 70% ele é acelerado.

• Outros fatores

i. Temperatura

A temperatura apresenta um efeito antagônico na corrosão atmosférica dos metais. Por uma lado favorece a velocidade de reações eletroquímicas como também o processo de difusão de outros elementos. Por outro facilita a evaporação da água na superfície dos

metais.

ii. Ventos

É outro fator com efeito antagônico. O vento facilita o processo de secagem, por outro lado pode causar a aceleração da corrosão por carregar poluentes para regiões não agressivas. A direção dos ventos é também outro fator que deve ser considerado por poder afastar ou trazer substâncias nocivas.

iii. Tempo de molhamento

Do ponto de vista prático, a corrosão atmosférica pode ser considerada como um processo descontínuo, já que a superfície metálica está sujeita a períodos de molhamento e secagem. Tempo de molhamento é definido como o tempo que uma superfície metálica fica coberta por uma lâmina d'água, possibilitando a ocorrência do processo corrosivo.

iv. Concentrações das soluções

O pH das águas naturais varia de 4,5 a 8,5. Águas com pH maiores que 8,5 são pouco agressivas ao aço pois ocorre a sua passivação. Águas com pH inferiores a 4,5 são muito agressivas. Porém estas situações extremas dificilmente são encontradas na natureza. A taxa de corrosão do ferro, no intervalo de pH entre 4 e 10, é independente do pH, podendo-se concluir que em águas naturais moles aeradas, a corrosão do aço carbono ocorrerá independentemente do pH.

A melhor maneira de se evitar a corrosão atmosférica é aplicar camadas de revestimentos de maneira a isolar o metal de um contato direto com a atmosfera. Os dois revestimentos mais empregados nestes casos são as tintas e os revestimentos metálicos.

b) Corrosão na água

É um tipo de corrosão muito comum em estruturas como piers, plataformas marítimas, pontes ou em qualquer outro tipo de estrutura que se encontre diretamente imersa em água. Como as edificações em geral são feitas procurando se evitar o contato

direto com a água, dificilmente vamos encontrar casos em que tenhamos elementos metálicos de edifícios imersos em água.

Seja qual for a natureza da água, seja do mar, água doce ou da chuva, contém sais dissolvidos que podem ter ação corrosiva sobre os corpos imersos. A melhor maneira de se prevenir a corrosão ainda é se evitar o contato direto entre a água e o metal. Caso isso não seja possível, é importante fazer uma análise da água, determinando seus contaminantes mais prejudiciais e adotando materiais e tecnologias apropriados.

c) Corrosão no solo

É um tipo de corrosão muito comum em tubulações, cabos subterrâneos, estacas metálicas, pilares enterrados, trilhos, etc, quando enterrados ou em contato com o solo. O solo é um material muito heterogêneo, composto de diversos minerais, ácidos, sais e água formando assim um eletrólito propício para o desenvolvimento da corrosão. A agressividade dos solos depende essencialmente dos seus componentes agressivos e da sua constituição. Os fatores mais importantes são: acidez, teor de umidade, grau de aeração, permeabilidade à água e condutibilidade elétrica.

A agressividade dos solos aumenta à medida que cresce o teor de componentes ácidos (ácidos úmicos, cloretos, sulfatos e sulfetos). Para valores de $\text{pH} < 6,5$; os solos ácidos passam a ser gradativamente mais agressivos e a corrosão comumente é do tipo oxigênio. Componentes básicos, por exemplo em solos calcários, praticamente não causam ataque sensível. Para a corrosão ser nítida, é necessário que o teor de umidade seja superior a 20%. Solos arenosos e pedregosos - caracterizados por alta permeabilidade – normalmente são bastante aerados e permeáveis à água. Nestes solos, o ataque é semelhante à corrosão atmosférica. Em solos não-porosos (argilosos, pantanosos, etc.), a quantidade de oxigênio livre é muito pequena. Nestes, muitas espécies de bactérias encontram seu “habitat”, se contiverem gipsita e substâncias orgânicas (corrosão por microorganismos). Evidentemente é o papel da condutibilidade elétrica de solos sobre sua agressividade. Com efeito solos secos praticamente não conduzem eletricidade, pois não existe um eletrólito aquoso para fechar o circuito da corrente de corrosão.

3.1.4. Relação entre área anódica e área catódica

De acordo com GENTIL²⁹, quanto maior o número de reações químicas que ocorrem no cátodo, maior será a intensidade de corrente e conseqüentemente maior será a velocidade de corrosão no ânodo. Entra aqui o fator relativo às áreas do cátodo e do ânodo. Define-se como densidade de corrente a relação entre a intensidade de corrente e a área do eletrodo:

$$i = \frac{I}{A} (A/mm^2)$$

A velocidade de corrosão eletroquímica representa a perda de massa do material metálico em função do tempo por unidade de área. Expressando essa velocidade em equivalente grama por unidade de área anódica por segundo, seu valor será obtido por:

ou

$$v = \frac{I}{F * A_a}$$

$$v = \frac{i_a}{F}$$

onde:

I - intensidade de corrente

A_a – área do ânodo

F – constante de Faraday

i_a – densidade de corrente anódica

Esta formulação serve apenas para indicar que a velocidade de corrosão depende diretamente da intensidade de corrente e da área do ânodo. Como a intensidade de corrente está diretamente relacionada com o número de reações químicas que ocorrem no cátodo, e

a área do ânodo e do cátodo dependem do tipo de corrosão que está ocorrendo no processo, conclui-se que quanto maior for a relação entre a área do cátodo e a área do ânodo, maior será a velocidade de corrosão, pois maior será a corrente elétrica no circuito e maior será a densidade de corrente no ânodo.

Em qualquer estrutura, devemos procurar evitar sempre a existência de uma grande área catódica em contato com uma pequena área anódica. Isso significa que devemos tomar cuidados para evitar por exemplo que tenhamos elementos de ligação menos nobre do que o aço.

3.2. CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS

A corrosão é um fenômeno natural e por isso temos que aprender a conviver com a sua ocorrência. Nas edificações a corrosão atua principalmente nos materiais metálicos que as compõem: ferragens, esquadrias, armaduras, aço estrutural, etc, além de determinados tipos específicos de materiais de construção não metálicos. Dentro do contexto deste trabalho, enfocaremos especialmente o aço estrutural e os elementos galvanizados utilizados para complementar as estruturas.

O aço carbono é o metal mais empregado na confecção dos perfis das estruturas metálicas devido as suas propriedades mecânicas. Porém, na maioria das aplicações, este aço é utilizado com proteção porque ele apresenta uma grande tendência para se corroer. A atmosfera é o principal meio de ocorrência deste fenômeno. Porém é comum encontrar casos em que a estrutura metálica está em contato com outros meios, como por exemplo o solo (estacas, bases de colunas e muros de arrimos de subsolos) e/ou a água (indústrias).

A razão para se fazer este estudo é levantar as principais causas que levam aos processos de corrosão em estruturas metálicas, de forma a poder tomar-se medidas preventivas e corretivas adequadas que possam evitar este fenômeno altamente prejudicial para as estruturas. Segundo GONÇALVES³⁰, a perda da seção transversal dos elementos estruturais é o principal problema causado pela corrosão. Esta perda pode aumentar a concentração de tensões (por diminuição da área efetiva) reduzindo conseqüentemente a capacidade última de resistência e, em casos extremos, podendo até provocar a ruína da peça por insuficiência da seção ou perda de estabilidade.

3.2.1. Formas de corrosão em estruturas metálicas

A corrosão em estruturas metálicas apresenta-se basicamente sob duas formas: corrosão em frestas (figura 6) e corrosão uniforme (figura 7). O conhecimento de seu mecanismo auxilia bastante na identificação e na aplicação de medidas adequadas de recuperação. Sua manifestação é decorrente de fatores como falta de manutenção, erros de projeto, mudança de ambiente, etc.

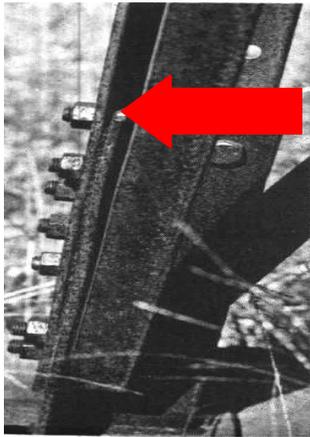


Figura 6 - Corrosão em uma ligação metálica – DILLON²⁵

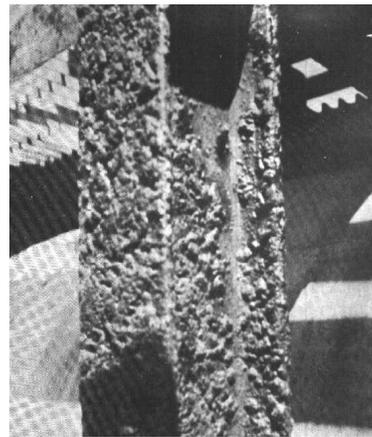


Figura 7 - Corrosão em uma coluna de aço – DILLON²⁵

a) Corrosão uniforme

É um tipo de corrosão que se caracteriza por apresentar uma superfície metálica tomada por uma camada de óxido de ferro (ferrugem) pouco aderente. Caracteriza-se pela perda uniforme de massa em toda a extensão do perfil e conseqüente diminuição gradual da espessura do metal. É a forma mais comum de corrosão em estruturas metálicas, e a menos perigosa delas por ser

bastante visível e facilmente detectada (figura 8).



Figura 8 - Exemplo de corrosão uniforme em uma coluna metálica

- **Causa**

Exposição direta do aço carbono a um ambiente agressivo. É o tipo de corrosão que ocorre quando se emprega o aço carbono sem proteção, com proteção deficiente ou inadequada, ou até mesmo pintura sem manutenção. Este problema pode ser agravado devido a erros de projeto, tais como:

- i. disposição inadequada dos perfis possibilitando o acúmulo de água e poeira;
- ii. inexistência ou insuficiência de furos de drenagem;
- iii. perfis semi-enterrados ou semi submersos;

Problemas de transporte e armazenagem também podem provocar o início do processo corrosivo. O transporte inadequado pode causar o rompimento do revestimento protetor durante as operações de carga e descarga. A má acomodação dos perfis pode permitir acúmulo de água ou contato direto com o solo.

Os dois mecanismos que ocorrem neste tipo de corrosão são a formação da pilha de ação local, ou seja, as próprias heterogeneidades do aço do perfil são responsáveis pela formação de micro áreas anódicas e catódicas em toda a sua superfície exposta, e, em menor escala, pilha de aeração diferencial, devido à formação de gotas sobre a superfície do metal. Como a camada de óxido formada sobre esta superfície não possui caráter protetor, temos um processo contínuo de corrosão enquanto o eletrólito estiver presente.

- **Terapia**

A primeira providência a se tomar é avaliar o grau de corrosão a que a peça está submetida. Se a superfície estiver corroída apenas superficialmente, podemos apenas realizar uma limpeza superficial e refazer novamente a pintura. O jato de areia é o único processo capaz de garantir uma limpeza superficial adequada, eliminando quase todo resquício de ferrugem. Se não for possível o jateamento, deve-se analisar a adesão do esquema com limpeza mecânica. Neste caso deve-se procurar uma tinta compatível com a tinta já existente e que tenha boa aderência com este esquema de limpeza.

Caso a corrosão esteja em um maior nível de comprometimento (figura 9), deve-se avaliar a segurança da estrutura para aquela situação específica. Temos então duas opções a pensar: reforço ou substituição dos elementos danificados. Em qualquer uma delas é

imperativo uma limpeza adequada da superfície corroída, preferencialmente com equipamento de jato de areia. Cabe aqui uma análise mais minuciosa para se decidir qual procedimento adotar:

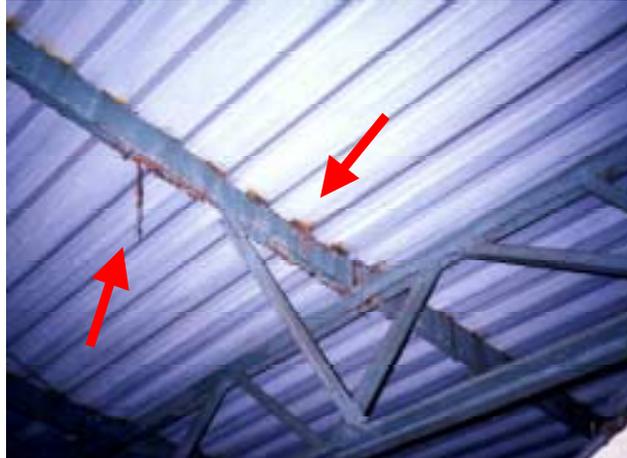


Figura 9 - Terça metálica totalmente corroída

i. Reforço

Se a corrosão estiver ocorrendo apenas em um trecho da superfície do perfil, e se este trecho não estiver muito comprometido, pode-se pensar em uma soldagem de chapas, de mesma espessura ou superior, no local do reforço. Estas deverão garantir uma continuidade física e propriedades geométricas equivalentes ou superiores ao do perfil original.

ii. Substituição

A substituição deve ser considerada nos caso em que o reforço constituir uma solução mais onerosa e/ou menos confiável em termos de segurança. Como as estruturas metálicas muitas vezes são facilmente substituíveis, isso faz com que este custo diminua consideravelmente, podendo ser o caso de se tornar muito mais econômico do que o reforço.

b) Corrosão em frestas

É o tipo de corrosão que se caracteriza por ocorrer em pontos onde existam duas superfícies em contato ou muito próximas entre si (figura 10) - sua largura varia entre 0,025 a 0,1 mm. Podem ser formadas devido à:

- i. Geometria estrutural de um sistema (ligações em geral);
- ii. contato com não metais (interfaces entre a estrutura e o concreto, vedações, madeiras, plásticos, borrachas, etc.);
- iii. depósitos de sujeira ou produtos de corrosão.

São mais perigosas do que a corrosão uniforme pois atuam apenas em uma área relativamente pequena da estrutura. Afetam diretamente a seção transversal da chapa ou perfil metálico e são mais difíceis de serem percebidas. O restante do perfil normalmente permanece intacto.

• Causa

A principal causa da formação da corrosão por frestas é a exposição contínua ou intermitente desta a um eletrólito. Nas figuras 8 e 10 temos uma base de coluna e uma ligação metálica exposta diretamente à atmosfera. Em ambas as condições ambientais são muito propícias ao acúmulo de água nas frestas mostradas. Isso ocasiona um mecanismo de formação da corrosão conhecido como pilha de aeração diferencial.

O eletrólito é geralmente uma solução aproximadamente neutra, onde o oxigênio dissolvido atua como reagente catódico. Na borda da fresta temos uma região com maior concentração deste oxigênio (devido à convecção ou difusão) enquanto que no interior temos uma baixa concentração deste elemento. É justamente nesta região de baixa concentração que a corrosão ocorre. Mesmo que exista algum tipo de revestimento, este acaba deteriorando-se com o tempo, permitindo assim o início das reações químicas de corrosão.

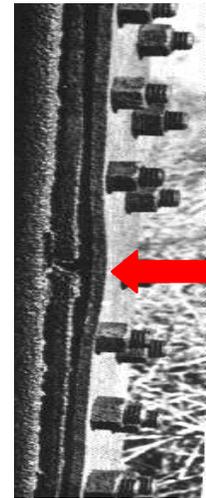


Figura 10 - Corrosão por fresta – DILLON²⁵

- **Terapia**

Por se tratar de um ataque localizado, a corrosão por frestas atua em uma região de difícil manutenção (ligações, bases de colunas, vedações, etc.). Fica difícil então se avaliar o estado de deterioração da mesma pois o processo ocorre dentro da fresta, que é uma região de difícil acesso. Depende muito então da experiência do inspetor para se determinar o estado de deterioração daquele elemento.

Se a corrosão estiver em um estágio inicial, basta promover uma limpeza superficial, eliminar qualquer resquício de umidade que haja no interior, aplicar um selante adequado na entrada da fresta e posteriormente o revestimento protetor. Desta forma impede-se a entrada do eletrólito no interior da mesma, eliminando então o seu mecanismo de formação.

Entretanto se a corrosão estiver em um estado avançado, comprometendo a segurança da estrutura, o melhor é optar por uma intervenção mais significativa. Parte-se então para o reforço e/ou substituição daquele elemento comprometido. Por se tratar de uma área relativamente pequena, de difícil acesso e estruturalmente importante, o reforço não deve ser encarado como uma solução definitiva.

O ideal é se fazer um serviço conjunto de reforço e substituição dos componentes afetados. A corrosão por frestas ataca basicamente os meios e elementos de ligação (parafusos, chapas, cantoneiras, etc.), que são muitas vezes facilmente substituíveis, sem grandes inconvenientes e com baixo custo. O perfil metálico, dependendo do seu estado de degradação na região, pode ser simplesmente limpo ou reforçado, sem a necessidade de se fazer uma substituição deste também. Em estruturas expostas a ambientes agressivos é preferível se utilizar ligações soldadas para se prevenir este tipo de corrosão.

3.2.2. Manutenção

Independente do tipo de ataque e do estado de deterioração da estrutura, deve ser feito um estudo sobre as condições ambientais a que esta está submetida. Se for um problema localizado, do tipo infiltração, vazamento, acúmulo de água ou outro qualquer, a manutenção será relativamente simples e os custos serão baixos. Porém, se a origem do problema estiver relacionada com a escolha errada do tipo de aço ou revestimento protetor, caberá então uma análise global de toda a estrutura para se estabelecer uma estratégia de

solução, com um ônus certamente significativo. Em alguns casos compensa mais demolir a estrutura existente e fazer outra construção do que partir para uma completa recuperação

A manutenção deve ser feita de maneira periódica e por inspetores capacitados. A maioria dos problemas de corrosão citados podem ser facilmente corrigidos se observados em tempo hábil. A limpeza pode ser manual ou mecânica, e o revestimento protetor deve ser recomposto de acordo com as especificações de projeto. O custo de intervenção neste caso é mínimo e a sobrevida estrutural conseguida é significativa.

A dificuldade em poder realizar uma manutenção pode vir a agravar tal problema. Isso deve ser previsto ainda na etapa de projeto de forma que a disposição dos elementos estruturais permitam um acesso sem complicações. Gastos adicionais com a estrutura podem ser totalmente compensados pela minimização dos custos de proteção contra a corrosão e de manutenção.

3.2.3. Custos de intervenção

Os custos de intervenção envolvidos em qualquer uma dessas situações devem ser levados em consideração. O deslocamento, a instalação e o funcionamento de equipamentos de limpeza, reparo e suprimentos (jato de areia, máquinas de solda, chapas e/ou perfis diversos) no local de manutenção podem ter um custo muito maior do que simplesmente substituir o perfil inteiro. Por outro lado, a substituição de perfis já instalados pode acarretar em demolições, atrasos e outros contratemplos. Tanto o reforço como a substituição podem implicar em interrupções e prejudicar as atividades desenvolvidas no local (figura 11).



Figura 11 - Recuperação de coluna deteriorada por corrosão – SANTOS⁶²

3.2.4. Corrosão em elementos galvanizados

A corrosão em elementos galvanizados constitui um caso à parte nas estruturas

metálicas. O zinco é encontrado na forma de revestimento metálico de perfis e chapas de aço, e sua função é a de estabelecer um par galvânico em que a camada superficial de zinco funciona como ânodo, enquanto que o aço como cátodo. Nas construções de aço ele está presente principalmente no revestimento de telhas galvanizadas, lajes (deck metálicos), parafusos zincados e chaparias em geral (rufos, arremates, calhas, etc).

Primeiramente é necessário se esclarecer que o zinco não possui função estrutural e sim protetora. Além de uma proteção por “barreira” contra os agentes agressivos ao aço, a película de zinco proporciona proteção catódica à estrutura, pois o mecanismo de formação da corrosão preferencial é o estabelecimento de uma pilha galvânica zinco-aço.

A interligação da estrutura a outros metais com maior potencial de oxidação que o aço faz com que este último desempenhe o papel de cátodo de uma eventual corrosão eletroquímica, ou seja, no caso de haver a ocorrência do processo corrosivo, o zinco atua como material de “sacrifício”, propiciando proteção ao aço. Como a área de zinco exposta é muito maior que a área de aço, temos uma zona anódica muito maior que a zona catódica, o que resulta em uma pequena corrosão do zinco. Mais que isso, o processo evolui de forma a que uma eventual falha existente na película de zinco seja tamponada pelos próprios produtos de corrosão.

Uma curiosidade interessante: em águas de abastecimento, a uma temperatura superior a 60 °C, ocorre inversão de polaridade entre o aço e o zinco. Neste caso, o zinco será o mais nobre, acelerando a corrosão do aço.

Ferrugem branca

Uma das formas mais comuns de aparecimento da corrosão em elementos galvanizados é a chamada “ferrugem branca”. Esta ferrugem é resultado da reação do zinco com o oxigênio formando óxido de zinco e hidróxido de zinco. Este tipo de corrosão se apresenta sob a forma de um composto pulverulento, de coloração cinzenta a branco, formado na superfície da chapa metálica.

É muito comum o seu aparecimento em telhas de aço galvanizado submetidas a armazenagem de longa duração, ou devido a um procedimento de armazenagem incorreto, sem suficiente ventilação, mesmo que por curto espaço de tempo. Também pode aparecer no lado inferior de perfis devido à repetida formação de condensação. A presença de pouca “ferrugem branca” não representa nenhum defeito que possa reduzir a capacidade de

emprego dos elementos, podendo ser facilmente removida através de uma escovação com escova de nylon e/ou com a aplicação de um detergente especial (neste caso deve-se consultar o fabricante das telhas). Porém a sua ocorrência implica em um ponto preferencial para o início de corrosão posteriormente.

A ferrugem branca pode ser facilmente evitada desde que medidas preventivas sejam tomadas. Deve-se evitar a umidade durante o transporte das telhas. Para tanto, lonas de proteção devem ser utilizadas. Se ainda assim as telhas se molharem, enxugue-as uma a uma antes de estocá-las. Caso os pacotes de telhas ou outros perfis não venham a ser utilizados de imediato, devem ser armazenados de modo a serem protegidos contra a ação das intempéries. A melhor opção é armazená-las sob uma construção coberta, seca e ventilada. Se possível, os pacotes deverão ser dispostos com uma leve inclinação na direção longitudinal para que, na eventualidade de cair água sobre estes, essa possa escoar livremente. Nunca colocar cargas sobre as telhas e não estocá-las em contato direto com o piso e as paredes.

Na armazenagem a céu aberto, deve-se providenciar uma boa cobertura resistente à chuva e bem ventilada (não utilizar folhas de plástico). As embalagens dos pacotes feitas na fábrica, deverão ser abertas nas extremidades para evitar a formação de condensação de água. Não é recomendável a estocagem por mais de 60 dias.

3.2.5. Corrosão em estacas portantes de aço

Segundo NETO⁴⁸, o fenômeno de corrosão de estacas cravadas se desenvolve através de uma corrente elétrica que se estabelece entre algumas áreas da estaca, através do solo saturado que funciona como um eletrólito. Cada solo possui um chamado “índice de corrosividade” que caracterizam a sua tendência de corrosão. Este índice é passível de ser mensurado através de um aparelho denominado “corrosímetro de Rosenqvist”, que é um aparelho que quando cravado no solo forma uma célula galvânica, podendo-se então medir a resistência elétrica do solo e a intensidade de corrente que passa através dessa célula quando a mesma é colocada em curto circuito (polarizada). Rosenqvist propôs que a corrosão do aço seria função:

- i. da resistividade do solo;
- ii. do coeficiente de despolarização do solo;

- iii. da variação de salinidade do lençol freático ao longo do comprimento da estaca;
- iv. da temperatura e variação de temperatura do solo;
- v. da percolação da água no solo;
- vi. da qualidade do aço.

A partir dos índices de corrosividade do solo e de observações feitas com peças de aço desenterradas, Rosenqvist estabeleceu suas velocidades de corrosão (tabela 2):

Tabela 2 – Velocidade de corrosão

| Índices de corrosividade | Intensidade da corrosão | Velocidade de corrosão (mm/ano) |
|--------------------------|---|---------------------------------|
| 1 | desprezível | até 0,001 |
| 2 | não prejudicial às estacas de aço | 0,001 a 0,005 |
| 3 | em condições desfavoráveis causará danos a estacas de aço | 0,005 a 0,02 |
| 4 | Normalmente causará danos a estacas de aço | 0,02 a 0,1 |
| 5 | não é recomendável a utilização de estacas de aço | acima de 0,1 |

NETO⁴⁸

O resultados de algumas pesquisas envolvendo estacas de aço, realizado por diferentes pesquisadores e instituições mostram que:

- i. A estaca, quando totalmente mergulhada no lençol freático, sofre um início de corrosão que se auto inibe rapidamente, não chegando a provocar perdas de espessura dignas de consideração em sua seção transversal;
- ii. a estaca na zona de oscilação do lençol freático, não apresenta corrosão maior que a apresentada no item anterior. Na estaca não mergulhada no lençol freático, verifica-se predominantemente a corrosão por pite, que pouco afeta seu comportamento e sua vida útil;
- iii. a estaca acima da zona de variação do lençol freático apresenta corrosão um pouco mais acentuada nas proximidades da superfície do terreno; mesmo assim, ela é muito baixa;

- iv. nenhum parâmetro do solo governa a intensidade de corrosão em estaca de aço, inclusive a variação dos tipos de solo (arenosos ou argilosos) e o seu ph (ácidos ou básicos);
- v. diferentes tipos de aço sofrem praticamente a mesma taxa de corrosão;
- vi. destaca-se somente um pequeno incremento na taxa de corrosão que ocorre na zona próxima à superfície do terreno (zona aerada), mas mesmo assim muito pequena;
- vii. a variação do nível do lençol freático e a renovação da água do subsolo não influenciam as taxas de corrosão;
- viii. as soldas foram um pouco mais corroídas do que as estacas, mas os aumentos nas taxas de corrosão foram desprezíveis.

Estes resultados permitem concluir que em geral a corrosão da estaca de aço é muito menor do que o esperado. O tipo de solo e suas características químicas não influenciaram a velocidade de corrosão, e esta diminui com o tempo. Assim a corrosão não é um problema sério quando se trata de estacas de aço desde que estas não venham a ficar expostas na atmosfera ou na água por qualquer motivo. Na dúvida sobre a resistência do aço, indica-se o uso do corrosímetro de Rosenqvist para avaliar se o solo pode ou não receber tais estacas.

3.2.6. Aço de alta resistência à corrosão

Temos uma idéia pré-concebida de que as estruturas de aço sempre tendem a apresentar problemas de corrosão. Estes receios originaram-se do mau uso do material no passado e que ficou difundido em nossa cultura de construção. A divulgação de uma tecnologia apropriada para o aço certamente implicaria numa segura aplicação do mesmo e dificilmente estes problemas ocorreriam hoje. Basta vermos o exemplo das grandes metrópoles americanas e européias onde o aço vem sendo utilizado há dezenas de anos como estrutura em inúmeras edificações de grande porte, sem apresentar tais tipos de problemas.

Mesmo assim para resolver este problema específico as usinas siderúrgicas desenvolveram um aço cuja resistência à corrosão supera em até quatro vezes a corrosão do aço convencional (A36), além de possuir limite de escoamento maior. O objetivo foi o de aumentar a durabilidade do aço principalmente quando exposto a condições severas de

agressividade, tais como em ambientes industriais e marítimos.

Esta melhora em suas qualidades é obtida através do acréscimo de elementos de liga na composição do aço. Estes fazem com que a camada superficial oxidada constitua uma película aderente e pouco porosa, diminuindo sensivelmente o avanço da corrosão. Isso não só permite a este tipo de aço ficar exposto como também pode proporcionar uma economia pela não aplicação de revestimento protetor (tintas) em alguns tipos de estruturas onde o fator estético não é uma prioridade.

Porém é necessário esclarecer que a sua utilização não elimina de maneira alguma a corrosão, apenas diminui sua intensidade. Atualmente o preço deste tipo de aço já é bastante competitivo em relação ao aço convencional (A36), o que o torna preferencial em várias aplicações.

3.2.7. Recomendações de projeto para se evitar a corrosão

Segundo SOUZA^{67, 68}, bons projetos devem nascer de uma solução de compromisso com a proteção contra a corrosão, devendo levar em conta os seguintes aspectos:

- i. Diminuição da possibilidade de criação de condições propícias ao desenvolvimento da corrosão eletroquímica;
- ii. aumento da facilidade de aplicação e das condições para que os eventuais revestimentos adotados possuam melhor desempenho;
- iii. facilidade de inspeção e manutenção.

Na discussão que se segue, o projeto é abordado segundo três aspectos:

a) A geometria de um componente

Aqui analisa-se a importância da forma, bem como das condições superficiais de um componente isolado. Deve-se observar os seguintes aspectos:

- i. superfícies planas ou lisas são desejáveis (figura 12a);
- ii. geometrias curvas são preferíveis às que apresentam ângulos (figura 12b);

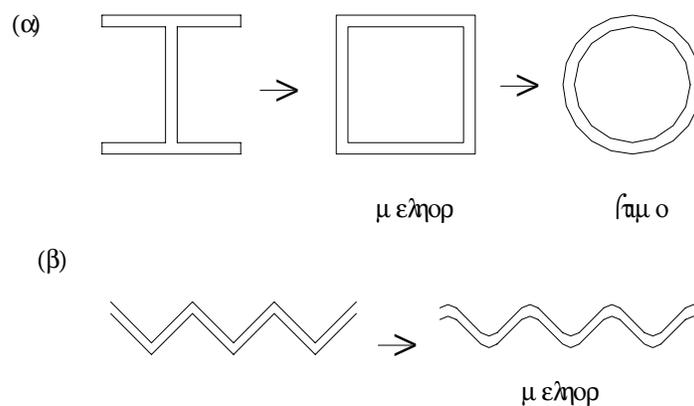


Figura 12 – Formas geométricas preferenciais – SOUZA^{67, 68}

iii. é recomendável o arredondamento dos cantos e extremidades dos componentes (figura 13);

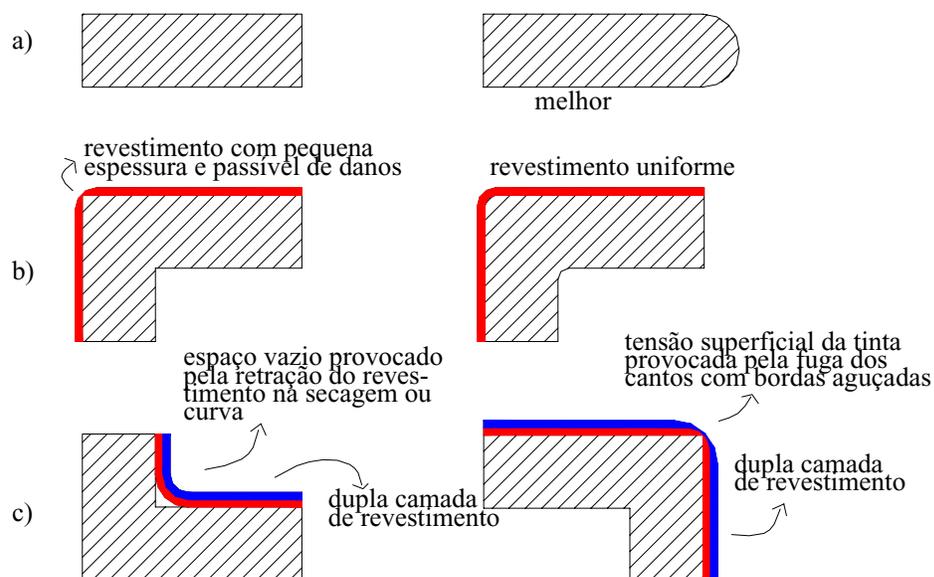


Figura 13 – Arredondamento de cantos – SOUZA^{67, 68}

- iv. evitar ângulos obtusos e outros detalhes que dificultem o acesso a regiões localizadas (figura 14);

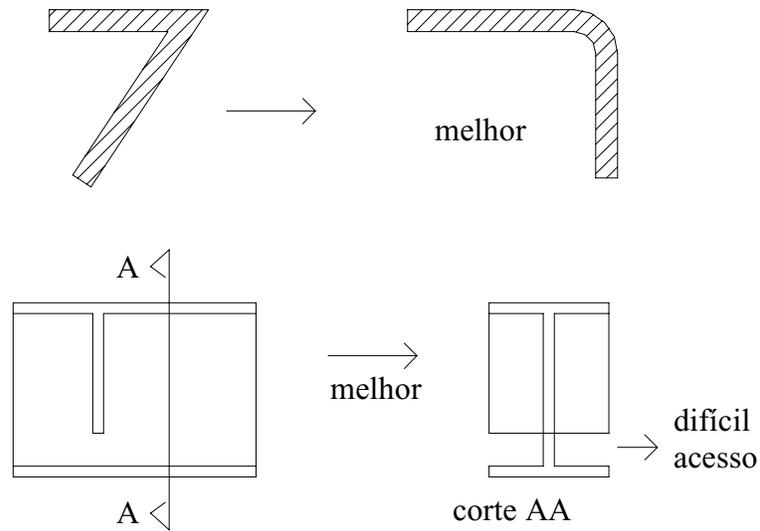


Figura 14 – Detalhamento preferencial – SOUZA^{67, 68}

- v. componentes simples são preferíveis aos compostos (figura 15);

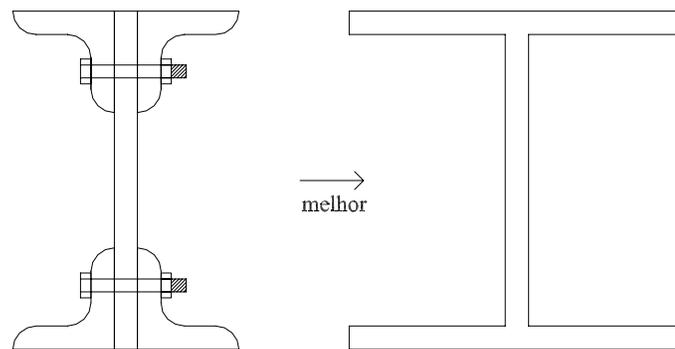


Figura 15 – Usar componentes simples – SOUZA^{67, 68}

- vi. evitar seções abertas na face superior ou providenciar escoamento adequado para água acumulada (figura 16);

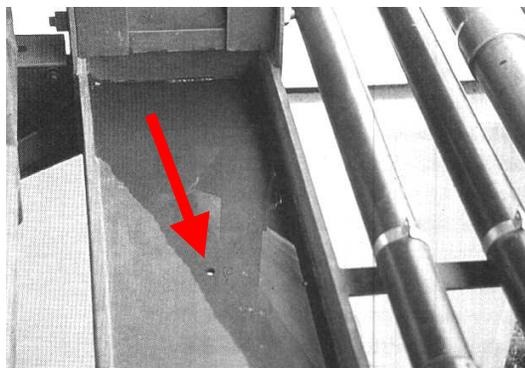


Figura 16 – Furo de drenagem – DIAS²⁴

b) A união entre componentes

São estudados procedimentos mais adequados para a união entre componentes em determinadas situações:

- i. Uniões por solda são, em geral, preferíveis às executadas por parafusos quanto a não geração de descontinuidades;
- ii. os cordões contínuos são preferíveis à soldagem descontínua;
- iii. os cordões horizontais são deficientes em relação aos demais;
- iv. o cordão de solda côncavo é melhor (figura 17);

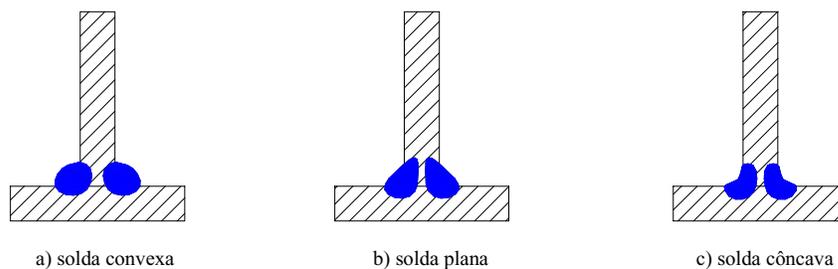


Figura 17 – Tipos de cordões de solda – SOUZA^{67, 68}

- v. ligações de topo são preferíveis sendo que, em caso contrário, deve-se adotar configuração que dificulte o acesso do meio agressivo (figura 18);

