



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



PARÂMETROS PARA PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES ESTRUTURADAS EM AÇO

Ouro Preto, outubro de 2019.



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



PARÂMETROS PARA PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES ESTRUTURADAS EM AÇO

AUTORA: GIANE ALFENAS ANTUNES HOFMANN

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, para obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Civil, área de concentração: Estruturas e Construção
Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza

Ouro Preto, outubro de 2019.

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

H713p Hofmann, Giane Alfenas Antunes .
Parâmetros para prevenção de patologias em edificações estruturadas em aço.
[manuscrito] / Giane Alfenas Antunes Hofmann. - 2019.
197 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur Souza.
Tese (Doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de
Engenharia Civil. Programa de Engenharia Civil.
Área de Concentração: Estruturas e Construção.

1. Estrutura em aço. 2. Patologia. 3. Gestão da Qualidade Total. 4. Matriz GUT
(Gravidade, Urgência, Tendência). 5. Patologia - Prevenção. I. Souza, Henor Artur.
II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624.01

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB:1716

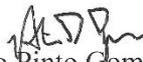
PARÂMETROS PARA PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES ESTRUTURADAS EM AÇO

AUTORA: GIANE ALFENAS ANTUNES HOFMANN

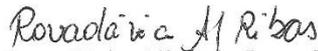
Esta tese foi apresentada em sessão pública e aprovada em 25 de outubro de 2019, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Henor Artur de Souza, D. Sc. – UFOP (Presidente)



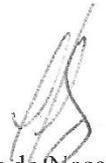
Prof. Adriano Pinto Gomes, D. Sc. – IFMG



Profa. Rovadavia Aline de Jesus Ribas, D. Sc. – UFOP



Profa. Gertrudes Aparecida Dandolini, D. Sc. – UFSC



Prof. Otávio Luiz do Nascimento, D. Sc. – IBMEC

Agradeço a Deus, pois nessa vida, a cada passo que meus
pés se dobram, sinto sua presença e o seu presente.

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos e adoráveis alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo da UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. A lembrança das nossas aulas tão divertidas e tão produtivas foi o que deu sentido à minha vida para seguir em frente. Vocês me deram a oportunidade de aprender que ser professora é muito mais do que ensinar em frente ao quadro.

Ao meu marido, companheiro de uma vida inteira, tudo que passamos só nos uniu mais. Agradeço, especialmente, pelo último ano. Com sua total dedicação, pude me preocupar apenas com a minha pesquisa.

Ao meu pai, Eng. Francisco Antunes de Oliveira, por me transmitir o gosto pela construção e por me apresentar o universo do canteiro de obra sem falsa piedade, que apenas esconde o preconceito. São pessoas que adoram o que fazem!

A quem eu nunca terei palavras suficientes, que com tanta generosidade me ajudou.

Ao meu orientador, Henor Artur de Souza, pela dedicação e compreensão.

Aos professores do PROPEC, em especial à prof^a. Arlene Sarmanho e ao prof. Guilherme Brigolini.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa a mim concedida.

À Universidade Federal de Ouro Preto e aos seus funcionários, sempre tão gentis e prestativos.

RESUMO

A construção estruturada em aço mostra-se uma opção interessante à já consagrada estrutura em concreto no cenário brasileiro, especialmente em um momento em que a construção civil no Brasil busca por mais competitividade e tecnologia como forma de enfrentar a crise econômica em um mercado em grande e constante mudança. Entretanto, por motivos históricos e culturais, o aço é ainda pouco utilizado como elemento estrutural na construção no Brasil. Para fomentar o uso de tal material faz-se necessário um maior domínio acerca de suas características, vantagens e, principalmente, de suas possíveis patologias. E a prevenção das patologias pode evitar degradação, gastos e até o colapso da estrutura. Nesse trabalho definem-se parâmetros essenciais na prevenção de patologias relacionadas à interface aço/fechamento em edificações estruturadas em aço. A identificação das patologias é feita em cinco edificações de médio e grande porte estruturadas em aço. De posse das informações acerca das patologias, são levantados os elementos causadores e a análise de risco das patologias, por meio das ferramentas da Gestão da Qualidade Total, utilizando-se, especialmente, o Diagrama de Ishikawa e a Matriz GUT. Os resultados obtidos mostram em qual etapa do processo de construção devem ser aplicados parâmetros na prevenção das patologias encontradas: corrosão na estrutura, trincas nos fechamentos, infiltrações na interface fechamento/estrutura, vazamento nas lajes entre andares e transmissão de som pelas lajes e instalações elétricas.

Palavras-chave: Estrutura em aço, patologias, Gestão da Qualidade Total, Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência), prevenção de patologias.

ABSTRACT

Structured steel construction is an interesting option for the already established concrete structure in the Brazilian scenario, especially at a time when civil construction in Brazil is looking for more competitiveness and technology as a way to face the economic crisis in a market in great and constant change. However, for historical and cultural reasons, steel is still little used as a structural element in construction in Brazil. In order to promote the use of such material, it is necessary to have greater control over its characteristics, advantages and, especially, its possible pathologies. And the prevention of pathologies can avoid degradation, costs and even the collapse of the structure. In this work, essential parameters are defined in the prevention of pathologies related to steel the steel/closure in structured steel buildings interface. The identification of pathologies is done in five medium and large structured steel buildings. In possession of the information about the pathologies, the causative elements and the risk analysis of pathologies are surveyed through the tools of Total Quality Management, using, especially, the Ishikawa Diagram and the GUT Matrix. The results obtained show in which stage of the construction process should be applied parameters to prevent the pathologies found: corrosion in the structure, cracks in the closures, infiltrations in the interface closure / structure, leakage in the slabs between floors and transmission of sound by slabs and electrical installations.

Keywords: Steel structure, pathologies, Total Quality Management, GUT matrix (Gravity, Urgence, Tendence), pathology prevention.

LISTA DE SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACM - Aluminum composite material
- ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
- APICER - Associação Portuguesa das Indústrias de Cerâmica e Cristalaria
- ASTM - American Society for Testing and Materials
- CCA - Concreto celular autoclavado
- CSN - Companhia Siderúrgica Nacional
- COSIPA – Companhia Siderúrgica Paulista
- EPDM - Borracha etileno-propileno-dieno
- EPS - Painéis de concreto armado com alma de poliestireno expandido
- GQT - Gestão da Qualidade Total
- GUT - Gravidade, Urgência e Tendência
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
- ISO - International Organization for Standardization
- LSF - Light Steel Framing
- MPa – Mega pascal
- NBR - Normas Brasileiras
- OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- PDCA - plan-do-check-act
- PFC - Painéis Pré-Fabricados de Concreto
- PIB – Produto Interno Bruto
- PIB - Produto Interno Bruto
- PNADC - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
- PROPEC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

QC - Controle de Qualidade

RF - Resistente ao fogo

RU - Resistente à umidade

SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil

SPDA - Sistema de Proteção de Descargas Atmosféricas

ST - Standard

STP - Sistema Toyota de Produção

TMC -Toyota Motors Company

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 - Nível de instrução de trabalhadores..... | 21 |
| Figura 2.2 - Índice de Confiança da Construção..... | 24 |
| Figura 2.3 - As sete ferramentas de controle de qualidade..... | 39 |
| Figura 2.4 - Exemplo de Histograma..... | 40 |
| Figura 2.5 - Exemplo de Gráfico de Pareto..... | 41 |
| Figura 2.6 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa..... | 43 |
| Figura 2.7 - Exemplo de Diagrama de Dispersão..... | 44 |
| Figura 2.8 - Exemplo de Fluxograma..... | 45 |
| Figura 2.9 - Exemplo de Gráfico de Controle de Qualidade..... | 46 |
| Figura 3.1 - Perfil laminado..... | 52 |
| Figura 3.2 - Série simétrica..... | 52 |
| Figura 3.3 - Série monossimétrica..... | 52 |
| Figura 3.4 - Perfis formados a frio..... | 56 |
| Figura 3.5 - Seções de perfis compostos utilizados como viga..... | 56 |
| Figura 3.6 - Perfis compostos usados como pilares..... | 57 |
| Figura 3.7 - Elementos componentes de uma estrutura em aço..... | 60 |
| Figura 3.8 - Elementos de viga treliçada..... | 62 |
| Figura 3.9 - Viga treliçada..... | 62 |
| Figura 3.10 - Painel EPS..... | 64 |
| Figura 3.11 - Concreto celular autoclavado..... | 65 |
| Figura 3.12 - Parede com estrutura simples/chapa dupla..... | 68 |
| Figura 3.13 - Parede com estrutura simples/chapa dupla..... | 68 |
| Figura 3.14 - Áreas molháveis com e sem rodapé metálico..... | 69 |
| Figura 3.15 - Laje maciça moldada in loco..... | 70 |
| Figura 3.16 - Laje Alveolar protendida..... | 71 |
| Figura: 3.17 - Laje com forma em aço, incorporada..... | 72 |
| Figura 3.18 - Laje pré moldada de concreto..... | 73 |
| Figura 3.19 - Laje painel treliçada..... | 74 |
| Figura 3.20 - Manta Acústica..... | 77 |
| Figura 3.21 - Contraventamento..... | 78 |
| Figura 3.22 - Pórtico..... | 79 |
| Figura: 3.23 - Contraventamento do tipo parede..... | 80 |
| Figura 3.24 - Contraventamento do tipo núcleo..... | 81 |
| Figura 3.25 - Empenamento da seção do núcleo..... | 82 |
| Figura 3.26 - Contraventamento do tipo reticulada contraventada..... | 83 |
| Figura 4.1 - Corrosão visível na parede..... | 91 |
| Figura 4.2 - Fissuras..... | 95 |
| Figura 4.3 - Alvenaria vinculada..... | 97 |
| Figura 4.4 - Alvenaria desvinculada..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.5 - Dispositivos de ligação alvenaria e estrutura de aço..... | 98 |
| Figura 4.6 - Tela como elemento de ligação..... | 100 |
| Figura 4.7 - Cantoneiras metálicas (planta) fixadas com pinos de aço zincado ou por meio de soldagem..... | 101 |
| Figura 4.8 - Telas de arame zincado assentadas a cada três fiadas..... | 102 |
| Figura 4.9 - Esquema de sistema rígido de fixação..... | 103 |
| Figura 4.10 - Esquema de sistema semi-rígido de fixação..... | 103 |
| Figura 4.11 - Esquema de sistema deformável de fixação..... | 104 |
| Figura 4.12 - Juntas de assentamento..... | 105 |
| Figura 4.13 - Junta de movimentação..... | 106 |
| Figura 4.14 - Junta de dessolidarização..... | 106 |
| Figura 4.15 - Junta Estrutural..... | 107 |
| Figura 4.16 - Juntas de dilatação em parede com chapa única..... | 108 |
| Figura 4.17 - Juntas de dilatação em parede com chapa dupla..... | 109 |
| Figura 5.1 - Edifício 1..... | 116 |
| Figura 5.2 - Edifício 2..... | 116 |
| Figura 5.3 - Edifício 3..... | 117 |
| Figura 5.4 - Edifício 4..... | 117 |
| Figura 5.5 - Edifício 5..... | 118 |
| Figura 5.6 – Fluxograma da análise realizada..... | 121 |
| Figura 6.1 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Infiltração"..... | 127 |
| Figura 6.2 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Trincas"..... | 128 |
| Figura 6.3 - Diagrama de Ishikawa para análise de possíveis causas da patologia "Transmissão de som pelas paredes"..... | 129 |
| Figura 6.4 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações elétricas"..... | 130 |
| Figura 6.5 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Vazamento nas lajes entre os andares"..... | 131 |
| Figura 6.6 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Descolamento do piso"..... | 132 |
| Figura 6.7 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Desnível da laje do piso"..... | 133 |
| Figura 6.8 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Descolamentos dos revestimentos áreas molháveis"..... | 134 |
| Figura 6.9 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Corrosão de elementos estruturais aparentes"..... | 135 |
| Figura 6.10 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Empenamento e/ou movimentação das paredes internas"..... | 136 |
| Figura 6.11 - Número de causas relacionadas à patologia "Infiltração"..... | 138 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.12 - Número de causas relacionadas à patologia “Trincas” | 138 |
| Figura 6.13 - Número de causas relacionadas à patologia “Transmissão de som pelas paredes” | 139 |
| Figura 6.14 - Número de causas relacionadas à patologia “Transmissão de som pelas lajes ou instalações verticais” | 139 |
| Figura 6.15 - Número de causas relacionadas à patologia “Vazamento entre lajes” | 140 |
| Figura 6.16 - Número de causas relacionadas à patologia “Descolamento de pisos” | 140 |
| Figura 6.17 - Número de causas relacionadas à patologia “Desnível entre lajes” | 141 |
| Figura 6.18 - Número de causas relacionadas à patologia “Descolamento de cerâmica em áreas molháveis” | 141 |
| Figura 6.19 - Número de causas relacionadas à patologia “Corrosão” | 142 |
| Figura 6.20 - Número de causas relacionadas à patologia “Empenamento e/ou movimentação das paredes internas” | 143 |
| Figura 6.21 - Número total de cada uma das causas 6M em relação às patologias estudadas | 143 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1 - Taxa de variação interanual..... | 23 |
| Tabela 2.2 - Evolução do PIB (2014 - 2017) e seus componentes..... | 23 |
| Tabela 4.1 - Desempenho dos dispositivos de ligação..... | 98 |
| Tabela 4.2 - Resistência ao cisalhamento da junta horizontal reforçada com dispositivo metálico..... | 99 |
| Tabela 4.3 - Distância entre apoios para definição de alvenaria..... | 99 |
| Tabela 4.4 - Dimensões da tela de ligação..... | 101 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico 6.1 - Percentual de causas 6M..... | 144 |
| Gráfico 6.2 - Percentual de causas e patologias..... | 151 |
| Gráfico 6.3 - Notas GUT de cada patologia..... | 157 |
| Gráfico 6.4 - Destaque para patologias relacionadas a uma edificação estruturada em aço..... | 158 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 2.1 - Matriz GUT..... | 47 |
| Quadro 3.1 - Série simétrica..... | 53 |
| Quadro 3.2 - Série monossimétrica..... | 53 |
| Quadro 3.3 - Perfis e nomenclaturas padronizados..... | 55 |
| Quadro 3.4 - Normas nacionais para o aço como sistema estrutural..... | 58 |
| Quadro 3.5 - Classificação e características de placas de gesso..... | 67 |
| Quadro 3.6 - Tipos de lajes, características e representação gráfica..... | 75 |
| Quadro 4.1 - Causas de patologias na construção..... | 84 |
| Quadro 4.2 - Categorias de patologias em construções..... | 85 |
| Quadro 4.3 - Normas e legislações relativas às construções..... | 86 |
| Quadro 4.4 - Manifestações patológicas ligadas à impermeabilização..... | 113 |
| Quadro 5.1 - Características das edificações..... | 119 |
| Quadro 6.1 - Patologias e índices de ocorrências..... | 122 |
| Quadro 6.2 - Relação patologias e eventos no período de obra..... | 123 |
| Quadro 6.3 - Relações de causas da patologia "Infiltração"..... | 127 |
| Quadro 6.4 - Relações de causas da patologia "Trincas"..... | 128 |
| Quadro 6.5 - Relações de possíveis causas da patologia "Transmissão de som pelas paredes"..... | 129 |
| Quadro 6.6 - Relações de causas da patologia "Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações elétricas"..... | 130 |
| Quadro 6.7 - Relações de causas da patologia "Vazamento nas lajes entre os andares"..... | 132 |
| Quadro 6.8 - Relações de causas da patologia "Descolamento do piso"..... | 132 |
| Quadro 6.9 - Relações de causas da patologia "Desnível da laje do piso"..... | 134 |
| Quadro 6.10 - Relações de causas da patologia "Descolamento de revestimento de áreas molháveis"..... | 134 |
| Quadro 6.11 - Relações de causas da patologia "Corrosão de elementos estruturais aparentes"..... | 135 |
| Quadro 6.12 - Relações de causas da patologia "Empenamento e/ou movimentação das paredes internas"..... | 136 |
| Quadro 6.13 - Relação da patologia especificamente com a estrutura em aço..... | 145 |

| | |
|--|-----|
| Quadro 6.14 - Relação de patologias ligadas à construção estruturada em aço..... | 149 |
| Quadro 6.15 - Surgimento de patologias em edificações estruturas em aço (percentual)..... | 150 |
| Quadro 6.16 - Matriz GUT para a patologia “Empenamento e/ou movimentação das paredes internas”..... | 151 |
| Quadro 6.17 - Matriz GUT para a patologia “Corrosão de elementos estruturais aparentes”..... | 152 |
| Quadro 6.18 - Matriz GUT para a patologia “Descolamento dos revestimentos das áreas molháveis”..... | 152 |
| Quadro 6.19 - Matriz GUT para a patologia “Desnível da laje de piso”..... | 153 |
| Quadro 6.20 - Matriz GUT para a patologia “Descolamento do piso”..... | 153 |
| Quadro 6.21 - Matriz GUT para a patologia “Vazamento nas lajes entre os andares”..... | 154 |
| Quadro 6.22 - Matriz GUT para a patologia “Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações verticais”..... | 154 |
| Quadro 6.23 - Matriz GUT para a patologia “Transmissão de som pelas paredes”..... | 155 |
| Quadro 6.24 é - apresentada a Matriz GUT para a patologia “Trincas”..... | 155 |
| Quadro 6.25 - Matriz GUT para a patologia “Infiltrações”..... | 156 |
| Quadro 6.26 - Notas GUT de cada patologia..... | 156 |
| Quadro 6.27- Organização de atividades que constituem o processo de criação de um edifício estruturado em aço..... | 160 |
| Quadro 6.28 - Projeto estrutural..... | 161 |
| Quadro 6.29 – Projeto de alvenaria..... | 162 |
| Quadro 6.30 - Projeto de detalhamento..... | 162 |
| Quadro 6.31 – Fabricação de peças..... | 163 |
| Quadro 6.33 – Concretagem da laje..... | 164 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1 Objetivo geral..... | 17 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 17 |
| 1.3 Justificativa..... | 17 |
| 1.4 Metodologia..... | 18 |
| 1.5 Estrutura da tese..... | 18 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 20 |
| 2.1 Construção em geral..... | 20 |
| 2.2 Construção em aço no mundo..... | 24 |
| 2.3 Construção em aço no Brasil..... | 26 |
| 2.4 Processo de Projeto..... | 29 |
| 2.5 Gestão da qualidade..... | 33 |
| 2.5.1 Planilhas de verificação..... | 39 |
| 2.5.2 Histograma..... | 40 |
| 2.5.3 Gráfico de Pareto..... | 40 |
| 2.5.4 Diagrama de Ishikawa – Causa e efeito..... | 42 |
| 2.5.5 Diagrama de Dispersão..... | 43 |
| 2.5.6 Fluxograma..... | 44 |
| 2.5.7 Gráfico de controle de qualidade ou planilha de controle..... | 45 |
| 2.5.8 Matriz GUT..... | 48 |
| 3. AÇO E SEUS COMPENENTES NA CONSTRUÇÃO..... | 49 |
| 3.1 Chapas e perfis..... | 50 |
| 3.1.1 Perfis..... | 51 |
| 3.1.1.1 Perfis laminados..... | 51 |
| 3.1.1.2 Perfis soldados..... | 52 |
| 3.1.1.3 Perfis formados a frio (dobramento)..... | 54 |
| 3.1.1.4 Perfis compostos..... | 56 |
| 3.2 Aços-carbonos..... | 57 |
| 3.3 Aços de baixa-liga..... | 58 |
| 3.4 Corrosão do aço..... | 58 |
| 3.4.1 Galvanização por imersão a quente..... | 59 |
| 3.4.2 Eletro galvanização..... | 59 |
| 3.4.3 Pintura..... | 59 |
| 3.5 Principais componentes de um sistemas estrutural em aço..... | 59 |
| 3.5.1 Pilares..... | 61 |
| 3.5.2 Vigas..... | 61 |
| 3.6 Fechamentos Verticais..... | 62 |
| 3.6.1 Painéis pré-fabricados de concreto (PFC)..... | 63 |
| 3.6.2 Painéis de concreto armado com alma de poliestireno expandidos..... | 64 |