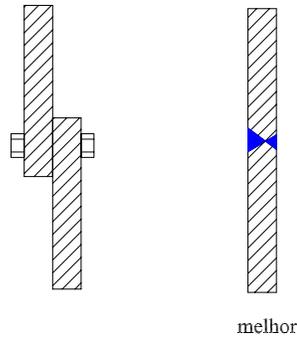


Figura 18 – Preferência por ligações de topo – SOUZA^{67, 68}

- vi. os cordões de solda, bem como chapas intermediárias de solidarização, devem evitar acúmulo do meio corrosivo (figura 19);

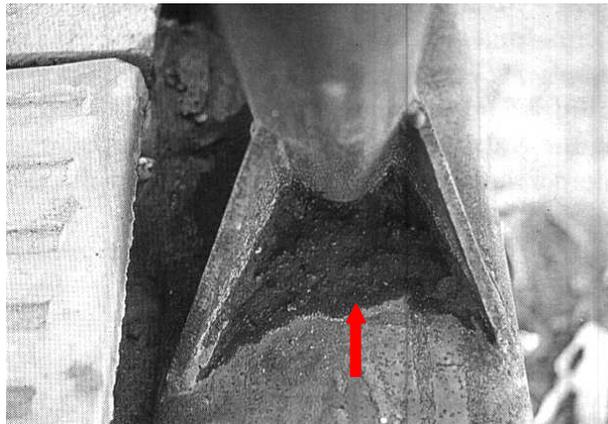


Figura 19 – Acúmulo de umidade – DIAS²⁴

- vii. deve-se evitar a superposição de componentes, ou proteger por vedação ou pintura eficientes a fresta gerada (figura 20);



Figura 20 – Corrosão em frestas

- viii. os contatos bimetálicos devem ser corretamente analisados (figura 21);



Figura 21 – Contato bi-metálico aço-alumínio – COSTA²¹

- ix. a interface do engaste de um componente de aço a uma peça de concreto deve receber tratamento adequado, seja por vedação com mastique apropriado ou por aplicação de revestimento adicional na região mais crítica (figura 22);



Figura 22 – Base de coluna corroída

c) Detalhes gerais de concepção

Observa-se os aspectos genéricos quanto à concepção da estrutura, seja a nível dos seus componentes, seja a nível global:

- i. Quanto maior a importância da estrutura, o custo de fabricação, ou dificuldade de montagem e desmontagem de um componente, maior a exigência quanto a utilização de materiais com desempenho superior quanto à corrosão;
- ii. não misturar materiais de durabilidade diferentes em arranjos que não possam ser reparados;
- iii. as partes da estrutura mais susceptíveis à corrosão devem ser visíveis e acessíveis;
- iv. o projeto estrutural deve compor uma geometria que seja a mais simples e aerodinâmica possível;
- v. deve-se evitar a solidarização especular de componentes, sendo que, em caso contrário, pode-se solidarizá-lo por meio de parafusos, o que permite acesso à pintura

previamente a montagem;

- vi. a solidarização especular de componentes deve procurar obedecer a espaçamentos adequados;

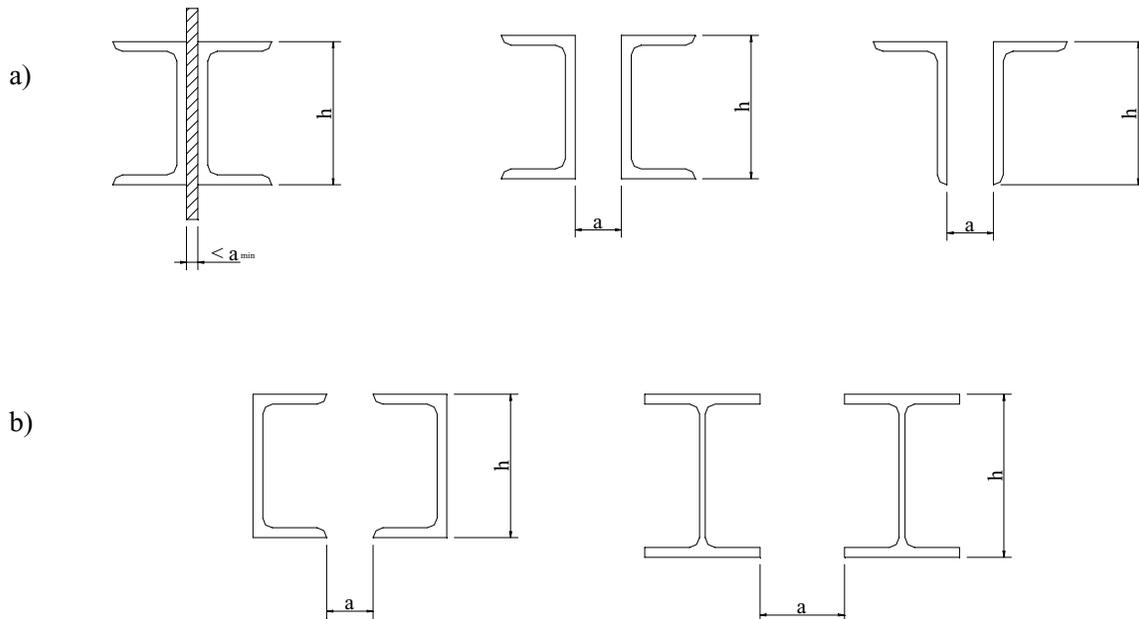


Figura 23 - Detalhe de solidarização especular

caso a)

$$h < 100\text{mm} \rightarrow "a" \geq 150\text{mm}$$

$100\text{mm} < h \leq 1000\text{mm} \rightarrow "a"$ cresce linearmente segundo a proporção:

$$h = 100\text{mm} \rightarrow "a" = 150\text{mm}$$

$$h = 1000\text{mm} \rightarrow "a" = 400\text{mm}$$

$$h > 1000\text{mm} \rightarrow "a" \geq 500\text{mm}$$

caso b)

$$h < 100\text{mm} \rightarrow "a" \geq 120\text{mm}$$

$100\text{mm} < h \leq 1000\text{mm} \rightarrow "a"$ cresce linearmente segundo a proporção:

$$h = 100\text{mm} \rightarrow "a" = 120\text{mm}$$

$$h = 1000\text{mm} \rightarrow "a" = 400\text{mm}$$

$$h > 1000\text{mm} \rightarrow "a" \geq 500\text{mm}$$

- vii. é desejável diminuir a parcela da estrutura em contato com o meio mais agressivo;
- viii. a utilização de componentes inclinados é favorável, devendo-se ainda evitar a criação de obstáculos ao escoamento do meio agressivo;
- ix. a localização da estrutura deverá favorecer o acesso as suas partes;
- x. quando da galvanização de componentes acabados, evitar frestas, prever livre circulação dos banhos do processo e evitar a solidarização por solda de componentes com espessuras muito distintas, para se garantir, respectivamente, o não acúmulo de ácidos, o acesso da galvanização a todos os pontos e a não ocorrência de deformações diferenciais durante o processo;
- xi. quando da utilização de aços aclimatáveis, prever a existência de pingadeiras ou direcionadores do escoamento de umidade para evitar-se o manchamento de outras regiões da edificação pela plubilização da pátina nas primeiras idades; remover a carepa de laminação, resíduos de óleo e graxa, respingos de solda, resíduos de argamassa e concreto; regiões de estagnação, que não puderem ser eliminadas no projeto, devem ser protegidas por pintura, pois nestes locais poderão ocorrer retenção de água ou resíduos sólidos favorecendo o processo da corrosão; regiões não expostas à ação do intemperismo, como juntas de expansão, articulações, regiões sobrepostas, frestas, etc. devem ser convenientemente protegidas, devido ao acúmulo de resíduos sólidos e umidade.

3.3. REVESTIMENTOS ORGÂNICOS

O aço, apesar de todas as suas propriedades e vantagens, não é um material perfeito. Sua principal e mais conhecida deficiência é a ocorrência da corrosão quando exposto ao meio ambiente. Seja qual for a sua aplicação, tem-se a necessidade de se adotar técnicas de proteção que impeçam sua deterioração por este fenômeno. E com as estruturas metálicas não poderia ser diferente.

Assim como existem diferentes tipos de corrosão, existem diversas técnicas de proteção do aço contra a corrosão. Uma estrutura destinada a sustentar uma plataforma marítima está submetida a diferentes condições de agressividade que uma caldeira, um

trilho ou uma tubulação de aço enterrada. Dentre os vários sistemas de proteção existentes, os normalmente utilizados em estruturas metálicas são:

- i. Revestimentos metálicos;
- ii. revestimentos orgânicos convencionais - tintas;
- iii. revestimentos obtidos por conversão química, por exemplo, fosfatização e cromatização.

Não existe um sistema universal para a proteção do aço. A adoção de um ou outro sistema de proteção depende da análise de diversos fatores tais como custos, objetivo da estrutura, condições ambientais, características de utilização, programa de manutenção, etc. O revestimento mais empregado é o revestimento orgânico convencional. Em seguida vem o revestimento metálico (galvanização de telhas, parafusos), e por último emprega-se também a fosfatização, por exemplo na produção de telhas pré pintadas, entre o zinco e o revestimento externo.

Segundo SILVA⁶³ os revestimentos orgânicos incluem as tintas, vernizes, lacas, esmaltes, resinas, dispersões e emulsões. São chamados genericamente de “tintas” e podemos aplicar esta denominação a qualquer composição pigmentada, pastosa ou líquida que, aplicada em finas camadas sobre uma superfície, venha a formar uma película sólida e aderente. Denomina-se pintura industrial às tintas utilizadas para a proteção dos metais em suas diversas aplicações técnicas. Neste trabalho utilizaremos o termo “tinta” para representar todos os tipos de pintura industrial destinados à proteção de estruturas metálicas contra a corrosão.

As tintas e os materiais correlatos são os materiais mais largamente empregados na proteção dos perfis metálicos contra a corrosão. A superfície metálica revestida por este tipo de revestimento supera em muito a protegida por todos os outros processos reunidos, e isso a um custo muito menor. Além disso permitem a modificação completa da aparência e da cor do elemento tratado, resultando, além da proteção, um efeito estético agradável.

Os revestimentos orgânicos utilizados em estruturas metálicas podem ser classificados em revestimentos convencionais e revestimentos de alta espessura. Os revestimentos convencionais são utilizados principalmente para a proteção de estruturas expostas ao ambiente atmosférico (atmosferas rurais, industriais e marinhas), enquanto que os revestimentos de alta espessura são mais utilizados para a proteção de estruturas

metálicas enterradas ou submersas em água doce ou do mar (tubulações, piers, estacas e outros). A distinção nítida entre estes e os principais tipos de revestimentos tornou-se imprecisa com o aumento da diversidade e complexidade das modernas formulações.

3.3.1. Mecanismos de proteção

Para que ocorra o processo de corrosão, é necessário que exista um contato direto entre o meio corrosivo (eletrólito) e o aço. Sabe-se que o fenômeno da corrosão ocorre devido às reações catódicas que ocorrem entre o eletrólito e o metal, resultando em oxidação na região anódica. Com a aplicação de um revestimento protetor, o contato que havia entre o eletrólito e o metal passa a ocorrer entre o eletrólito e o revestimento (figura 24).

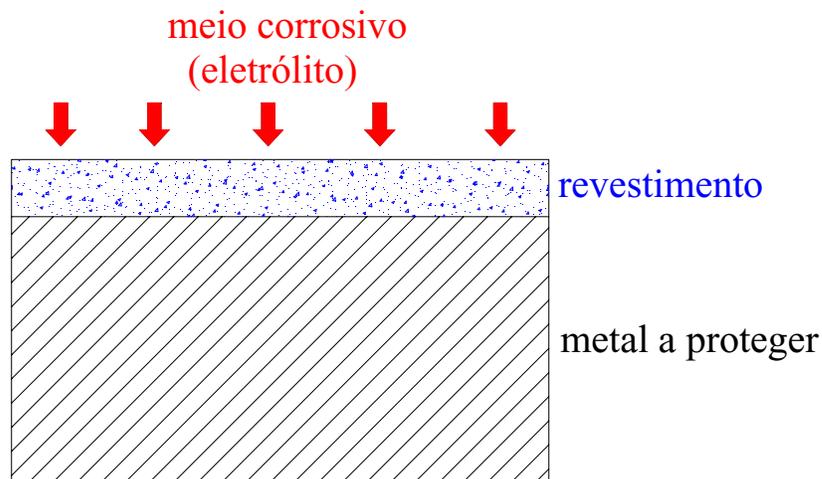


Figura 24 – Mecanismo de proteção por revestimento – NUNES⁵⁰

Este último compõe uma barreira física que impede a ocorrência das reações catódicas, constituindo o principal mecanismo de proteção dos revestimentos conhecidos como “proteção por barreira” ou “proteção por retardamento do movimento iônico”. Alguns tipos de tintas ainda oferecem um segundo mecanismo que atua por inibição anódica. Isso acontece quando a tinta possui algum tipo de pigmento inibidor, como as tintas de fundo contendo zarcão, cromato de zinco, fosfato de zinco, dentre outros. Algumas tintas contendo outros tipos de revestimento à base de zinco conseguem

proporcionar ao metal um terceiro mecanismo de proteção conhecido por proteção catódica, semelhante ao mecanismo que ocorre em elementos galvanizados.

O valor protetor do revestimento depende de sua inércia química no meio corrosivo, de uma boa adesão, de sua impermeabilidade à água, sais e gases, bem como de sua correta aplicação. Desde que o revestimento seja contínuo e uniforme, a impermeabilidade dependerá diretamente da sua espessura, e o uso de pigmentos anticorrosivos ajuda o mecanismo de proteção da película.

3.3.2. Disposição e classificação das tintas

Segundo NUNES⁵⁰, de acordo com a posição do elemento de pintura, temos diferentes classificações e propriedades entre as tintas. Denomina-se “primer” como a primeira demão aplicada sobre uma superfície metálica. Este é um produto que contém pigmentos anticorrosivos com função de conferir proteção ao substrato e corrigir suas pequenas imperfeições. Temos ainda as tintas “intermediárias”, tintas neutras de alta espessura, com função de melhorar a proteção do sistema de pintura simplesmente pelo aumento da camada protetora por barreira. E ainda a tinta de acabamento, com função de dar espessura e aparência final ao substrato, tais como cor e textura. Esta última é a que efetivamente está em contato direto com o meio agressivo.

Na figura 25 tem-se um esquema de pintura genérico que se aplica basicamente em ambiente com condições agressivas muito severas (ambientes industriais, próximo ao litoral e exposto às intempéries). Em condições de pouca ou média agressividade, que é o caso da maioria das edificações de uma forma geral, a presença do intermediário e do acabamento é muitas vezes dispensada, ficando apenas o primer. Cabe ao projetista a determinação do melhor sistema de proteção a ser adotado baseado em informações como condições de exposição, contaminantes atmosféricos, temperatura máxima de trabalho, pintura nova ou repintura, etc.

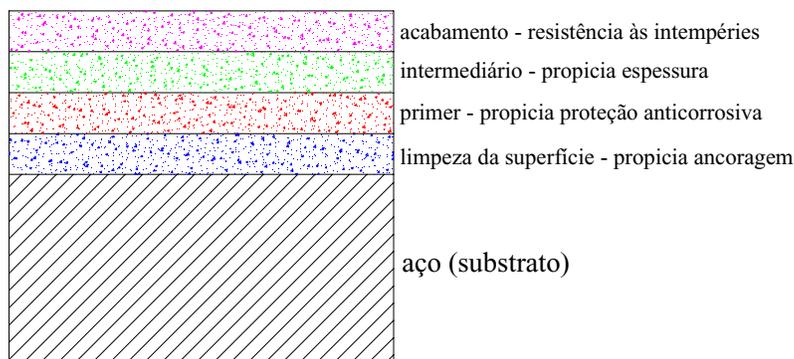


Figura 25 – Corte esquemático de um sistema de revestimento – NUNES⁵⁰

3.3.3. Tipos e aplicações das tintas

Como já foi colocado, existem vários sistemas de proteção anticorrosiva para o aço. As estruturas metálicas utilizam basicamente três tipos de tinta anticorrosiva em suas diversas aplicações: tintas à base de resinas alquídicas, tintas à base de resinas epoxídicas e tintas à base de resinas de poliuretano (respectivamente em ordem crescente de nobreza e custo). Apesar de existirem outros tipos de tintas, tais como borracha clorada, fenólicas, resinas vinílicas, etil-silicato, silicone, etc., elas só são usadas quando existem condições específicas de uso como temperaturas elevadas, estruturas enterradas e/ou necessidade de resistência química. Já em treliças espaciais é comum o uso de pintura eletrostática.

a) Tintas à base de resinas alquídicas modificadas com óleo

São as tintas mais utilizadas nas estruturas metálicas. Os tipos mais importantes de resinas alquídicas são: zarcão/alquídico, óxido de ferro/alquídico e de acabamento (esmaltes sintéticos). São indicadas para a pintura de estruturas em ambiente sem poluição e com clima ameno. Seu uso é recomendado apenas para atmosferas de baixa e média agressividade, pois são tintas à base de resinas saponificáveis. Podem ser aplicados em superfícies com limpeza apenas regular, sendo o jateamento comercial o mais utilizado. Têm resistência química limitada em relação a outras tintas convencionais de melhor

desempenho, e sua resistência física é discreta. Os primers alquídicos não permitem a repintura com tintas de outra classe, a não ser os próprios esmaltes alquídicos. Também não devem ser aplicados sobre elementos galvanizados ou primers ricos em zinco pois não possuem boa aderência e acabam se descascando.

b) Tintas a base de resinas epóxi

São tintas bicomponentes, de alta performance e custo médio. O componente “A” é normalmente formado pela resina epóxi devidamente pigmentada. O agente de cura ou endurecedor é uma resina de poliamina, poliamida ou isocianato. Tintas epóxi curadas com poliamina resultam em um filme com maior resistência química, principalmente a ácidos e álcalis. Se curada com poliamida, o filme apresenta melhor resistência à água e melhor aderência. Com isocianato, o filme terá maior aderência a elementos galvanizados e ao alumínio.

Recentemente foi lançado no mercado uma outra variação de tinta epóxi denominada “Mastic”. Esta tinta combina as propriedades da tinta epóxi tradicional com uma alta espessura, o que possibilita a sua aplicação em apenas um passe de tinta, servindo tanto como tinta de fundo como tinta de acabamento. Temos ainda o fato de poder utilizá-las em perfis tratados manual ou mecanicamente devido a sua alta aderência ao substrato, o que resulta em grande agilização da produção pois evita-se a realização de uma limpeza por jateamento.

O grande problema das tintas epóxi é a sua deterioração quando exposta ao sol. Devido aos raios ultravioletas, estas tintas perdem o brilho superficial, tornando-se foscas (empoamento). Quando tivermos um primer ou intermediário à base de epóxi, e a estrutura estiver exposta, a tinta de acabamento deverá ser poliuretânica alifática devido a sua resistência às diversas intempéries e a sua boa aderência ao primer epóxi.

c) Tintas à base de resina de poliuretano

São tintas bicomponentes, de alta performance, alta resistência a agentes químicos, resistente à abrasão, de grande beleza no acabamento e retenção de brilho. São usadas como acabamento, na forma de esmaltes e vernizes, em atmosferas altamente agressivas. O componente “A” pode ser poliéster ou acrílico, e o componente “B” um isocianato

aromático ou alifático.

O poliuretano aromático é recomendado como tinta intermediária ou para pintura de superfícies não expostas ao intemperismo, pois é sensível à ação dos raios ultravioletas do sol. Já as poliuretânicas alifáticas possuem excelente resistência ao intemperismo, mesmo nas mais adversas condições atmosféricas, tais como orla marítima, região com indústrias altamente poluidoras, regiões úmidas e perfis expostos a radiação solar. A melhor combinação de componentes é a de acrílico com isocianato alifático, formando vernizes transparentes, tintas com resistência ao sol e à chuva, sem perda do brilho e da cor, com flexibilidade, dureza e aderência satisfatórias.

São empregadas quase que praticamente como acabamento sobre fundos epóxi. Um bom exemplo dessa aplicação são as telhas pré-pintadas. Quando usadas como primer, requerem uma excelente limpeza de superfície (jateamento ao metal branco) para uma boa aderência e desempenho.

3.4. PATOLOGIA DAS TINTAS

É impossível se falar em corrosão sem analisar também os revestimentos orgânicos que são utilizados para a proteção das estruturas metálicas. Verifica-se que estes, como qualquer outro componente de uma edificação, também estão suscetíveis à ação das intempéries e também sofrem processos de deterioração, que podem ser acelerados ou não de acordo com o tipo de tinta empregado e as condições ambientais.

Durante a vida útil do revestimento, depois de algum tempo, o eletrólito tende a alcançar a superfície metálica devido à porosidade natural da película, dando início ao processo corrosivo. Portanto a falha do revestimento se dará sempre por corrosão embaixo da película, exceto nos casos em que haja proteção catódica ou danos por ação mecânica, de forma que a película de tinta seja inicialmente atacada ou danificada antes do comprometimento do aço. Isso implica na necessidade de se programar repinturas de tempos em tempos, de acordo com a vida útil da tinta estipulada pelo fabricante, ou de acordo com o estado de degradação desta verificada em manutenção preventiva.

Porém existem determinadas situações em que a tinta não se comporta conforme o esperado, podendo ou não comprometer a eficiência da proteção. Podemos dividir o estudo destes defeitos sob três pontos de vista: defeitos de ordem estética, defeitos de ordem geral e defeitos de ordem econômica.

3.4.1. Defeitos de ordem estética

Os defeitos de película que deixam um aspecto visual desagradável, mas não chegam a comprometer sua eficiência, são normalmente provocados devido a problemas durante a sua aplicação. Tais problemas podem ter diversas causas, mas a maioria delas está vinculada à ação do homem durante o manuseio e aplicação:

a) Impregnação do abrasivo

A impregnação do abrasivo é um defeito que acontece devido à proximidade entre a região onde é feito o jateamento com o local onde a pintura é executada. As partículas do abrasivo dispersas no ar são incorporadas às superfícies pintadas que não atingiram o tempo de secagem ao toque, ou livre de pegajosidade. Isso compromete a estética do elemento pintado e pode prejudicar a proteção anticorrosiva.

A solução para se evitar este problema é providenciar o afastamento entre o local onde é feito o jateamento do local de pintura. No caso de existir limitações de espaço, deve-se fazer uma programação entre estes dois serviços de forma que o equipamento de jateamento não funcione durante o período de aplicação e secagem da pintura, com prejuízo para os prazos de produção.

Deve-se avaliar o estado das peças em função deste problema. As peças que sofreram esta impregnação podem ou não ter que repassar por outro processo de limpeza e pintura, ou somente pintura, dependendo da avaliação do inspetor. Como o maior prejuízo é o do aspecto visual, deve-se analisar a função do elemento no projeto e avaliar se esta correção é necessária ou não. Caso seja um elemento de fachada é interessante se fazer a sua recuperação.

Entretanto é um recurso que, devidamente planejado e executado, pode ser utilizado com o objetivo de se obter uma superfície antiderrapante, ou ainda para se obter uma superfície rugosa com efeito estético. Porém é preciso que o fabricante esteja devidamente habilitado para realizar tal serviço.

b) Escorrimento

O escorrimento é um dos defeitos mais comuns de acontecer. Neste caso a tinta

apresenta-se escorrida sobre a superfície metálica. Pode ocorrer devido aos seguintes motivos:

- i. Acúmulo excessivo de tinta na superfície;
- ii. formulação errada (baixa viscosidade e consistência);
- iii. superfície muito fria;
- iv. aproximação excessiva da pistola de aplicação.

O aspecto estético e/ou a espessura da tinta no local do escorrimento é que vão determinar se existe necessidade ou não de se fazer uma correção. No primeiro deve-se remover o excesso através de uma limpeza mecânica e depois aplicar novamente a tinta. Já no segundo, basta uma nova aplicação de tinta até se obter a espessura desejada. Em ambos deve-se saber qual foi a causa que originou o problema para evitar que ele aconteça novamente.

c) Pele ou casca de laranja

É um defeito em que a película de tinta apresenta-se rugosa, semelhante a uma casca de laranja, daí o seu nome. Ocorre normalmente na aplicação com pistola devido aos seguintes motivos:

- i. Solvente muito volátil;
- ii. atomização inadequada (pouca pressão na pistola);
- iii. aproximação excessiva da pistola em relação à superfície pintada.

É um defeito que pode ser usado como efeito decorativo. Para isso basta acrescentar aditivos apropriados à base de silicone, obtendo então um efeito de tinta martelada.

d) Sobreaplicação (overspray)

A sobreaplicação é um defeito em que a película fica com um aspecto fosco e pulverulento devido à tinta ter sofrido uma pré-secagem durante a sua deposição. Ocorre durante aplicação, com pistola convencional ou ar comprimido, por causa da evaporação

do solvente antes da tinta atingir a superfície metálica devido a uma das seguintes causas:

- i. Pressão excessiva na pistola (excesso de atomização);
- ii. temperatura ambiente e da chapa elevadas;
- iii. solvente excessivamente volátil;
- iv. distância muito grande entre a pistola e a superfície metálica.

Não é um problema muito grave, desde que a tinta consiga ficar bem ancorada. Se o inspetor julgar necessário a sua correção, deixe secar a pintura original e refazê-la conforme o desejado, procurando corrigir a causa do problema antes dessa nova aplicação.

3.4.2. Defeitos de ordem geral

São defeitos cuja ocorrência podem prejudicar a eficiência da película de tinta, dando início a processos corrosivos. São geralmente provocados por problemas de aplicação ou de composição da tinta. Todos estes problemas necessitam de uma intervenção rigorosa para serem solucionados.

a) Empolamento

O empolamento consiste na formação de nódulos (ou bolhas) sob a película devido ao aprisionamento de algum fluido. É um problema que se resume basicamente às condições inadequadas de aplicação da tinta. Sua causas principais são:

- i. Umidade relativa superior a 85% e temperatura da chapa inferior a 10 °C;
- ii. retenção de solvente;
- iii. processos corrosivos acelerados causando o aparecimento de bolhas sob a película

É um problema relativamente grave já que pode levar ao rompimento da película de tinta e à formação de vários pontos de corrosão na superfície metálica. Carece de uma intervenção mais rigorosa, de preferência limpeza da superfície através de jateamento ou limpeza mecânica. Em seguida vem a aplicação da tinta de acordo com as especificações de projeto, observando sempre evitar os motivos que causaram tal problema.

b) Empoamento ou calcinação

O empoamento, ou calcinação, também é conhecido como engisamento. É um defeito característico de certas resinas e consiste na degradação desta pela ação dos raios ultravioleta do sol. Tem-se então a liberação dos pigmentos e a conseqüente perda de brilho, e em alguns casos até da cor. Este defeito pode manifestar-se, ou ser agravado, também pela degradação dos pigmentos, em especial os orgânicos.

A resistência a raios ultravioletas é uma característica fundamental das resinas. Há aquelas que são altamente resistentes aos raios ultravioletas, como as poliuretânicas alifáticas, e aquelas de resistência razoável, como as acrílicas e estirenoacrilato. Temos ainda aquelas de fraca resistência, como as alquídicas e as epóxis, que são as tintas mais utilizadas em se tratando de estruturas metálicas.

É um problema originado durante a etapa de projeto e de responsabilidade direta do projetista. Quando as estruturas metálicas forem concebidas para ficarem aparentes, logicamente os perfis metálicos estarão sujeitos à ação da radiação solar, incluindo a ação de raios ultravioleta. Neste caso cabe ao projetista especificar para estes perfis uma pintura resistente à ação da radiação ultra violeta. Entretanto, perfis não expostos ao sol, ou embutidos em alvenaria, podem receber apenas uma pintura convencional anti-corrosiva, já que a própria alvenaria atua como elemento intermediário e de acabamento, desde que devidamente estanque à umidade.

Para as estruturas que já estão sofrendo este tipo de degradação, a solução é a aplicação de uma outra tinta com capacidade de suportar a ação de raios ultravioleta sobre a pintura antiga, como as poliuretânicas alifáticas, com os cuidados necessários para garantir uma boa aderência entre ambas. Deve-se evitar utilizar tintas que sejam incompatíveis entre si.

c) Fendilhamento

O fendilhamento, também conhecido como fraturamento, craqueamento ou gretamento, é um defeito que consiste na quebra da película devido à perda de flexibilidade. Pode ser ocasionada pelos seguintes motivos:

- i. Formulações mal balanceadas;
- ii. falta de plastificante na tinta.

Como o problema ocorre por causa dos problemas na tinta, não basta apenas fazer uma nova aplicação sobre a antiga pois, a sua correção implica em uma remoção da película deficiente, de preferência com jateamento, e a aplicação de uma nova camada de tinta devidamente preparada e adequada.

Entretanto cabe aqui uma avaliação do inspetor se tal intervenção é realmente apropriada. Dependendo das condições onde a peça irá trabalhar, por exemplo embutida na alvenaria, é possível deixá-la sem intervenção pois a ação de agentes nocivos seria sensivelmente reduzida.

d) Descascamento

O descascamento é o mais comum dos problemas que ocorrem em estruturas metálicas. É um defeito que ocorre devido à perda de aderência entre a película e o aço, ou entre películas de diferentes demãos. Várias são as causas responsáveis pelo seu aparecimento:

- i. Limpeza inadequada da superfície do aço;
- ii. contaminação da superfície a ser pintada após a limpeza;
- iii. contaminação da superfície entre demãos;
- iv. rugosidade inadequada (pouca rugosidade);
- v. incompatibilidade entre tintas;
- vi. inobservância dos intervalos para repintura, especialmente em tintas polimerizáveis.

Problemas causados pela limpeza inadequada ou algum tipo de contaminação normalmente se manifestam de forma localizada na região do destacamento da película. Para corrigi-los basta fazer uma remoção da película, limpar a região afetada por limpeza mecânica e reaplicar a pintura original. Caso seja um problema causado pela rugosidade inadequada, incompatibilidade entre tintas ou relacionado ao intervalo de pintura, o destacamento ocorre de forma generalizada. A sua correção implica na completa remoção da película de tintas por jateamento e posterior repintura.

e) Enrugamento

O enrugamento consiste na ondulação da película, ocasionada por uma secagem irregular. É um defeito normalmente associado à formulação das tintas. Duas são as causas:

- i. Películas muito espessas;
- ii. solventes extremamente voláteis.

Tintas à base de resina fenólica aplicadas em superfícies com temperaturas elevadas também apresentam tal defeito. A correção implica na remoção da película de tinta defeituosa por jateamento ou limpeza mecânica, e posterior repintura.

f) Sangramento

O sangramento consiste no manchamento da película de tinta. É um problema que ocorre devido ao afloramento da cor da tinta de fundo, causado pela ação de solventes fortes da tinta de acabamento provocando a dissolução da tinta de fundo. Ocorre com frequência na cor vermelha, de onde surgiu tal denominação. A solução é se refazer a pintura.

3.4.3. Defeitos de ordem econômica

São defeitos que geram prejuízos financeiros ao fabricante devido ao aumento de consumo de tinta. Não causam problemas em relação ao sistema de proteção desde que sua espessura ultrapasse o mínimo necessário. Só são constatados em empresas que efetivamente realizam um controle de fabricação.

a) Consumo elevado

É um problema que ocorre pelo fato do rendimento da tinta ficar muito abaixo do esperado. Várias são as causas que podem ocasionar tal problema:

- i. Rugosidade excessiva da superfície do aço;
- ii. equipamento de aplicação da tinta inadequado para aquele tipo de estrutura;
- iii. inabilidade do aplicador;
- iv. condições de vento excessivo para aplicação à pistola;
- v. desperdício de tinta pelo não aproveitamento total do conteúdo do recipiente;
- vi. desperdício de tinta devido ao endurecimento de tintas bicomponentes misturadas e não aplicadas em tempo hábil recomendado pelos fabricantes.

Este problema está vinculado basicamente ao setor de limpeza e pintura do fabricante.

b) Espessura excessivamente desuniforme

É um problema relacionado unicamente ao aplicador. A solução é refazer a pintura até atingir a espessura mínima e treinar ou substituir o aplicador da tinta.

3.4.4. Sugestões para esquemas de pintura

Abaixo temos algumas recomendações de ordem prática para se evitar a ocorrência de corrosão e defeitos na película de tinta. São definidos quatro níveis de agressividade das condições ambientais: condições normais, condições agressivas, condições muito agressivas e condições severas de agressividade. Também procurou-se fazer uma diferenciação entre locais abrigados e locais expostos ao sol.

Tabela 3 – Esquema de pintura 1

| AMBIENTE COM CONDIÇÕES NORMAIS – POUCO AGRESSIVOS | | | |
|--|--------------|-------------------|---|
| (locais abrigados e secos) | | | |
| Preparação da superfície: Limpeza mecânica ou com solventes (St1 ou SP1) | | | |
| CLASSIFICAÇÃO | Nº DE DEMÃOS | TINTA | ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMÃO (µm) |
| PRIMER | 2 | Primer Alquídico | 30 |
| ACABAMENTO | 2 | Esmalte Sintético | 30 |
| | | TOTAL: | 120 |

fonte: DIAS²⁴

Tabela 4 – Esquema de pintura 2

| AMBIENTE COM CONDIÇÕES NORMAIS – POUCO AGRESSIVOS | | | |
|---|--------------|--------------|---|
| (locais abrigados e secos) | | | |
| Preparação da superfície: Jato abrasivo quase branco (Sa 2 ½) | | | |
| CLASSIFICAÇÃO | Nº DE DEMÃOS | TINTA | ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMÃO (µm) |
| PRIMER/ACABAMENTO | 1 | Epóxi Mastic | 120 |
| | | | TOTAL: 120 |

fonte: DIAS²⁴

Tabela 5 – Esquema de pintura 3

| AMBIENTE COM CONDIÇÕES AGRESSIVAS | | | |
|---|--------------|-------------------|---|
| (locais abrigados e úmidos) | | | |
| Preparação da superfície: Jato abrasivo quase branco (Sa 2 ½) | | | |
| CLASSIFICAÇÃO | Nº DE DEMÃOS | TINTA | ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMÃO (µm) |
| PRIMER | 1 | Primer Epoxídico | 120 |
| ACABAMENTO | 2 | Esmalte Epoxídico | 40 |
| | | | TOTAL: 200 |

fonte: DIAS²⁴

Tabela 6 – Esquema de pintura 4

| AMBIENTE COM CONDIÇÕES AGRESSIVAS | | | |
|---|--------------|---------------------------------|---|
| (locais desabrigados e úmidos) | | | |
| Preparação da superfície: Jato abrasivo quase branco (Sa 2 ½) | | | |
| CLASSIFICAÇÃO | Nº DE DEMÃOS | TINTA | ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMÃO (µm) |
| PRIMER | 1 | Primer Epoxídico | 120 |
| ACABAMENTO | 2 | Esmalte Poliuretânico Alifático | 40 |
| | | | TOTAL: 200 |

fonte: DIAS²⁴

Tabela 7 – Esquema de pintura 5

| AMBIENTE COM CONDIÇÕES MUITO AGRESSIVAS | | | |
|--|--------------|-------------------|---|
| (locais abrigados, industriais ou marítimos, exposto ao intemperismo) | | | |
| Preparação da superfície: Jato abrasivo quase branco (Sa 2 ½) | | | |
| CLASSIFICAÇÃO | Nº DE DEMÃOS | TINTA | ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMÃO (µm) |
| PRIMER | 1 | Primer Epoxídico | 120 |
| ACABAMENTO | 1 | Esmalte Epoxídico | 120 |
| | | | TOTAL: 240 |

fonte: DIAS²⁴

Tabela 8 – Esquema de pintura 6

| AMBIENTE COM CONDIÇÕES SEVERAS DE AGRESSIVIDADE (locais desabrigados, industriais ou marítimos, exposto ao intemperismo) | | | |
|---|--------------|---------------------------------|---|
| Preparação da superfície: Jato abrasivo quase branco (Sa 2 ½) | | | |
| CLASSIFICAÇÃO | Nº DE DEMÃOS | TINTA | ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMÃO (µm) |
| PRIMER | 1 | Primer Epoxídico | 120 |
| ACABAMENTO | 1 | Esmalte Poliuretânico Alifático | 120 |
| | | | TOTAL: 240 |

fonte: DIAS²⁴

Tabela 9 – Esquema de pintura 7

| AMBIENTE COM CONDIÇÕES SEVERAS DE AGRESSIVIDADE (locais abrigados, industriais e marítimos, exposto ao intemperismo) | | | |
|---|--------------|-------------------|---|
| Preparação da superfície: Jato abrasivo quase branco (Sa 2 ½) | | | |
| CLASSIFICAÇÃO | Nº DE DEMÃOS | TINTA | ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMÃO (µm) |
| PRIMER | 1 | Primer Epoxídico | 120 |
| INTERMEDIÁRIO | 1 | Esmalte Epoxídico | 120 |
| ACABAMENTO | 1 | Esmalte Epoxídico | 120 |
| | | | TOTAL: 360 |

fonte: DIAS²⁴

Tabela 10 – Esquema de pintura 8

| AMBIENTE COM CONDIÇÕES MUITO AGRESSIVAS (locais desabrigados, industriais ou marítimos, exposto ao intemperismo) | | | |
|---|--------------|---------------------------------|---|
| Preparação da superfície: Jato abrasivo quase branco (Sa 2 ½) | | | |
| CLASSIFICAÇÃO | Nº DE DEMÃOS | TINTA | ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMÃO (µm) |
| PRIMER | 1 | Primer Epoxídico | 120 |
| INTERMEDIÁRIO | 1 | Esmalte Epoxídico | 120 |
| ACABAMENTO | 1 | Esmalte Poliuretânico Alifático | 120 |
| | | | TOTAL: 240 |

fonte: DIAS²⁴

A tabela 11 apresenta uma relação de compatibilidade entre tintas diversas de modo a poder se estabelecer uma referência para o diagnóstico dos problemas.

Tabela 11 – Compatibilidade de tintas

| PRIMER OU CAMADA ANTERIOR (APLICADA) | ACRÍLICA | ALQUÍDICA | ALQUÍDICA SILICONE | BORRACHA CLORADA | EPÓXI-ALCATRÃO | EPÓXI-POLIAMIDA | EPÓXI-POLIAMINA | EPÓXI-VINÍLICA-POLIAMIDA | ETIL-SILICATO | FENÓLICA | LÁTEX | POLIÉSTER | POLIURETANA | SILICATO INORGÂNICO | SILICONE | VINÍLICA |
|--------------------------------------|----------|-----------|--------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|---------------|----------|-------|-----------|-------------|---------------------|----------|----------|
| TIPO DE TINTA (A APLICAR) | ACRÍLICA | ALQUÍDICA | ALQUÍDICA SILICONE | BORRACHA CLORADA | EPÓXI-ALCATRÃO | EPÓXI-POLIAMIDA | EPÓXI-POLIAMINA | EPÓXI-VINÍLICA-POLIAMIDA | ETIL-SILICATO | FENÓLICA | LÁTEX | POLIÉSTER | POLIURETANA | SILICATO INORGÂNICO | SILICONE | VINÍLICA |
| ACRÍLICA | B | C | C | B | B* | B | B | C | C | B | C | B | B | C | C | B |
| ALQUÍDICA | C | B | B | B | B* | B | B | B | NR | B | C | B | B | NR | C | B |
| ALQUÍDICA SILICONE | C | B | B | B | B* | B | B | B | NR | B | C | B | B | NR | B | B |
| BORRACHA CLORADA | C | B | B | B | B* | B | B | B | B | B | C | B | B | B | C | B |
| EPÓXI-ALCATRÃO | NR | NR | NR | NR | B | B | B | C | B | C | NR | B | NR | B | NR | NR |
| EPÓXI-POLIAMIDA | NR | NR | NR | NR | B* | B | B | C | B | C | NR | B | NR | B | NR | NR |
| EPÓXI-POLIAMINA | NR | NR | NR | NR | B* | B | B | NR | B | C | NR | B | NR | B | NR | NR |
| EPÓXI-VINÍLICA-POLIAMIDA | NR | NR | NR | NR | B | B | B | B | C | NR | B | B | B | B | NR | B |
| ETIL-SILICATO | NR | NR | NR | NR | C | C | C | C | B | C | C | C | C | C | C | NR |
| FENÓLICA | NR | NR | NR | NR | C* | B | C | NR | C | B | NR | B | NR | B | NR | NR |
| LÁTEX | C | C | C | C | C* | C | C | C | B | B | B | B | C | B | C | C |
| POLIÉSTER | NR | NR | NR | NR | C* | C | C | NR | NR | C | NR | B | NR | NR | NR | NR |
| POLIURETANA | NR | NR | NR | NR | B* | B | B | B | B | B | NR | B | B | B | NR | NR |
| SILICONE | B | C | C | B | B* | B | B | B | B | B | C | B | C | B | B | B |
| VINÍLICA | C | C | C | B | B* | B | B | C | B | B | C | B | C | B | C | B |

Legenda: B - Bom
 C - Condicionado (consulta prévia ao fabricante)
 NR - Não Recomendado
 * - Indica que haverá sangramento

fonte: DIAS²⁴

3.4.5. Recomendações

Além das recomendações usuais, tais como manutenção dos equipamentos, treinamento dos trabalhadores e atendimento das recomendações do fabricante de tintas, as seguintes recomendações são sugeridas para se evitar a ocorrência de problemas com a película de tinta durante a sua produção:

- i. Não pintar sobre superfícies sujas, molhadas ou corroídas;
- ii. pintar somente se a umidade estiver abaixo de 85%;
- iii. pintar somente se a temperatura estiver acima de 10 °C;
- iv. perfis expostos ao sol devem possuir esquema especial de pintura à base de primer epóxi e acabamento em poliuretano alifático. Outros esquemas de pintura devem estar protegidos com uma lona durante o seu transporte e armazenamento.

Tão importante quanto uma correta aplicação é a escolha adequada da tinta, ainda durante a etapa de projeto. A aplicação inadequada de uma tinta pode comprometer o desempenho da edificação pois implica em um maior número de intervenções de manutenção. As condições ambientais devem ser levadas em conta tanto na hora da decisão sobre qual tinta utilizar, como também durante a sua aplicação na oficina.

3.5. LIGAÇÕES

De acordo com RIBEIRO⁵⁸, ligação é o termo utilizado para definir os detalhes construtivos que promovem a união de partes da estrutura entre si, ou sua união com elementos externos, normalmente as fundações. É um arranjo estrutural capaz de transmitir esforços entre os elementos estruturais, esforços estes resultantes das reações da estrutura com o peso próprio, sobrecarga e ações variáveis (figura 26).



Figura 26 – Exemplo de ligação

As ligações compõem-se de elementos de ligação e meios de ligação. Os elementos de ligação são todos aqueles componentes que permitem ou possibilitam a transmissão dos esforços, tais como enrijecedores, placas de base, cantoneiras, chapas de gusset, talas de mesa e de alma e mesmo partes das peças conectadas e envolvidas localmente na ligação. Já os meios de ligação (ou dispositivos de ligação) são os elementos que promovem a união entre as partes da estrutura para formar a ligação, como soldas, parafusos e barras rosqueadas (chumbadores).

A importância das ligações no estudo das patologias das estruturas metálicas se deve ao fato de que estas não possuem uma continuidade física como no caso do concreto. Isso gera um comportamento mecânico diferenciado para cada sistema estrutural. O concreto armado moldado *in loco* possui um monolitismo que garante, de forma natural, uma rigidez estrutural bastante simples de ser analisada pelos métodos tradicionais de análise estrutural. Qualquer que seja o tipo de análise empregada para a obtenção dos esforços (método das forças, método dos deslocamentos, método dos elementos finitos, etc.) haverá sempre uma compatibilidade entre os esforços de cálculo e o comportamento real. Veremos que as ligações entre os diversos elementos estruturais normalmente serão rígidas, o que facilita a análise estrutural garantindo-se a estabilidade da construção.

Essa situação não é análoga quando se utiliza estrutura metálica. Estruturas de aço são compostas de elementos pré-fabricados e montados *in loco*. Isso impõe a necessidade de se fazer conexões entre estes elementos para se constituir a estrutura da forma como fora planejada. Existem diversos tipos de ligações que podem ser empregadas em estruturas metálicas. A imposição de um ou outro tipo depende da concepção estrutural proposta pelo projetista, baseado principalmente na escolha do sistema de estabilização vertical: pórtico, contraventamento, parede de cisalhamento ou núcleo de concreto. Normalmente ele se limita a dois tipos específicos que são as ligações rígidas e as ligações flexíveis. Para tanto é preciso que o modelo de ligação adotado simule estas condições de rigidez ou de flexibilidade (figuras 27 e 28).



Figura 27 - Ligação flexível



Figura 28 - Ligação rígida

Estas conexões devem ser executadas visando satisfazer, através de um arranjo estrutural adequado, uma concepção de cálculo para garantir a estabilidade da edificação.

Estes sistemas devem ser previstos na estrutura antes da obtenção dos esforços de cálculo para satisfazer algumas hipóteses de cálculo. O comportamento da estrutura metálica depende das características de suas ligações, diferentemente das estruturas de concreto onde existe um engastamento natural anteriormente ao cálculo.

Porém, por mais que se queira, nenhuma ligação em estrutura metálica consegue simular cem por cento a rigidez de cálculo característica das estruturas de concreto. Elas constituem uma descontinuidade geométrica na estrutura, alterando a sua rigidez estrutural naquele ponto específico. Cada tipo de ligação possui uma determinada rigidez que depende de vários fatores intrínsecos. A simples mudança de uma espessura ou de outro pequeno detalhe altera esta rigidez. Cabe unicamente ao projetista determinar qual será o melhor tipo de ligação a ser adotado nas diversas situações.

Comportamento das ligações

O comportamento de uma ligação pode ser expresso pela relação entre o momento fletor transmitido pela ligação e a rotação relativa entre as linhas elásticas dos elementos conectados. Classificam-se como ligação rígida aquelas nas quais é garantida a continuidade da estrutura e as rotações relativas são totalmente restringidas, ou admitem restrição no mínimo igual a 90% da rotação teórica verificada sob condição de rótula ideal. Já as ligações flexíveis são aquelas nas quais as rotações relativas entre os elementos conectados não são restringidas ou admitem uma restrição máxima igual a 20% da rotação relativa teórica, verificada sob condição de rótula ideal. Todas as demais que não foram enquadradas nestes dois casos são consideradas como semi-rígidas.

Tradicionalmente considera-se uma idealização do comportamento das ligações, situando-as entre duas classes extremas: ligações rígidas (ou engastadas – figura 32) e ligações flexíveis (ou rotuladas – figura 30). Entretanto, uma análise sistemática mostra que esta simplificação nem sempre é adequada, pois entram aí vários fatores que influenciam o seu comportamento. Isso cria uma certa incerteza em relação aos diagramas de esforços que podem ser obtidos porque estas características ainda não são passíveis de serem simuladas nos programas tradicionais de cálculo estrutural, que consideram apenas vínculos rígidos ou flexíveis entre os membros estruturais. Surge então uma terceira classe de ligações denominada ligações semi-rígidas (figura 31). São ligações cujo comportamento se situa na entre as ligações flexíveis e as ligações rígidas. Na prática o seu

emprego não é considerado na maioria das aplicações com estrutura metálica.

De acordo com RIBEIRO⁵⁸, esta curva pode ser obtida através de ensaios ou por meios analíticos para cada tipo de ligação (figura 29). Ligações rígidas apresentam uma configuração típica com altos valores para momentos e baixas rotações, enquanto que as flexíveis já possuem um aspecto contrário, com baixos valores para momentos correspondente à altos valores de rotações.

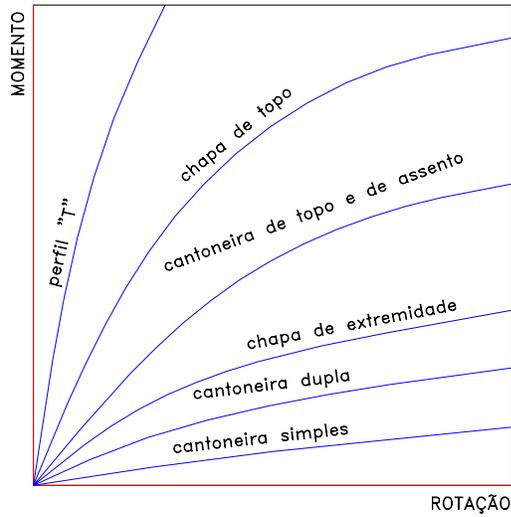


Figura 29 – Relação momento x rotação para diversos tipos de ligações – RIBEIRO⁵⁸

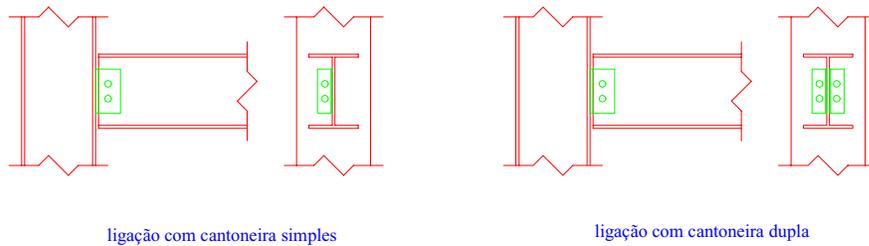


Figura 30 - Exemplo de ligações flexíveis – RIBEIRO⁵⁸

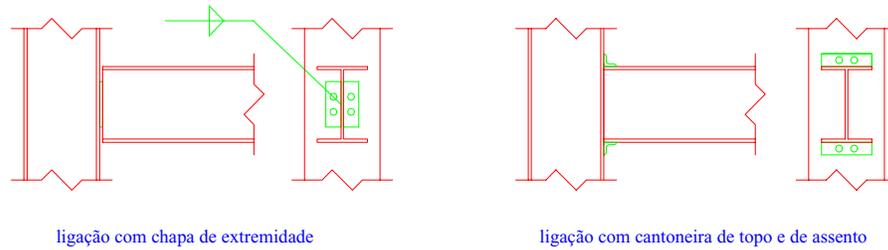


Figura 31 - Exemplo de ligações semi-rígidas – RIBEIRO⁵⁸

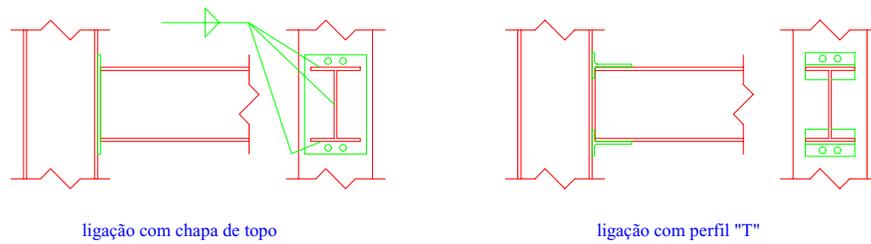


Figura 32 - Exemplo de ligações rígidas – RIBEIRO⁵⁸

Mas a pergunta que deve ser feita é “como é que o tipo de ligação pode influenciar em alguma coisa na construção?” Como em uma estrutura podem ser adotados diversos tipos de ligações, pode ser o caso de haver alguma incompatibilidade entre a ligação adotada (rígida ou flexível) e a sua consideração de projeto (engaste ou rótula), com

conseqüente reflexo no comportamento da edificação. Se, por exemplo, uma ligação foi concebida e calculada como articulada e, no detalhamento do projeto ela foi indicada como engastada, dependendo do local, a introdução deste vínculo pode provocar esmagamento localizado da chapa (figura 33).

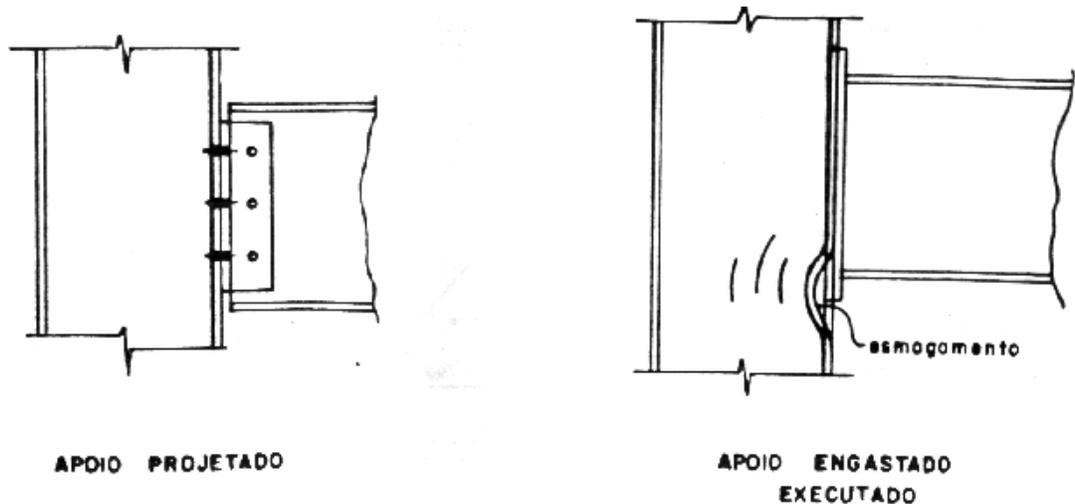


Figura 33 – Esmagamento da ligação devido à troca do tipo de ligação – JÚNIOR⁴⁰

em função da ligação tivermos diferenças consideráveis nas reações da estrutura, vários problemas podem acontecer, como deslocamentos excessivos, deformações excessivas, detalhamento incompatível, dimensionamento incorreto, etc. Problemas estes que, mesmo não comprometendo a segurança da edificação, podem causar danos em outros componentes como fissuras nas paredes, vidros quebrados em fachadas, vibração excessiva, etc.

Então por que se estudar as ligações semi-rígidas se as ligações rígidas e as flexíveis satisfazem estas necessidades? A resposta é bastante simples, para não correremos o risco de acontecer alguns dos problemas citados acima. Conhecer o comportamento das ligações significa conhecer o comportamento real da estrutura e também realizar um dimensionamento coerente com esta realidade. Também razões econômicas entram em consideração pois ligações rígidas são relativamente mais caras e mais difíceis de serem fabricadas que as flexíveis, e estas por sua vez nem sempre conseguem dar estabilidade à estrutura, necessitando, em vários casos, de um sistema de contraventamento para torná-la estável.

3.6. PATOLOGIA DAS LIGAÇÕES

Entende-se por patologia das ligações todas as formas de problemas que podem ocorrer tanto nos meios de ligação como nos elementos de ligação. Os problemas patológicos mais comuns de ocorrerem estão relacionados com erros de concepção, corrosão, defeitos de fabricação de soldas e ligações parafusadas e montagem inadequada. Entretanto existem várias diferenças entre os problemas que ocorrem em ligações soldadas e em ligações parafusadas.

Na primeira vemos que a solda é um meio de ligação que se incorpora ao metal base atuando como uma “cola”. No final temos uma peça em que as tensões atuantes são transmitidas diretamente pelo meio de ligação, ou seja, a peça trabalha como se tivesse sido moldada naquele formato. Como o metal de adição possui resistência superior que a do metal base, podemos garantir que uma solda bem feita não entra em colapso antes do metal base.

Já nas ligações parafusadas o mecanismo de transmissão das tensões se dá por meios indiretos. Portanto o comportamento entre estes dois modelos é bastante distinto, e conseqüentemente os problemas também. Para as soldas os problemas se restringem basicamente ao meio de ligação, ou seja, ao cordão de solda durante a sua execução. Já os parafusos estão sujeitos a problemas de resistência tanto no fuste como também na resistência da chapa de ligação.

Fadiga e relaxação dos parafusos são outros exemplos de problemas patológicos das ligações, porém restritos a ligações onde há carregamento cíclico, o que não é o caso das estruturas tradicionais de edifícios. A NBR 8800/86⁰⁸ deixa claro, no capítulo 8, itens 8.3.2.2 e 8.3.2.3, que não é necessário se fazer a verificação da estrutura à fadiga quando o ciclo de solicitações for muito pequeno ou, quando existirem, produzam apenas pequenas flutuações de tensões. Como os carregamentos devido ao vento ou a outras ações excepcionais são de pouca frequência, não é necessário fazer verificação à fadiga. Deve-se entretanto se estudar tal problema no caso em que existam pontes rolantes ou qualquer tipo de equipamentos vibratórios.

Em estruturas metálicas onde há a presença de cargas dinâmicas, principalmente em pontes ferroviárias em geral, pode acontecer um problema de relaxação dos parafusos. Como nos edifícios dificilmente temos a presença deste tipo de carregamento (restrito basicamente a galpões industriais metálicos), não serão considerados os problemas

provenientes deles. Apenas em edifícios industriais com pontes rolantes existe a possibilidade destes fenômenos ocorrerem, ainda assim em escalas relativamente mais reduzidas.

3.6.1. Patologia das ligações soldadas

Na construção metálica a união dos metais por soldagem é realizada basicamente pelo processo a arco elétrico. São utilizados normalmente três tipos de equipamentos para sua realização: soldagem manual (eletrodo revestido), soldagem semi-automática (MIG / MAG) e soldagem automática (arco submerso). A utilização de um ou outro depende basicamente do tipo de trabalho a ser feito e das circunstâncias que o envolvem. Nos dois primeiros temos a presença do homem como agente principal de manipulação do equipamento durante toda a operação de soldagem. No último conta-se com a utilização de equipamentos automatizados próprios para a confecção de soldas. Apesar do processo de soldagem ser um só (arco elétrico), cada equipamento apresenta características e peculiaridades distintas quanto ao modo de operação. Vemos então que os problemas apresentados são peculiares para cada equipamento devido a essas diferenças.

As vantagens e desvantagens de cada equipamento devem ser levadas em consideração na hora de se fazer a solda. Equipamentos que trabalham com eletrodos revestidos possuem pequeno porte, são menos suscetíveis à ação de correntes de ar (ideais para trabalho de campo), podem trabalhar em todas as posições de soldagem e não dependem de outros insumos para poderem ser utilizados. Como desvantagens apresenta a menor taxa de deposição, a produção de escória relativamente aderente, a qualidade da solda depende muito da habilidade do soldador, produz respingos, perdas de material (pontas dos eletrodos), gases e radiação (ultravioleta e infravermelha).

Os equipamentos de soldagem MIG / MAG possuem uma alta taxa de deposição, dificilmente produzem escória, também podem trabalhar em todas as posições, produzem cordões de solda de ótimo acabamento, é menos suscetível às deficiências do soldador (conseguem manter constante a voltagem durante a soldagem) e quase não apresenta perdas. Em compensação é muito suscetível a correntes de ar, produz respingos, gases e altas taxas de radiação (ultravioleta e infravermelha), o equipamento possui porte médio e depende de insumos (gás carbônico ou argônio) para poder trabalhar. Além disso, não devemos dar mais que dois passes no mesmo cordão, pois o depósito fica rico em Si-Mn,

baixando a tenacidade. São ideais para trabalho dentro da fábrica de estruturas.

Já o equipamento de arco submerso se restringe mais à produção de perfis soldados. Possuem a maior taxa de deposição entre os três, quase não sofre influência de correntes de ar, não produz radiação nem respingos, gera poucas perdas, o cordão de solda apresenta um acabamento de ótima qualidade e aparência, e quase não sofre interferência do homem por ser automatizado. Por outro lado é um equipamento que só trabalha na posição plana, a poça de fusão fica escondida pelo fluxo, possui grande porte, é basicamente imóvel (restrito à oficina), depende do fluxo para operar e produz escória (normalmente auto destacável) durante a solda.

Estas características e restrições dos equipamentos se mostram importantes na avaliação das causas das patologias. Por exemplo, um equipamento MIG / MAG dificilmente produz inclusão de escória pois ele não gera escória durante sua utilização. Já soldas em posições diferentes da plana só podem ser executadas por equipamentos móveis (eletrodo revestido, MIG / MAG). Portanto exclui-se o equipamento a arco submerso. Entretanto, a maioria dos problemas na solda são comuns aos três tipos de equipamentos pois as causas principais são comuns para os três tipos.

a) Soldagem com eletrodo revestido

Este processo é o que pode apresentar o maior número de defeitos. Isto ocorre porque o processo é geralmente manual, sendo então de grande importância a habilidade do soldador. Neste processo também é de grande importância a avaliação detalhada do inspetor, pois existe uma gama muito grande de metais que podem ser utilizados (tanto metais de base como metais de adição), isto requer do inspetor uma grande familiaridade das especificações de cada uma dessas combinações, a fim de que ele possa avaliar a qualidade da solda. Os principais defeitos que ocorrem com este equipamento são:

- i. Porosidade;
- ii. inclusões;
- iii. falta de fusão;
- iv. falta de penetração;
- v. velocidade de soldagem incorreta, preparação da união e do material inadequados, projeto errado, corrente muito baixa e eletrodo de diâmetro muito grande;

- vi. mordeduras, concavidades e sobreposição;
- vii. trincas;

b) Soldagem MIG / MAG

Nestes processos usa-se o calor de um arco elétrico entre um eletrodo nu alimentado de maneira contínua e o metal de base. O calor funde o final do eletrodo e a superfície do metal de base para formar a solda. O proteção do arco e da poça de fusão vem de um gás alimentado externamente, o qual pode ser inerte ou não.

Processo MIG - Metal Inert Gas → Injeção de gás inerte (argônio)

Processo MAG - Metal Active Gas → Injeção de gás ativo (dióxido de carbono) ou mistura de gases.

Os principais defeitos deste processo são:

- i. Falta de fusão
- ii. falta de penetração
- iii. inclusões de escória
- iv. mordeduras
- v. porosidade
- vi. sobreposição
- vii. trincas

c) Soldagem a arco submerso

Neste tipo de processo também podem ocorrer um grande número de descontinuidades. Porém, por ser relativamente automatizado, a possibilidade de ocorrência desse é bastante reduzida. Os principais defeitos são:

- i. Falta de fusão
- ii. falta de penetração
- iii. inclusões de escória
- iv. mordeduras

- v. porosidade
- vi. trincas

3.6.1.1. A influência do soldador

Toda soldagem deve obedecer a um processo de execução apropriado para o tipo de resultado a ser obtido. Apesar de a princípio parecer simples, a execução da solda requer preparação e treinamento do soldador. Existe toda uma técnica envolvendo o processo de soldagem que, se não for seguida em cima, pode implicar em perda de qualidade da solda, muitas vezes resultando na correção da peça soldada. Então, a figura do soldador, que a princípio parece relegada a um segundo plano, se torna fundamental na obtenção da qualidade da solda. Com exceção da soldagem por arco submerso, que normalmente é executada por equipamento automático, a soldagem com eletrodo revestido ou com a MIG está completamente submetida à capacidade do soldador. Também a preparação da superfície deve ser considerada como de sua responsabilidade. Uma solda de qualidade deve estar livre de quaisquer tipos de contaminantes como ferrugem, restos de pintura, graxa, além da preparação de chanfros, se existirem.

3.6.1.2. Controle de qualidade

Apesar de tudo, na construção civil são poucas as empresas fabricantes de estruturas metálicas que efetivamente fazem um controle de qualidade da solda e que procuram manter em seus quadros soldadores qualificados. Geralmente as fábricas de estruturas metálicas são constituídas basicamente de micro e pequenas empresas e, em geral, não possuem qualquer tipo de controle além do visual. Porém o tipo de estruturas fabricadas por estas fábricas são normalmente estruturas de menor porte como coberturas, mezaninos e pequenos galpões de depósito. Mesmo em estruturas com um nível um pouco maior de responsabilidade como galpões industriais, pequenos prédios e outros, a responsabilidade da soldagem fica praticamente em cima dos soldadores. Normalmente este tipo de precaução é levado em consideração somente em estruturas residenciais, comerciais e industriais de grande porte, com controle de qualidade exigidos em contratos e efetivamente fiscalizados pelos contratantes.

As estruturas de aço, diferentes de estruturas como vasos de pressão, tanques e

caldeiras, são dimensionadas para suportarem, além das cargas permanentes, cargas variáveis, que só ocorrem poucas vezes durante a sua vida útil, podendo até ser o caso de nunca ocorrerem. Portanto as solicitações na solda não são constantemente aquelas solicitações de cálculo e sim solicitações decorrentes apenas de seu peso próprio e de pequenos carregamentos externos, dando assim uma grande margem de segurança em relação a possíveis defeitos nas soldas. Se uma estrutura possuir defeitos diversos e não for submetida em momento algum às suas solicitações de projeto, é bem possível que ela permaneça em pé durante todo o tempo de vida útil previsto.

3.6.2. Análise das patologias da solda

A inspeção de uniões soldadas cumpre duas funções primordiais. Em primeiro lugar, se revelarão defeitos à vista, cuja severidade poderá aceitar ou recusar o trabalho efetuado. Em segundo lugar não se deve subestimar o controle de qualidade. Fator fundamental para a garantia de que a solda não apresentará problemas futuros. Nos casos em que não se realiza uma inspeção, é porque as condições de projeto não o permitem ou simplesmente por não ser necessário, quando se trata de uniões de pouca importância. Mas a possibilidade dessa solda ser de má qualidade torna-se bastante grande, daí a necessidade de se inspecionar todas as uniões soldadas, sejam de que tipo estas forem.

Baseada na sua experiência, o inspetor incluirá em seu relatório uma interpretação dos resultados de sua investigação, junto com uma descrição dos defeitos revelados. Quando houver acordo que o trabalho deve-se cumprir com alguma norma de construção, o inspetor poderá assim mesmo estabelecer se os defeitos são, ou não, admissíveis, se bem que o laudo final é competência do construtor, usuário ou, da companhia de seguros. É fluente que as normas classifiquem os defeitos, não segundo a sua severidade, e sim segundo as dificuldades que devem ser vencidas para superá-los, é dizer que a finalidade das normas é mais em estabelecer níveis de qualidade de construção, que estimar a probabilidade de que determinado defeito cause uma ruptura da solda.

A maioria dos defeitos das soldas se acha oculta em maior ou menor profundidade no cordão. Em soldas de maior responsabilidade, além da inspeção visual, é necessário se fazer o controle de qualidade. Os dois sistemas mais usuais encontrados no mercado são o ensaio por líquido penetrante e o ensaio por ultra-som. Existem ainda outros tipos de ensaios, como o radiográfico, partículas magnéticas e correntes parasitas, porém a sua

utilização normalmente é restrita para aplicações de grande responsabilidade.

A experiência e qualificação do soldador se mostram como um dos itens de maior relevância na qualidade da solda. Porém não só de sua habilidade depende a qualidade da solda. O tipo de junta, a escolha adequada de eletrodos, a preparação da superfície e até a composição do metal base podem influenciar bastante na qualidade da solda. Entretanto o soldador ainda é o maior responsável pela maioria dos defeitos que ocorrem nas soldas. Os defeitos mais comuns que podem ocorrer em uma soldagem a arco são:

a) Porosidade

Porosidade é a formação de pequenas cavidades gasosas (1 mm) muito próximas umas das outras, ou formações vermiculares (10 mm) durante o processo de soldagem (figura 34). As cavidades são vazios que podem apresentar formas esféricas, elipsoides, etc. Estas podem se apresentar próximas ou afastadas e podem se encontrar na raiz da solda ou na própria solda. A consequência disso é a descontinuidade da solda e diminuição da sua área efetiva. Podem ser visíveis (superficiais) ou invisíveis (internas), e se manifestarem isoladamente ou em grupo. A porosidade se classifica quanto à disposição dos poros, podendo ser: Agrupada, alinhada (dispostos paralelo ao eixo longitudinal da solda) e vermiforme (poros alongados).

A porosidade pode ocorrer com a utilização de qualquer tipo de equipamento a arco elétrico, porém com diferentes causas. Aparecem em quatro posições distintas: no início do cordão, no cordão inteiro, no final do cordão e na cratera terminal do cordão. A origem dessa patologia está vinculada com as etapas de fabricação e montagem da estrutura: fabricação dos perfis metálicos, pré-montagem e montagem. O soldador é quase sempre o causador deste tipo de problema.

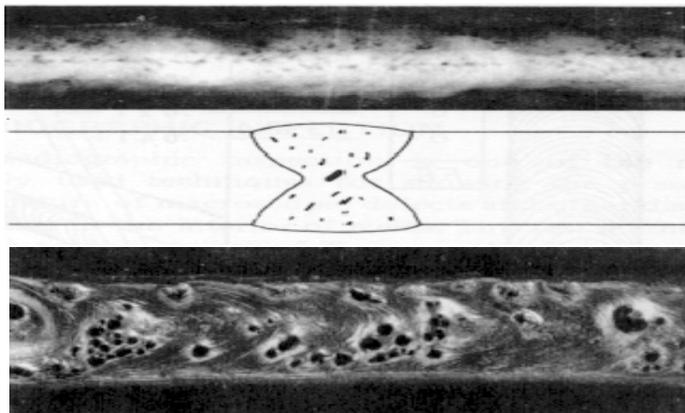


Figura 34 - Radiografia de uma solda porosa

- **Porosidade no início do cordão**

Causas

- i. Revestimento úmido (se esta umidade atingir um nível de umidade muito alto, as porosidades podem atingir a superfície da solda);
- ii. qualquer tipo de defeito no revestimento da ponta do eletrodo.

Prevenção

- i. Utilizar sempre eletrodos secos, bem conservados (se estes estiverem úmidos ressecá-los de acordo com a recomendação do respectivo fabricante);
- ii. ensinar os soldadores a reconhecer um eletrodo úmido;
- iii. verificar se o revestimento da ponta do eletrodo está em perfeito estado;
- iv. verificar se a umidade relativa alcançou valores elevados durante os intervalos de soldagem.

- **Porosidade no cordão inteiro**

Causas

- i. Umidade do revestimento elevada (eletrodos revestidos);
- ii. polaridade errada (no caso de corrente contínua);
- iii. cabo de retorno ligado em local inadequado;
- iv. alta velocidade de soldagem;
- v. arco muito longo;
- vi. instabilidade da rede elétrica local;
- vii. amperagem muito alta;
- viii. material base defeituoso (teor de enxofre elevado, segregações, dupla laminação);
- ix. eletrodo incompatível com o aço;
- x. preparação inadequada da junta;
- xi. material base sujo (óleo, ferrugem, tintas, molhados, etc.).

Prevenção

As medidas preventivas neste caso devem se restringir apenas àqueles casos em que é possível atuar através de medidas preventivas. Problemas envolvendo fornecimento de energia elétrica ou composição química defeituosas do aço dificilmente são passíveis de serem previstos. A melhor forma de se prevenir é se preparar o soldador para lidar com estes problemas.

- i. Ressecar os eletrodos revestidos (se não for possível, rejeitá-los);
- ii. conferir a polaridade do retificador de solda;
- iii. ajustar a velocidade de soldagem;
- iv. ajustar a distância do eletrodo;
- v. dimensionar adequadamente a rede elétrica de alimentação dos equipamentos, garantir o correto funcionamento destes através de manutenção;
- vi. ajustar a amperagem;
- vii. verificar a compatibilidade entre o eletrodo e o metal base;
- viii. projetar adequadamente a junta de soldagem
- ix. garantir a limpeza da superfície metálica de impurezas.

• No final do cordão

Caracteriza-se por haver um superaquecimento da última parte do eletrodo revestido, provocando a destruição do seu revestimento.

Causa

- i. Amperagem muito alta.

Prevenção

- i. Abaixar a amperagem.

- **Na cratera terminal do cordão**

É um problema relacionado à maneira que o soldador termina a soldagem. Se, ao realizar a troca de eletrodos ou acabar a soldagem, o soldador interromper o arco elétrico de forma inadequada, poderá se formar um aglomerado de poros na cratera. Os poros formados nem sempre se fundem quando se continua a soldagem, ficando ocultos pela camada seguinte (fato normalmente descoberto no controle de qualidade).