| | |
|--|------------|
| 3.6.3 Painéis de concreto celular autoclavado..... | 65 |
| 3.6.4 Alvenaria de vedação com blocos..... | 65 |
| 3.6.5 Gesso acartonado..... | 66 |
| 3.7 Lajes..... | 69 |
| 3.7.1 Laje maciça moldada in loco..... | 67 |
| 3.7.2 Laje alveolar protendida..... | 71 |
| 3.7.3 Laje com forma de aço incorporada..... | 71 |
| 3.7.4 Laje pré-moldada de concreto..... | 73 |
| 3.7.5 Laje painel treliçada..... | 73 |
| 3.8 Contraventamento..... | 77 |
| 3.8.1 Pórticos (Moment-resisting frames)..... | 78 |
| 3.8.2 Paredes (Shear-walls)..... | 80 |
| 3.8.3 Paredes associadas a pórticos..... | 81 |
| 3.8.4 Núcleos e tubos (Tubes)..... | 81 |
| 3.8.5 Reticulada contraventada (Braced structures)..... | 82 |
| 4. PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL..... | 84 |
| 4.1 Patologias do aço – Corrosão..... | 87 |
| 4.2 Patologias nos fechamentos verticais..... | 94 |
| 4.3 Patologias nas lajes e pisos..... | 111 |
| 5. METODOLOGIA | 114 |
| 5.1 Edificações de referência..... | 114 |
| 5.2 Identificação das edificações de referência..... | 115 |
| 5.3 Aplicação de ferramentas de Gestão de Qualidade Total..... | 120 |
| 6. RESULTADOS..... | 122 |
| 6.1 Patologias identificadas..... | 122 |
| 6.2 Levantamentos qualitativo de causas de patologias utilizando o Diagrama de Ishikawa..... | 126 |
| 6.3 Avaliação do potencial de causas..... | 137 |
| 6.3.1 Levantamento total..... | 143 |
| 6.4 Avaliação da interferência da estrutura em aço com a patologia indicada..... | 144 |
| 6.5 Parâmetros na prevenção de patologias..... | 159 |
| 6.5.1 Projetos..... | 161 |
| 6.5.2 Fabricação..... | 162 |
| 6.5.3 Execução..... | 163 |
| 7. CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÃO..... | 165 |
| 7.1 Considerações finais..... | 165 |
| 7.2 Conclusão..... | 167 |
| REFERÊNCIAS..... | 168 |
| APÊNDICE A..... | 190 |

1. INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira tem se empenhado em definir novos processos de projeto que a façam mais produtiva e eficiente, gerando um produto de qualidade. Entretanto, os modelos de gestão de projeto vigentes na prática valorizam apenas o produto final e focam a atenção no desenvolvimento das atividades necessárias para isso, sem pensar na organização do processo como um todo e no desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas. A organização do fluxo de informações remete ao estudo do processo de Planejamento do Projeto, pois nota-se, que ainda são utilizados métodos que controlam apenas os contratos de projetistas, e que pouco auxiliam na organização da gestão (MANZIONE, 2006).

A maneira convencional de construir brasileira, assim como em vários outros segmentos, não passa por uma etapa de planejamento antes da execução. Infelizmente, como historicamente tem-se visto, a crença quase tola de que nada de mal acontecerá, leva os brasileiros em geral, e os construtores em particular, primeiramente a edificarem, depois constatarem os problemas após a execução e, então, tentar saná-los. Na construção civil¹, essa forma de atuação mostra-se mais onerosa e nem sempre eficiente, quando poderia ter sido aplicada uma sistematização de atos que, de forma organizada e técnica, resultaria em um edifício com mais qualidade e menos patologias.

A construção civil brasileira é, reconhecidamente, formada, em sua maioria, por um contingente de mão de obra despreparada, mal remunerada, com nível de instrução muito baixo e com altas taxas de acidentes. Dessas condições advém parte das patologias observadas nas edificações, assim como o desperdício oriundo do retrabalho. No entanto, mão de obra da construção civil brasileira tem passado por mudanças nos últimos anos. Em busca de profissões mais bem remuneradas, que exijam menos esforços físicos, e com mais acesso à educação, a entrada de jovens nesse mercado de trabalho tem diminuído. O cenário futuro aponta para uma escassez de mão de obra, que só poderá ser revertido com uma profissão mais bem remunerada e bem treinada.

Os profissionais graduados que atuam na área recebem uma formação aquém do necessário. Essa falha repercute no desempenho da construção em aço no Brasil, um

¹ Nesse trabalho, o termo “construção civil” faz referência apenas à obras de edificações, usualmente considerada “construção civil leve”, em oposição ao termo “construção civil pesada” usado para referir-se à construção de pontes, barragens, estradas.

país reconhecido internacionalmente pela forte representatividade na construção em concreto armado. A construção estruturada em aço representa apenas 14% das edificações no Brasil (METÁLICA, 2009). O aço apresenta muitas vantagens como material estrutural como a grande liberdade de criação, esbeltez de vigas e pilares em relação a equivalentes em concreto, compatibilidade com materiais tradicionais e pré-fabricados inovadores, redução significativa de desperdício, redução dos custos de fundação em decorrência de menor peso estrutural, velocidade na execução da obra, redução de consumo de madeira na obra, além de 100% reciclável (BAUERMANN, 2002; CBCA, 2015).

Na construção de um edifício, várias equipes multidisciplinares se envolvem em uma associação temporária, com diferentes habilidades, métodos de trabalho e necessidades de informação. Segundo Melhado (1994), a evolução do setor de construção de edifícios deve proporcionar cada vez mais o trabalho colaborativo, pois as práticas convencionais não mais atendem adequadamente as demandas do mercado. Os modelos de gestão de projeto vigentes na prática valorizam exclusivamente o produto final e preocupando-se com o desenvolvimento das atividades necessárias para isso, sem pensar na organização do processo como um todo e no desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas (MANZIONE, 2006).

Em razão da complexidade do processo e, ainda, das especificidades de cada setor envolvido, há uma infinidade de temas que podem ser estudados e aprofundados. Entre eles destaca-se a elaboração de modelos de referência, que podem ser usados tanto na formação de estudantes e atualização de profissionais, como também como um modelo ideal para melhorias no processo de construção focando na prevenção de patologias.

Verifica-se, assim, a necessidade de uma modelagem do processo de projeto que tenha foco na qualidade, por meio de uma interatividade multidisciplinar, coordenação entre as atividades e redução/extinção de ciclos de retrabalho, permitindo uma visão de todo o conjunto do processo que viabilize um bom planejamento das atividades, repercutindo em uma edificação de alta qualidade, sem ocorrência de patologias típicas. A busca pela Qualidade Predial Total tem feito construtores e incorporadores almejar um atendimento crescente das exigências dos consumidores. O conceito de Qualidade Total, sob a ótica do consumidor, foi estabelecido como adequação do produto ao uso, sendo aplicada na maioria dos segmentos empresariais como fator de competitividade e incentivador da

busca pela melhoria tecnológica. Assim sendo, a obtenção da Qualidade Total implica na necessidade de aprimoramento contínuo dos projetos, processos, produtos e treinamento das pessoas. São escassos os estudos específicos e casos práticos de Qualidade Predial Total na indústria imobiliária, pois esse segmento diferencia-se dos demais porque cada edifício é único.

1.1 Objetivo geral

Definir parâmetros na prevenção de patologias relacionadas à interface aço/fechamento em edificações estruturadas em aço, baseados em um enfoque da Gestão da Qualidade Total.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar as patologias mais frequentemente encontradas em edificações estruturadas em aço e suas causas.
- Analisar os componentes que fazem parte de uma edificação estruturada em aço, sua função em cada fase da construção, assim como sua relação com possíveis patologias.
- Identificar, no processo como um todo, a etapa de inserção de critérios que atuem na prevenção de patologias.

1.3 Justificativa

Por que ainda há tantas patologias nas edificações estruturadas em aço no Brasil?

Passados mais de oitenta anos da Reforma Francisco Campos, o ensino do concreto ainda é hegemônico no Brasil. E nos cursos de arquitetura, a prática do projeto é considerada a atividade mais importante, mesmo que, como já denunciava Le Corbusier em 1936, essa prática se limite ao desenho de espaços e não ao contato com os processos de produção e com os canteiros de obra (SANTOS, 2008).

Castro (2005) defende que as patologias frequentemente encontradas em edificações estruturadas em aço deve-se à falta de preparo técnico dos profissionais envolvidos, que

buscam, pela tentativa e erro, preencher as lacunas deixada pela formação acadêmica, traduzindo-se em uma prática primitiva do processo de projeto. Portanto, o domínio técnico do comportamento do aço deve ser considerado parceiro indissolúvel do processo de projeto em uma edificação estruturada com tal material.

Diante do exposto, faz-se necessário buscar meios de auxiliar os profissionais envolvidos na busca por domínio técnico sobre o aço como perspectiva para trazer os conhecimentos relativos ao projeto, e assim aumentar a otimização entre o projeto arquitetônico e um edifício com desempenho livre de patologias futuras.

A presente pesquisa, portanto, demonstra seu valor por abordar os conceitos e elementos que envolvem a criação de um edifício estruturado em aço, esclarecendo questões que levam a patologias e propondo intercessões nas etapas que compõem o processo visando a prevenção dessas patologias.

1.4 Metodologia

Para o desenvolvimento desse trabalho, utiliza-se uma abordagem metodológica teórico-conceitual fundamentada em ampla revisão bibliográfica, e, como instrumento balizador a pesquisa “**Avaliação de sistemas construtivos semi e/ou industrializados de edifícios de andares múltiplos por meio da perspectiva de seus usuários**”, de Bastos (2004). Os edifícios, analisados por seus ocupantes, que fazem parte deste trabalho são apresentados na pesquisa “**Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**”, de Sales (2001). Assim, dados e informações presentes em ambos os trabalhos são utilizados na presente pesquisa.

Aplica-se, ainda, uma abordagem de análise e estatística com as ferramentas da Gestão da Qualidade Total.

1.5 Estrutura da tese

O trabalho em questão está constituído de sete capítulos. No capítulo 1 apresentam-se o tema proposto, o objetivo a ser alcançado e a metodologia de forma sucinta.

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão da literatura acerca da construção civil geral no Brasil, da construção em aço no Brasil e no mundo e o processo de projeto. Apresenta-se também uma revisão da literatura sobre a gestão da Qualidade Total e suas ferramentas.

Dando prosseguimento ao estudo proposto, no capítulo 3 apresentam-se os componentes do aço, suas características e demais elementos que compõem uma edificação estruturada em aço.

No capítulo 4 são apresentadas as patologias que acometem o aço e os componentes de uma edificação estruturada com tal material.

No capítulo 5 é descrita a metodologia de modo mais detalhado e a identificação das edificações analisadas. A metodologia envolve também a utilização de ferramentas da Gestão da Qualidade Total.

No capítulo 6 apresentam-se as patologias identificadas nos edifícios analisados, os levantamentos qualitativos de causas de patologia que foram obtidos utilizando o Diagrama de Ishikawa, avaliação da interferência da estrutura em aço com a patologia indicada e a análise dos resultados.

Por fim, são apresentadas as considerações finais e as conclusões desse estudo no capítulo 7. As referências e o apêndice são mostrados na sequência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A proposição desta tese, de definir parâmetros essenciais na prevenção de patologias em edifícios estruturados em aço levou à necessidade da revisão de diversos conceitos, alguns de maneira básica e outros de forma mais aprofundada, para abranger o assunto de modo mais amplo possível, com o objetivo de constituir um referencial de base para a pesquisa.

Conforme Gibbons *et al* (1994 *apud* LACERDA *et al*, 2013), a produção do conhecimento é dividida em dois modos, o Modo 1 e o Modo 2. No Modo 1, a produção do conhecimento é essencialmente acadêmica e aplicada a uma única disciplina. Por outro lado, o conhecimento do Modo 2 é multidisciplinar, sendo as pesquisas orientadas a esse tipo de conhecimento preocupadas em resolver problemas complexos, relevantes, que levam em consideração o contexto em que os resultados obtidos são aplicados.

Uma pesquisa deve produzir artefatos ou constructos inovadores, que solucionem problemas do mundo real e contribuam para a teoria da disciplina em que se encontram. Esses constructos são modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais e desenhos de sistemas de informação que se diferenciem do que já existe, criando uma nova realidade, destacando-se assim do conhecimento teórico já existente (LUKKA, 2003).

2.1 Construção em geral

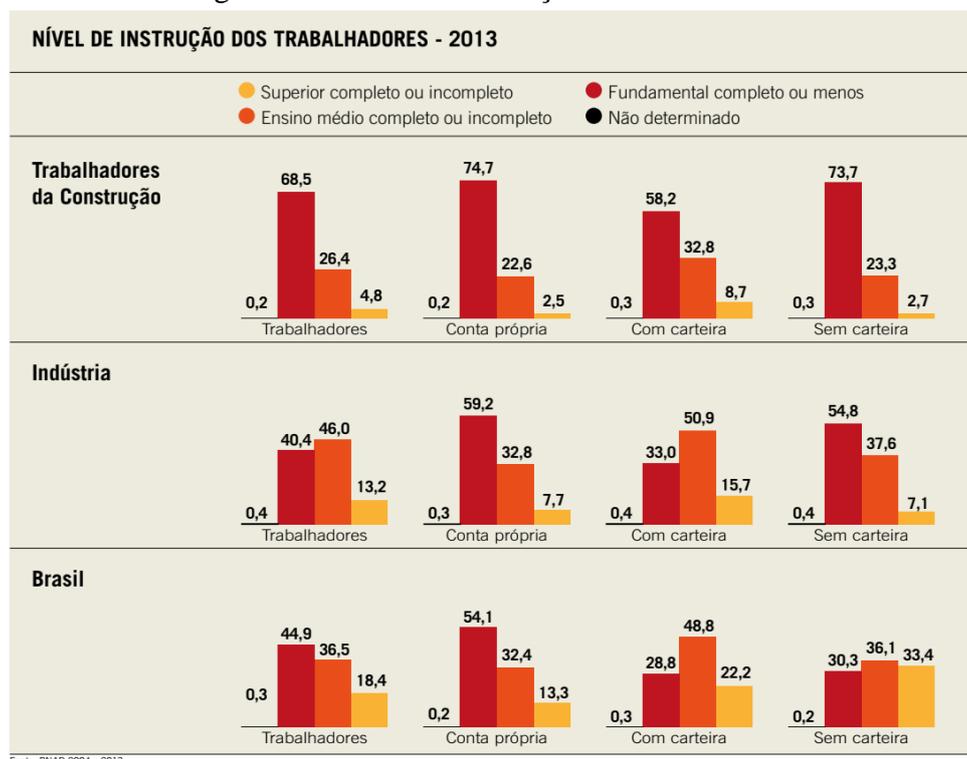
A construção civil emprega aproximadamente de 7% da população mundial em idade produtiva e é um dos maiores setores da economia, com gastos anuais de US\$ 10 trilhões em bens e serviços relacionados à atividade. Mundialmente, o crescimento da produtividade da mão de obra nesse setor foi de 1% ao ano, em média, entre os anos 200 e 2017, enquanto o crescimento da economia mundial foi de 2,8%. No setor industrial esse crescimento foi de 3,6% de para o setor industrial (MCKINSEY, 2017).

Os dados mais recentes para a comparação entre Brasil (levantados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE) e países acompanhados pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), referência mundial em promoção de políticas públicas para a melhora econômica e o bem-estar social, de 2013,

mostram o país como último na lista de produtividade, quando, então, cada trabalhador da construção civil brasileira gerou valor de US\$ 18.900,00 muito inferior à média, de US\$ 57.800,00 dos demais países listados. O PIB (Produto Interno Bruto) por trabalhador da construção civil brasileira não chega a um quarto do valor verificado nas economias desenvolvidas – Bélgica, Reino Unido, Austrália, por exemplo – e não atinge metade dos índices obtidos por economias em desenvolvimento como Eslováquia, Eslovênia e o México (FIESP, 2016).

A forte ligação da construção civil com outras atividades permite classificá-la como um setor primordial para a economia brasileira. Essa importância deve-se à capacidade de gerar efeitos na produção, na renda e no emprego. O alto nível de encadeamento com outros setores torna a atividade fundamental para o desenvolvimento econômico brasileiro. Ademais, analisando sob a ótica social, é o setor que mais emprega no Brasil (Figura 2.1), embora seja também o que possui o maior contingente de mão de obra de baixa ou nenhuma instrução (IBGE, 2017).