Causa

- i. Interrupção do arco elétrico de maneira inadequada. O soldador simplesmente puxa o eletrodo para cima ocasionando o alongamento do arco elétrico e a formação dos poros.

Prevenção

- i. O soldador deve interromper o arco elétrico correndo com o eletrodo sobre a chapa de aço no sentido longitudinal, e só levantá-lo quando atingir uma posição um pouco fora da solda, obtendo-se uma cratera pouco profunda, alongada e livre de poros.

b) Inclusão de escória

É um dos defeitos de soldagem mais comuns e ocorre normalmente devido à negligência do soldador. A soldagem por eletrodo revestido tem a característica de formar sobre o cordão de solda uma “capa” protetora: a escória. As inclusões são resultantes de uma limpeza incorreta dessa escoria, com posterior repasse de outro cordão. Assim, ao formar a poça de fusão, estes fragmentos ficam inclusos no metal fundido (figura 35).

As inclusões de escória podem estar afastadas, dispersas ou agrupadas. Elas se classificam como: alinhada, isolada e agrupada. Defeito semelhante à porosidade, só que ao invés de uma cavidade gasosa temos a presença da própria escória protetora incrustada dentro do cordão de solda. E, assim como nessa, a inclusão de escória também resulta em um enfraquecimento do cordão, com conseqüente redução de sua área efetiva. Sua origem pode ser desde um projeto de soldagem mal elaborado até a má capacitação dos

soldadores, sendo este último o mais comum. As inclusões podem ser de dois tipos:

- **Inclusões localizadas**

São de formato irregular, correspondendo aos pontos de onde o soldador perdeu o controle da poça de fusão, deixando-se superar pela escória.

- **Inclusões alinhadas**

São de formato alongado, e formadas entre um passe e o subsequente, quando o perfil do passe anterior é muito convexo e mal concordado lateralmente. Podem ser contínuas ou intermitentes, e ocorrerem de um lado ou de ambos os lados da convexidade, em função desta.

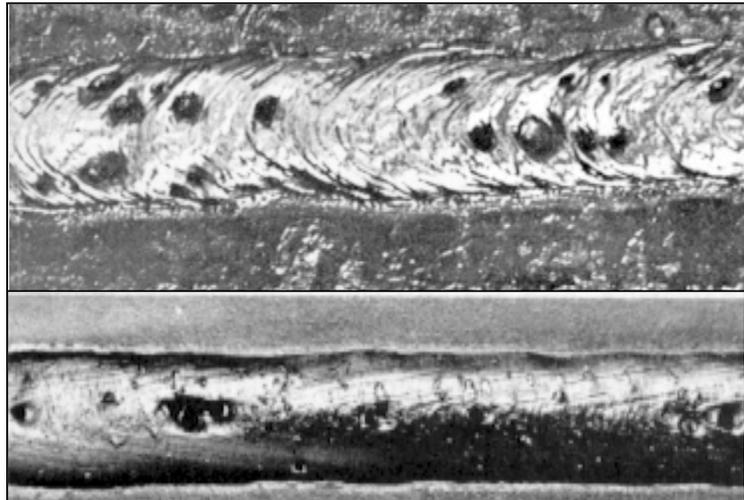


Figura 35 - Solda com inclusão de escória

Causas

- i. Negligência na remoção de escória;
- ii. chanframento irregular;
- iii. raiz mal preparada;
- iv. chanfro muito estreito;

- v. manuseio incorreto do eletrodo;
- vi. soldagem errada em juntas em “V”, “K”, “U”, “X”, ou duplo “U” em material muito espesso (soldagem multipasse).

Prevenção

- i. Fiscalização visual criteriosa;
- ii. conscientização do soldador da importância da limpeza e da preparação da superfície;
- iii. fazer chanframentos uniformes. No caso de uso de maçaricos, uniformizar a superfície com lixadeira;
- iv. limpar criteriosamente a raiz de juntas com raiz antes de se fazer a soldagem ao inverso;
- v. aumentar o ângulo do chanfro, caso este seja demasiadamente estreito;
- vi. manusear o eletrodo de forma que a escória não passe a frente da poça de fusão
- vii. treinar o soldador para fazer soldas especiais, como as em juntas v, k, u, x, ou duplo u, soldas com mais de um passe e soldas em posição diferente da plana.

É um tipo de defeito praticamente restrito ao soldador. A melhor maneira de preveni-lo é a preparação do soldador através de treinamentos, cursos, palestras, etc.

c) Mordeduras

É uma falha no enchimento do cordão de solda em que o metal base é deslocado por fusão e o sulco resultante desse deslocamento não é preenchido pelo metal de adição (figura 36). Aparece na forma de depressão ao lado do cordão de solda, sob a forma de entalhe no metal base, acompanhando a margem da solda. Pode também se localizar na raiz da solda. Como consequência temos a redução da seção resistente (com enfraquecimento da junta soldada), pontos preferenciais para início da ruptura (principalmente se a peça estiver submetida à fadiga) e facilidade de inclusão de escória.

Sua origem é restrita basicamente à fabricação, mais especificamente ao soldador, exceto quando ocorre em juntas (projeto). Nem o equipamento pode ser responsabilizado diretamente por isso, pois é passível de ocorrer em qualquer um deles. É um defeito mais freqüente nas soldagens em posição vertical ascendente. É uma questão de qualificação do

soldador para saber regular a máquina de solda e operá-la de forma a evitar este problema.

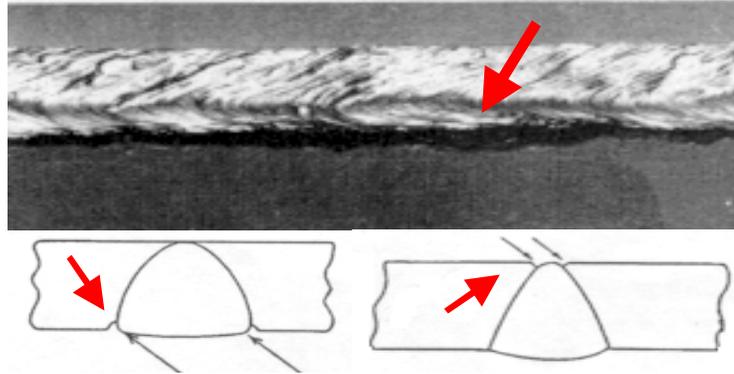


Figura 36 - Solda apresentando mordedura

Causas

- i. Amperagem muito alta;
- ii. arco muito longo;
- iii. manuseio incorreto do eletrodo;
- iv. velocidade de soldagem muito grande;
- v. arco elétrico apresentando sopro lateral;
- vi. junta com chanfro estreito.

Prevenção

- i. Diminuir a amperagem da máquina de solda;
- ii. encurtar o arco, aproximando-o da poça de solda;
- iii. movimentar o eletrodo – tecimento – de modo a promover a fusão do metal base e a deposição de metal de adição necessária;
- iv. diminuir a velocidade de soldagem;
- v. evitar o sopro lateral através de:
 - 1) Inclinação do eletrodo na direção do sopro magnético, principalmente nas proximidades dos extremos das partes a unir;

- 2) trocar a posição da garra do cabo de retorno da máquina de solda;
 - 3) evitar ou modificar a posição de objetos facilmente magnetizáveis;
 - 4) usar um transformador de energia ao invés de um retificador.
- vi. aumentar o ângulo do chanfro.

Observação: Este defeito deve ser reparado mediante um passe de enchimento.

d) Falta de fusão

Todo eletrodo deposita 70% e dilui 30% da massa do metal base no primeiro passe. A falta de fusão se caracteriza por essa não interação entre o metal de adição e o metal de solda, resultando em uma solda fraca naquela região (figura 37).

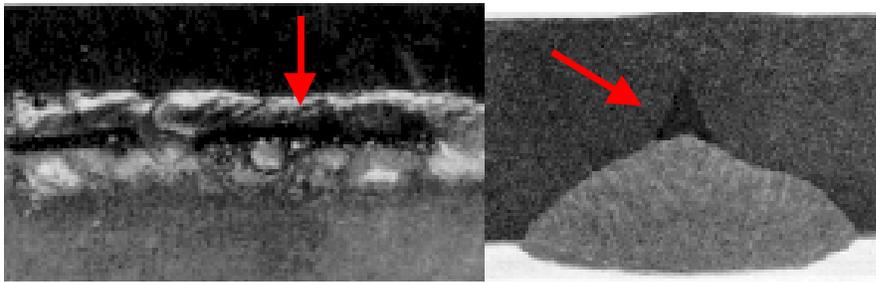


Figura 37 - Solda apresentando falta de fusão

Causas

- i. Técnica de soldagem inadequada;
- ii. preparação da junta;
- iii. corrente baixa;
- iv. velocidade inadequada.

Prevenção

- i. Dirigir o arco de forma que ambas as chapas sejam apropriadamente fundidas, especialmente onde a penetração tende a ser imperfeita;
- ii. preparar a junta conforme especificações técnicas;

- iii. ajustar a corrente;
- iv. ajustar a velocidade;

e) Falta de penetração

É um defeito caracterizado por interrupções, mais ou menos freqüentes, na fusão do vértice das bordas do chanfro (figura 38). Em juntas onde esteja prevista a existência de raiz, o soldador deve aumentar os cuidados para que a soldagem atinja o outro lado da junta. Na prática é muito difícil a obtenção de um passe de raiz regular e com boa penetração ao longo de toda a junta. As conseqüências desses defeitos são: soldagem incompleta, fusão deficiente e formação de escória na raiz. Em juntas de maior responsabilidade é um problema inadmissível.

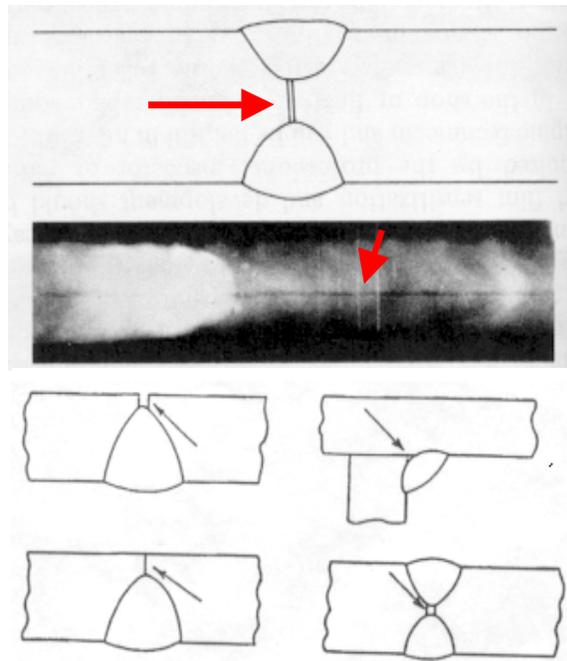


Figura 38 - Solda com falta de penetração

Causas

- i. Eletrodo com diâmetro muito grande impedindo a sua chegada até a raiz da junta;
- ii. chanfro estreito, irregular ou inexistente;
- iii. presença de nariz ou nariz muito grande;

- iv. falha no manejo do eletrodo (ângulo incorreto, reacendimento do arco elétrico, eliminação da escória, movimentação do eletrodo em toda largura da junta);
- v. falta de calor na junta.

Prevenção

- i. Usar eletrodo de diâmetro menor ou de revestimento mais fino;
- ii. melhorar a preparação da junta através de uma uniformização constante ao longo dela;
- iii. evitar a existência de nariz ou minimizar o seu tamanho o máximo possível;
- iv. preparar o soldador para o manuseio correto dos eletrodos;
- v. aumentar a amperagem, diminuir a velocidade, usar eletrodo de maior diâmetro em materiais mais espessos, preaquecer o material, soldar em posição vertical ascendente.

f) Trincas

Trincas são descontinuidades produzidas pela ruptura local do material (figura 39). Podem ocorrer durante o processo de soldagem, durante o processo de tratamento térmico posterior ou, se a junta se encontrar submetida a um esforço variável, vibração excessiva ou em contato com um ambiente corrosivo durante o período inicial de trabalho. As trincas se classificam de acordo com a sua forma geométrica e a sua localização no material.

É o mais grave dos defeitos de solda. Podem ocorrer no cordão de solda ou no metal base. É um problema relacionado à soldabilidade dos aços, sendo que neste caso o soldador pouco contribui para a sua formação. Cabe ao projetista detalhar juntas de soldagem adequadas, com solda e metal base compatíveis, e ao inspetor de solda conferir para que as recomendações de projeto estejam sendo executadas corretamente. Como se trata de um problema que pode acontecer tanto internamente como externamente, é necessário a realização de ensaios para verificar a sua ocorrência.

Vamos então fazer uma análise das causas das trincas, procurando não abordar o aspecto da metalurgia da soldagem. Isso porque o estudo metalúrgico da trinca envolve várias questões que não são objetivo deste estudo:

- i. Trincas interlamelar - esta descontinuidade ocorre quando o metal de base, não

suportando tensões elevadas, geradas pela contração da solda, na direção da espessura, trinca-se em forma de degraus situados em planos paralelos à direção de laminação. É muito comum em juntas em “T”, nas soldas de filete, onde temos uma chapa fina soldada sobre outra mais grossa.

- ii. Trincas na garganta e raiz - Trincas que se iniciam na raiz da solda decorrentes de técnica de soldagem ou materiais incorretos.
- iii. Trincas na margem e sob o cordão - As primeiras são trincas que se iniciam na margem da solda, geralmente localizada na zona afetada termicamente. Trincas sob o cordão também ocorrem nas zonas afetadas termicamente porém não se estendem até à superfície da peça soldada. Vemos então, que ambas as trincas são devido à fissuração a frio. Elas ocorrem em um determinado tempo após a execução da solda, e não podem ser detectadas por uma inspeção realizada imediatamente após a operação de soldagem. Ocorrem geralmente, enquanto há hidrogênio retido na solda.

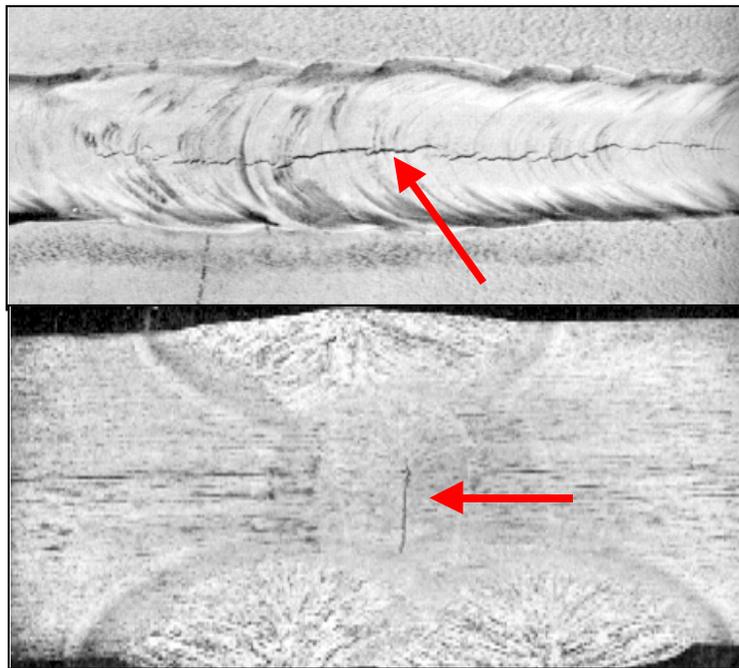


Figura 39 - Solda com trincas

Causas

- i. Mau planejamento da soldagem;

- ii. eletrodo úmido;
- iii. soldador não habilitado;
- iv. necessidade de pré-aquecimento do metal base;
- v. cordão de solda com seção inadequada;
- vi. cratera final com mal acabamento;
- vii. metal base sujo;
- viii. vibrações durante a soldagem;
- ix. ponteamto fraco;
- x. metal base com altos índices de elementos de liga (enxofre, fósforo, cromo, manganês, carbono, etc.).

Prevenção

- i. Alterar sequência de soldagem;
- ii. ressecar o eletrodo;
- iii. treinar o soldador;
- iv. pré aquecer a peça - utilizar eletrodos de baixo hidrogênio;
- v. não aumentar o tamanho da cratera - pré aquecer - aumentar a seção transversal do cordão - utilizar eletrodos de baixo hidrogênio;
- vi. limpar a zona de solda cuidadosamente;
- vii. substituir o metal base;
- viii. não soldar durante a atuação de equipamentos pneumáticos, vibratórios, etc.

g) Empenamentos

O excesso de calor em alguns tipos de solda pode provocar o empenamento localizado das chapas na região da solda. Este fenômeno é ocasionado por um problema metalúrgico devido à diferença de temperatura entre a região de solda e a região do entorno. Essa diferença de temperatura durante a soldagem faz com que apareçam tensões de tração na região da solda e tensões de compressão nas demais regiões adjacentes durante o resfriamento da peça. São as chamadas tensões residuais. Essas tensões fazem com que a solda tensione o metal ao seu redor, e se este não possuir capacidade suficiente para resistir a este esforço, ocorre então o empenamento. É um fenômeno que ocorre

particularmente na soldagem de materiais de pequena espessura quando estes são soldados a outras chapas perpendicularmente. O melhor exemplo de onde isso ocorre é na soldagem dos perfis soldados, onde a mesa das vigas, depois do processo de soldagem, tem que passar por uma desempenadeira para retomar a sua planicidade. Também existe o caso de perfis que se empenam apresentando uma espécie de torção em torno de algum de seus eixos. Neste caso existe uma técnica para desempenamento baseado no uso do maçarico e água e que é baseada na experiência de alguns operários da fabricação.

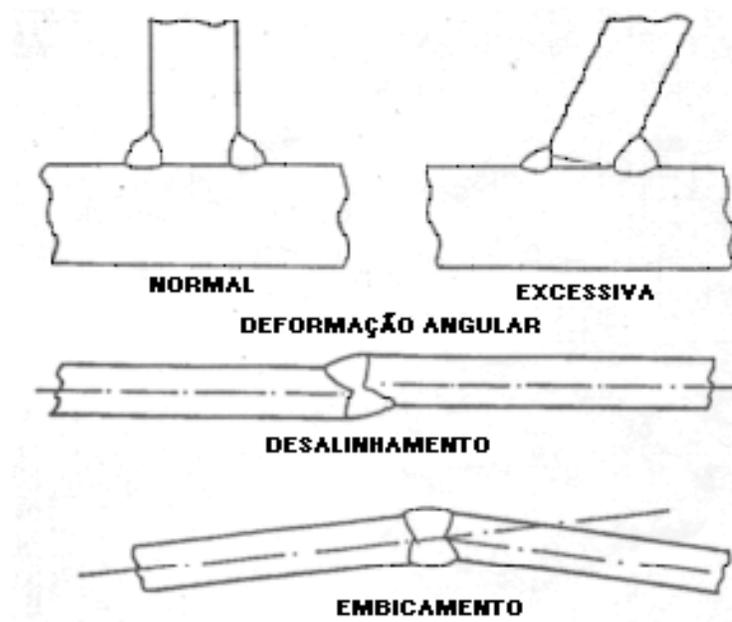


Figura 40 - Diversos tipos de empenamentos devido à soldagem

Causas

- i. Construção inconveniente;
- ii. erros no planejamento da soldagem;
- iii. aquecimento inconveniente.

Prevenção

- i. Diminuir a amperagem;
- ii. diminuir a seção transversal da solda;
- iii. aumentar a velocidade de avanço;
- iv. aumentar a capacidade de dispersão de calor por intermédio de cobre-junta de apoio.

h) Superposição

Superposição (figura 41) é a situação em que existe um excesso de solda sobre o metal base e que não esteja incorporado a este. Ocorre então um transbordamento do material de adição sobre o metal base sem que exista fusão entre eles. O grande problema neste tipo de defeito é que estes nos lugares em que ocorrem tornam-se pontos preferenciais para a ocorrência de trincas e corrosão.

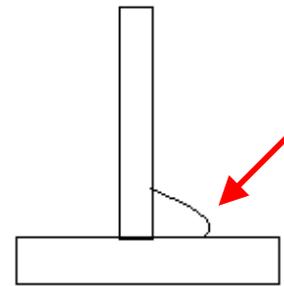


Figura 41 - Solda com superposição

Causas

- i. Corrente demasiadamente baixa;
- ii. ângulo inadequado do eletrodo;
- iii. manipulação inadequada do eletrodo.

Prevenção

- i. Elevar a corrente até valor adequado;
- ii. trabalhar com ângulo correto;
- iii. baixar a velocidade.

i) Pernas desiguais

Problema que ocorre em soldas de filete. Normalmente é ocasionado pelo manuseio

do equipamento de solda pelo soldador, inclusive em soldas por fluxo, onde o operador não visualiza o cordão de solda por causa da presença do fluxo.

Causas

- i. Ângulo inadequado do eletrodo.

Prevenção

- i. Corrigir a inclinação do eletrodo.

j) Cordão com mau acabamento

Normalmente, a solda bem executada possui também um bom aspecto visual. O acabamento do cordão de solda pode ser um indicativo da existência de defeitos, mas essa premissa nem sempre é verdadeira. Nem sempre o aspecto irregular da superfície chega a comprometer a eficiência da solda, porém é sempre bom procurar prevenir estes defeitos para não haver desconfiças. Como existem vários defeitos, com diferentes causas para cada um, vamos apresentá-los separadamente.

j.1) Largura de cordão irregular

Causas

- i. Velocidade não constante de avanço do eletrodo.

Prevenção

- i. Manter velocidade constante.

j.2) Ondulação irregular do cordão

Causas

- i. Manipulação irregular do eletrodo;
- ii. corrente excessiva;
- iii. ângulo inadequado do eletrodo.

Prevenção

- i. Manter velocidade constante;
- ii. diminuir a corrente;
- iii. manter um ângulo correto;

j.3) Cordão convexo

Causas

- i. Corrente insuficiente;
- ii. velocidade insuficiente de soldagem.

Prevenção

- i. Aumentar a corrente;
- ii. diminuir a velocidade de soldagem.

j.4) Cordão côncavo

Causas

- i. Corrente excessiva;
- ii. velocidade excessiva de soldagem.

Prevenção

- i. Diminuir a corrente;
- ii. diminuir a velocidade de soldagem;

k) Excesso de respingos

Respingos são pequenos pingos de solda que se formam em torno do cordão de solda (figura 42). São formados durante a fusão do eletrodo devido à instabilidade do arco elétrico. Esta instabilidade provoca pequenas explosões na poça de fusão que dão origem aos pingos. É um fenômeno muito comum de ocorrer em soldas por eletrodo revestido ou MIG / MAG.

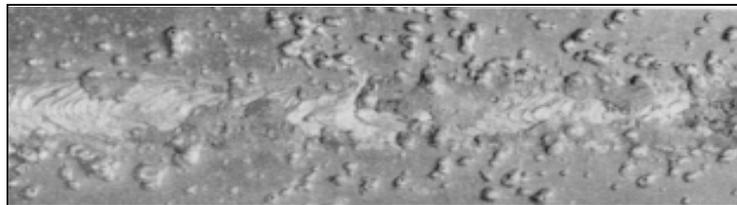


Figura 42 - Excesso de respingos ao redor da solda

Causas

- i. Corrente excessiva;
- ii. Comprimento excessivo de arco;
- iii. Eletrodo úmido;

Prevenção

- i. Diminuir a corrente;
- ii. trabalhar com um comprimento de arco na ordem do diâmetro do arame;
- iii. secar o eletrodo.

3.6.3. Condições básicas para o sucesso na soldagem elétrica

Sendo a soldagem um processo em que várias variáveis podem interferir, vale a pena apresentar algumas recomendações de prevenção em relação a todos estes problemas:

- i. Dimensionar e manter em bom estado a instalação elétrica que dá suporte aos equipamentos de solda elétrica;
- ii. fazer a manutenção dos equipamentos de solda;
- iii. incentivar o aprimoramento técnico do soldador;
- iv. utilizar eletrodos de boa qualidade e mante-los em bom estado de conservação;
- v. fazer a preparação do metal base através de limpeza e chanframento adequados.

3.6.4. Defeitos de execução das ligações soldadas

Um dos grandes problemas enfrentados pelos profissionais que trabalham com soldagem é a execução de uma soldagem visando obter não somente um cordão de solda de boa qualidade, mas também um bom acabamento para o conjunto soldado como um todo. A ligação soldada compreende muito mais do que um simples encontro entre elementos a serem solidarizados. É preciso que exista um arranjo físico e geométrico coerente para que a ligação trabalhe como um conjunto estrutural estável. Não observar esta premissa implica na ocorrência de graves erros de execução. Além dos problemas relativos à qualidade do cordão, temos ainda os seguintes defeitos relativos às ligações soldadas.

a) Falta de usinagem das extremidades das ligações

É um problema que ocorre durante a soldagem em campo por causa de um defeito de fabricação. É causada devido ao corte irregular que estas sofrem em fábrica ou mesmo no campo, não permitindo uma perfeita aproximação entre ambas conforme o projeto (figura 43). Isso pode causar inúmeros problemas, tais como introdução de tensões não previstas em projeto, alinhamento irregular da peça e também imprecisão geométrica. O ideal é se fazer um acabamento ou usinagem das extremidades a serem soldadas ainda na fábrica para se evitar tal problema.



**Figura 43 - Folgas na emenda devido a falta de concordância
– BETINELI¹², ZACARIAS⁵⁵**

b) Mistura de ligações

É a mistura de dois tipos de ligação, soldada e parafusada, em uma junção (figura 44). Este problema pode ocorrer devido a um projeto errado, ou despreparo do pessoal de campo. Ocorre normalmente em ligações parafusadas em que, por algum motivo, não foi possível se executar a ligação conforme o planejado. Estruturalmente tais artifícios servem para aumentar a resistência da peça ou corrigir algum outro defeito de fabricação. É o típico caso de empresas que não possuem controle de fabricação sobre seus produtos, tanto na oficina como no campo.

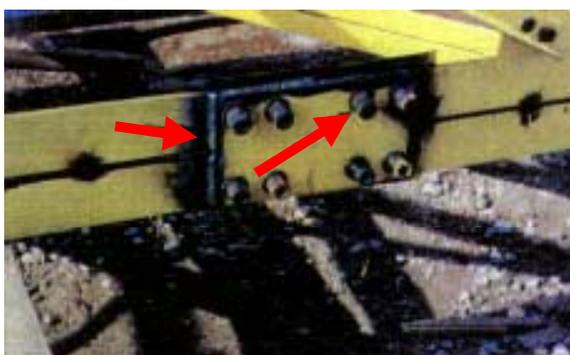


Figura 44 - Ligação indefinida: soldada ou parafusada? – SANTOS⁶²

c) Amassamento das extremidades

É o amassamento irregular das bordas de alguns perfis com o objetivo de se produzir uma ligação soldada (figura 45). Pode ocorrer pela falha de projeto no detalhamento da ligação, ou falha durante a execução da estrutura. As conseqüências deste procedimento são o enfraquecimento do perfil estrutural na região da ligação devido a alteração de suas propriedades geométricas. Pode ocorrer em empresas que não possuem controle de qualidade sobre as estruturas fabricadas e montadas. Observação: em alguns tipos de estrutura, como em coberturas espaciais, este amassamento é intencional. Porém nestes casos, o efeito das cargas em tais tipos de ligação já é amplamente estudado, sendo que o dimensionamento já leva em consideração essa situação.

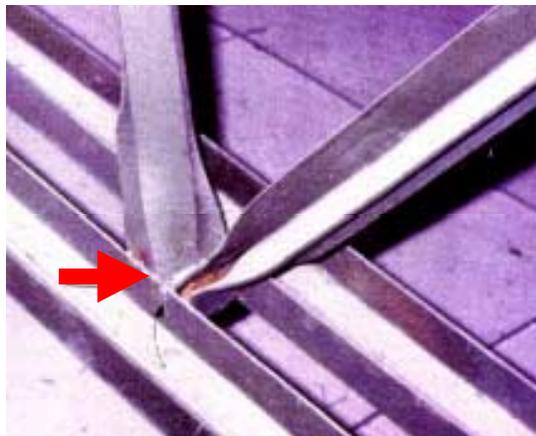


Figura 45 - Amassamento das extremidades – SANTOS⁶²

d) Incompatibilidade entre os perfis

É um problema em que dois perfis de diferentes dimensões são soldados entre si (figura 46). Este problema não é decorrente de uma solda mal feita, e sim de erro de projeto ou de fábrica. O resultado é a não continuidade física da ligação no ponto de coincidência dos elementos, podendo acarretar em excentricidades, variações das propriedades geométricas e descontinuidades não prevista em cálculo. O risco de colapso nestes casos é considerável. Também ocorre por problemas de controle de produção na fábrica. A figura 46 mostra a soldagem de dois perfis de seções diferentes. O primeiro é

um perfil caixão 120x120x4,8, e o segundo 120x115x4,8, resultando em uma diferença de 5 mm entre ambos.



Figura 46 - Não coincidência entre perfis de diferentes dimensões – BETINELI¹², ZACARIAS⁵⁵

3.6.5. Patologia das ligações parafusadas

Existem basicamente três tipos de problemas patológicos que ocorrem com as ligações parafusadas: o colapso da ligação, problemas de corrosão e detalhamento incorreto. No caso da solda temos que o colapso da ligação não ocorre no cordão de solda e sim sob este no metal base, de modo que não faz sentido em se levantar modos de ruína da solda. Já para as ligações parafusadas, as patologias estão relacionadas basicamente à ruína dos fustes e elementos de ligação, corrosão dos parafusos e detalhamento deficiente. Qualquer que seja o caso, o procedimento a ser adotado é a recuperação da ligação, verificando-se sempre aspectos de sua resistência.

a) Tipos de ruínas em ligações parafusadas

Segundo SALMON⁶⁰ podemos relacionar sete tipos de ruínas que podem acontecer em ligações parafusadas:

a.1) Ruína por cisalhamento do fuste do parafuso

Consiste no rompimento do parafuso devido a uma tensão de cisalhamento maior que a sua resistência de cálculo.

a.2) Ruína por rasgamento da chapa junto ao parafuso

É um problema que acontece quando a chapa de ligação possui resistência inadequada para aquela solicitação a que está submetida. Neste caso podemos ter tanto o alargamento do furo como o rasgamento da chapa na direção da tensão.

a.3) Ruína por esmagamento/estriccionamento do fuste do parafuso

É uma situação semelhante a do cisalhamento. O parafuso não chega ao rompimento (estado limite último), porém sofre um escoamento no seu fuste ao ponto de provocar deformações em sua seção transversal (estado limite de utilização). Tais deformações podem causar deslocamentos prejudiciais para a estrutura.

a.4) Ruína por esmagamento da chapa

Assim como o item anterior, é uma situação em que a chapa não chega a rasgar, porém temos o escoamento da seção do furo junto ao parafuso também podendo provocar deslocamentos prejudiciais devido a deformação da chapa.

a.5) Ruína por tensionamento axial do fuste do parafuso

É a ruína que acontece quando o parafuso trabalha a tração e recebe uma solicitação axial maior que a sua resistência.

a.6) Ruína por dobramento do parafuso

No caso de termos parafusos com fustes longos, pode acontecer uma solicitação tal que apareçam momentos na região do fuste causando o dobramento do parafuso (ver figura 55).

a.7) Ruína por rasgamento global da chapa na ligação

Neste caso vemos que o rasgamento não se dá unicamente na região do parafuso, e sim em toda a seção transversal da chapa na região do parafuso. A causa disso é a ocorrência de uma tensão normal maior que a tensão de escoamento da chapa na região do

parafuso.

b) Corrosão

Os problemas de corrosão em ligações parafusadas merecem destaque porque existem várias causas que podem dar início ao processo. Entretanto o mecanismo de corrosão será sempre por frestas entre os parafusos e os elementos de ligação (figura 47). Para isso é preciso que a ligação esteja submetida à umidade de alguma maneira. Em estruturas revestidas, este problema é minimizado pela existência de uma camada de argamassa sobre as ligações, o que dificulta a entrada de água. Uma boa pintura anticorrosiva e o uso de mastique na borda da fresta impede que a umidade penetre nesta e produza a corrosão no aço (figura 48).

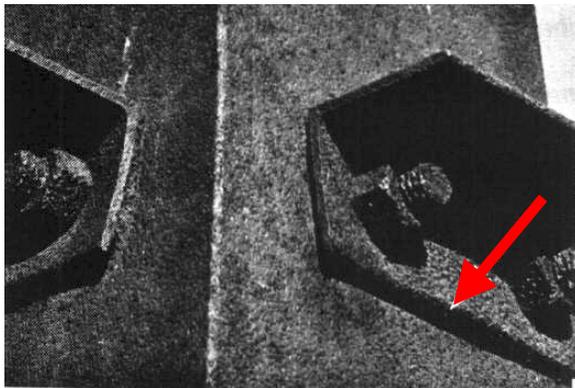


Figura 47 - Corrosão em ligação parafusada – DILLON²⁵

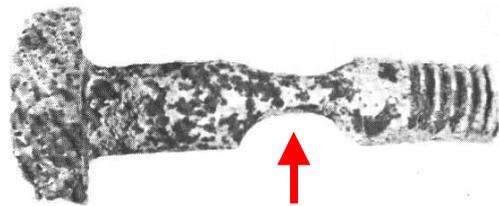


Figura 48 - Parafuso com acentuado processo de corrosão – DILLON²⁵

c) Projeto com detalhamento incorreto

Problemas com o detalhamento são os mais comuns de acontecerem em ligações parafusadas, principalmente quando não são utilizados recursos da informática. Estes podem ter sua origem tanto no projeto como durante a fabricação das peças. As ligações parafusadas requerem um alto grau de precisão para que haja o perfeito encaixe entre os diversos elementos estruturais. Os problemas mais comuns são:

c.1) Dificuldade de aperto

A dificuldade para o montador ter acesso às regiões de aperto do parafuso é um dos problemas mais comuns de ocorrer, e muitas vezes só são percebidos durante a montagem. O montador precisa ter espaço para colocar a peça no lugar, enfiar os parafusos de um lado dos furos, colocar as

arruelas e porcas do outro lado, e espaço para encaixar e girar as chaves de aperto. As vezes a colocação de enrijecedores ou a posição dos parafusos muito próximos aos cantos

inviabiliza este procedimento (figura 49). Tudo isso tem que ser planejado sob o risco de inviabilizar a montagem. É necessário que o projetista tenha uma visão espacial para perceber tal problema. Em determinadas situações pode ser melhor optar por uma ligação soldada.



Figura 49 - Amassamento em ligação para possibilitar o acesso das chaves de aperto – SANTOS⁶²

c.2) Gabarito errado



Figura 50 - Falta de furo na coluna – BETINELI¹², ZACARIAS⁵⁵

São erros em que o projetista detalha os furos de forma errada para os elementos estruturais de uma mesma ligação. São normalmente causados por erros de cálculo, mudanças em um elemento estrutural no projeto sem a respectiva alteração do outro, ou consideração de detalhamento igual para elementos não simétricos. Para explicar este último podemos fazer uma analogia com a carroceria de um automóvel. Apesar de possuir um eixo central de simetria, não tem jeito de você tirar uma porta ou paralamas de um lado e passar para o outro. Com as estruturas metálicas é a mesma coisa. Existem

estruturas que, apesar de existir um eixo de simetria, o detalhamento dos elementos estruturais de um lado é diferente do detalhamento dos elementos do outro lado. É uma questão de sutileza que se não for observada pode causar vários prejuízos. Nas ligações a principal consequência disso é a não coincidência de furos de acordo com o esperado (figuras 50, 51 e 52).