Figura 2.1 - Nível de instrução de trabalhadores



Fonte: IBGE, 2019.

Os jovens brasileiros, buscando melhorar seu nível de educação formal, têm optado por começar a trabalhar mais tarde e escolhido ocupações menos braçais e mais qualificadas

que as oferecidas habitualmente no setor da construção. Para agravar o quadro, a construção é o segundo setor com menor participação na educação profissional, perdendo apenas para a agricultura. O número de trabalhadores com idade entre 15 e 29 anos no setor caiu de 34,2%, em 1996, para 28%, em 2009. O tempo médio de educação dos trabalhadores tem se elevado: os empregados da construção tinham 4,41 anos de estudo em 1996; em 2009, esse número passou para 6,35 anos (FGV, 2011).

A partir dos anos 2015 e 2016, em consequência da deterioração dos cenários político e econômico, seguiu-se uma das maiores recessões da história econômica brasileira. Em termos anuais, os recuos foram de 3,5%, tanto para 2015 como para 2016. Em termos trimestrais, houve queda em todos os trimestres, sendo destaque negativo o segundo trimestre de 2015, quando a economia retraiu 1,9%. O PIB do setor caiu 14,3% de 2013 a 2017, enquanto o PIB nacional caiu 5,5 % nesse período (IBGE, 2017).

No primeiro trimestre de 2019, o Produto Interno Bruto (PIB) recuou -0,2% em relação ao quarto trimestre de 2018, na série com ajuste sazonal. Foi o primeiro resultado negativo nessa comparação desde o quarto trimestre de 2016, que foi de -0,6%. A Agropecuária e a Indústria recuaram -0,5% e - 0,7%, respectivamente, enquanto os serviços subiram 0,2%. Nas atividades industriais, a queda foi causada pelas indústrias extrativas (queda de -6,3%), construção (queda de -2,0%) e indústrias de transformação (queda de -0,5%). Na comparação com o mesmo trimestre de 2018, o PIB brasileiro teve alta de 0,5% enquanto a construção caiu 2,2%. No acumulado de quatro trimestres, o PIB da construção passa a ter variação de -2,0%, considerando que no ano passado houve um crescimento de 1,1% do PIB brasileiro, enquanto a construção encolheu 2,5% (IBGE, 2019).

Segundo dados do estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2018), a taxa de variação da população ocupada da construção civil mostra que esse foi o setor com maior variação negativa da população empregada, entre todos os setores analisados, considerando o intervalo de 2016 a 2017. A taxa de desemprego média, que ficou em 6,8% em 2014, subiu de forma constante em 2015 e 2016, situando-se em 11,3% nesse último ano. Entre 2015 e 2016, foram anuladas mais de três milhões de vagas formais de emprego, a maioria na indústria (928 mil) e na construção civil (775 mil).

Na Tabela 2.1 mostra-se a taxa de variação interanual da ocupação por atividade em % no 4º trimestre de 2018 e na Tabela 2.2 mostra-se a evolução do PIB e seus componentes.

Tabela 2.1 - Taxa de variação interanual

| SETOR | TAXA DE OCUPAÇÃO INTERNA ANUAL (%) | | |
|---|------------------------------------|--------------|---------------|
| | Com carteira | Sem carteira | Conta própria |
| TOTAL | -0,5 | 1,8 | 2,8 |
| Agricultura | 1,6 | 1,1 | -2,2 |
| Indústria transformação | -1,5 | -4,8 | 3,4 |
| Indústria extrativa | -7,3 | 6,3 | -13,1 |
| SIUP | -2,2 | -8,8 | 21,8 |
| Construção civil | -4,2 | -1,1 | -1,0 |
| Comércio | -0,7 | 0,1 | -0,9 |
| Ind. fin. Imobiliária e serv. às empresas | -0,3 | 9,4 | 5,2 |
| Transporte e correios | -3,0 | 9,9 | 14,1 |
| Serviços pessoais | -6,1 | 7,6 | 7,6 |
| Adm. Pública | 0,9 | -5,8 | -- |
| Saúde e educação | 2,9 | 9,2 | 21,9 |
| Alojamento e alimentação | -1,4 | 8,8 | 1,6 |
| Serviços domésticos | -5,0 | -1,0 | -- |

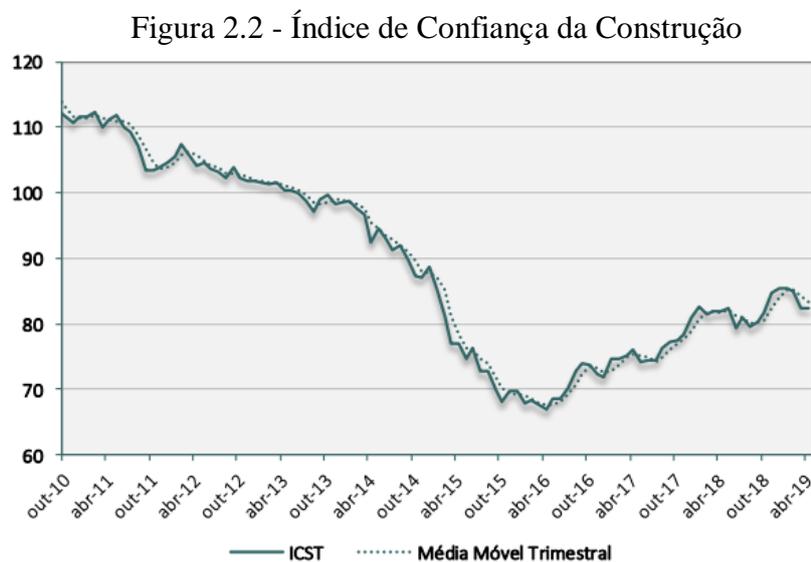
Fonte: IBGE, 2019

Tabela 2.2 - Evolução do PIB (2014 - 2017) e seus componentes

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Acumulado |
|---|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| PIB | 0,5% | -3,5% | -3,5% | 1,0% | -5,5% |
| Demanda | | | | | |
| Consumo das famílias | 2,2% | -3,2% | -4,3% | 1,0% | -4,4% |
| Consumo do governo | 0,8% | -1,4% | -0,1% | -0,6% | -1,2% |
| FBCF | -4,2% | -13,9% | -10,3% | -1,8% | -27,4% |
| Exportações | -1,1% | 6,8% | 1,9% | 5,2% | 13,2% |
| Importações | -1,9% | -14,2% | -10,2% | 5,0% | -20,6% |
| Oferta | | | | | |
| Agropecuária | 2,8% | 3,3% | -4,3% | 13,0% | 14,8% |
| Indústria | -1,5% | -5,8% | -4,0% | -0,0% | -10,8% |
| Extrativa mineral | 9,1% | 5,7% | -2,7% | 4,3% | 17% |
| Transformação | -4,7% | -8,5% | -5,6% | 1,7% | -16,3% |
| Produção/distrib. de eletricidade, gás, água etc. | -1,9% | -0,4% | 7,1% | 0,9% | 5,6% |
| Construção civil | -2,1% | -9,0% | -5,6% | -5,0% | -20,1% |
| Serviços | 1,0% | -2,7% | -2,6% | 0,3% | -4,1% |

Fonte: IBGE, 2019.

Em 2019, o cenário da construção civil ainda permanece sombrio. A percepção dominante entre os empresários é de que a atividade se mantém no mesmo patamar de um ano atrás. Esta percepção está representada na Figura 2.2.



Fonte: FGV, 2019.

Os principais fatores que afetam a construção civil em momentos de crise, ou abundância, são o aumento da complexidade dos negócios, a reduzida mão de obra especializada e os custos crescentes devido a fatores internos e externos. Pode parecer contraditório que em momentos de abundância também haja problemas, mas como o cenário mostra-se problemático e deficiente continuamente, em momentos favoráveis da economia, a construção não encontra suporte para crescer. Assim, para haver uma saída da crise por parte das empresas de construção civil, é necessário um melhor desempenho. Para tal, políticas de gestão e desempenho devem ser adotadas. A necessidade de modelos de gestão de qualidade, bem como planejamento e conhecimento dos processos tornam-se mais evidentes em momentos como esse. Ao assumirem essa postura em tempos de crise, elas saem mais fortalecidas, preparadas e competitivas.

2.2 Construção em aço no mundo

Durante a Revolução Industrial, o ferro fundido foi o material utilizado na construção de pontes, trilhos de trens, construções e armas. O aço raramente era utilizado devido

aos altos custos de produção e pelos processos vagarosos na sua fabricação. Os progressos da engenharia na segunda metade do século XIX podem ser seguidos a partir das Exposições Universais, de 1851 em diante. Para tentar reduzir custos na fabricação do aço, muitos inventores pesquisaram novos processos de fabricação com custos mais reduzidos que os, até então, existentes. Na Inglaterra, em 1856, Henry Bessemer foi capaz de desenvolvê-lo e torná-lo um sucesso comercial (BENEVOLO, 2001).