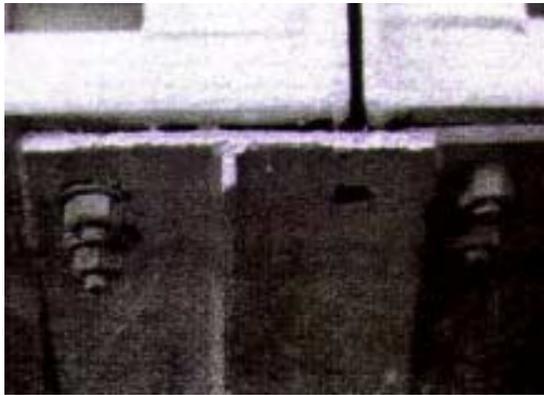


Figura 52 – Desalinhamento generalizado da ligação – SANTOS⁶²



Figura 51 – Erro no detalhamento da chapa de ligação – SANTOS⁶²

c.3) Erro no cálculo do comprimento dos elementos

É um erro comum de ocorrer. O projetista, seja por falta de atenção ou erro de cálculo, projeta os elementos estruturais com comprimentos maiores ou menores do que o necessário. O resultado disso é a necessidade de remendos (figura 53) ou cortes (figura 54) durante a montagem, o que atrasa bastante o cronograma. Podemos ter ainda dificuldades de aperto referentes à escolha errada de parafusos. O projetista pode utilizar um parafuso com fuste muito pequeno, de forma que a porca não consiga entrar totalmente na rosca do parafuso, ou ainda um com fuste muito longo, de maneira que o montador simplesmente não consiga encaixar o parafuso, a arruela ou a porca por falta de espaço devido à interferência com outros elementos.



Figura 53 - Erro de projeto: comprimento insuficiente – BETINELI¹², ZACARIAS⁵⁵



Figura 54 - Erro de projeto: comprimento excessivo – BETINELI¹², ZACARIAS⁵⁵

d) Erros de fabricação e montagem

São erros causados por problemas durante a fabricação dos elementos estruturais.

d.1) Diâmetro errado do furo ou do parafuso

Um dos problemas mais comuns de ocorrer é a incompatibilidade entre o diâmetro dos parafusos e o dos furos. Seja por erro ou mudanças no projeto, a ocorrência deste problema torna-se uma problema para os montadores, que têm que alargar furos pequenos no caso de estes terem sido executados com um diâmetro menor, ou utilizar parafusos de maior diâmetro no caso dos mesmos terem ficado maiores do que o previsto. Em qualquer situação, a verificação da ligação de acordo com a mudança tem de ser refeita e, se necessário, deve-se providenciar um reforço adequado. A NBR 8800/86⁰⁸, no item 7.3.4, tabela 16, apresenta uma relação entre o diâmetro do parafuso e o respectivo furo necessário para a sua perfeita acomodação.

d.2) Parafuso incompatível com a ligação

Outro problema que pode ocorrer é a troca do tipo de parafusos a ser utilizados em uma ligação. A NBR 8800/86⁰⁸ estabelece no item 7.1.10 os critérios para utilização de parafusos de alta resistência em determinados tipos de ligações. Estes podem ser substituídos pelos comuns (mais baratos) com grande risco estrutural.

d.3) Erros na locação dos furos durante a fabricação

Outro erro muito comum é a locação errada do furo durante a traçagem (figura 55). É um erro que ocorre principalmente em empresas que não possuem equipamentos automáticos de furação. Nestas os furos são feitos por sistema de traçagem, ou seja, o



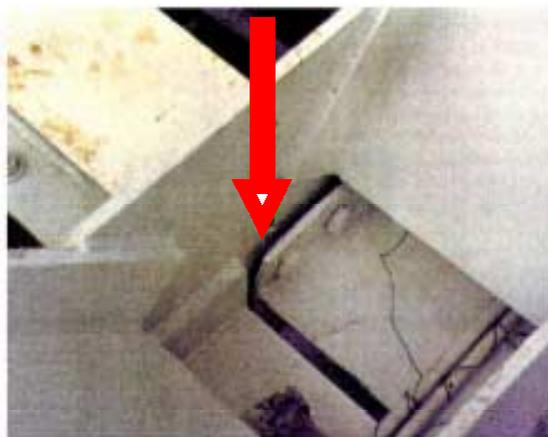
próprio homem através do uso de trenas e riscadores, marca a

Figura 55 - Parafuso "torto" devido a erro na locação do furo – BETINELI¹², ZACARIAS⁵⁵

posição dos furos nas peças e usa um equipamento manual de furação. É claro que este sistema está suscetível a todo tipo de falha humana, independente de um projeto bem elaborado.

d.4) Falta de aperto ou aperto inadequado de parafusos

Os parafusos podem ser projetados para trabalharem por contato ou por atrito. Para isso a NBR 8800/86⁰⁸, item 7.7.4, estabelece condições mínimas de aperto em cada caso. Porém, por falha durante a montagem, alguns parafusos podem ficar frouxos, comprometendo seriamente a segurança



da estrutura (figura 56).

Figura 56 - Parafusos mal apertados – SANTOS⁶²

3.6.6. Recomendações de norma

A necessidade de se conhecer o material que compõem a solda e os parafusos se deve ao fato de algumas combinações serem incompatíveis entre si ou não estarem de

acordo com as recomendações de utilização da norma. Assim, temos uma relação de parafusos e soldas e suas respectivas características e propriedades que devem ser consideradas na hora da execução do projeto e da estrutura:

3.6.6.1. Parafusos

Os parafusos são meios de ligação que têm sua utilização preferencial quando se trata de conexões em campo. Sua principal desvantagem é que este tipo de ligação não proporciona uma continuidade física ao material, além de alterar a seção transversal dos perfis e elementos de ligação. Os tipos de solicitações a que estão submetidos são: tração, cisalhamento e tração combinada com cisalhamento. Os principais tipos de parafusos utilizados nas estruturas metálicas de edifícios são:

Parafusos comuns

ASTM A307 – São fabricados a partir de barras redondas laminadas de aço, normalmente o aço ASTM A307. No Brasil, além do A307 ainda se utiliza também os aços de qualidade comum SAE 1010 a 1020. São parafusos de baixa resistência mecânica, utilizados em estruturas leves, elementos secundários, plataformas, passadiços, terças, vigas de tapamento, pequenas treliças, etc. As cargas são de pequena intensidade e de natureza estática. As ligações com parafusos comuns são sempre consideradas como ligações por contato nas quais os mesmos são solicitados a esforços de cisalhamento e/ou tração.

Parafusos de alta resistência

ASTM A325 e A490 – Sua fabricação é feita a partir dos aços A325 e A490. São caracterizados por sua alta resistência mecânica. A NBR 8800/86, no item 7.1.10, estabelece as seguintes condições para que sejam utilizados estes tipos de parafusos:

- i. Ligações de vigas e treliças das quais depende o sistema de contraventamento, ligações de vigas e treliças com pilares e emendas de pilares, nas estruturas com mais de 20 metros de altura;
- ii. ligações e emendas de treliças de cobertura, ligações de treliças com pilares, emendas

- de pilares, ligações de contraventamento de pilares, ligações de mãos francesas ou mísulas usadas para reforços de pórticos, e ligações de peças suportes de pontes rolantes, nas estruturas com pontes rolantes com capacidade superior a 50 kN;
- iii. emendas de pilares nas estruturas com menos de 30 metros de altura, caso a menor dimensão horizontal da estrutura seja inferior a 20% da altura;
 - iv. ligações de peças suportes de maquinário ou peças sujeitas a impactos ou cargas cíclicas;
 - v. qualquer outra ligação que for especificada nos desenhos da estrutura.

O MANUAL BRASILEIRO PARA CÁLCULO DE ESTRUTURAS METÁLICAS⁴⁶ recomenda que as ligações acima especificadas sejam projetadas como ligações por contato, normalmente em cargas estáticas e não reversíveis. A ligação por atrito é recomendada apenas nos casos em que o deslizamento seja altamente prejudicial ou quando as ligações estiverem sujeitas a forças repetitivas (cargas dinâmicas) com reversão de sinal (NBR 8800/86⁰⁸ – item 7.7.1.2). Por isso, neste tipo de ligação, existe a necessidade de se contar com uma equipe de trabalho capacitada para a execução do serviço de parafusagem. Para tanto, a NBR 8800/86 estabelece em seu item 7.7.4 formas de controle de aperto de parafusos para que a suposição de cálculo dos parafusos por atrito tenha sido executada corretamente na obra.

Barras rosqueadas

ASTM A36, A490, A588 e SAE 1010 – Assim como os demais parafusos, as barras rosqueadas são feitas diretamente a partir de barras de aço dos materiais anteriormente especificados. São utilizadas na execução dos chumbadores e contraventamentos, apenas se fazendo as roscas e alguns serviços de dobramento para se executar as fundações.

3.6.6.2. Soldas

As soldas são meios de ligação empregados na fabricação das estruturas, de preferência ainda na oficina. São basicamente utilizadas na pré-montagem das estruturas. Podem estar submetidas além de tração, cisalhamento e tração combinada com cisalhamento, também a esforços de compressão, flexão e torção. Elas garantem uma união

muito mais rígida e também mais econômica que as ligações parafusadas, porém requerem um controle de qualidade maior que os parafusos.

Na construção civil utilizam-se basicamente os processos de soldagem a arco elétrico: eletrodos revestidos, proteção gasosa (MIG / MAG) e arco submerso. Outros processos como soldagem a gás, TIG, brasagem, resistência, laser, feixe de elétrons e outros não encontram aplicação nesse campo por razões como rendimento, custo, aplicação e praticidade, mesmo sendo, em alguns casos, processos mais eficientes. Os tipos de solda mais utilizados podem ser: filete, entalhe ou chanfro, ranhura e tampão. A mais usada é a solda de filete (para cargas de pouca intensidade é a mais econômica devido à pouca preparação do material base). Para cargas de maior intensidade, as soldas de entalhe, de penetração parcial ou total, são mais aconselháveis por possuírem resistências bastante elevadas com menor volume de solda, sendo, no caso de penetração total, superior ao do metal base, desde que o metal de solda seja compatível. O uso da solda de ranhura está limitado a casos especiais, onde a solda de filete ou entalhe não são práticas.

A escolha dos eletrodos e da técnica de soldagem é imperativa na obtenção da qualidade desejada. A escolha inadequada de um eletrodo de solda pode comprometer seriamente as estruturas em que ele foi utilizado em função de uma não compatibilidade com o metal base. A determinação do tipo de aço a ser utilizado em um projeto deve acontecer em função de fatores como localização, umidade, chuva, poluentes, cloretos e outros. Conseqüentemente, todas as demais características de projeto – inclusive a escolha dos eletrodos e da técnica de soldagem - devem ser função do tipo de aço escolhido para ser utilizado na estrutura. A tabela 12 apresenta uma relação entre o metal base e o seu respectivo metal de solda compatível.

Tabela 12 – Eletrodos para soldagem a arco elétrico

| Metal base | | Metal da solda compatível | | |
|------------|-------------------|--|-------------------------|-----------------------------------|
| ASTM | | Arco elétrico com eletrodo revestido | Arco submerso | Arco elétrico com proteção gasosa |
| Grupo I | A36 | AWS A5.1 ou A5.5 E60XX ou E70XX | AWS A5.17 ou | AWS A5.18 ER70S-X |
| | A570 Grau 40 | | A5.23 | |
| | A570 Grau 45 | | F6X-EXXX ou F7X-EXXX | |
| Grupo II | A242 | AWS A5.1 ou A5.5 E7015, E7016 E7018, E7020 | AWS A5.17 ou | AWS A5.18 ER70S-X |
| | A441 | | A5.23 | |
| | A572 Grau 42 | | E7X-EXXX | |
| | A572 Grau 50 | | | |
| | A588 (t ≤ 100 mm) | | | |

OKUMURA⁵¹

3.7. FALHA ESTRUTURAL

Segundo ASSIS⁰⁵, não se conhece nenhum caso de colapso de edifício comercial ou residencial estruturados em aço no Brasil. De acordo com BLESSMAN¹³, mesmo quando analisados em âmbito mundial são raros os casos de acidentes, e ainda assim são provocados por fenômenos naturais violentos como furacões, terremotos e outros. Entretanto, quando se trata de edifícios leves (galpões, hangares, coberturas, pavilhões, etc.), as estatísticas já se tornam bastante assustadoras. Mas quais são os motivos pelo quais se encontram tantos casos destes edifícios que entram em colapso?

A resposta é simples: no Brasil, o principal carregamento a que uma estrutura metálica está submetido é o efeito do vento. Nem o peso próprio, nem a sobrecarga conseguem alcançar uma intensidade equivalente à intensidade do vento. As falhas devido a ação estática do vento podem ser analisadas sob dois aspectos: aerodinâmico e estruturais.

3.7.1. Acidentes aerodinâmicos

Do ponto de vista aerodinâmico os acidentes acontecem por um ou mais dos

seguintes fatores: coeficientes aerodinâmicos, velocidade do vento, pressão interna e objetos lançados pelo vento.

a) Coeficientes aerodinâmicos

Ao projetar uma edificação, os coeficientes aerodinâmicos devem ser levados em consideração. Uma estrutura sujeita à rajada de vento causa diversos pontos de sucção e sobrepressão, com intensidades bastante diversificadas nos diversos pontos da edificação. Estruturas projetadas com valores dos coeficientes subestimados devem ser reforçadas.

A NBR 6123 / 88⁰⁷, item 6.1.2, estabelece zonas especiais de sucção em determinadas regiões da edificação – normalmente nas bordas e próximos à cumeeira - onde o valor dos coeficientes supera em muito o valor utilizado no cálculo estrutural. Se isso não for observado o dimensionamento dos elementos estruturais (ganchos de fixação das telhas, terças, tesouras, etc) será inferior ao valor real da força de sucção, e o arrancamento destas nesta região será inevitável (figura 57).



Figura 57 - Falha por insuficiência de parafusos de fixação das telhas sobre as terças

b) Velocidade do vento

No Brasil a NBR 6123 / 88 apresenta no item 5.1, figura 1 um gráfico de isopletras onde a velocidade máxima do vento, para uma rajada de três segundos, a dez metros do solo, varia entre 30 e 50 m/s. Apesar de serem valores exaustivamente testados e

processados do ponto de vista estatístico, nada impede que num determinado local possam aparecer velocidades que excedam tais valores, pois eles foram baseados em uma estimativa de ocorrência de uma vez a cada 50 anos – que é aproximadamente a vida útil das edificações atualmente. Esta ainda depende de outros fatores tais como condições topográficas locais (Fator S1), rugosidade superficial e dimensões da edificação (fator S2), e ainda os fatores probabilísticos (fator S3).

O vento é um fenômeno natural de ação imprevisível. A melhor forma de se prevenir contra um possível vento que ultrapasse tais limites é “não prevenir”. Devido ao aspecto estatístico, muitas vezes é mais interessante se fazer um seguro para a obra do que projetá-la para resistir a um vento com velocidade máxima muito além da prevista em norma. O valor a ser gasto em um projeto mais robusto supera em muito o valor do seguro. A exceção fica por conta de obras especiais, como pontes, túneis, usinas nucleares, usinas hidroelétricas e outras onde a necessidade de segurança impõe coeficientes de proteção hiper dimensionados (figura 58).

c) Pressão interna

Em estruturas com grandes vãos internos a consideração da pressão interna torna-se de grande importância. Principalmente porque algumas normas mais antigas estabelecem valores bem abaixo dos reais. Para se prevenir este tipo de problema (figura 59) deve-se procurar



Figura 58 - Estrago causado pela pressão do vento



Figura 59 - Falha do fechamento em ponto de alto coeficiente de pressão interna

evitar que tal fenômeno aconteça no interior da edificação. Isso é conseguido através de aberturas, de emergência ou permanentes, nas zonas de sucção.

d) Objetos lançados pelo vento

Quando o vento alcança altas velocidades de deslocamento, começa a levar consigo diversos objetos que podem constituir projéteis perigosos, principalmente as telhas metálicas e de fibrocimento. A quebra de vidros em fachadas acontece em grande parte devido a estes objetos. Além disso vários outros objetos também podem se tornar projéteis, tais como fragmentos de vidros, esquadrias, portas, galhos de árvores, arbustos e até animais pequenos. É um fenômeno comum em fenômenos de alta turbulência atmosférica como tempestades e furacões.

3.8. PERDA DE ESTABILIDADE ESTRUTURAL

Existem diversas formas de perda de estabilidade no caso de acidentes estruturais. A NBR 8800 / 86 estabelece diversos estados limites pelos quais uma edificação estruturada em aço pode entrar em colapso:

- i. Perda de equilíbrio;
- ii. ruptura por qualquer tipo de sollicitação;
- iii. instabilidade total ou parcial;
- iv. flambagem global de barras;
- v. flambagem local de elementos de barras.

O principal agente solicitante de uma estrutura metálica no Brasil é o vento. Este, juntamente com os demais esforços, produzem na estrutura esforços solicitantes que devem ser resistidos pelos seus diversos

elementos estruturais. Porém, nem sempre isso ocorre como planejado, surgindo então falhas localizadas (figura 60) ou globais que prejudicam as atividades desenvolvidas no local. As principais origens de falhas que ocorrem em uma estrutura metálica são as



Figura 60 - Exemplo de falha por perda de estabilidade – BETINELI¹², ZACARIAS⁵⁵

seguintes:

a) Falhas de concepção e projeto

Nas estruturas de concreto, verifica-se que é durante a etapa de elaboração dos projetos que surgem grande parte dos erros que dão origem a inúmeros problemas patológicos. Este fato também é muito constatado nas estruturas de aço, principalmente porque o projeto em aço normalmente possui um grande número de detalhes, e todos com precisão milimétrica. Os problemas mais comuns que ocorrem nesta etapa são:

- i. Ausência de elementos estruturais responsáveis pela estabilidade estrutural – contraventamentos (figura 61), mãos francesas, enrijecedores, conectores de cisalhamento, etc;
- ii. falta de ancoragem: seja das telhas sobre as terças, das terças sobre as tesouras, das tesouras sobre a estrutura do pórtico, independente de ser em aço ou concreto, seja do pórtico sobre os blocos de fundação, etc (figura 62);
- iii. dimensionamento insuficiente: levando a estrutura, ou alguns de seus elementos, à ruína antes de atingirem a carga de projeto (figura 60);
- iv. fundações inadequadas: dimensões insuficientes para resistir aos momentos, ruína dos parafusos devido à força cortante, dimensionamento insuficiente para resistir à força ascensional causadas pelas altas sucções que aparecem em certos tipos de coberturas;
- v. deformabilidade excessiva: uma estrutura muito deformável pode causar fissuras em paredes e danos nas esquadrias ou painéis de vidro. As deformações podem ser por flexão, cisalhamento ou torção. A NBR 8800 / 86 apresenta no anexo C uma tabela com os valores máximos recomendados para deformações de edifícios.

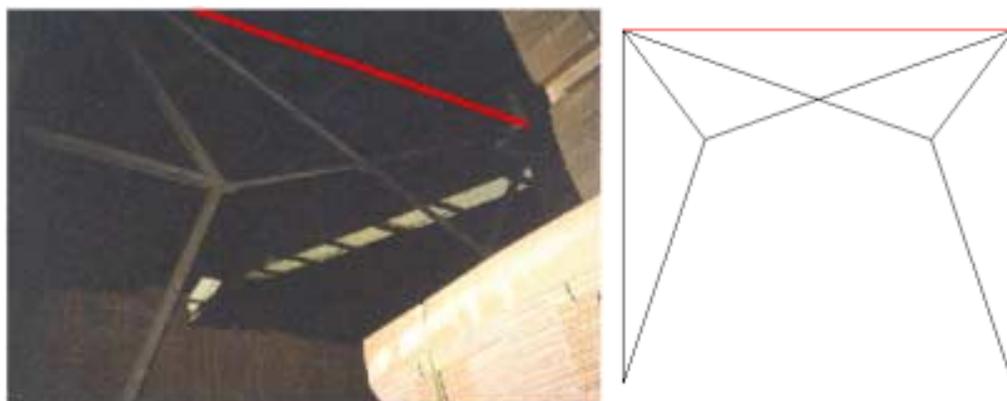


Figura 61 - Falha de concepção - ausência de um elemento do contraventamento em "K" (em vermelho)



Figura 62 - Base de coluna faltando os chumbadores e com dimensões incorretas do bloco de concreto – SANTOS⁶²

b) Falhas nos processos e detalhes construtivos

São falhas que podem causar desde a redução da durabilidade da obra até o risco de colapso durante a construção. A concepção da estrutura pode até ser estaticamente estável, porém se durante a realização dos projetos estruturais e também durante a fabricação dos perfis não tivermos uma correspondência com o que foi concebido, poderemos ter graves problemas de estabilidade estrutural. Além disso, outros problemas como detalhes de

fabricação, acúmulo de água e detritos, escolha errada de materiais, montagem errada dos perfis e outros também podem prejudicar seriamente o desempenho da construção. A falta de planejamento durante a montagem da estrutura também é um outro grande fator de risco, pois, se a estrutura não estiver devidamente estabilizada, o risco de colapso devido à ação do vento é muito grande.

c) Falhas ou ausência de manutenção preventiva

A manutenção em qualquer tipo de edificação é imperativa para que a vida útil seja prolongada o maior tempo possível. Além disso, por serem fenômenos evolutivos, quanto maior o tempo até a intervenção, maior será o custo de manutenção. Por exemplo, a vida útil das tintas utilizadas no revestimento da estrutura varia de 3 a 10 anos conforme o tipo. Após este tempo é preciso que ocorra uma repintura da estrutura pois o revestimento protetor começa a apresentar falhas, dando início a processos corrosivos. A manutenção corretiva implica sempre em custos bem mais altos pois chega a comprometer a edificação, diminuindo sua vida útil.

d) Materiais de má qualidade ou utilização inadequada

É a velha questão da economia a qualquer custo. Nem sempre o material mais barato possui a melhor relação custo/benefício. Ao se projetar uma edificação para uma determinada vida útil, é de se esperar que os elementos que irão compor o edifício também acompanhem este planejamento, com o mínimo de manutenção. Os fornecedores devem ser idôneos e, se possível, devem possuir certificados de qualidade garantindo as características daquele produto. A utilização de materiais de procedência duvidosa pode provocar desde uma deterioração precoce até a redução na vida útil da estrutura.

Outra preocupação é a correta aplicação de um material. Nem sempre os materiais mais baratos ou mais caros são compatíveis com os demais elementos construtivos ou condições de uso. Por exemplo, é muito comum a aplicação de tintas alquídicas ou epoxídicas em estruturas aparentes. Estas, apesar de todas suas qualidades, são um tipo de tinta que se deteriora quando exposta à radiação solar e o resultado é a perda de brilho e desbotamento de sua cor.

e) Mudança de atividades ou alterações ambientais

A transformação de edificações que foram concebidas para um determinado tipo de atividades e depois tem seu uso modificado para outro fim é prejudicial quando se alteram os carregamentos previstos no projeto original, ou quando as novas atividades implicarem em mudança ambientais significativas (aumento de umidade, poluentes, produtos químicos, poeira em suspensão, vibrações excessivas, etc) sem a respectiva adequação da estrutura. A utilização indevida da estrutura é uma situação mais difícil de acontecer, porém não deve ser descartada. O mais comum é a transformação do ambiente ao redor do edifício original alterando as características ambientais.

3.8.1. Modos de perda de estabilidade dos perfis estruturais

Os perfis metálicos possuem um modo particular de apresentar instabilidade estrutural quando submetidos aos diversos tipos de solicitação estrutural. Apesar de estarem submetidos aos mesmos esforços estáticos que qualquer outro tipo de estrutura, o mecanismo de resistência mecânica é diferenciado. Isso se deve a alguns fatores como propriedades do aço, forma geométrica, concepção estrutural, interação com os demais elementos construtivos e outros.

Não existem muitas semelhanças entre o fenômeno de falha estrutural que ocorre em estruturas metálicas e as estruturas de concreto. Até mesmo o mecanismo desta falha é diferente, pois nas estruturas metálicas a falha estrutural na maioria dos casos ocorre por flambagem localizada, enquanto que no concreto o normal é a ocorrência de fissuras, flambagem global ou o esmagamento do próprio concreto.

Procuramos apresentar aqui os vários tipos de instabilidades estruturais de perfis metálicos de forma a identificar a sua ocorrência em eventuais situações de falhas de estruturas. Dos muitos modos que um perfil metálico pode falhar, vamos abordar dois neste trabalho: falhas devido a esforços de flexão e falhas devido a esforços cisalhantes. As falhas por deformação excessiva serão abordadas no próximo capítulo por não representarem um potencial de colapso estrutural e sim por estarem relacionadas com problemas construtivos.

a) Falhas devido a esforços de flexão

A NBR 8800/86⁰⁸ estabelece nos itens 5.4 e 5.5 o dimensionamento de barras metálicas à flexão e nos anexos D e F o dimensionamento de vigas à flexão. De acordo com tais itens, os perfis metálicos podem apresentar cinco maneiras distintas de instabilidade quando submetida a momento fletor:

- i. escoamento;
- ii. flambagem local da mesa;
- iii. flambagem local da alma;
- iv. flambagem lateral com torção;
- v. falha por cisalhamento.

a.1) Falha por plastificação

A plastificação é um fenômeno que ocorre em qualquer perfil submetido a tensões de tração acima do seu limite de escoamento. Pode acontecer em qualquer tipo de elemento estrutural submetido a tensões de tração (pendurais, treliças, barras fletidas e ligações em geral). Porém, quando se trata de flexão, este fenômeno se aplica principalmente no caso de vigas mistas. O concreto solidarizado com a viga metálica forma um conjunto de resistência muito superior do que se fosse considerada somente a viga metálica isolada, além de travar toda a mesa comprimida. Desta forma a linha neutra desloca-se do centro da viga para perto ou dentro da laje de concreto, aumentando consideravelmente o campo de tração na mesa inferior, que é onde ocorre o escoamento (figura 63). Este fenômeno poderá levar a viga a adquirir uma deformação permanente ou ainda ao colapso.

Em resistência dos materiais aprendemos que quando o aço escoar, ocorre um processo de estriccionamento da seção transversal. Contudo a visualização deste fenômeno na viga metálica é de difícil observação. A melhor maneira de percebê-lo é avaliar o carregamento estático e medir as deformações sofridas pela viga. Caso se conclua que o dimensionamento tenha sido insuficiente, o melhor a fazer é reforçar a estrutura existente ou substituí-la por outra mais robusta.

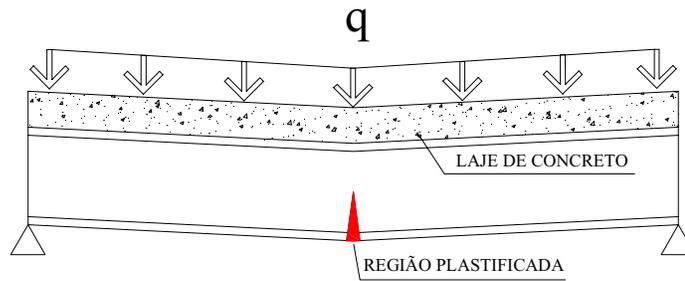


Figura 63 - Exemplo de falha por escoamento em viga mista

a.2) Falha por flambagem local da mesa

A flambagem localizada da mesa é um fenômeno vinculado a perfis de aço submetidos a flexão cuja região comprimida apresente uma seção transversal em forma de T ou L (perfis I, H, U, T e caixão), normalmente em vigas de aço simples (vigas não mista) ou sem contenção lateral. Perfis de aço submetidos a tensões de compressão apresentam problemas de instabilidade localizada por causa da sua natureza intrínseca. Na flexão, o diagrama de tensões apresenta uma parcela significativa de compressão a ser resistida pela mesa de aço. Na região de maior momento fletor teremos também a maior tensão de compressão, onde deverão ocorrer fenômenos de instabilidade local na mesa devido à flexão. Estes fenômenos são visíveis através da formação de ondulações (figura 64) na mesa comprimida. Sua recuperação também implica no reforço ou substituição da viga afetada.

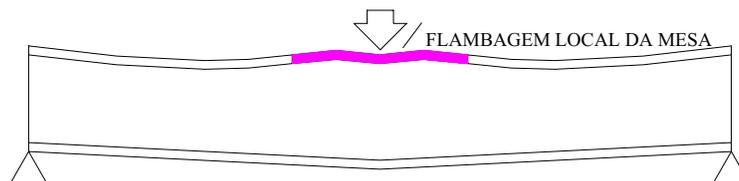


Figura 64 - Flambagem local da mesa

a.3) Falha por flambagem local da alma

A flambagem localizada da alma é um fenômeno semelhante à flambagem localizada da mesa, porém acontecendo na alma do perfil. Ela ocorre nos mesmos perfis que possam apresentar flambagem local da mesa pois a condição para a sua ocorrência é a mesma, ou seja, seção transversal T ou L (perfis I, H, U, T e caixão) submetida a tensões de compressão. O colapso da alma acontece através de uma torção localizada de forma a deformá-la do eixo da viga (figura 65). Ela é causada devido às tensões normais de compressão, provocadas por flexão, na alma dos perfis. Não deve ser confundida com a flambagem lateral por torção.

Segundo a NBR 8800/86⁰⁸, anexo D, a flambagem local da alma só deve ser verificada no caso de termos vigas não esbeltas. Para os demais casos, ela não é predominante e fica automaticamente atendida ao serem verificadas a flambagem local da mesa e a flambagem lateral com torção. A solução, assim como nos demais casos, é o reforço ou substituição do perfil.

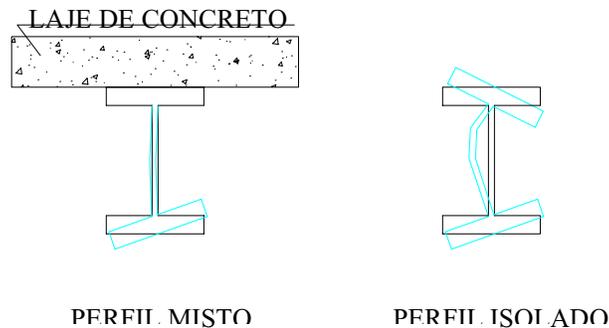


Figura 65 - Flambagem local da alma (em corte)

a.4) Flambagem lateral por torção

A flambagem lateral por torção se caracteriza por um completo deslocamento do eixo da viga em relação ao plano de carregamento (figura 66). É causada por uma combinação de flexão lateral (normal ao plano de carregamento) e por torção. Ela acontece basicamente em perfis flexionados que não possuam nenhum tipo de restrição no ponto de

maior momento fletor. É um caso mais difícil de ocorrer porque na prática é muito difícil encontrarmos uma viga metálica em edificações que estejam carregadas e não possuam nenhum tipo de contenção lateral (laje, terças, mãos francesas, passadiços, etc.). Caso ocorra este tipo de instabilidade, a solução é o reforço ou substituição do perfil.

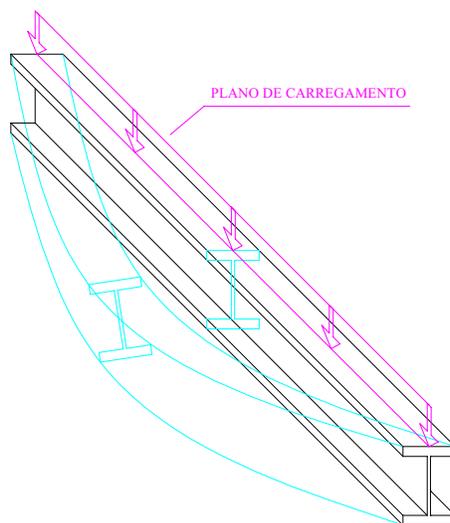


Figura 66 - Flambagem lateral por torção

a.5) Falhas devido ao esforço cortante

A NBR 8800/86⁰⁸ estabelece no item 5.5 o dimensionamento de barras metálicas à esforço cortante. A falha por cisalhamento é uma idealização de um modo de colapso da viga onde as seções transversais escoam umas em relação as outras. Há uma tendência para vigas curtas falharem dessa maneira, mas na maioria das situações o que ocorre é a falha por um outro mecanismo: a resultante formada devido ao cisalhamento vertical e horizontal (figura 67).

A resistência dos materiais nos mostra que, internamente, existem dois componentes de cisalhamento atuando em uma viga, um vertical e outro horizontal. Esse comportamento natural do elemento estrutural possui um limite de resistência para manter a viga estável em relação a estes esforços. Quando este limite é excedido, a viga entra em uma forma particular de colapso: a formação de bulbos inclinados na alma do perfil. Este fenômeno ocorre devido à pós-flambagem. Em um ponto qualquer solicitado ao cisalhamento puro ter-se-á tensões principais de tração e compressão (ver detalhe na figura

67). Na ocorrência desse fenômeno, a solução é a substituição do perfil (no caso de vigas esbeltas), pois o comprometimento da peça é muito grande.

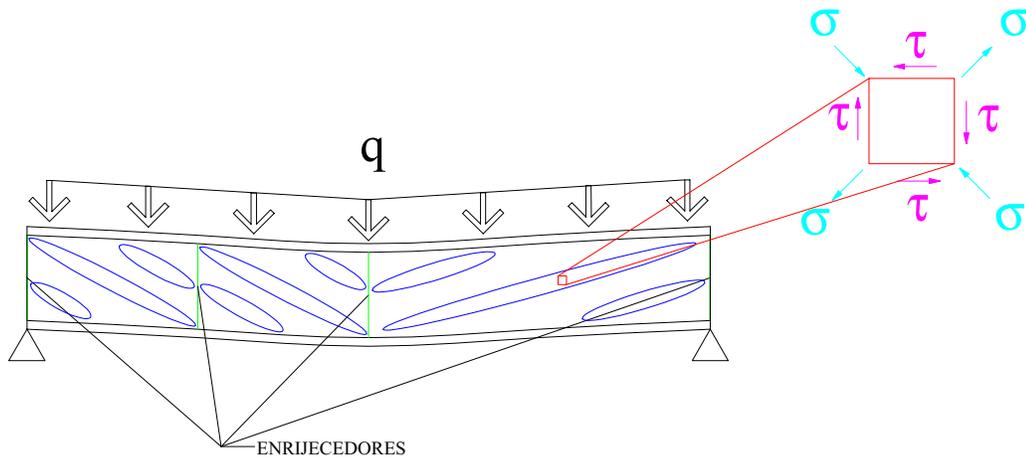


Figura 67 - Falha da viga por esforço cortante

b) Falha por enrugamento da alma

A falha por enrugamento da alma ocorre quando temos uma grande carga concentrada apoiada sobre um perfil estrutural I, H ou caixão (figura 67). O escoamento localizado, provocado por altas tensões de compressão que ocorre na vizinhança de cargas concentradas. É um fenômeno que está mais relacionado a vigas metálicas que estejam suportando o carregamento de uma coluna (viga de transição) ou algum equipamento de levantamento de carga (ponte rolante). A NBR 8800/86⁰⁸ estabelece no item 5.7 critérios de resistência para barras sujeitas a cargas locais. Este fenômeno é facilmente identificável porque ele acontece justamente no local de aplicação da carga. Neste caso temos que substituir o perfil.

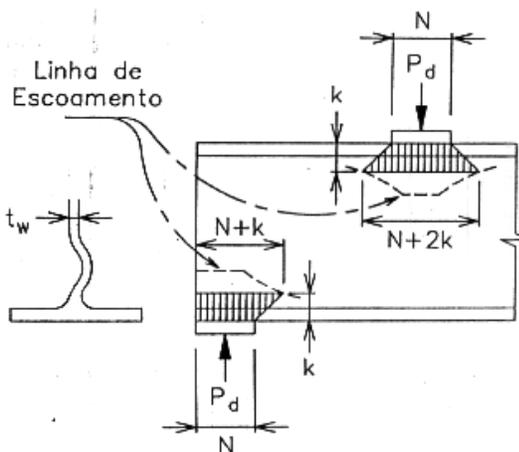


Figura 68 - Efeito de carga localizada – ANDRADE⁰³

c) Modos de falha em elementos submetidos a esforço normal de compressão

São elementos encontrados normalmente em colunas, barras comprimidas de treliças, contraventamentos e estabilizadores. A distribuição de tensões pode ser constante (elementos axialmente comprimidos, por exemplo em treliças) ou variável (elementos submetidos a flexo-compressão, como por exemplo colunas em geral). As seções mais usadas neste tipo de elementos são: I, H, U, L ou seções compostas (soldadas, laminadas ou perfis leves).

A falha de uma barra comprimida é caracterizado por fenômenos de flambagem, que ocorrem antes de ser atingida a resistência total da barra. Dificilmente teremos uma situação em que as barras comprimidas cheguem a atingir as tensões de escoamento. Por flambagem podemos ter as seguintes formas de falha:

- i. Flambagem global;
- ii. flambagem localizada dos elementos não enrijecidos;
- iii. flambagem localizada dos elementos enrijecidos.

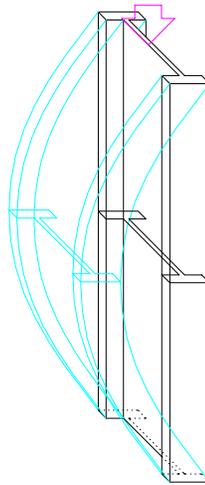
c.1) Falha por flambagem global

Em elementos comprimidos axialmente ou excêntricamente, o colapso por flambagem global é caracterizado por uma deformação do eixo do elemento comprimido

em relação ao eixo de carregamento (figura 69). O modo exato de falha depende muito do modo no qual as tensões se distribuem na seção transversal do elemento. Podemos ter várias circunstâncias, como tipo de apoio ou restrições laterais que podem fazer o elemento assumir uma outra forma de colapso por flambagem.

Normalmente, estes entram em colapso por flambagem global, devido a carregamentos excêntricos. Colunas relativamente esbeltas têm maior tendência de apresentar este tipo de ruína, e o normal é que esta se curve em torno do seu eixo de menor inércia. A NBR 8800/86⁰⁸, no item 5.6, estabelece critérios para dimensionamento de barras submetidas a flexo-compressão que caracterizam bem este tipo de situação.

O colapso de colunas é extremamente prejudicial pois implica em grandes prejuízos, além de colocar em risco as pessoas que utilizam o local. Colunas mal dimensionadas devem ser reforçadas ou substituídas para evitar tal acontecimento.



**Figura 69 - Falha de coluna por flambagem global
(ocorre também por torção pura ou flexo-torção)**

c.2) Falha por flambagem local

O colapso por flambagem local em elementos comprimidos é semelhante ao que ocorre em elementos submetidos à flexão. Nestes, o colapso por flambagem ocorre devido a existência de tensões de compressão atuando em uma determinada região da seção transversal do perfil, porém neste caso temos que as tensões de compressão atuam

basicamente em toda a superfície da seção transversal (dependendo da excentricidade da carga, podemos ter ainda tensões de tração em algumas regiões da seção transversal).

A flambagem local pode acontecer tanto em elementos não enrijecidos (figura 70) como em elementos enrijecidos (figura 71). Ela ocorre quando um ou mais elementos da seção transversal perdem sua forma plana, apresentando ondulações ou enrugamentos localizados. O item 5.3 e 5.6 da NBR 8800/86⁰⁸ apresenta o método de dimensionamento de elementos comprimidos axialmente e elementos submetidos a tensões combinadas.

A ocorrência deste tipo de ruína pode ocasionar sérios prejuízos e riscos para os ocupantes da edificação. Também no caso de subdimensionamento, existe a necessidade de haver reforço ou substituição do elemento comprometido.

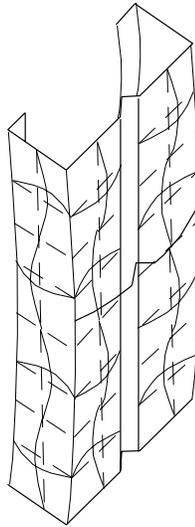


Figura 70 – Falha de coluna por flambagem local da mesa

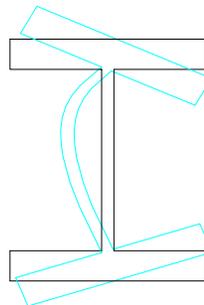


Figura 71 - Falha de coluna por flambagem local da alma

CAPÍTULO IV.

4. PATOLOGIAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Este capítulo visa apresentar um novo ponto de vista dos problemas patológicos dos edifícios estruturados em aço: a patologia do sistema construtivo. Neste trabalho entende-se como sistema construtivo todas as fases de construção de uma edificação em aço, desde o término da montagem da estrutura metálica até a entrega da obra pronta, incluindo também a infra-estrutura básica (instalação do canteiro de obra, fundações, etc.) necessária para esta montagem.

No capítulo anterior foram analisados os problemas específicos do aço, porém a edificação como produto final não foi enfocada. Além dos problemas apresentados, a edificação em aço também apresenta problemas de natureza construtiva. Alguns possuem inclusive mecanismos de ocorrência bastante semelhantes àqueles já estudados para os edifícios de concreto armado, como descolamentos, fissuras, etc. Outros são específicos de edifícios em aço, pois as suas causas normalmente estão vinculadas a propriedades específicas do aço. Em qualquer um deles procurou-se sempre determinar os seus mecanismos de ocorrência desde que estivessem vinculados à estrutura de aço.

A construção em aço no Brasil apresenta um aspecto pouco difundido entre os profissionais que trabalham na área: a tecnologia do sistema construtivo. Como somente a partir da década de 80 houve uma maior demanda por edificações comerciais e residenciais em aço, o desenvolvimento de tecnologia para este sistema estrutural ficou relegado a um segundo plano.

Inicialmente foi adotado o mesmo sistema utilizado nas edificações em concreto armado, ou seja, a utilização de laje maciça, alvenaria de tijolos cerâmicos, etc. Verificou-

se que nem sempre estes elementos apresentavam o desempenho esperado, de forma que a ocorrência de problemas patológicos causava desconforto ou insegurança para os usuários daquela edificação. As causas de tais problemas eram difíceis de serem avaliadas, porque, normalmente, o fiscal não possuía um bom conhecimento sobre estrutura metálica e seu comportamento para poder avaliar com precisão o fenômeno. Além disso, as pesquisas sobre patologias das edificações estava em um estágio inicial de difusão dentro dos meios técnicos.

A busca de tecnologia estrangeira para a resolução destes problemas esbarrava em outro: esta era relativamente incompatível, e mais cara, em relação aos sistemas adotados no Brasil. Estes possuem um sistema construtivo altamente industrializado, com trabalhadores bem formados e alta utilização de elementos pré fabricados, além de uma concepção arquitetônica diferente da nossa. Essa diferença ocorre devido a fatores como condições climáticas e incidências de fenômenos naturais como terremotos e furacões.

Foi então preciso desenvolver uma tecnologia própria para adaptar o aço ao tipo de construção civil empregada em nosso país, e isso sem estar necessariamente acompanhado de pesquisas. Constatou-se que existe pouquíssima bibliografia específica abordando tal assunto. A maioria dos profissionais que lidam com tais problemas relatam que o seu conhecimento sobre o assunto foi adquirido na prática em campo, sem uma abordagem científica sistemática que corroborasse tais conhecimentos. Ainda assim existem certas divergências entre estes quanto aos melhores processos a serem adotados para cada caso específico.

Atualmente existe uma maior disponibilidade de produtos industrializados. Porém, por uma questão comercial, os fabricantes destes fazem questão de ressaltar apenas as vantagens e qualidades de cada um, sem necessariamente apresentar situações em que sua utilização seja realmente a mais indicada ou contra-indicada. A utilização inadequada de um produto pode ser tão prejudicial quanto a adoção de um produto de baixa qualidade. O prejuízo no desempenho da edificação é certo.

Propriedades críticas dos materiais de construção

Segundo EICHLER²⁶, o conhecimento das características físicas dos principais materiais de construção e isolamento são tão importantes quanto o domínio do cálculo estrutural. Dificilmente podemos desprezar estas propriedades, pois de nada adianta uma

concepção adequada e dimensionamento estrutural estável se a interação com os demais elementos construtivos não for possível. Além disso, o resultado dos cálculos só pode ter aceitação se houver um profundo conhecimento da estrutura física dos materiais para haver uma perfeita compatibilização com o elemento estrutural. Existem certas propriedades dos materiais que são interessantes porque afetam as propriedades físicas da construção. Entre elas, as mais importantes são:

- i. Propriedades isolantes de condutibilidade ou de inércia térmica;
- ii. velocidade de absorção da umidade;
- iii. capacidade para uma rápida dissipação da umidade e de secamento;
- iv. capacidade higroscópica dos materiais;
- v. inalterabilidade estrutural do material ante a presença de umidade;
- vi. inalterabilidade de forma e volume ante mudança de temperatura e de umidade;
- vii. comportamento do material diante de temperaturas extremas, más condições de ventilação, mudanças rápidas de temperatura e exposição aos raios solares;
- viii. conservação ou variação das propriedades ante a influencia da umidade ou temperatura;
- ix. resistência à corrosão ou alteração das propriedades;
- x. propriedades eletrolíticas nos metais;
- xi. envelhecimento pelo tempo ou por influências atmosféricas.

Para os metais temos as seguintes características que são relativamente importantes na determinação dos problemas:

- i. Todas as placas de metal esquentam rapidamente pelo efeito da radiação solar, e segundo o tipo de metal, cada um possui diferentes coeficientes de dilatação;
- ii. todas as placas metálicas perdem calor rapidamente, e o fazem tão rápido que sua temperatura fica inferior à do meio ambiente;
- iii. todos os metais propiciam a formação de orvalho em sua superfície. Como não absorvem esta umidade, ela acaba por gotejar;
- iv. todos os metais são altamente impermeáveis;
- v. todos os metais são quimicamente sensíveis aos materiais com que estão em contato na construção;

- vi. os metais se prejudicam eletroliticamente, e este processo atua mesmo que não exista um contato direto.

4.1. PATOLOGIA DAS LAJES

Existem diversos tipos de lajes que podem ser utilizadas em estruturas metálicas: maciças, pré-moldadas, nervuradas, pré-lajes, etc. Cada uma delas possui suas próprias características, vantagens e desvantagens em relação às outras. Contudo a compatibilização de cada uma com a estrutura metálica precisa ser analisada para a obtenção de um melhor resultado. Não existe um tipo melhor que o outro, apenas aqueles que são mais adequados a um determinado tipo de situação, cabendo ao projetista determinar o melhor projeto segundo uma análise técnica e econômica.

Uma das características da estrutura de aço é a possibilidade de se vencer grandes vãos de uma forma economicamente viável. Isso permite a redução do número de vigas, colunas e ligações, permitindo assim grande economia durante a fabricação e montagem, porém gerando lajes com grandes vãos. Dessa forma, o limite estrutural do aço deve estar vinculado à resistência mecânica e deformações do sistema de piso adotado para lajes com grandes vãos. De nada adianta se conseguir uma redução do número de elementos estruturais se as lajes estiverem submetidas a esforços ou deformações acima do permitido para uma perfeita operação do conjunto. Os projetistas de estrutura metálica procuram sempre dispor as lajes de maneira que elas fiquem em um formato retangular. A intenção é que, seja qual for o tipo de laje a ser especificada pelo projetista de concreto, esta seja armada em uma direção. As lajes projetadas dessa forma dificilmente apresentam tais problemas.

a) Corrosão

Um problema comum a qualquer tipo de laje em estruturas metálicas é a corrosão na interface entre a viga de aço e a laje de concreto. Apesar de ser uma região de difícil acesso, ela não está imune à presença de umidade, pois o concreto não é impermeável. Desenvolve-se então um processo de corrosão por frestas na interface laje-viga metálica (figura 72), corrosão esta que pode estar acontecendo também na armadura da laje. A solução para este tipo de problema é identificar e eliminar a causa da infiltração, antes que

se torne um problema crônico, exigindo até mesmo a demolição e substituição da estrutura como um todo.



Figura 72 - Corrosão na interface entre laje e viga

b) Fissuras em lajes de concreto armado moldada *in loco*

A laje de concreto armado é um dos tipos de laje mais empregados com estruturas metálicas atualmente (figura 73). Três constituintes se destacam: o concreto, os vergalhões de aço e as formas. Os dois primeiros são os constituintes básicos do componente final, enquanto que as formas, apesar de participarem apenas do processo de moldagem da estrutura, possuem extrema



Figura 73 - Estrutura metálica com laje maciça

importância quanto ao acabamento final do produto e quanto aos custos do mesmo. A sua grande vantagem é o fato de podermos projetar as vigas como vigas mistas, o que reduz consideravelmente o custo da estrutura.

O problema patológico mais comum que ocorre neste tipo de laje são as fissuras. Basicamente são as mesmas para os edifícios de concreto armado, mesmo porque o produto tem a mesma natureza em ambos. Porém, a grande diferença em relação às estruturas metálicas são as grandes dimensões, o que implica em esforços e deformações mais elevados em relação a outro sistema estrutural com menores dimensões, resultando muitas vezes em trincas indesejáveis. É um erro que decorre do mal dimensionamento e também da escolha errada do tipo de laje a ser empregada na estrutura. Segundo ARANHA⁰⁴, HELENE³⁵, LICHTENSTEIN^{43,44} e VERÇOSA⁷⁶, os tipos de fissuras

apresentados por este tipo de laje são os mesmos para estruturas de concreto armado:

- i. Fissuras por flexão;
- ii. Fissuras por cisalhamento;
- iii. Fissuras por tração transversal ou longitudinal;
- iv. Fissuras devido a momento volvente.

Estas fissuras são decorrentes de problemas que podem acontecer em qualquer sistemas estrutural, e não especificamente com o aço somente. Existem diversas publicações que tratam sobre estes problemas e que estão disponíveis para pesquisa. Como este trabalho se limita a pesquisar as patologias cujas causas estejam vinculadas às estruturas de aço, não vamos aprofundar o estudo sobre tais problemas patológicos por entendermos que este é um problema que está mais para a área de patologia do concreto armado. Caso haja necessidade de intervenção, esta deverá ser feita de acordo com as indicações para este tipo de estrutura.

Outros tipos de trincas que também ocorrem em lajes de concreto armado, mas que não possuem causa estrutural, são: trincas na região do eletroduto devido ao enfraquecimento localizado da laje, trincas devido ao efeito de retração hidráulica e trincas devido a puncionamento próximo a um pilar. São trincas mais raras e que podem evoluir para casos mais graves exigindo o reforço ou a reconstrução de uma nova laje. Normalmente são tratadas com argamassa ou cola epóxi. Problemas de corrosão em armaduras também são comuns nestes casos.

c) Patologia da laje composta concreto/chapa de aço dobrada

É um sistema em que uma chapa de aço dobrada, da espessura da ordem de 1 mm, faz papel inicial de forma para o concreto fresco e, após o endurecimento deste, passa a atuar como armadura positiva da laje composta obtida (figura 74). Ela trabalha bi-poiada e, para que a chapa e o concreto



**Figura 74 - Vista geral de uma laje mista
- CODEME¹⁸**

possam se solidarizar, as chapas possuem um tipo de amassamento interno denominado “mossas” que resistem à tendência de deslocamento e destacamento relativo que surgem quando do funcionamento do conjunto. Este tipo de laje pode apresentar três problemas: fissuras, descolamento e corrosão.

c.1) Fissuras

As fissuras são decorrentes da falta de armadura negativa ou resultante da retração do concreto durante a cura (figura 75). São percebidas apenas na face superior da laje e não constituem um problema grave. Nos dois casos, se as fissuras forem pequenas e não houver problemas de ordem estética, o melhor é deixar como está ou fazer o contrapiso para cobri-las, caso contrário, teremos que demolir e reconstruir a laje novamente, redimensionando a armadura negativa ou a adoção de armadura para combater a fissuração devido à retração.

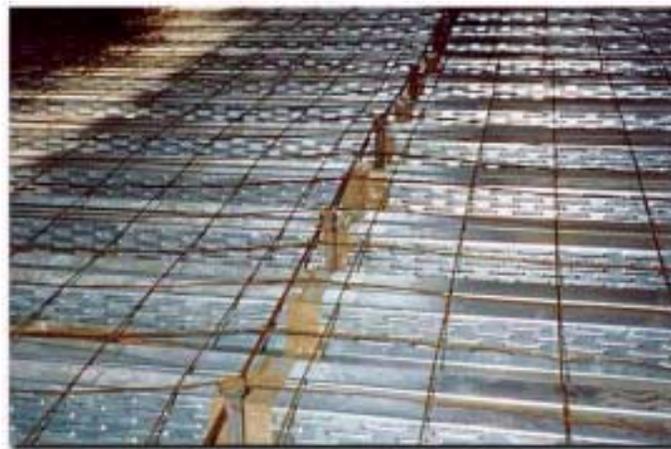


Figura 75 - Laje mista + armadura de fissuração e negativa – CODEME¹⁸

Um outro problema de fissuras é o que ocorre quando temos vigas secundárias apoiadas sobre vigas principais. Normalmente as vigas metálicas são calculadas como bi-apoiadas, porém existe uma tendência de continuidade destas nas regiões de ligações com as vigas principais. Este efeito pode provocar a abertura de fissuras paralelas ao eixo das vigas principais.

Para se evitar a ocorrência deste tipo de fissura, deve-se utilizar uma armadura adicional sobre as vigas principais, além da armadura de retração (figura 76). Esta armadura adicional pode ser executada em tela soldada ou em barras redondas, colocadas

na região das ligações entre as vigas secundárias e principais, com cobrimento de cerca de 2 cm. A largura da faixa da tela soldada ou o comprimento das barras redondas, bem como a área transversal dessa armadura variam em função do vão da viga secundária.

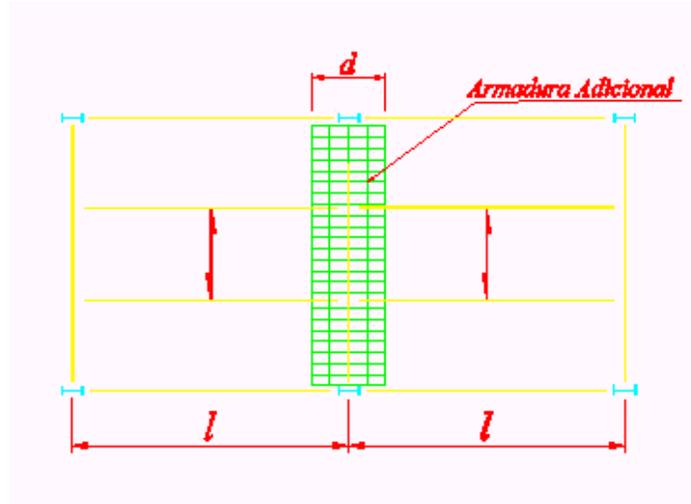


Figura 76 - Armadura de fissuração na ligação das vigas secundárias (em planta) – CODEME¹⁸

c.2) Descolamento

O descolamento é uma forma de ruína em que o concreto começa a se destacar da chapa de aço devido a uma solicitação cisalhante acima de sua resistência mecânica, levando a laje à ruína (figura 77). As causas que podem levar a este tipo de falha são: sobrecarga excessiva (figura 78) e corrosão na chapa de aço. É necessário demolir e reconstruir a laje.



Figura 77 - Descolamento do concreto da chapa de aço – CODEME¹⁸

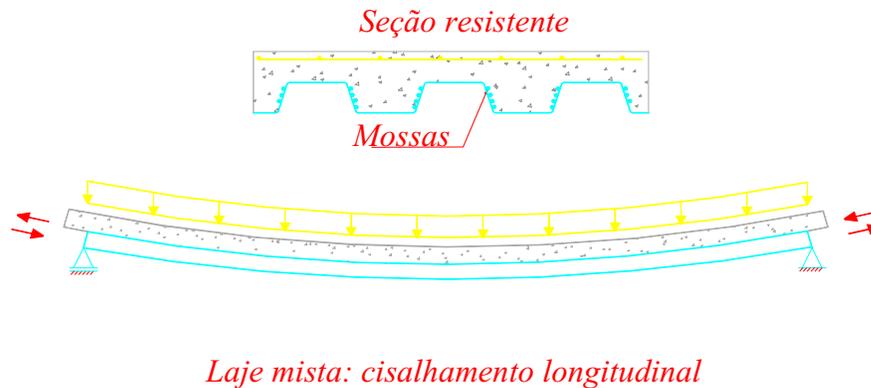


Figura 78 - Mecanismo de falha por descolamento – CODEME¹⁸

c.3) Corrosão

Já o problema de corrosão acontece pela infiltração da água, que acaba por se acumular entre o concreto e a chapa, provocando corrosão e também descolamento. Sabe-se que o concreto, apesar de ser um material sólido, não é



Figura 79 - Diversos pontos de corrosão em uma instalação industrial

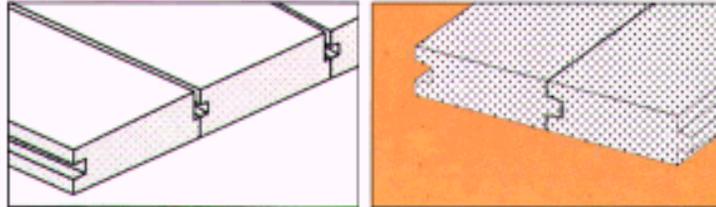
impermeável, e isso permite que a água penetre em sua estrutura, atacando não

somente a chapa de aço como também as armaduras internas (figura 79). É comum em edifícios que apresentam problemas na impermeabilização de áreas molhadas (cozinhas, banheiros e coberturas), edifícios industriais com grande presença de água e umidade, ou quando se interrompe a construção deixando a estrutura exposta a ação das intempéries.

Como a corrosão ocorre internamente, a sua detecção só é visível quando esta aflora em algum ponto, muitas vezes apresentando um grande comprometimento da chapa, podendo até ser o caso de se fazer a demolição da laje. Caso contrário fazem-se os reparos da impermeabilização e da laje, e se for o caso também o reforço da mesma.

d) Lajes nervuradas ou pré-moldadas

Estes tipos de laje costumam apresentar basicamente dois tipos de



problemas específicos: fissuras por deformações

Figura 80 - Laje pré-moldada - PREMO

excessivas, e fissuras por movimentação diferenciada entre as nervuras e os componentes inertes de enchimento, ou entre o rejuntamento e os diversos painéis (lajes pré-moldadas ou protendidas) entre si. Nenhum destes está diretamente vinculado a estrutura metálica em si.

No primeiro caso, além de uma deformação devido a uma solicitação maior que a sua resistência, teremos ainda fissuras que irão variar de acordo com o tipo de laje. Estas serão semelhantes às fissuras das lajes armadas em uma direção. O aparecimento deste tipo de fissuras ao longo de toda a laje é um problema grave e a sua ocorrência quase sempre implica em demolição e reconstrução da mesma.

No segundo caso teremos fissuras paralelas às nervuras provocadas normalmente pela dilatação térmica diferenciada entre os componentes. Não é um problema grave e a melhor solução é a colocação de forro falso.

4.2. FECHAMENTOS PARA EDIFÍCIOS DE AÇOS

Os fechamentos são um subsistema de peças verticais, ou levemente inclinadas, que compartilham, limitam e definem os espaços de um edifício. Dentro deste contexto inserem-se as alvenarias, os painéis e os tapamentos (figuras 81, 82 e 83). No Brasil as alvenarias (tijolos e blocos em geral) são os



Figura 81 - Alvenaria

elementos de vedação mais empregados para o fechamento das edificações de aço, seguido pelos tapamentos (esquadrias, telhas metálicas, chapas de fibrocimento, etc.), e depois pelos painéis (placas de gesso, concreto celular, concreto pré-moldado, madeira + amianto e outras).

As NBR 7171 – “Blocos cerâmicos para alvenaria” e NBR 7173 – “Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural” estipulam as resistências características mínimas dos blocos estruturais e de vedação. Se no projeto os esforços de flexão e cisalhamento são importantes, é necessário maior controle da resistência característica da argamassa de assentamento. Nesse caso, o projeto deve prover os meios para a absorção dos esforços secundários provenientes da maior resistência da argamassa de assentamento. Usualmente isso é feito com juntas de controle ou com armaduras na argamassa de assentamento (ver item 4.2.2.e).

Problemas dos fechamentos

Teoricamente o carregamento deveria ser transmitido diretamente para os elementos portantes, de forma que os fechamentos não exercessem nenhuma função estrutural. Entretanto na prática observa-se que estes encontram-se submetidos não somente às intempéries (fechamentos externos) como também a algumas solicitações mecânicas oriundas da estrutura (fechamentos externos e internos).

As intempéries provocam a deterioração dos componentes sujeitos a sua ação, sendo os fechamentos externos os mais afetados. Já as solicitações mecânicas podem atingir qualquer componente externo ou interno, dependendo da sua origem. As principais conseqüências destes fenômenos é a ocorrência de trincas e infiltrações que, mesmo não representando nenhum risco estrutural, constituem um certo desconforto para os usuários da edificação.



Figura 83 – Fachada de vidro



Figura 82 - Placas pré-moldadas – PLACO DO BRASIL

Estruturas aparentes x estruturas embutidas

Muitos arquitetos exploram a estrutura metálica como um elemento decorativo para as fachadas dos edifícios, e com isso conseguem uma grande valorização no aspecto visual. Porém o não revestimento das estruturas implica em se adotar procedimentos construtivos diferentes para se garantir solidez e estanqueidade para o fechamento. Vamos citar os problemas decorrentes da exposição da estrutura:

- i. Exige, além da pintura anticorrosiva, uma outra pintura, normalmente uma tinta poliuretânica (de elevado custo), resistente à radiação solar, para compor a fachada;
- ii. exige maior proteção contra o fogo na estrutura;
- iii. algumas vezes requer a colocação de juntas telescópicas entre o fechamento e a estrutura, incluindo os contraventamentos;
- iv. a estrutura exposta é mais vulnerável à radiação solar. Consequentemente a dilatação térmica é maior que em estruturas embutidas;
- v. os raios solares incidindo diretamente sobre a estrutura causa um maior desconforto térmico devido a difusão do calor por convecção e radiação dentro da edificação.

Ou seja, o arquiteto tem de estar ciente destes problemas para tentar minimizar os seus efeitos na edificação. A adoção de estruturas embutidas minimiza o efeito destes problemas pois a argamassa atua como um revestimento protetor.

A técnica tradicional de assentamento de alvenaria

As fissuras ocorrem ou por deformação excessiva da estrutura ou por diferentes deformações entre a estrutura e a alvenaria. No primeiro caso os mecanismos de formação das fissuras são os mesmos verificados para os demais sistemas estruturais (MANUAL TÉCNICO DE ALVENARIA⁰⁶, LICHTENSTEIN^{44,45},



Figura 84 - Ferros "cabelo" para receber alvenaria solidarizada em pilar metálico

THOMAZ^{73,74,75}, VERÇOZA⁷⁶). A ancoragem entre os fechamentos e a estrutura deve ser garantida por dispositivos apropriados de forma a fixar o fechamento na estrutura e ao mesmo tempo resistir a um deslocamento natural do sistema estrutural (STEEL CONSULT⁷²).

A utilização de juntas telescópicas entre a estrutura e a alvenaria encarece o custo de produção, pois implica em aumentar o consumo de aço e da mão de obra para fazer a fixação destas na estrutura. Normalmente se opta pela solidarização do fechamento com a estrutura por uma questão econômica. Porém o uso das juntas de dilatação não deve ser descartada. A figura 84 mostra um pilar pronto para receber uma alvenaria solidarizada com a estrutura. Neste caso existe uma interação entre ambos, de forma que deve ser feita uma pré verificação do comportamento da junta. O mesmo vale para outros tipos de fechamentos.

Para se determinar qual é o limite máximo entre a utilização de juntas solidarizadas e independentes da estrutura, deve-se ter um conhecimento também das características da alvenaria utilizada. Em estruturas metálicas é muito comum a utilização de blocos de concreto celular autoclavado nos fechamentos com alvenaria. Neste caso recomenda-se uma consulta ao fabricante para determinar as características e condições de assentamento desta alvenaria para se evitar a ocorrência deste tipo de problema.

4.2.1. Patologia dos fechamentos

Um dos grandes problemas da estrutura metálica é a dificuldade em se fazer um fechamento estanque e ao mesmo tempo resistente. O fato de a estrutura ser mais flexível, dos elementos terem uma seção transversal mais complexa e do aço possuir uma superfície pouco rugosa e pouco porosa leva os projetistas e construtores a adotar soluções não convencionais para evitar a ocorrência de tais problemas. Entretanto é justamente aqui que encontramos um dos maiores entraves para as estruturas metálicas, pois as soluções para se resolverem tais problemas existem, porém não são de domínio público.

Neste ponto os edifícios com estruturas em concreto levam uma certa vantagem devido as suas características. Primeiro, a forma retangular, quadrada ou circular dos elementos estruturais gera superfícies simples, com poucos cantos e recortes, fáceis de serem trabalhadas. Segundo, devido a sua rugosidade e porosidade, o concreto propicia uma superfície com uma boa ancoragem, sem a necessidade de se criar uma camada

superficial aderente. Terceiro porque como é um corpo moldado *in loco* o concreto constitui uma forma monolítica, o que implica em formas geométricas simples nas ligações. Quarto que o concreto é menos flexível do que o aço quando sujeito a carregamentos laterais, o que significa menor transmissão de esforços para os fechamentos. Isso tudo sem contar que esta tecnologia está amplamente difundida nos diversos segmentos que envolvem a construção.

Apesar de existirem vários problemas referentes às patologias dos fechamentos, vamos nos restringir apenas àqueles que tem sua causa vinculada à estrutura. Neste caso o problema mais comum de acontecer com os fechamentos em estruturas metálicas são as fissuras e as infiltrações. Estas muitas vezes vêm acompanhadas de problemas decorrentes da presença de umidade (corrosão, eflorescências, bolor, mofo, limbo, criptoflorescências, etc.) que não serão objetivo de nosso estudo. Neste caso recomendamos a leitura de publicações específicas (MANUAL TÉCNICO DE ALVENARIA⁰⁶, LICHTENSTEIN^{44,45}, THOMAZ^{73,74,75}, VERÇOZA⁷⁶) que abordem tal assunto. Também as alvenarias serão abordadas somente como elementos de vedação.

a) Fissuras

Os fechamentos em geral apresentam bom comportamento quando submetido a tensões de compressão, entretanto possuem pouca resistência mecânica quando solicitados por esforços de tração ou cisalhamento. Os fechamentos estão submetidos a solicitações às quais terão que resistir, porém, apesar de não representar nenhum risco de colapso estrutural, nem sempre elas conseguem absorver tais carregamentos, e é aí que aparecem as fissuras e trincas características.

As fissuras são, sem sombra de dúvidas, o problema de maior ocorrência dos fechamentos em geral e também o que mais realça aos olhos do usuário, seja qual for o sistema estrutural. De acordo com THOMAZ^{73,74,75} e VERÇOSA⁷⁶ existem diversas causas para o aparecimento de fissuras em edificações, entre as quais podemos citar:

- i. Fissuras causadas por movimentações higrotérmicas;
- ii. fissuras causadas pela atuação de sobrecargas;
- iii. fissuras causadas pela deformabilidade excessiva de estruturas de aço;
- iv. fissuras causadas por recalques das fundações;

- v. fissuras causadas por retração de produtos à base de cimento;
- vi. envelhecimento e fadiga natural dos materiais;
- vii. acidentes imprevistos, tais como pancadas, incêndios, explosões, alterações no solo e subsolo, etc.;
- viii. má execução da alvenaria.

Podemos notar que nem todas as causas de fissuras apresentadas possuem relação com a estrutura metálicas. Como neste trabalho estamos trabalhando somente com os problemas patológicos relacionados com a estrutura metálica, vamos descartar todos aqueles casos em que as fissuras não estejam vinculadas às estruturas metálicas, e que por isso podem ocorrer em qualquer tipo de sistema estrutural. Estas já foram estudadas em diversas outras publicações, não cabendo aqui uma análise mais profunda sobre estes problemas.

a.1) Fissuras causadas por movimentação higrotérmica

A variação de temperatura e umidade provoca movimentos de dilatação e contração nos materiais de construção da edificação, que são normalmente restringidos pelos diversos vínculos que os envolvem. A variação em si não é o maior problema, entretanto variações diferenciadas entre o fechamento e a estrutura podem causar uma movimentação diferenciada entre os dois materiais, gerando tensões cisalhantes na interface entre ambos.

Em estruturas metálicas o aspecto mais importante desta movimentação é a velocidade com que ocorrem tais movimentações. Se a movimentação for gradual e lenta, os materiais terão maior facilidade de assimilá-la. Como as estruturas são aparentes na maioria das edificações, a incidência solar provoca uma rápida dilatação nos perfis que nem sempre é acompanhada pela dilatação do fechamento, provocando fissuras na interface entre o fechamento e a estrutura. Deve-se ressaltar que as propriedades físicas dos materiais que integram a edificação são às vezes bastantes distintas, o que realça as movimentações diferenciadas

A principal consequência deste tipo de patologia é o destacamento dos panos de vedação em relação aos componentes estruturais (figura 85), o que ocorre com maior intensidade nos seguintes casos:

- i. Alvenarias de estruturas de aço aparente, resultando em maior absorção de calor pela estrutura e provocando maior dilatação desta em relação ao fechamento;
- ii. inexistência de detalhes construtivos (juntas telescópicas, ferros de espera, telas metálicas, selantes e outros) na ligação estrutura-alvenaria.

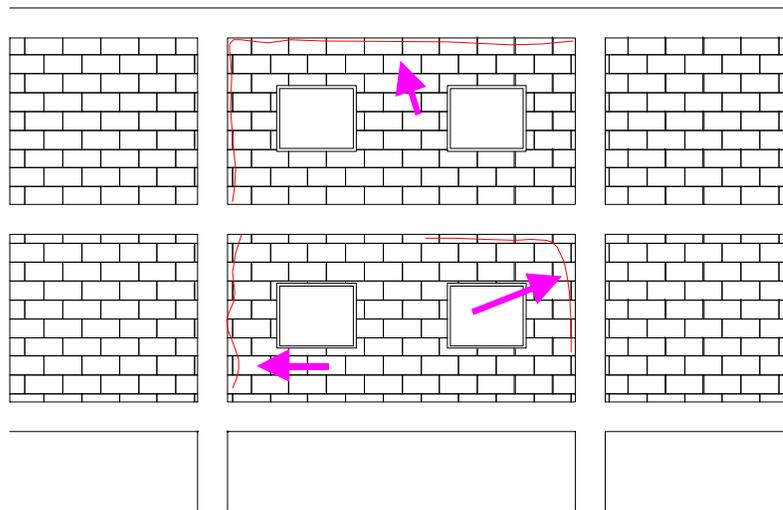


Figura 85 - Exemplo de deslocamento entre alvenarias de vedação e estrutura devido as movimentações higrortérmicas diferenciadas

Fissuras de cisalhamento em alvenarias

Em edifícios altos, podemos ter ainda um tipo de fissura que aparece nos últimos pavimentos devido ao efeito de dilatação térmica da estrutura causada pela exposição ao sol. Esta dilatação provoca forças cisalhantes que atuam nas colunas externas dos edifícios, sendo que estas forças são mais significantes a medida que se aproxima dos últimos pavimentos. A razão disso é que a dilatação térmica vai se acumulando de pavimento por pavimento, até chegarmos no último. A fissura é semelhante a uma fissura provocada por recalque de fundação (fissuras a 45°) porém invertida pois, no último pavimento, o deslocamento das colunas extremas em relação às colunas centrais é significativo (figura 86).