O aço, levado para os Estados Unidos, desenvolveu-se rapidamente. A arquitetura americana, não obstante a submissão aos modelos europeus, esteve mais avançada do que a europeia em, ao menos, duas ocasiões: entre os anos de 1880 a 1890 e depois da Segunda Guerra Mundial. Por volta de 1855 a pouca mão de obra qualificada começou a ser substituída pela mecanização. Peças pré-moldadas de ferro começaram a ser usadas como estruturas de esqueletos de edifícios (GIEDEON, 2014). Entretanto, pela grande quantidade de madeira e facilidade em transportá-la pelos leitos dos rios, o que se consolidou naquele momento foi o sistema "*Baloon Frame*", que consistia em uma estrutura ligada por encaixes. Pela fácil aquisição dos elementos que compõem o sistema e pela facilidade de montagem, as casas de madeiras tornam-se a forma mais comum de moradia americana (BENEVOLO, 2001).

Assim eram as construções que compunham a cidade de Chicago, que em 1837 contava com 3 mil habitantes e em 1871 com 300 mil habitantes. Nesse ano, um grande incêndio se propagou pela cidade, deixando 300 mortos e 90 mil desabrigados. A grande comoção que tomou o país atraiu renomados arquitetos e engenheiros interessados em trabalhar na reconstrução da cidade (GUEDES, 2016).

Nos Estados Unidos já se construíam edifícios verticais havia décadas. O elevador, inventado por Elish Otis resolvia o problema de deslocamento vertical. William Le Baron Jenney solucionou a questão estrutural capaz de suportar cargas e resistir a incêndios: o revestimento de perfis laminados de aço com elementos metálicos com alvenaria de tijolos. Era a chamada "gaiola equilibrada", em que o ferro fundido, então solução em uso, foi substituído pelo ferro laminado (COLIN, 2010).

Em 1885 foi erguido em Chicago, o que é considerado o primeiro arranha-céu em estrutura de aço, o Home Insurance Building, com dez pavimentos. A revolução tecnológica na construção civil foi impulsionada após a Segunda Guerra Mundial,

incluindo a estrutura em aço, o concreto de alto desempenho, elevadores de alta velocidade, as fachadas de vidros, dentre outros elementos, que foram de extrema importância para a concepção de edifícios cada vez mais altos (BENEVOLO, 2001).

2.3 Construção em aço no Brasil

A arquitetura do ferro no Brasil esteve fortemente ligada à ampliação das relações comerciais com a Europa, uma vez que o ferro para utilização na construção civil era, quase totalmente, importado, pois a produtividade no Brasil era inexpressiva. O início efetivo da fabricação de ferro no Brasil aconteceu com a chegada da corte portuguesa e com início no país das atividades do engenheiro alemão Friederich L. Varnhagen, que veio com o propósito de coordenar a produção metalúrgica. A produção do ferro caiu drasticamente com a Proclamação da Independência, só sendo reavivada com a Guerra do Paraguai (1864-1869). Com o término da guerra, as atividades cessaram novamente (KÜHL, 1998). A produção do ferro no Brasil entrou em um novo ciclo com a sistematização dos cursos de metalurgia, sendo os pioneiros os cursos da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, em 1874, Escola de Minas de Ouro Preto, em 1776, e Escola Politécnica de São Paulo, em 1894 (BARROS, 2015).

O processo de industrialização por que passava o Brasil em fins do século XIX e começo do século XX fomentou outras indústrias de grande importância para um país extenso, como a têxtil e alimentícia (SANTOS, 2008). A indústria cimenteira começava a ter seus primeiros representantes. No ano de 1926 o setor conseguiu enfrentar a concorrência do produto estrangeiro e mostrar à população brasileira que fabricava produtos de qualidade. Até essa data, o país importava cerca de 97% do cimento que consumia. O frete, armazenamento e despesas alfandegárias faziam o produto chegar ao país com um preço extremamente alto. Naquela época, a produção local era de 13 mil toneladas, sendo ainda necessário importar outras 400 mil toneladas. Além dos altos valores, a indústria local sofria uma campanha de desvalorização do seu produto. Fatores econômicos e políticos estimularam o crescimento da indústria de cimento no Brasil, agora numa retomada definitiva e com condições de igualdade de competição com o produto importado. Surgia uma nova era no setor (SNIC, 2018).

No começo da década de 1930 dois eventos aconteceram no Brasil que se correlacionam e institucionalizaram o concreto como predominante na construção civil brasileira. A partir de 1927, é possível determinar uma linha comum de trabalho entre arquitetos ou grupos em diversas nações caracterizando-se por uma rejeição ao repertório formal do passado e a aversão à ideia de estilo. O ornamento era visto como um elemento típico dos estilos históricos. Creditavam ao arquiteto a responsabilidade pela correta e socialmente justa construção do ambiente construído, com edifícios econômicos, limpos e úteis (COELHO; ODEBRECHT, 2007).

A arquitetura moderna segue no Brasil um caminho próprio, condicionada pelas soluções que a plasticidade do concreto proporciona, dando vazão para sua expressão e tem em Oscar Niemeyer seu maior representante (SANTOS, 2008).

Em outubro de 1930, o presidente Washington Luiz foi deposto, finalizando a chamada "República do café com leite". O movimento armado, que resultou no fim desse arranjo é conhecido como Revolução de 1930, impediu a posse de Júlio Prestes, presidente indicado por Washington Luiz, e em seu lugar, assumiu Getúlio Vargas. Entretanto, em um momento em que o Brasil começava a se industrializar e os cafeicultores estavam enfraquecidos pela crise de 1929, não se pode dizer que a Revolução de 1930 foi um disputa entre interesses agrários e industriais e nem mesmo resultado de uma discórdia insolúvel sobre a orientação da política econômica governamental, mas, sim, um conflito entre frações da classe dominante pelo controle político do Estado, embora seja o marco histórico da entrada do país em uma era de urbanização e industrialização. O Estado se tornou mais centralizado, intervencionista e orientado para a industrialização. Essa forma de ação estatal, entretanto, não resultou na vitória de um projeto da classe dominante ou, muito menos, da classe média ou ainda do proletariado, mas de um rearranjo da equação política em uma situação de vazio de poder (BUENO, 2007).

Com a chegada de Getúlio Vargas ao poder, parte do ideário modernista foi convertido em política de governo. O Estado fez intervenções na cultura numa escala sem precedentes no país passando a ter atuação na música, no cinema, no teatro, nos livros e na educação. A grande questão para os grupos que apoiavam Getúlio era encontrar determinados traços culturais que pudessem ser aceitos, pelo maior número de patriotas, como aquilo que existia de mais "brasileiro" em seu país (VIANNA, 2014).

A Era Vargas apresentou um perfil acentuadamente nacionalista, representando um Estado forte, que intervinha na economia para promover o desenvolvimento, estimulando o progresso industrial em detrimento do setor agroexportador. Apesar da imposição sob vários aspectos, seguiu apresentando uma postura progressista em alguns segmentos, como o tardio desenvolvimento da siderurgia no país, com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em 1942. A adoção da arquitetura moderna em prédios públicos abre espaço para um projeto cultural usado como afirmação de um governo que se pretendia progressista aos olhos do mundo (VITRUVIUS, 2015).

Na década de 1930, ocorreu a disseminação de escritórios de consultoria em cálculo estrutural. Arquitetos e engenheiros adquiriam conhecimento fora dos cursos de graduação dessas profissões. Os calculistas e arquitetos modernistas formavam-se no interior de escritórios de consultoria e projetos. Havia uma demanda não satisfeita pelos cursos superiores, a ponto de cursos de cálculo serem oferecidos por correspondência. Em 1931, é instituída uma reforma na educação, conhecida pelo nome do ministro da pasta de Educação e Saúde Pública, Francisco Campos, que interfere intensamente sobre o ensino superior brasileiro, de modo a atualizá-lo frente às necessidades do novo Brasil que se apresentava, mais industrializado, pretensamente mostrando um país rumo ao desenvolvimento. Dentre outros pontos, a Reforma introduziu o concreto armado como disciplina obrigatória nos cursos de arquitetura e engenharia. Dentro das escolas, o ensino teórico e prático foi voltado a um conhecimento amplo do concreto armado, extrapolando o ensino em classe, mas atendendo também a demanda da iniciativa privada (SANTOS, 2008).

A modernização promovida por Vargas esteve diretamente ligada à construção civil, dando margem à criação de uma "escola brasileira do concreto armado", estando o estudo do aço relegado a um segundo plano, a despeito do grau de desenvolvimento de construções com aço em outros países, cenário que permanece até hoje. Esses atos repercutem até hoje. Oliveira (2013) sugere, dentre várias hipóteses para a pouca expressividade da construção em aço e da construção industrializada no geral no mercado brasileiro: a de que os profissionais da área de projeto não estão familiarizados e de que não possuem conhecimentos suficientes para propor o sistemas construtivo estruturado em aço aos clientes. Defende que esses sistemas não estão sendo abordados de forma efetiva dentro das universidades brasileiras nos cursos de Arquitetura e

Urbanismo e Engenharia Civil. Isso levaria à formação de profissionais que continuam trabalhando com sistemas convencionais e pouco produtivos por falta de conhecimento.