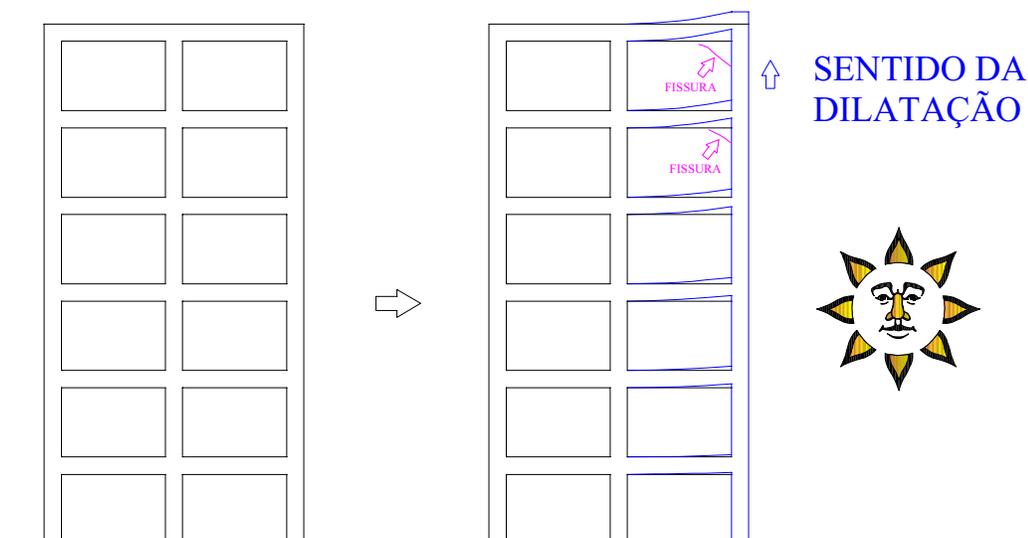


Figura 86 - Fissuras de cisalhamento em alvenarias nos últimos pavimentos

a.2) Fissuras devido à movimentação da estrutura

A estrutura, quando submetida aos diversos tipos de carregamento para que foi concebida, se deforma de acordo com a estática estrutural. Esta deformação deve obedecer a um certo limite para haver o mínimo de transmissão de esforços entre o fechamento e a estrutura (ver anexo C da NBR 8800/86⁰⁸). O vento é o principal carregamento que uma estrutura metálica pode estar submetida (figura 87). Apesar de ser considerado como uma carregamento estático durante o cálculo estrutural, a sua atuação sobre a estrutura é dinâmica. Assim como a temperatura, o vento também pode provocar solicitações de grande variabilidade em um curto intervalo de tempo, podendo dessa forma causar trincas entre o fechamento e a estrutura. Entretanto existem outros fatores que também podem causar deformações

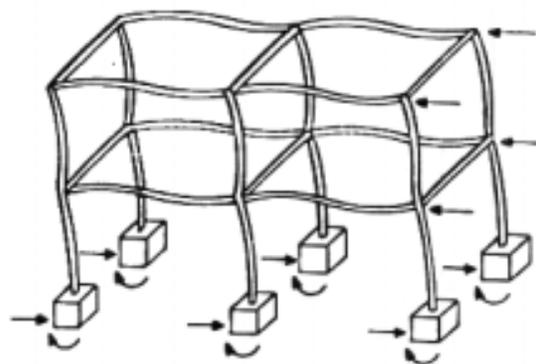


Figura 87 - Deformação da estrutura devido ao vento – JÚNIOR⁴⁰

excessivas, tais como excesso de sobrecarga, mau dimensionamento ou detalhamento. Pode ocorrer então a formação de fissuras que variam de acordo com o tipo de fechamento e o tipo de

solicitação.

Verifica-se que, em estruturas de aço, os maiores problemas relativos a deformabilidade da estrutura são consequência de deformações promovidas por solicitações de cisalhamento e flexão. Problemas de deformação decorrentes de solicitações de torção e compressão são bem mais raros de acontecer. No caso da torção, o problema pode ainda estar vinculado às lajes de concreto armado, isentando a estrutura de aço de qualquer culpa.

- **Cisalhamento excessivo**

Para os fechamentos submetidos a tensões cisalhantes este problema pode aparecer de duas formas distintas:

- i. Formação de fissuras na interface entre a alvenaria e a estrutura metálica;
- ii. Formação de fissuras em fechamentos fixos de vidro.

As fissuras de cisalhamento possuem o mesmo mecanismo já descrito para as fissuras higrotérmicas, ou seja, o destacamento na interface entre a alvenaria e a estrutura ou a formação de fissuras inclinadas de 45°. Neste caso é preciso fazer uma análise criteriosa da estrutura metálica para se determinar a causa exata do problema pois, além das movimentações higrotérmicas e do excesso de sobrecarga, podemos ter ainda fissuras de cisalhamento causadas por recalques de fundações e fissuras causada por retração de produtos a base de cimento. Ambas possuem o mesmo mecanismo de formação de fissuras que os casos anteriores.



Figura 88 - Trinca em fachada de vidro

Os fechamentos fixos de vidro são um dos componentes da edificação mais sensíveis aos problemas de cisalhamento devido a sua pouca resistência mecânica.

É muito comum o aparecimento de fissuras ou mesmo o rompimento do vidro provocadas pela deformação da estrutura (figura 88). A fissura se manifesta nas bordas, de maneira

gradual, e vai evoluindo com o tempo, podendo formar ramificações, até alcançar uma outra borda. Não é um problema grave, porém causa um efeito estético indesejável.

Recuperação

A solução para o problema das fissuras por cisalhamento consiste na adoção de juntas telescópicas para os fechamentos em estruturas aparentes, e a utilização de telas metálicas para estruturas embutidas. As juntas telescópicas são um arranjo que se faz procurando isolar o pano de fechamento da estrutura ou dos panos entre si. A vedação contra a infiltração é garantida pela utilização de borrachas especiais e/ou o uso de mastiques apropriados. Nas figuras 89, 90, 91, 92, 93, 94 e 95 temos alguns exemplos de soluções utilizadas para a prevenção destes problemas.



Figura 89 – Junta telescópica com ferro "cabelo"



Figura 90 - Junta telescópica sem ferro "cabelo"

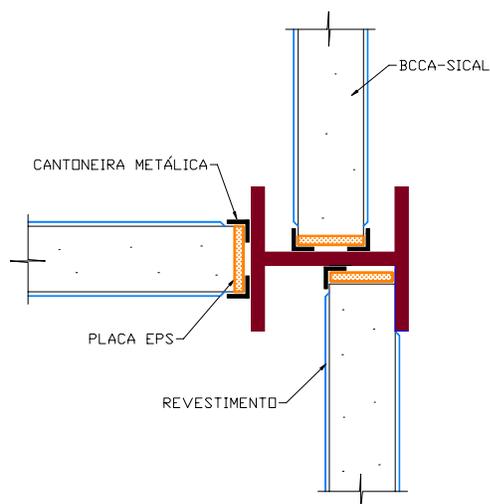


Figura 91 - Corte esquemático de uma junta telescópica



Figura 92 - Junta telescópica na viga superior e no pilar

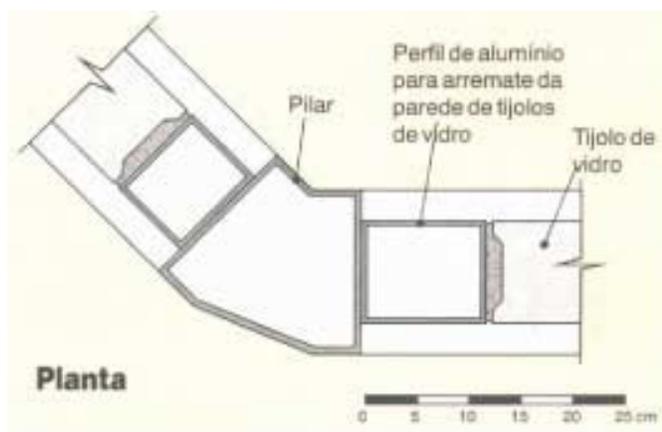


Figura 93 - Esquema para instalação de fechamento de tijolos de vidro – COSTA²¹

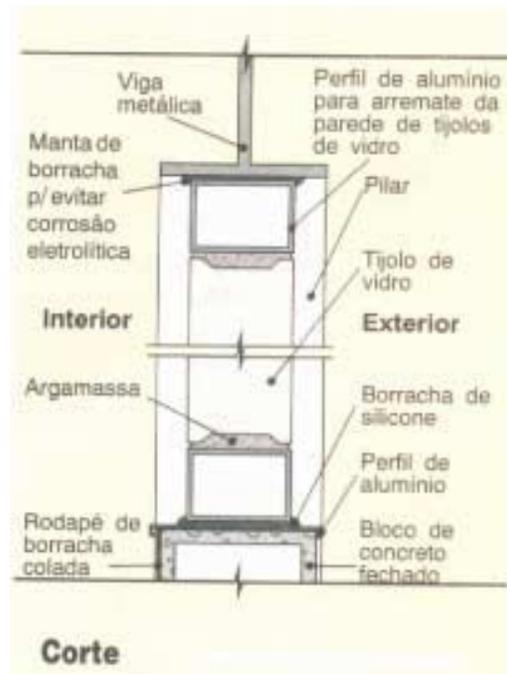


Figura 94 - Esquema para instalação de fechamento de tijolos de vidro – COSTA²¹



Figura 95 - Esquema de junta telescópica para fechamentos com fachada de vidro – COSTA²¹

Um procedimento muito comum para se evitar o aparecimento de fissuras em estruturas metálicas embutidas é o uso de telas metálicas no revestimento externo entre estas e a alvenaria. A tela evita que a movimentação natural da estrutura comprometa o revestimento entre a alvenaria e a estrutura, causando fissuras nesta região (figura 97).

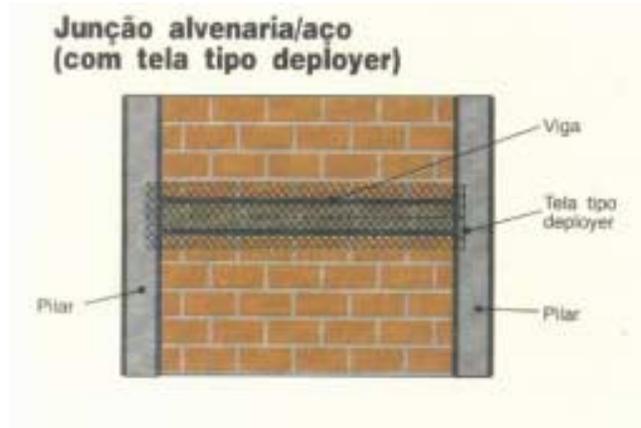


Figura 96 - Esquema de construção em alvenaria para estrutura metálica embutida – COSTA²¹

Estão apresentados aqui vários modelos para a execução de alvenarias aparentes e embutidas com o uso de juntas telescópicas. Esta é basicamente constituída por perfis do tipo cantoneira ou “U” , apresentando também o ferro cabelo soldado nas colunas. Neste caso a estrutura trabalha independente da alvenaria pois as duas ficam desvinculadas entre si. Também é mostrado um modelo de junta telescópica quando se utiliza esquadrias de vidro ou tijolos de vidro no lugar de alvenaria. Percebe-se que o conceito básico da junta não se altera de um fechamento para o outro.

- **Flexão excessiva**

É natural a formação de flechas em elementos estruturais que estejam submetidos a flexão. Normalmente tais flechas não chegam a comprometer a estabilidade, a resistência e a estética da edificação, entretanto podem ser prejudiciais para os demais componentes dos edifícios. O excesso de deformação por flexão da estrutura pode provocar diversos problemas, tais como o aparecimento das fissuras, empoçamento, compressão de caixilhos e destacamento de componentes cerâmicos.

Um tipo muito comum de fissura é aquela em regiões de alta concentração de

esforços de flexão, tais como em balanços e em vigas contínuas. Nessas regiões os esforços de flexão podem provocar altos valores para as flechas, valores estes que podem exceder os limites de flexão dos fechamentos e outros componentes (figuras 97, 98 e 99).

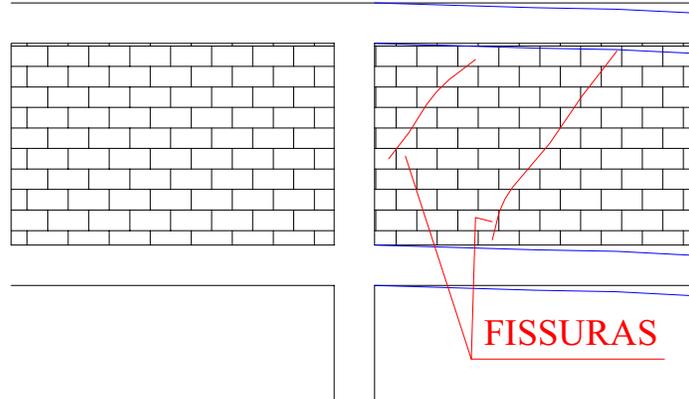


Figura 97 - Fissura em alvenaria sobre balanço



Figura 98 - Detalhe de alvenaria sobre viga contínua



Figura 99 – Fissura na alvenaria sobre o apoio

Tais problemas podem ser agravados se a alvenaria estiver fora dos limites de dimensões para estruturas convencionais ou caso haja a presença de aberturas, pois são regiões de maior concentração de tensões. Neste caso a adoção de pilaretes e vigas intermediárias, com função de dividir os panos de alvenaria fazendo com que eles trabalhem separados, é a melhor medida preventiva.

Uma outra região de grande concentração de tensões é aquela onde os momentos fletores atingem os máximos valores positivos. A flecha nestas regiões pode atingir

grandes valores, acima dos que a alvenaria pode suportar sem a ocorrência de fissuras (figuras 100, 101 e 102).

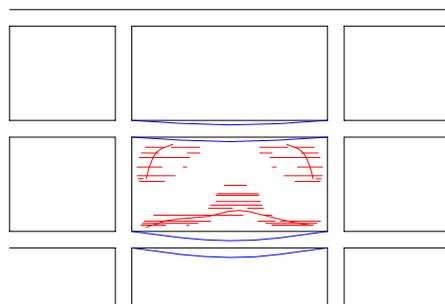


Figura 100 - Fissuras causadas por uma flecha maior na viga inferior

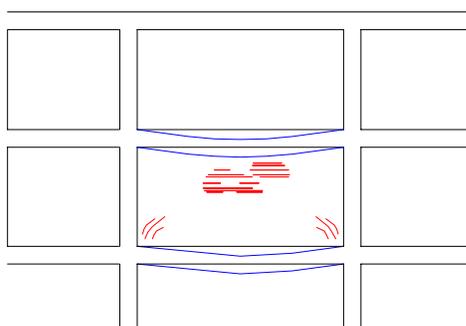


Figura 101 - Fissuras causadas por uma flecha maior na viga superior

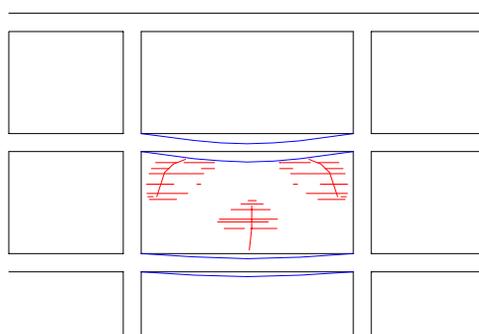
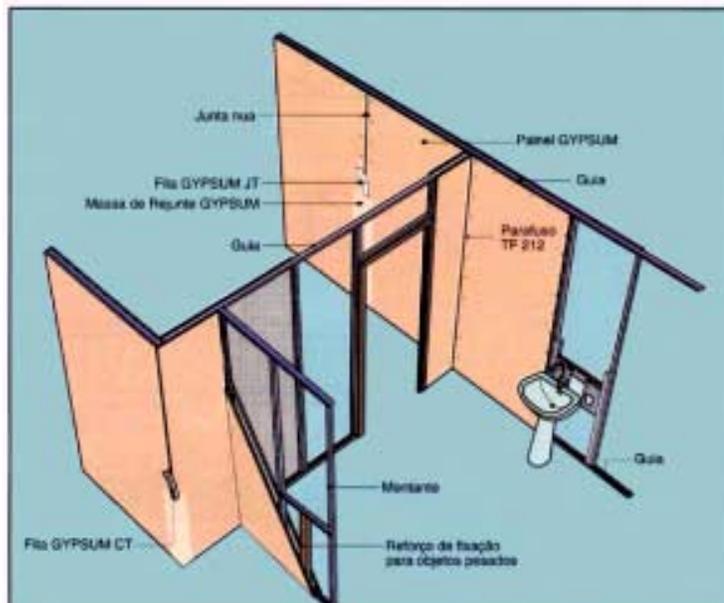


Figura 102 - Fissuras causadas por flechas idênticas nas vigas inferior e superior



**Figura 103 – Fechamento composto por painéis pré-moldados de gesso
– PLACO DO BRASIL**

Para fechamentos feitos de painéis pré-fabricados (figura 103), a flexão pode provocar o seguinte tipo de fissura mostrado na figura 104.

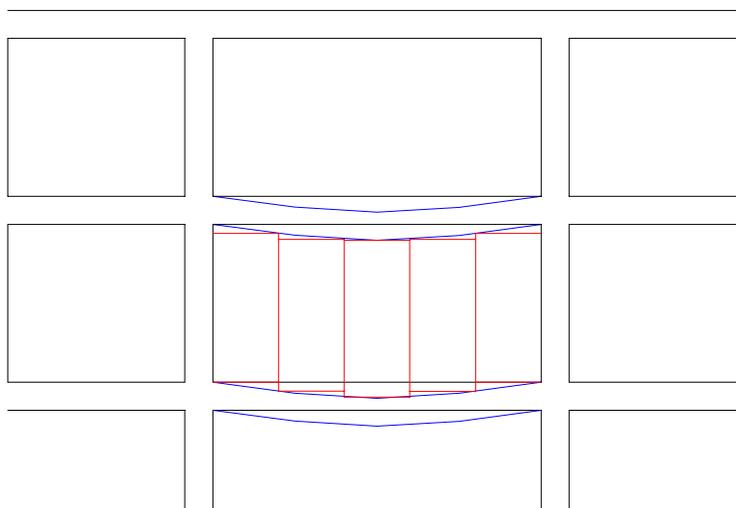


Figura 104 - Fissuras em fechamentos pré-fabricados (painéis)

Os painéis de gesso podem fissurar no ponto de emenda entre as placas, normalmente provocados por deformações nas vigas ou lajes de sustentação. É um caso mais difícil de acontecer devido a pouca utilização desses tipos de componentes nas edificações brasileiras em geral.

Recuperação

As causas das deformações excessivas são problemas de dimensionamento adequado dos elementos estruturais, mesmo que não haja risco de instabilidade. Deve-se analisar cada caso e decidir por reforçar ou substituir os elementos estruturais com problemas, para só então procurar reparar o problema da fissuração.

a.3) Infiltrações em paredes de alvenarias

Uma das causas do aparecimento de infiltrações em estruturas metálicas é a existência de frestas devido ao grande número de detalhes, particularmente em ligações (figura 105). Neste caso não estamos considerando as infiltrações em fissuras, causadas pela movimentação da estrutura, como um caso de infiltração em estrutura metálica porque a natureza de sua ocorrência são diferentes entre si.

Estas frestas devem ser vedadas por produtos isolantes impermeáveis e flexíveis: os masticues. Porém, nem sempre isso acontece da maneira correta, dando então origem às infiltrações. Edifícios com estruturas aparentes estão muito mais expostos a esta penetração porque estas não formam um conjunto monolítico como nos edifícios de concreto armado.

As alvenarias aparentes (figura 106) devem garantir a sua estanqueidade pelo adensamento da argamassa nas juntas verticais e horizontais, mediante a pressão de um tijolo contra o outro durante o assentamento e pelo frisamento das juntas, dando maior compacidade à argamassa, dificultando a penetração e facilitando o escoamento das águas pluviais que incidem



Figura 105 - Pontos críticos para penetração de umidade em ligações e nas interfaces com os fechamentos – COSTA²¹

sobre os panos de fachada.

A solução mais simples para resolver o problema da infiltração é a utilização de produtos isolantes à base de silicone, rufos, pingadeira, calhas e outros. Estes devem ser aplicados em todos os locais onde haja a possibilidade de ocorrência de infiltração, tais como juntas de dilatação, ligações, coberturas e outros.

Também uma boa inspeção deve ser feita para garantir que o produto foi aplicado corretamente em tais locais.

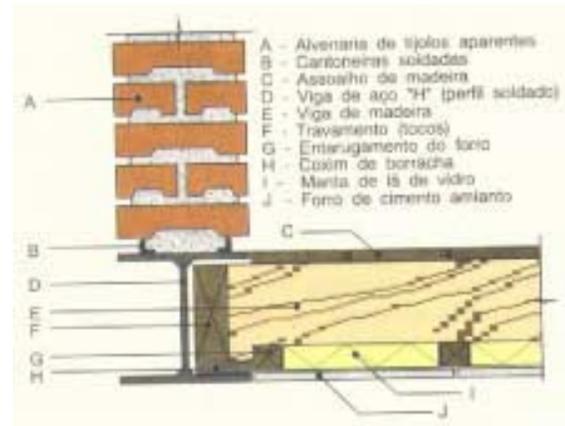


Figura 106 - Alvenaria aparente + estrutura metálica – COSTA²¹

4.2.2. Observações importantes

a) Tipo de alvenaria utilizada

Em estruturas metálicas é preferível se utilizar os tijolos de concreto celular autoclavado por serem mais leves e diminuírem o peso da estrutura. Como este não é tão flexível quanto à estrutura, deve ser analisada a possibilidade de utilização de juntas de dilatação. Os tijolos cerâmicos, apesar de se adaptarem melhor às deformações da estrutura, são pouco usados por causa do seu maior peso específico.

b) Encunhamento

Já o encunhamento de estruturas de aço possui um método diferenciado de ser feito. Em estruturas de concreto, utilizando-se tijolos de argila, este encunhamento é feito dispondo-se os tijolos inclinados na última fiada. Já em estruturas metálicas, deve-se evitar utilizar este tipo de procedimento porque além da estrutura ser mais flexível, a alvenaria utilizada normalmente é o bloco de concreto celular autoclavado.

Caso não exista nenhuma orientação dada pelo fabricante do fechamento, existem duas soluções para solucionar este problema: a primeira consiste em se erguer a alvenaria

até que fique uma fresta aproximada de 2,5 cm entre a face superior da alvenaria e a face inferior da viga. Nesta fresta usa-se uma fina placa de isopor, e por último uma camada de argamassa fraca, finalizando então o encunhamento. O segundo processo consiste em se adotar uma cinta de concreto soldada nos pilares logo abaixo da viga de aço. Esta teria a função de absorver as tensões provenientes da deformação da viga superior. Os demais procedimentos devem seguir o mesmo padrão adotado para as estruturas de concreto armado.

c) Contraventamentos

Outra observação importante trata das diagonais do contraventamento. Estas estão submetidas a grandes esforços quando solicitadas por algum tipo de carregamento, e por isso ficam sujeitas a grandes deformações que podem gerar fissuras na interface com a alvenaria. Existem duas formas para se evitar o aparecimento deste tipo de fissura. A primeira consiste em se revestir a diagonal com uma capa de concreto, criando então uma superfície intermediária entre o perfil metálico e a alvenaria. A segunda consiste em se adotar juntas de dilatação semelhante à utilizada para as vigas e colunas (figura 107).

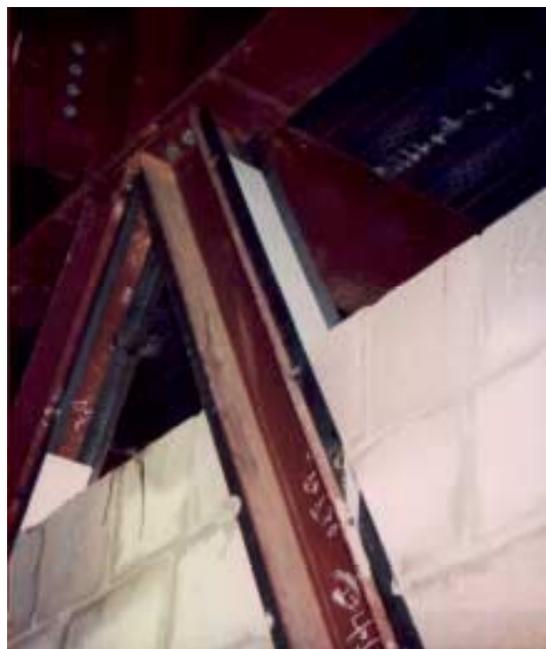


Figura 107 - Contraventamento + junta telescópica

d) Alvenarias x lajes

Pelo fato de se tentar modularizar a concepção estrutural, é muito comum a existência de fechamentos apoiados diretamente sobre as lajes. Caso estas não estejam dimensionadas adequadamente para receber tal carregamento, as fissuras poderão aparecer resultantes de um problema com a resistência da laje, mas a tendência é para se colocar a culpa na estrutura metálica.

Um problema referente às alvenarias é o caso em que elas se encontram apoiadas sobre uma laje nervurada e que esteja ortogonal à alvenaria de borda. A diferença de rigidez entre a laje nervurada e a viga de borda provoca fissuramento das alvenarias colocadas ortogonalmente, conforme a figura 108.

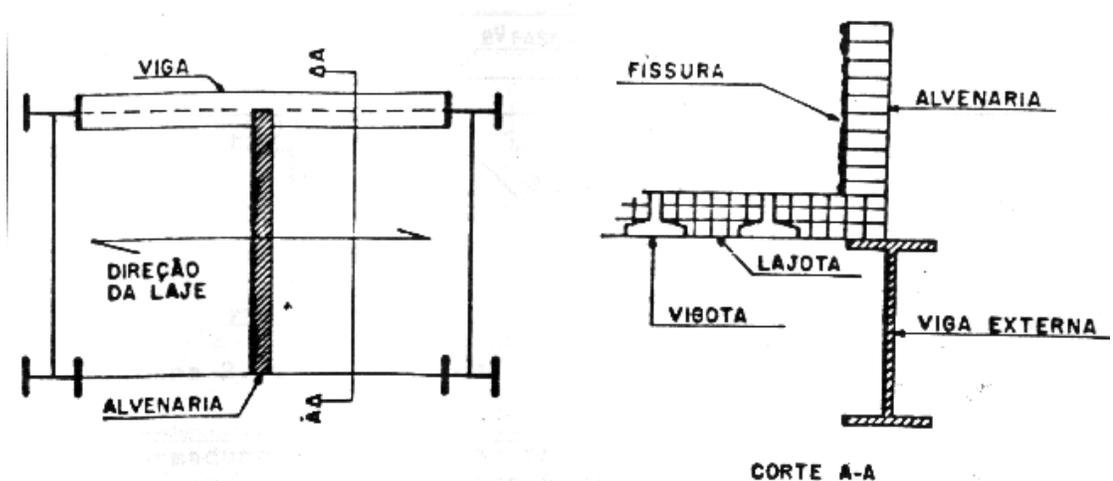


Figura 108 - Fissura em alvenaria devido a arranjo específico entre laje pré-moldada e disposição da viga secundária e alvenaria – JÚNIOR⁴⁰

Para que este problema seja evitado, as lajes devem ser projetadas com vão pequenos (≤ 3 metros) e deve-se providenciar amarração entre as alvenarias procurando-se evitar juntas a prumo.

Em lajes maciças, quando for o caso de haver grandes dimensões, pode acontecer um problema de torção da laje sobre a viga em que ela está apoiada, surgindo então uma rachadura horizontal na alvenaria (figura 109).

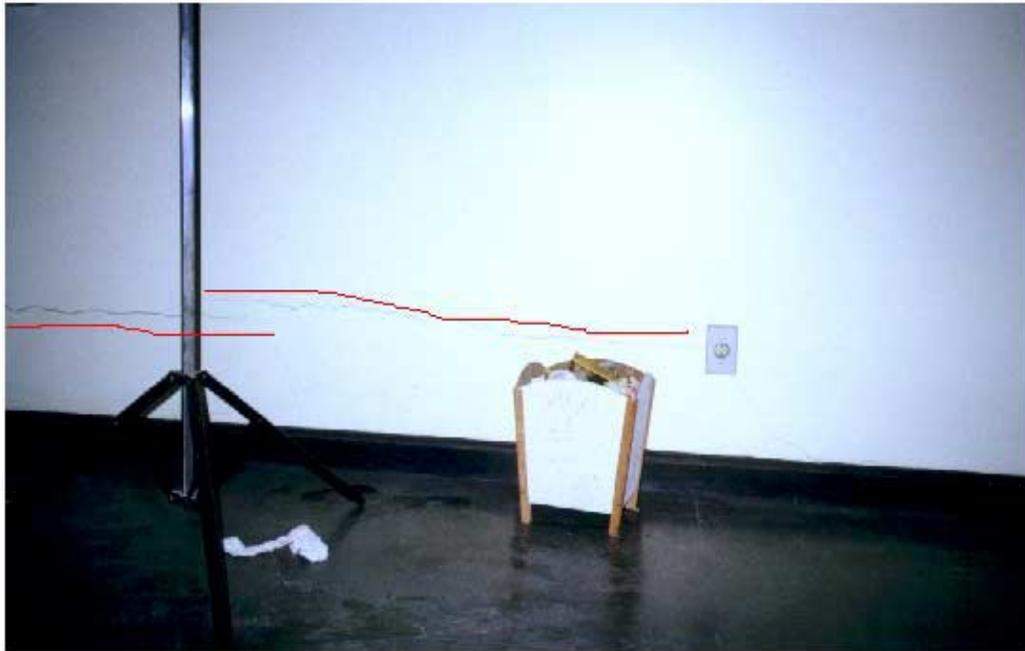


Figura 109 - Fissura horizontal causada por torção da laje de apoio em edifício com estrutura metálica

e) Dimensões limites para as alvenarias

O MANUAL TÉCNICO DE ALVENARIA⁰⁶ apresenta os seguintes limites para as alvenarias de vedação:

Paredes de vedação externas: $\frac{h}{t_{pa}} \text{ ou } \frac{L}{t_{pa}} = 30$

Paredes de vedação internas: $\frac{h}{t_{pa}} \text{ ou } \frac{L}{t_{pa}} = 48$

onde: $\left\{ \begin{array}{l} h = \text{altura da parede,} \\ t_{pa} = \text{espessura da parede,} \\ L = \text{comprimento do pano de alvenaria.} \end{array} \right.$

4.3. INTERFERÊNCIAS ENTRE PROJETOS

Um dos problemas mais comuns de ocorrer em estruturas metálicas é a interferência entre o projeto estrutural com os demais projetos de instalações. Normalmente isso ocorre por falta de planejamento e coordenação durante a etapa de concepção e desenvolvimento dos diversos projetos, resultando em prejuízos para aquele cuja execução seja posterior. Também a alteração de projetos, com a construção já em andamento, é muito comum nestes casos resultando em interrupções, perda de tempo e ociosidade na obra.

Mas existem casos em que, ao invés de se fazer um replanejamento e/ou algum tipo de alteração, o construtor ou empreiteiro prefere simplesmente ignorar os demais projetos sem pensar em qualquer tipo de conseqüências que aquilo pode acarretar. Normalmente são pessoas leigas ou irresponsáveis que ignoram os fundamentos da resistência dos materiais e da estática estrutural para alcançar algum outro objetivo, em detrimento da segurança estrutural.

a) Seccionamento de perfis

O principal problema patológico que ocorre nas interferências é o seccionamento parcial de perfis estruturais. Isso provoca uma fragilização localizada no elemento que não foi considerada em nenhum momento durante o dimensionamento estrutural. Normalmente este serviço é feito utilizando um maçarico de corte, já depois de o elemento estrutural estar montado e trabalhando. Isso tudo ainda sem considerar o risco de colapso daquele elemento, ou da estrutura como um todo, ainda durante a execução do mesmo devido à alteração dos limites de escoamento e elasticidade do aço em função da aplicação de calor. Sabe-se que o aço estrutural, a partir dos 500°C, tem sua elasticidade e resistência mecânica seriamente comprometida, com exceção dos aços de alta resistência ao fogo.

Apesar de os demais projetos terem a sua respectiva importância, nenhum deles se equipara à estabilidade estrutural. O maior objetivo da estrutura, seja qual for o sistema adotado, é a sua estabilidade de forma a garantir a segurança dos usuários que ali desenvolvem suas atividades. Nas figuras 110 e 111 temos alguns casos de interferência entre os elementos estruturais que resultaram em seccionamento dos perfis para a

passagem de instalações. Pelo tipo de agressão que os perfis sofreram, nota-se que não houve nenhum planejamento nestas interferências.



Figura 110 - Seccionamento de perfil estrutural para passagem de tubulação - – SOUZA⁶²



Figura 111 - Seccionamento de coluna para passagem de tubulação – BETINELI¹², ZACARIAS⁵⁵

Cabe ao inspetor responsável constatar e aplicar as devidas medidas de recuperação para estabelecer a segurança estrutural. Isso é feito procurando se reestabelecer a integridade do perfil ou fazendo a sua substituição. A estrutura deve ser completamente descarregada antes de se fazer a recuperação, e a utilização de algum equipamento gerador

de calor (solda ou maçarico) deve ser analisada devido ao mesmo problema da perda de resistência e elasticidade. Devem-se procurar outras alternativas para a solução dos problemas da instalação. Se for o caso, pode-se até mesmo acionar judicialmente os responsáveis por colocar em risco a vida humana.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSÃO

O estudo de patologia das edificações é um dos mais novos campos de pesquisa dentro da engenharia civil. Em edifícios feitos em concreto, e até mesmo madeira, os estudos e pesquisas relativos à patologia já atingiram um bom nível de desenvolvimento e divulgação. Várias publicações estão disponíveis comercialmente e existem diversas universidades e instituições de pesquisa abordando tal especialidade para estas estruturas.

Entretanto, para os edifícios estruturados em aço, essa realidade não encontra paralelo. O estudo de problemas patológicos em estrutura metálica está em um estágio inicial de pesquisa em relação aos demais sistemas estruturais. Foram encontrados diversos artigos, reportagens e publicações técnicas abordando temas, levantando casos ocorridos ou enfocando particularidades, mas nenhum procurou apresentar o assunto sob um ponto de vista global. Vários trabalhos foram desenvolvidos pensando não em estruturas metálicas, mas para serem aplicados em outros campos como a metalurgia e mecânica industrial. Em nível de mestrado este é o primeiro trabalho desenvolvido na catalogação dos problemas patológicos que ocorrem nos edifícios com estrutura metálica dentre as referências levantadas.

A maioria dos problemas patológicos foram observados em estruturas metálicas leves, como coberturas e galpões. Concluímos que isso ocorre neste tipo de estrutura primeiro devido a falta de manutenção periódica por parte dos proprietários, muitas vezes estes nem sabem que é preciso se fazer esta manutenção por falta de orientação dos próprios fabricantes. Segundo porque são poucas as empresas fabricantes que possuem um controle de qualidade efetivo sobre os seus produtos durante sua fabricação e montagem.

Entretanto existem em nosso país várias empresas fabricantes de estruturas metálicas que possuem programas de qualidade implantados e que respondem pela grande maioria das obras de maior responsabilidade. Nestas pode-se constatar um número bastante reduzido ou inexistente de problemas patológicos vinculados à estrutura metálica.

Acreditamos ter reunido um número significativo de ocorrências patológicas que ocorrem em estruturas metálicas, dentro dos objetivos traçados no início deste trabalho. Muitos outros problemas patológicos foram levantados, mas devido à falta de informações mais detalhadas, não foi possível fazer uma análise mais criteriosa. Para isso seria necessário um certo nível de experiência profissional prática, que só quem está inserido na área poderia conseguir.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura metálica é um sistema estrutural que possui características próprias de trabalho. Isso significa que desde a etapa de concepção até a entrega final da obra, existem cuidados que devem ser observados para não incorrer em erros construtivos, facilmente evitáveis através de planejamento e fiscalização eficientes. A semelhança com outros sistemas estruturais fica mais no campo do conceito de estrutura portante, pois desde a concepção até a entrega final da obra, a tecnologia construtiva empregada é bastante diferenciada em relação aos demais sistemas existentes no mercado.

Uma das dificuldades que apareceram no desenvolver deste trabalho foi a falta de material de pesquisa específico sobre procedimentos de construção civil para estruturas metálicas. Devido à utilização de diferentes tecnologias de construção há a necessidade de se fazer uma compatibilização entre estas para que o resultado seja satisfatório, e isso é um assunto restrito a poucas referências.