2.4 Processo de Projeto

A falta de interação entre as atividades de projetar e construir provoca uma série de desperdício, patologias, retrabalhos e alterações improvisadas originados da não compatibilização de projetos, ora por ausência de detalhes nos projetos, ora por decisões tomadas por pessoas não capacitadas em momentos inadequados. Alterações também acontecem pela sequência que se tornou um hábito: o arquiteto faz o projeto, esse segue para o calculista, que faz pequenas adaptações conforme a exigência estrutural. As adaptações, embora necessárias, algumas vezes interferem na ideia original da concepção do projeto arquitetônico. Interferem, também, em elementos que compõem esse projeto. Assim, fica evidente a necessidade de uma parceria mais efetiva entre arquiteto e calculista. Deve-se atentar para a coordenação de todos os projetos necessários para a execução da obra. As interferências dos projetos arquitetônico, estrutural e de instalações devem ser minuciosamente estudadas e definidas na fase de anteprojeto.

O avanço da tecnologia em áreas que auxiliam o projeto e integração entre seus membros pode não ser de grande valia, caso o modelo de gestão que rege o grupo esteja funcionando de forma deficiente. Em relação ao uso de tecnologia avançada para melhorar a produtividade na construção civil, a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) realizou um estudo no qual concluiu que uma mudança tecnológica não se traduz, necessariamente, em crescimento de produtividade (OECD, 2001 *apud* GURMU; AIBINU, 2017). Rojas e Aramvareekul (2003) concluíram que um aumento de produtividade em projetos de construção é, principalmente, uma questão de gestão, e o uso de novas tecnologias pode ser útil, mas insuficiente.

Maciel e Melhado (1996) *apud* Bauermann (2002) demonstram que, entre as causas de patologias nas edificações, deficiências e erros de projeto são responsáveis por 60% dos problemas patológicos, estando a construção em canteiro responsável por 26,4%. A fase de projeto tem grande influência na qualidade de uma edificação, pois possibilita a

apresentação de soluções e orientações, resultando em um melhor produto. As decisões tomadas nessa fase tem uma grande influência no custo final. Entretanto, quanto mais se avança durante a execução, a possibilidade de intervenções acarretará em um custo maior (MELHADO; AGOPYAN, 1995).

Segundo Andi (2003), os projetistas admitem um desconhecimento acerca do processo de construção, que os leva a soluções projetuais equivocadas, algumas até impraticáveis. O resultado de tal situação é um produto construído com baixa qualidade. Para o autor, os profissionais que atuam na área de projeto deveriam ter um envolvimento mais profundo durante a fase de produção do edifício, pois sua participação é quase nula no que se refere à gestão e execução da obra de um edifício. Para a aquisição desse conhecimento específico, Garnier (2009) defende a necessidade de obtenção de conhecimento específico na área de construção em aço, a despeito da existência de softwares que auxiliam na empreitada, porém, esses são de elevado custo e possível apenas a grandes empresas.

Somando-se a esta situação, ocorre também a não interação dos profissionais durante esse processo. Os diversos agentes que englobam a construção de um edifício como o proprietário, arquitetos, projetistas, engenheiros, subcontratados e fornecedores não dialogam durante as várias fases do empreendimento. A atividade fragmentada deveria ser transformada em uma atividade em que todos atuassem em conjunto (XUE; SHEN; REN, 2010). Mas o fazer da construção se comporta de forma segmentada devido à organização do processo ser assim, ou seja, os processos de projeto e execução são desenvolvidos separadamente por diversos agentes, com responsabilidades, objetivos e metas diferentes e em prazos diferentes (MITCHELL *et al.* 2011). Esta fragmentação de etapas, somada à falta de planejamento, interferem na baixa produtividade e na qualidade do produto final (YANG; WEI, 2010).

O processo de projeto deve passar por inspeções e controles constantes, que devem gerar dados para a retroalimentação de todo o processo, criando um ciclo de melhoria contínua. Os mecanismos de controle proporcionam a possibilidade de verificar se as especificações de projeto estão sendo implantadas adequadamente durante a produção; quais são os problemas causados por indefinições nos projetos; quais elementos podem ser melhorados em empreendimentos futuros; qual a eficácia do treinamento da mão de obra; a satisfação do cliente com o produto; se o projeto atende as necessidades do

cliente e do agente construtor; se o projeto contempla questões de construtibilidade; se existe incompatibilidade entre os subsistemas (GARNIER, 2009).

Castro (1999) divide as patologias de construção entre adquiridas, transmitidas e atávicas, sendo essa última resultado, em grande parte, de erros de projeto. Segundo o autor, projetar uma estrutura em aço requer um conhecimento aprofundado das características e propriedades dos materiais envolvidos. A ausência desse conhecimento pode levar o projetista a uma solução incompatível com o sistema estrutural, acarretando problemas de diversas naturezas.

Moraes (2000) afirma que a falta de compatibilização de projeto também é um problema recorrente na construção estruturada em aço, como de resto, na construção em geral, justificando para tal ocorrência a não interação no projeto entre profissionais de áreas diferentes, e conseqüentemente, suas interferências.

Segundo Silva, Gonçalves e Alvarenga (2006) as principais informações a serem obtidas do projeto arquitetônico são:

- Dimensões internas dos cômodos e paredes acabadas (largura, altura e comprimento);
- Localização e tamanhos de aberturas (portas e janelas);
- Tipos de revestimento externo e interno;
- Detalhes construtivos de fixação de contramarcos das janelas e marcos das portas;
- Previsão de juntas de controle;
- Detalhes arquitetônicos como platibandas, beirais e sacadas.

As informações importantes do projeto estrutural são as dimensões dos elementos estruturais (lajes, vigas e pilares), as distâncias entre as faces dos pilares que definem os vãos de paredes (desse modo, define-se sua paginação também) e a altura do pé-direito estrutural. Na concepção estrutural, importante também é verificar se a alvenaria funciona como travamento da estrutura (SILVA; GONÇALVES; ALVARENGA, 2006).

Meseguer (1991) define cinco etapas do processo de desenvolvimento de edifícios em construção em aço, que devem estar sob um gerenciamento, cuja função é coordenar e compatibilizar as informações de cada etapa, que são:

- Planejamento: etapa em que se planeja a implantação, pesquisa de mercado, compra do terreno, definição de programa de necessidades, organização de documentos para o lançamento e retroalimentação das informações coletadas de clientes.
- Projeto: etapa em que se estabelece o atendimento das expectativas do empreendedor (cliente), momento para definir a conformação do produto final, nesse caso um processo estratégico.
- Materiais: etapa de fabricação dos componentes e materiais e o encaminhamento desses elementos para o local da obra. Essa etapa pode ser subdividida em uma etapa de seleção de materiais, outra de fabricação e uma terceira de transporte dos elementos.
- Construção/Montagem: etapa que consiste de sequência de atividades planejadas seguindo critérios técnicos e operacionais movida pelo trabalho de equipes coordenadas.
- Manutenção: etapa realizada pós construção do empreendimento, na qual são verificados e diagnosticados problemas e gerando retroalimentação do processo (informações para o planejamento de um novo empreendimento).

Os projetos complementares abrangem projeto elétrico, comunicações, SPDA (Sistema de Proteção de Descargas Atmosféricas), projeto de alvenaria de fechamento, projeto hidrossanitário, prevenção à incêndio, instalação de gás, impermeabilização. No projeto elétrico e de comunicações as seguintes informações são importantes (SILVA; GONÇALVES; ALVARENGA, 2006):

- Passagem de eletrodutos: os eletrodutos verticais passam por dentro dos furos dos blocos, sem necessidade de cortes;
- Uso de shafts verticais nas prumadas das áreas comuns;
- Pontos de luz, tomadas e interruptores;
- Posição de quadros medidores: podem ser empregados gabaritos de madeira durante a elevação das paredes.

As principais informações coletadas do projeto de instalações hidrossanitárias são:

- Utilização ou não de shafts verticais para as tubulações de água e esgoto;
- Localização de ramais hidráulicos;
- Instalação de peças sanitárias.

O projeto de alvenaria deve conter:

- Planta de numeração das paredes;
- Planta de primeira e segunda fiadas;
- Locação da primeira fiada;
- Paginação ou elevação de cada parede;
- Definição quanto ao uso de vergas e contravergas;
- Especificação dos componentes da alvenaria: blocos e dosagem da argamassa de assentamento;
- Características das juntas entre blocos e na ligação estrutura/alvenaria;
- Detalhamento das ligações alvenaria/estrutura.

A elevação de cada parede deve contemplar os tipos de blocos e sua quantidade, os tamanhos das aberturas, posicionamento de vergas e contravergas e de eletrodutos, caixas de luz, telefone, antena, internet e outros. Também deve conter detalhes de ligação entre as paredes e ainda entre as paredes e a estrutura. Todas as paredes de um projeto de alvenaria devem ser detalhadas de forma separada (SILVA; GONÇALVES; ALVARENGA, 2006).

2.5 Gestão da qualidade

A qualidade, num contexto geral, vem sendo pensada, esquematizada, implantada e melhorada desde a década de 1930 nos Estados Unidos e desde a década de 1940 no Japão e em vários outros países. No Brasil, a Gestão da Qualidade Total (GQT) teve início na década de 1980, quando os professores iniciaram um projeto de pesquisa na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) sobre controle de processos, cujo o objetivo era aportar no mercado brasileiro, principalmente nas empresas siderúrgicas, conhecimento de ponta, facilitando assim a inserção dos jovens da Engenharia da UFMG no mercado de trabalho (COUTINHO, 2018). Na década de 1950, a preocupação

com a gestão da qualidade fez surgir uma nova filosofia gerencial com base no desenvolvimento e na aplicação de conceitos, métodos e técnicas adequadas a realidade da época (TOMA; NARUO, 2017). Essa nova filosofia gerencial ficou conhecida como GQT e marcou a mudança da análise da qualidade dos produtos ou serviços para a concepção de um sistema da qualidade.