Deve ser ressaltado que em geral o ensino de engenharia civil direciona o enfoque de suas diversas disciplinas para edificações estruturadas em concreto armado. Caberia aos professores que ministram as disciplinas vinculadas com a estrutura metálica suprir esta lacuna. Porém, nem sempre isso é possível porque muitas vezes este conhecimento só é adquirido por profissionais que atuam em empresas que trabalham com este sistema estrutural, sejam escritórios de arquitetura, de projetos estruturais metálicos, de fabricantes e montadores, ou de construtoras. Como em algumas universidades é exigido dos professores trabalhar sob sistema de dedicação exclusiva, este acaba por não adquirir tal

conhecimento ou mesmo se defasando em relação a este tipo de construção. Estes muitas vezes saem direto dos cursos de graduação e pós-graduação, e ingressam nas carreiras acadêmicas sem passar por qualquer tipo de experiência profissional, resultando assim em uma deficiência de conhecimento relacionados com vários aspectos da construção com estrutura metálica (ver item 2.7).

A interação do projeto estrutural metálico com os demais projetos é um ponto extremamente importante pois a estrutura metálica não se adapta a improvisos de última hora, o que pode causar uma série de transtornos durante a construção. Também o comportamento estrutural em serviço possui as suas próprias peculiaridades, de forma que todo o desenvolvimento de uma obra ou de novas tecnologias construtivas tem que levar em consideração este fator.

Um fator importante a ser considerado é o forte apelo comercial, o que acaba exercendo influência decisiva. Os fabricantes dos produtos destinados à construção metálica, inclusive os fabricantes de estruturas metálicas, costumam apresentá-los como um sistema extremamente eficiente. Fazem questão de ressaltar as suas qualidades e propriedades, mas dificilmente apresentam indicações sobre quando é melhor utilizá-los e quais são os procedimentos construtivos necessários para sua perfeita execução. É preciso enfatizar e promover as vantagens e qualidades dos produtos relacionados com a construção metálica, porém sem esquecer da divulgação de outros aspectos da sua utilização, como suas limitações, deficiências, aspectos de manutenção, etc.

LICHENSTEIN⁴⁴, em sua dissertação de mestrado, nos mostra que a ocorrência de problemas patológicos é um fenômeno normal, contínuo e diferenciado para cada tipo de edificação, e por isso este trabalho se resume apenas em casos e situações onde foi possível se fazer uma análise sistemática dos fenômenos, dentro dos limites propostos pelos objetivos e restrições deste trabalho. Esperamos assim ter contribuído para a elucidação de diversos problemas a que está submetida a estrutura metálica, e que isso possa refletir de alguma maneira para minimizar a ocorrência de tais morbidades.

5.2. SUGESTÕES

As sugestões abaixo são o reflexo da realidade atual da construção metálica, tanto em termos do estudo das patologias, como da própria construção metálica. Reconhecemos que existe uma boa disponibilidade de publicações nacionais e estrangeiras que tratam de

cálculo e dimensionamento das estruturas metálicas. Entretanto outros aspectos ainda permanecem pouco divulgados. Por exemplo, é comum apontar os arquitetos como responsáveis por uma concepção arquitetônica ineficiente para edifícios em aço, entretanto a bibliografia disponível destinada a estes profissionais não os ensina quando e onde é mais conveniente a sua utilização e como tirar o melhor proveito de suas vantagens, inclusive a aplicação de novas tecnologias e sistemas construtivos não convencionais. O mesmo vale para o engenheiro construtor, que precisa recorrer a consultorias especializadas e caras para resolver problemas simples de construção.

Por outro lado, os fabricantes podem melhorar a divulgação de seus produtos através de uma divulgação mais objetiva, ou seja, através de publicações de conteúdo técnico consistente e de fácil compreensão, direcionadas para usuários potenciais como profissionais na área de engenharia e arquitetura em geral. As publicações não devem somente informar sobre as vantagens e desvantagens de cada produto. Elas podem também mostrar como obter a melhor aplicação deste e em que situações específicas o seu uso poderia ser recomendado. A seguir apresentamos uma série de sugestões para se promover o uso do aço na construção civil de uma forma mais objetiva:

- i. Fazer um levantamento estatístico da ocorrência dos problemas patológicos aqui citados. Esta pesquisa serviria para orientar as empresas e institutos de pesquisa sobre aspectos quantitativos da ocorrência de problemas patológicos e também aspectos de manutenção das estruturas já existentes;
- ii. pesquisar isoladamente as patologias dos elementos construtivos. Assim poderiam ser feitos estudos específicos abordando somente patologias relacionados à corrosão, tintas, ligações, lajes, alvenarias e outros objetivando a estrutura metálica. Estes teriam de ser bem mais detalhados do que os casos aqui apresentados, se possível através da realização de ensaios e/ou pesquisa de campo;
- iii. fazer um trabalho específico abordando a metodologia construtiva para estruturas metálicas. Seria um trabalho orientado para engenheiros abordando temas sobre a construção civil em aço;
- iv. fazer um trabalho sobre concepção arquitetônica, estrutural e de instalações para este tipo de edifício. Este trabalho teria por objetivo orientar os projetistas em geral a conceber e projetar edificações em aço de forma a potencializar a sua utilização, abordando também aspectos sobre as suas limitações e também uma análise

financeira em conjunto com a solução técnica.

- v. Realizar uma pesquisa sobre os diversos tipos de manutenção a que um edifício estruturado em aço deve ser submetido durante a sua vida útil. Pesquisar fatores como tempo de manutenção rotineira, checagens a serem feitas, procedimentos de manutenção, produtos empregados, recuperação de estruturas deterioradas, etc.

Pensamos que, depois de realizados tais trabalhos, a incidência de problemas patológicos em estruturas metálicas seria sensivelmente reduzida. Também o estudo e pesquisa de problemas patológicos em edifícios de aço alcançariam um avanço tecnológico significativo comparados aos que já existem para outros modelos estruturais, pois mais importante do que a recuperação de uma edificação deteriorada é a concepção do seu projeto e a sua construção a partir de técnicas e materiais adequados.

ANEXO “A”

RECOMENDAÇÕES

RECOMENDAÇÕES DE NORMA

Além das verificações já impostas durante o dimensionamento dos elementos estruturais, temos outros tipos de verificações de caráter geral. Aqui entra a necessidade de se conhecer também as restrições impostas pelas normas. A NBR 8800 / 86 estabelece no anexo C valores máximos recomendados para deformações horizontais e verticais das edificações. A necessidade de se fazer esta verificação se deve ao fato de se evitar transmitir esforços oriundos da estrutura para os demais componentes construtivos. Esforços estes que quando absorvidos por tais elementos provocam a sua degradação por não estarem preparados para tal condição de trabalho.

Também a NBR 6118/82⁰⁹ estabelece, no item 4.2.3.1.c, limites para deformações de elementos submetidos à flexão em edifícios. Este estudo é importante porque lajes, escadas e reservatórios são muitas vezes executados em concreto armado, e assim como nos edifícios de aço, a ocorrência destas deformações podem causar trincas prejudiciais ao desempenho do edifício.

A própria experiência e intuição do projetista serve como referência. Problemas patológicos ocorridos em outras edificações podem ser facilmente evitados, mesmo que não exista nenhuma referência sobre determinado assunto.

RECOMENDAÇÕES GERAIS

SANTOS⁶², citando o engenheiro Paulo Alcides Andrade, apresenta uma lista de defeitos que podem ser evitados, desde que exista um controle de produção por parte do fabricante e do montador de estruturas metálicas.

Na área de projeto

- i. Defeitos na concepção de contraventamentos;
- ii. falta de travamento contra flambagem em peças comprimidas de treliças;
- iii. seções compostas de duas cantoneiras ou perfis U em posições justapostas que impedem a aplicação da pintura;
- iv. utilização de composições soldadas em sistemas típicos para composição parafusada;
- v. banzos inferiores de treliças que permitem o acúmulo de poeira e umidade;

- vi. falta de travamento em longas terças de treliças;
- vii. falta de nervuras nas abas de colunas e vigas nos pontos de transmissão de esforços;
- viii. cargas concentradas distante dos nós das treliças;
- ix. desproporção entre as dimensões das vigas e colunas;
- x. falta de indicação das dimensões dos cordões de solda;
- xi. falta de indicação das especificações dos materiais em geral;
- xii. conceitos de contraventamentos sem possibilitar o tensionamento necessário;
- xiii. esbeltez acima dos limites em barras de travamentos;
- xiv. falta de travamentos transversais em vigas longas;
- xv. interseção de banzos superiores inclinados com o banzo horizontal fora ou distante dos apoios em treliças;
- xvi. falta de sistema que possibilite o nivelamento das chapas de base das colunas.

Na fabricação

- i. Falta de melhor controle dimensional das peças, antes e depois da fabricação;
- ii. espaçamentos muito grandes entre cordões de solda alternados;
- iii. falta de perfeito assentamento de superfícies, deixando frestas aparentes;
- iv. falta de ortogonalidade entre o eixo de colunas e o plano da chapa de apoio;
- v. torções em vigas caixão;
- vi. rebarbas não esmerilhadas;
- vii. soldas mal feitas, com respingos, crateras e porosidades.

Na pintura

- i. Falta de correta preparação da superfície;
- ii. pinturas indevidas em superfícies que ficarão imersas em concreto;
- iii. falta de penetração de tintas em cantos e reentrâncias nas partes internas dos furos.

Especificações

- i. Falta de exigência de especificações por parte dos proprietários ou fiscais;
- ii. falta de especificações do aço empregado em perfis e chapas;

- iii. falta de especificações para soldas: comprimentos, tipos de eletrodos, voltagens e amperagens recomendadas.

Testes e ensaios

- i. Falta de exigência de ensaios de tração e alongamento para os aços estruturais e parafusos;
- ii. não verificação de aderência, espessuras do filme seco e porosidade na pintura;
- iii. Falta de exame visual mais apurado ou ensaios determinantes de defeitos, como o de líquido penetrante.

Na montagem

- i. Falta de nivelamento correto das bases ou apoios e falta de grauteamento;
- ii. soldas de campo executadas sobre superfícies pintadas;
- iii. soldas de má qualidade;
- iv. falta de aperto nos parafusos, resultando em frestas visíveis;
- v. aplicação de parafusos galvanizados misturados com pretos, e de especificações diferentes na mesma ligação;
- vi. contraventamentos frouxos ou sem condições de serem tensionados;
- vii. desalinhamento de tesouras, vigamentos e demais elementos;
- viii. mistura de sistemas de ligações de montagem - parafusos e soldas na mesma conexão;
- ix. montagem com os chumbadores indevidamente fixados, ou com as bases ainda sem concretagem;
- x. falta de paralelismo nas emendas flangeladas;
- xi. furações deslocadas dos eixos;
- xii. falta de arruelas;
- xiii. falta da colocação da totalidade dos parafusos em uma conexão;
- xiv. recortes grosseiros a maçarico para ajustes na obra;
- xv. inversão na colocação de arruelas cônicas resultando na inclinação dos parafusos;
- xvi. falta de nivelamento correto das bases ou apoios e falta de grauteamento.

ANEXO “B”

GLOSSÁRIO

VOCABULÁRIO TÉCNICO

Como vários dos termos técnicos usados neste trabalho são de uso corrente na medicina e na metalurgia, cabe aqui apresentar uma definição mais precisa destes para uma melhor compreensão dentro do âmbito da construção civil. Serão consideradas as mesmas definições adotadas em outras publicações referentes, respectivamente, aos assuntos pesquisados, já amplamente utilizadas^{04, 22, 35, 36, 43, 44, 73, 74, 75, 76}.

Aço carbono: É a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% a 2,0% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes do processo de fabricação.

Aço estrutural: São todos os aços que, devido a sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para o uso em elementos que suportam cargas.

Aço patinável: É o nome comercial dado para os aços resistentes à corrosão. Esta denominação é decorrente da formação de uma camada de óxidos do próprio metal sobre sua superfície, altamente aderente e com pouca porosidade denominada pátina, o que propicia um eficiente mecanismo de proteção por barreira contra a corrosão. Os principais nomes comerciais destes tipos de aços são: USI-SAC (produzido pela USIMINAS), COS-AR-COR (produzido pela COSIPA) e NIOCOR (produzido pela Companhia Siderúrgica Nacional).

Aço-liga: É o aço carbono que contém outros elementos de ligas ou que apresenta elementos residuais acima dos teores considerados normais. Os principais elementos residuais são: fósforo, enxofre, manganês e silício, e os principais elementos de liga: cobre, cromo, níquel, molibdênio, vanádio, titânio, nióbio e boro. A principal função destes elementos no aço estrutural é aumentar suas características de resistência mecânica, à corrosão e ao fogo. O aço patinável e o aço inoxidável são exemplos de aço liga.

Adsorção: Fenômeno de fixação das moléculas de uma substância na superfície de outra substância (por exemplo no filtro de carvão ativado).

Agente causador: É a denominação utilizada para definir qual destas ações é responsável pela patologia. Os agentes causadores mais comuns são: sobrecargas, variações térmicas, variações de umidade, água (vapor, líquido, sólido), agentes da atmosfera, agentes incorporados, materiais, infestação biológica e operações de transporte.

Atomização: É o termo que se refere ao tamanho das partículas de tinta no spray formado pela pistola de aplicação.

Carepa de laminação: É um subproduto do aço carbono formado sobre a sua superfície decorrente do processo de laminação que este sofre na usina siderúrgica. Consiste de uma fina camada de óxidos e outros componentes resultantes de diversas reações químicas e transformações físicas que o aço sofre e faz parte do produto final.

Causa: Entende-se como causa a ação ou ações do meio ambiente responsável pelo início e evolução do fenômeno patológico. Um problema patológico pode ter mais de uma causa, mas o mecanismo de desenvolvimento de cada um é único e a determinação da causa é o mais importante passo na definição do diagnóstico. A determinação das causas serve para se definir a terapia a ser adotada para um problema patológico específico e que já esteja ocorrendo com a edificação. Problemas que ainda não ocorreram devem ser prevenidos através de procedimentos de manutenção.

Desempenho: O desempenho pode ser interpretado como sendo o comportamento em uso da edificação, a manutenção de suas propriedades e características frente à ação do agente agressivo. O comportamento apresentado frente a estes ataques é determinante de outros fatores como manutenção, durabilidade e vida útil.

Diagnóstico: O diagnóstico é o resultado de um procedimento de inspeção, levantamento de dados e análise destes visando identificar qual ou quais são os problemas patológicos que estão ocorrendo na edificação. A conclusão de um trabalho de levantamento de dados necessários e suficientes para poder se identificar a natureza, o alcance, as causas e origens dos problemas patológicos. É o entendimento integral do processo de interação que explica cientificamente os fenômenos ocorridos e seu desenvolvimento.

Durabilidade: É a capacidade de manter em serviço um produto, componente, montagem ou construção durante um determinado período de tempo especificado.

Escória: É um material não metálico, com a função de proteger a poça de solda durante a sua execução, e que depois fica retido sobre o cordão de solda. Após o término da soldagem, esta escória não possui mais nenhuma função, devendo ser totalmente removida da superfície do cordão através de pequenos martelinhos, escova de aço ou lixadeira elétrica. Esta operação de limpeza deve ser bem executada de forma que nenhuma lasca da escória permaneça sobre a superfície do cordão. Caso isso aconteça, podemos ter problemas de inclusão ou pintura.

Falha: Termo genérico utilizado para definir qualquer tipo de problema patológico que afete o desempenho da edificação.

Fluxo: É um componente granular, parecido com areia, que é utilizado em equipamento de

solda a arco submerso e cuja função é a de proteger a poça de fusão durante a soldagem.

Jateamento (de areia ou granalha): Expressão usada para indicar um processo de limpeza de superfície metálica através da incidência de um fluxo abrasivo contínuo de areia ou granalha de aço impulsionada por um fluido (ar comprimido) sobre a sua superfície. O equipamento de aplicação (jato de areia ou granalha) consiste basicamente de: compressor, separador de umidade, filtro de óleo, vaso de pressão, válvula de mistura ar-abrasivo, sistemas de controle remoto, mangueiras, bico e abrasivo. É o mais eficiente método de limpeza para as estruturas metálicas pois além de poder alcançar um altíssimo grau de limpeza, ainda promove uma boa superfície de ancoragem para a pintura.

Junta telescópica: É um arranjo feito com perfis metálicos cantoneira, fixado às vigas e colunas de uma estrutura metálica, cuja função é a de permitir o deslocamento diferenciado entre os elementos estruturais e os elementos de vedação, particularmente as paredes de alvenaria.

Liga metálica: Liga metálica é um elemento metálico obtido a partir da metalurgia de dois ou mais metais diferentes. Apresenta características distintas dos metais originais, normalmente melhorando algumas propriedades ou corrigindo deficiências isoladas.

Manutenção: Pode ser entendida como o conjunto de ações de reduzido alcance, como forma de prevenir ou identificar o surgimento de danos e de se evitar o comprometimento da segurança da estrutura.

Mastic: É um tipo de tinta epóxi cujas principais características são uma alta espessura, o que possibilita um menor número de demãos economizando tempo, e sua boa aderência à superfície metálica, mesmo que esta não tenha sido jateada.

Mastique: Produto pastoso utilizado como selante em estruturas metálicas em juntas sujeitas à infiltração, tais como na junção da estrutura com a alvenaria, juntas de dilatação, etc.

Mecanismo: Entende-se por mecanismo como sendo o conjunto de reações dos componentes da edificação quando submetida a qualquer tipo de solicitação.

Movimentações higrotérmicas: São variações dimensionais nos materiais de construção (dilatação ou contração) causadas por variações de temperatura e/ou umidade.

Origem: Por origem dos problemas temos as grandes fases ou etapas do processo construtivo: planejamento e concepção, projeto, materiais e componentes deficientes ou inadequados, técnicas inadequadas para execução, uso (operação e manutenção). O interesse na determinação da origem está relacionado com a prevenção das patologias.

Conhecendo-se os diversos tipos de patologias e as condições de seu aparecimento, pode-se tomar medidas preventivas que evitem o seu aparecimento ainda nas diversas etapas de planejamento, concepção e projeto.

Patologia: Patologia é uma palavra de origem grega que significa estudo de doenças. Na engenharia civil este termo é utilizado para definir os problemas que acontecem nos diferentes tipos de edificações e que possam comprometer seu desempenho. Patologia das edificações é o ramo da engenharia civil em que são estudados os diversos problemas que ocorrem nas edificações em geral. Estes problemas acontecem porque todas as edificações sofrem a ação do meio ambiente e deterioram-se, comprometendo progressivamente seu desempenho e vida útil. Tais problemas ocorrem em menor ou maior escala, dependendo das características de concepção, projeto, materiais e construção, podendo comprometer a edificação de forma que esta não atenda os objetivos para a qual fora executada e até mesmo impedindo qualquer tipo de utilização da mesma.

Película apassivadora: Película apassivadora é uma camada de óxidos do próprio metal que se forma sobre a sua superfície. Esta película adere fortemente à superfície do metal, criando uma pequena lâmina compacta de óxido, e que por isso impede o avanço da corrosão no interior do metal. Depende do metal e também do eletrólito para que esta camada apareça. Em uma atmosfera natural, temos os seguintes exemplos de metais em que ocorre este fenômeno: alumínio, níquel, molibdênio, titânio, zircônio, aço inoxidável, cromo, etc.

Perfis leves: Denominação usada para identificar os perfis metálicos fabricados a partir do corte e dobra de chapas metálicas, normalmente chapas de pequena espessura ($\leq 4,75$ mm). Os perfis usualmente existentes no mercado são L (cantoneira), U e U enrijecido. Perfis caixão e I podem ser obtidos a partir da soldagem de dois perfis U ou U enrijecidos paralelamente. Em algumas situações podem ainda serem adotados perfis Z, S ou qualquer outro tipo de seção que seja conveniente para o fabricante de estruturas metálicas. Outras denominações usadas para identificar tais perfis são chapa dobrada e perfis formados a frio.

Pite: É uma tipo de corrosão localizada, característica de metais que formam película apassivadora. Sob determinadas condições ambientais, esta película se rompe permitindo uma corrosão pontual que avança no interior do metal formando pequenos alveolos. Não é um tipo de corrosão característica do aço estrutural.

Prognóstico: É uma especulação sobre os rumos da evolução do problema patológico a

partir do diagnóstico. Um conjunto de hipóteses indicando as alternativas possíveis de evolução do problema ao longo do tempo com base em determinados parâmetros. O prognóstico é que determina se é ou não necessário uma intervenção na edificação.

Reconstrução: Correção generalizada de problemas patológicos. Consiste na demolição parcial ou total da edificação e a posterior execução de uma nova edificação. É um procedimento adotado somente quando os níveis de danos são muito elevados não compensando quaisquer esforços visando sua recuperação. Esta é a última medida a ser considerada em qualquer caso de patologia verificado devido ao maior custo em relação às outras medidas.

Recuperação: Termo que delimita todas as formas de correção dos problemas patológicos de forma a manter as suas características originais. Pode ser executada através de pequenas ações de intervenção, reparos ou reforços localizados, ou também reparos e reforços em toda a estrutura.

Reforço: Procedimento de aumento da capacidade portante da estrutura. Não implica na existência de problemas patológicos, entretanto pode ser aplicado para a reposição parcial ou global das condições de estabilidade. É realizado mediante a implementação de novos elementos estruturais solidarizados ou não com os já existentes.

Reparo: Correção localizada de problemas patológicos visando reconstituir as características originais da edificação. Supõe a existência prévia de algum tipo de patologia e não implica necessariamente na incorporação de novos elementos estruturais e/ou outros materiais.

Resinas alquídicas modificadas com óleo: São resinas obtidas pela reação entre poliálcoois e poliácidos, resultando em um poliéster. Como esta é uma resina dura e quebradiça, o acréscimo de óleo vegetal serve para atenuar este efeito.

Resinas saponificáveis: São resinas que, quando submetidas a ação de ambientes agressivos contendo ácido, base ou água, se transformam em sais de ácidos graxos pela ação dos hidróxidos metálicos sobre ésteres.

Solidarização especular: Consiste na obtenção de um perfil estrutural a partir da solidarização de dois perfis idênticos paralelamente.

Terapia: Terapia é o termo utilizado para designar o conjunto de medidas a serem adotadas para a correção dos problemas patológicos. É normalmente precedida de uma análise do problema patológico e de um diagnóstico atestando qual fenômeno está ocorrendo na edificação.

Tintas bicomponentes: São tintas que resultam da mistura de dois componentes: a resina e o endurecedor. Ao adquiri-las, o fabricante de estruturas metálicas recebe duas porções de cada componente que devem ser misturadas apenas no momento da aplicação, pois, após a mistura, o produto possui um tempo de vida útil no qual deverá ser utilizado.

Vida útil: É o período de tempo, após a instalação de um material ou componente da edificação, durante o qual todas as propriedades excedem a um valor mínimo aceitável, tendo sofrido manutenção rotineira.

Zarcão: O zarcão é o nome de um óxido salino de chumbo, utilizado em tintas anticorrosivas de fundo como pigmento inibidor. Na construção civil ele é muito utilizado em esquadrias, portões e grades feitas com aço.

BIBLIOGRAFIA

1. ABIKO, Alex Kenya. MESSAROS, Rosa Maria. Edifícios habitacionais de estruturas metálicas no Brasil. São Paulo : EPUSP, 1995. 99 p. texto técnico TT/PCC/14.
2. AGOPYAN, Vahan. A durabilidade dos materiais e componentes. In: ANAIS EPUSP, 1988, São Paulo. Anais... São Paulo : EPUSP, 1988. 5 v. Sér. A. Pt. 5. p. 233-244.
3. ANDRADE, Péricles Barreto de. Curso básico de estruturas de aço. Belo Horizonte : IEA Editora, 1994. 192 p.
4. ARANHA, Paulo Márcio da Silva. Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica. Porto Alegre, 1994, 143 p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – UFRGS.
5. ASSIS, Eduardo. Elementos de aço II. Disciplina do curso de pós-graduação em construção metálica – CIV762, UFOP. Ouro Preto, 1997. Notas de aula.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. Manual técnico de alvenaria. São Paulo : ABCI/PROJETO/PW, 1990. 280 p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças devido ao vento em edificações: NBR 6123. Rio de Janeiro, 1988. 110 p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios (método dos estados limites): NBR 8800. Rio de Janeiro, 1986. 129 p.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de obras de concreto: NBR 6118. Rio de Janeiro, 1982. 76 p.
10. BALLAST, David Kent. Handbook of construction tolerances. New York : McGraw-Hill Book Company, 1994. 357 p.
11. BELLEY, Ildony H. Edifícios industriais em aço – projeto e cálculo. São Paulo : Pini,

1994. 493 p.
12. BETINELI, Evandro A. Patologia das estruturas metálicas. Passo Fundo, 1998. 45 p. Trabalho de conclusão de estágio . Curso de graduação em engenharia civil – UPF.
 13. BLESSMANN, Joaquim. Acidentes causados pelo vento. 3. ed. Porto Alegre : UFRGS, 1986. 81 p.
 14. CÂNDIDO, Luís Cláudio. Corrosão e proteção de metais. Disciplina do curso de pós-graduação em construção metálica – CIV767, UFOP. Ouro Preto, 1997. Notas de aula.
 15. CÂNDIDO, Luís Cláudio. Tópicos especiais em engenharia civil - Tecnologia da soldagem. Disciplina do curso de pós-graduação em construção metálica – CIV795, UFOP. Ouro Preto, 1998. Notas de aula.
 16. CARDOSO, Francisco. F. MESSAROS, Rosa Maria. SILVA, Valdir Pignatta e. Uso do aço na construção. Núcleo de tecnologia da construção metálica. 1. ed. São Paulo : EPUSP / FDTE / COSIPA, 1988. 83 p. Projeto e construção de edifícios de aço, publicação técnica PT 04
 17. CHANDLER, Keneth A. BAYLISS, Derek. A. Corrosion protection of steel structures. 1. Ed. Watford : Elsevier Applied Science Publishers LTD, 1985. 411 p.
 18. CODEME ESTRUTURAS METÁLICAS. Steel deck - noções de utilização e dimensionamento. Betim, 1997, 47 p.
 19. CODEME ESTRUTURAS METÁLICAS. Telhas CODEME. Betim, [1997?], não paginado.
 20. CONPAT 97 - IV CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES E VI CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre : UFRGS, 1997. 2 v.
 21. COSTA, Antônio Carlos da, A estética do detalhe. *techné*, São Paulo, nº 6, p. 16-22, set/out. 1993.
 22. COZZA, Eric. Uma nova era para o aço. *techné*, São Paulo, n. 36, p. 18-23, set/out. 1998.
 23. DIAS, Luís Andrade de Mattos. Edificações de aço no Brasil. 1. Ed. São Paulo : Zigurate, 1997. 204 p.
 24. DIAS, Luís Andrade de Mattos. Estruturas de aço : conceitos, técnicas e linguagem. 1. ed. São Paulo : Zigurate, 1997. 173 p.
 25. DILLON. C. P. Forms of corrosion - recognition and prevention : nace handbook 1.. 2. ed. Houston : National Association of Corrosion Engineers. 1982. 116 p.

26. EICHLER, Friedrich, Patología de la Construcción – detalles constructivos; Versión española de la 2ª edición alemana. 1. Ed. Barcelona : Editorial Blume y Editorial Labor, 1973. P. 7-48.
27. ELEMENTOS ESTRUTURAIS E LIGAÇÕES. Aço Minas Gerais. Belo Horizonte : Aço Minas Gerais, 1989. 161 p.
28. FILHO, Alcebiades de Vasconcellos. Concepção de estruturas de edifícios. Belo Horizonte : UFMG, 1987. 265 p.
29. GENTIL, Vicente. Corrosão. 3. ed. Rio de Janeiro : Livros técnicos e científicos editora. 1996. 345 p.
30. GONÇALVES, Roberto Martins. SÁLES, José Jairo. NIMIR, Walter Abrahão. Alguns aspectos da deterioração e inspeção de pontes metálicas. In: 4º SEMINÁRIO USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO, 1989, São Paulo. Anais... São Paulo : EPUSP, 1989. p. 199-212.
31. HAIRONVILLE DO BRASIL. Lajes metálicas compostas Polydeck. [São Paulo], [1997?]. 18p.
32. HAIRONVILLE DO BRASIL. Polyform – Perfis de aço para coberturas, fechamentos, painéis e laje metálica. [São Paulo], 1997. 88p.
33. HAMAZAKI, Alberto. Relatório técnico: recuperação da cobertura metálica do vão “C-D”, eixos 6 à 24; Arisco Produtos Alimentícios. Goiânia, 1994. 80 p.
34. HAYWARD, Alan. WEARE, Frank. Steel detailers manual. Oxford : Blackwell Science Ltd, 1994. P. 1-39.
35. HELENE, Paulo Roberto Lago. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ed. São Paulo : Pini, 1992. 213 p.
36. HELENE, Paulo Roberto Lago. Patologia do concreto; roteiro de palestra. São Paulo : EPUSP, 1988. 29 p.
37. HOFFMAN, Salvador. Manual prático da soldagem. 1. ed. Caxias do Sul, 1987. 77 p.
38. HOFFMAN, Salvador. Manutenção por soldagem. 1. ed. Caxias do Sul : EDUCS, 1987. 69 p.
39. JOHNSON, Sidney M. Deterioration, maintenance, and repair of structures. New York : McGraw-Hill Book Company, 1965.
40. JÚNIOR, Ernesto Tarnoczy. Núcleo de tecnologia da construção metálica. 1. ed. São Paulo : EPUSP / FDTE / COSIPA, 1989. 94 p. Projeto e construção de edifícios de aço, publicação técnica PT 17.

41. LASKA, Walter. Masonry and steel – detailing handbook. Addison : The Aberden Group, 1993. 218 p.
42. LEPARTNER, Barry B. JOHNSON, Sidney M. Structural and foundation failures: a casebook for architects, engineers and lawyers. New York : McGraw-Hill Book Company, 1982.
43. LICHTENSTEIN, Norberto B. Patologia das construções. São Paulo : EPUSP, 1986. 29 p. Boletim técnico 06/86
44. LICHTENSTEIN, Norberto B. Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações. São Paulo, 1985. 191 p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – EPUSP.
45. LICHTENSTEIN, Norberto Blumenfeld. O ciclo de vida dos edifícios. In: ANAIS EPUSP, 1988, São Paulo. Anais... São Paulo : EPUSP, 1988. 5 v. Sér. A. Pt. 5. p. 379-398.
46. MANUAL BRASILEIRO PARA CÁLCULO DE ESTRUTURAS METÁLICAS. 2. ed. Brasília : Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio – Secretaria Especial de Desenvolvimento Industrial, 1989. 4 v em 3. V. 3. 460 p.
47. MCKAIG, Thomas H. Building Failures – case studies in construction and design. New York : McGraw-Hill Book Company, 1962.
48. NETO, Constantino Angelino. O problema da corrosão de estacas portantes de aço. In: SIMPÓSIO UTILIZAÇÃO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1984, São Paulo. Anais... São Paulo : Universidade Mackenzie, 1984. p. 211-222.
49. NUNES, Edson de Castro. NATAL, Yelson Duboc. Apostila palestra sobre soldagem na escola de engenharia – UFOP. Ouro Preto : UFOP, 1985. Curso de especialização em tecnologia para o uso do aço. 95 p.
50. NUNES, Laércio de Paula. LOBO, Alfredo Carlos O. Pintura industrial na proteção anticorrosiva. Rio de Janeiro : Livros técnicos e científicos editora, 1990. 250 p.
51. OKUMURA, Toshie. TANIGUCHI, Célio. Engenharia de soldagem e aplicações. 1. ed. Rio de Janeiro : Livros técnicos e científicos editora, 1982. 461 p.
52. PANOSSIAN, Zehbour. Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas”. 1. ed. São Paulo : [s.n.], 1993. 2 v.
53. PERKROM, Catálogo de telhas metálicas. São Paulo, [199-]. 24 p.
54. PFEIL, Walter. Estruturas de aço. 5. ed. Rio de Janeiro : Livros técnicos e científicos.

1991. 300 p.
55. PRÁVIA, Zacarias M. Chamberlain. BETINELLI, Evandro A. Conceito e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas. *Construção Metálica*, [São Paulo], p 56-61. 4º trimestre de 1998.
 56. PRINCÍPIOS DE PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO PARA ESTUDANTES DE ARQUITETURA. Aço Minas Gerais. Belo Horizonte : Graphilivros Editores Ltda, 1989. 157 p.
 57. RAMANATHAN, Lalgudi V. Corrosão e seu controle. 1. ed. São Paulo : Hemus editora ltda, 1990. 342 p.
 58. RIBEIRO, Luís Fernando Loureiro. Elementos de aço II. Disciplina do curso de pós-graduação em construção metálica – CIV762, UFOP. Ouro Preto, 1997. Notas de aula.
 59. SABBATINI, Fernando Henrique. Umidade por infiltração em paredes de alvenaria. In: ANAIS EPUSP, 1988, São Paulo. Anais... São Paulo : EPUSP, 1988. 5 v. Sér. A. Pt. 5. p. 95-103.
 60. SALMON, Charles. G. JOHNSON, John. E. Steel structures – design and behaviour – emphasizing load and resistance factor design. 3. ed. Madison : Harpercollinspublishers inc, 1990, 1089 p.
 61. SANTOS, Débora Cristina Dobscha. OLIVEIRA, Lidiane Souza de. Corrosão – algumas técnicas de proteção em estruturas metálicas. Ouro Preto: PET, 1997. UFOP. 64 p.
 62. SANTOS, Penélope, Consultoria preventiva na construção com aço acompanha a gestão de qualidade. *Construção Metálica*, [São Paulo], p 10-17. 1º trimestre de 1998.
 63. SILVA, Paulo Furtado da. Introdução à corrosão e proteção das superfícies metálicas. Belo Horizonte : [s.n.], 1981. p. 293-326.
 64. SOUSA, José Geraldo de. PINTO, José Aírton de Queiroz. Proteção de estruturas de aço contra a corrosão. Ouro Preto : UFOP, 1985. Curso de especialização em tecnologia para uso do aço. 24 p.
 65. SOUSA, Marcos de. O homem do aço. *techné*, São Paulo, n. 15, p. 12-14, mar/abr. 1998.
 66. SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemos de. As estruturas de aço na construção civil. In: ANAIS EPUSP, 1988, São Paulo. Anais... São Paulo : EPUSP, 1988. 5 v. Sér. A. Pt. 5. p. 519-528.
 67. SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemos de. O projeto como agente de durabilidade da

- estrutura metálica. *A Construção*, Rio de Janeiro, n. 267, p 41-44, nov. 1988.
68. SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemos de. O projeto como agente de durabilidade da estrutura metálica. *A Construção*, São Paulo, n. 2129, p. 31-34, nov. 1988.
69. SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemos de. Sistema de piso para edifícios de aço. Núcleo de tecnologia da construção metálica. 1. ed. São Paulo : EPUSP / FDTE / COSIPA, 1988. 122 p. Projeto e construção de edifícios de aço, publicação técnica PT 10
70. SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemos de. Sistemas de pisos para edifícios de aço. Núcleo de tecnologia da construção metálica. 1. ed. São Paulo : EPUSP / FDTE / COSIPA, 1988. 122 p. Projeto e construção de edifícios de aço, publicação técnica PT 10.
71. SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemos de. Sistemas de vedações para edifícios de aço. Núcleo de tecnologia da construção metálica. 1. ed. São Paulo : EPUSP / FDTE / COSIPA, 1988. 157 p. Projeto e construção de edifícios de aço, publicação técnica PT 21.
72. STEEL CONSULT. Especificações para compatibilização das alvenarias com a estrutura em edifícios com estruturas metálicas. Belo Horizonte, [199-]. 19 p.
73. THOMAZ, Ercio. As causas de fissuras – parte 1. *techné*, São Paulo, n. 36, p. 44-49, set/out. 1998.
74. THOMAZ, Ercio. Prevenção e recuperação de fissuras em alvenarias – parte 2. *techné*, São Paulo, n. 37, p. 48-52, nov/dez. 1998.
75. THOMAZ, Ercio. Trincas em edifícios. Causas, prevenção e recuperação. 1. ed. São Paulo : IPT / EPUSP / Pini, 1989. 194 p.
76. VERÇOZA, Enio José. Patologia das edificações. 1. Ed. Porto Alegre : SAGRA, 1991. 173 p.