Toda a estrutura organizacional e o ambiente de trabalho são impactados quando a metodologia de Gestão de Qualidade Total é implantada em uma construtora (VIVANCOS; CARDOSO, 2000). As relações da cadeia produtiva passam por um amadurecimento, que gera maior flexibilidade na forma de trabalho. Algumas dificuldades na implantação de métodos para o avanço da qualidade tem como entrave exatamente a errônea concepção de que a empresa atua em níveis ótimos e que, portanto, não há necessidade de melhoramento (DALGLEISH, 2004).

No conceito definido por Limmer (1997), uma organização é um sistema composto de um grupo de trabalho, relações de autoridade e caracterizações de responsabilidade. Nesse contexto, cada dos seus integrantes sabe exatamente qual a sua tarefa, qual o relacionamento dessa tarefa com as demais e onde buscar autoridade para decisões. Em busca de mudanças, as empresas têm modificado sua estrutura organizacional. De acordo com Chiavenato (2013), as empresas começaram a implantar esse novo modelo, mais descentralizador, flexível e impulsionador, que repercute em velocidade em responder ao cliente, flexibilidade para aprender e mudar, integração para efetuar mudanças com celeridade.

Os esforços das empresas para melhorar a qualidade têm sido um objetivo principal no aumento do desempenho (SHAMSUDDIN; MASJUKI, 2003; SPASOJEVIC-BRKIC *et al*, 2013). A Gestão da Qualidade Total (GQT) é a aplicação de métodos quantitativos e de recursos humanos que melhoram todos os processos de uma organização e excedem as necessidades atuais e futuras dos clientes. Além disso, a GQT é definida como uma filosofia e um conjunto de princípios orientadores que representam a base de uma organização em melhoria contínua (BESTERFIELD *et al.*, 2012; KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2013).

A Gestão de Qualidade Total (GQT) é um sistema de gestão da qualidade que busca transcender o conceito de qualidade aplicada ao produto. O objetivo principal de uma

empresa focada no Controle de Qualidade Total é a satisfação das necessidades das pessoas: consumidores por meio da qualidade, funcionários por meio do crescimento humano, acionistas por meio da produtividade e vizinhos por meio da contribuição social. Gomide, Fagundes Neto, Gullo, (2014) defendem que, basicamente, GQT é o controle exercido por todas as pessoas para a satisfação das necessidades de todas as pessoas, tendo como prioridade oferecer um produto com ausência total de imperfeições e o oferecimento do melhor serviço possível, sem erros. Segundo Gomide (2016), os princípios que orientam a Qualidade Total, aplicáveis à construção civil são:

- Propósitos permanentes para a melhoria do produto imobiliário;
- Implantação de nova filosofia para a conscientização geral de responsabilidades e liderança no processo de transformação;
- Difusão do espírito da disciplina e da perseverança entre os integrantes do processo;
- Substituição de procedimentos paliativos por atividades que sejam de qualidade desde o primeiro estágio produtivo;
- Detalhamento dos procedimentos em linguagem acessível, pormenorizando todas as fases envolvidas no processo de produção, uso e manutenção, incluindo as condições de verificação e validações finais;
- Substituição de práticas baseadas exclusivamente em preços por política de redução de custos;
- Implantação permanente de treinamentos da mão de obra;
- Instituição do espírito de liderança junto às chefias;
- Eliminação do medo, visando uma atitude proativa dos trabalhadores;
- Eliminação de barreiras entre departamentos visando ao objetivo comum da qualidade;
- Substituição de metas “nível zero” por mão de obra a níveis plausíveis de produtividade;
- Inclusão de todos os interessados envolvidos no processo de transformação visando a qualidade;
- Análise partilhada dos procedimentos visando a correção de incompatibilidade ou desvios;
- Retroalimentação dos procedimentos visando aprimorar os itens que apresentaram resultados positivos e corrigindo os que apresentaram ou

representam problemas – melhoria contínua com alterações de procedimentos e diretrizes.

Na década de 1950, dois especialistas americanos em qualidade, Deming e Juran, foram convidados pela União dos Cientistas e Engenheiros Japoneses para treinar os executivos corporativos japoneses no controle de qualidade. Entre os principais pontos debatidos, Deming ensinou aos japoneses como usar o ciclo PDCA para melhorar a qualidade. O ciclo PDCA envolve as etapas básicas para um aprimoramento contínuo, sendo Plan – Planejamento, Do – Execução, Check – Verificação e Act – Ação corretiva (GOMIDE; FAGUNDES NETO; GULLO, 2014). Por sua vez, Juran explicou aos gerentes de médio e alto nível os papéis que desempenhavam na promoção de atividades de controle de qualidade (TOMA; NARUO, 2017). Desde então, um modelo de controle de qualidade total passou a ser idealizado e elaborado pelos gestores japoneses. Por conseguinte, os resultados dessas ações restauravam gradativamente aos japoneses o que eles haviam perdido após a guerra: o respeito e o reconhecimento (MAXIMIANO, 2002). Com o tempo, uma atmosfera favorável à qualidade surgiu nas empresas japonesas, inclusive na Toyota a partir do Sistema Toyota de Produção (STP).

Segundo Ishikawa (1985), seis características distinguem a abordagem japonesa em relação ao controle da qualidade da abordagem dos países ocidentais:

- Controle da qualidade da empresa;
- Educação e formação em controle da qualidade;
- Atividades dos círculos de controle da qualidade;
- Auditorias de controle da qualidade;
- Utilização de métodos estatísticos.

Podem distinguir-se duas fases principais na evolução histórica da STP. O estágio de pré-guerra que tem a marca decisiva do fundador, Sakichi Toyoda, e o de pós-guerra, em que aparecem os germes do sistema de produção (TOMA; NARUO, 2017).

Na fase de pré-guerra, a abordagem inicial de fabricação foi baseada em vários elementos principais que evoluíram para os pilares do futuro STP: as raízes do sistema estão nos cinco Preceitos Toyoda que encapsulam a vida e o pensamento de Sakichi. O primeiro preceito sublinha que a missão da Toyota Motors Company (TMC) na sociedade é contribuir para o seu desenvolvimento e bem-estar de acordo com a ideia

de "beneficiar o país". O segundo preceito insta a uma ação incansável para melhorar e inventar. O terceiro preceito expressa as características das pessoas da região de Mikawa (sede da TMC): lealdade, integridade, simplicidade. O quarto preceito afirma que os funcionários fazem parte da família Toyota e, portanto, o ambiente interno da empresa deve ser muito agradável para eles. O último preceito exige uma reconciliação entre negócios e moralidade (SATO, 2008).

A fase do pós-guerra marca a consagração da STP juntamente com a concepção, implementação e melhoria contínua do sistema (TOMA, NARUO, 2017). Segundo Shingo (1996), a base da cultura da corporação se traduz em produção flexível e automatizada, guerra ao desperdício, administração enxuta, grupos de trabalhos autogeridos, produção enxuta para produzir na quantidade certa, alta qualidade com preço baixo e cumprimento do ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act). Acrescido a isso, o aprimoramento contínuo, conhecido pela palavra *Kaisen*. Esse processo visa à eliminação total das perdas a partir do estoque zero (Just In Time) e a alta qualidade na fabricação.

Para BARRETTO (2012), no ambiente organizacional da Toyota, os 5S são assim identificados:

- SEITON: organização dos materiais de trabalho;
- SEIRI: produção enxuta;
- SEISO: ambiente de trabalho limpo;
- SEIKETSU: atmosfera harmoniosa;
- SHITSUKE: disciplina e vontade de aprender dos colaboradores.

Foram com esses significativos princípios e características que Taiichi Ohno e seus sucessores fundamentaram um modelo de gestão de alto nível. A formação de líderes voltados para o trabalho em equipe é outro atributo do bem sucedido estilo Toyota de administrar. Para racionalizar o uso da mão-de-obra, os operários foram agrupados em equipes, sendo determinado um líder para cada uma dessas equipes. Esse líder, que não tem a função de supervisor, deve estar apto a trabalhar junto com o grupo e coordená-lo, substituindo qualquer trabalhador que falte (MAXIMIANO, 2002). Cada novo funcionário passa por um programa de treinamento de cinco meses, sendo 30 dias reservados ao conhecimento da cultura organizacional, 60 dias para o aprendizado da

produção e mais dois meses em uma concessionária. Assim, os funcionários aprendem a identificar desperdícios e eliminá-los, além de identificar, corrigir e eliminar os defeitos na fabricação, podendo parar a linha de produção sempre que encontrem um problema que não consigam resolver, e, então, buscando o suporte necessário para solucioná-lo (MAXIMIANO, 2002).

Segundo Liker (2009), o Pensamento Toyota (Modelo dos 4 Ps) é assim definido em sua organização:

- Filosofia (Philosophy): a empresa é um veículo para agregar valor aos clientes, à sociedade, à comunidade e aos seus funcionários.
- Processo (Process): quando os líderes seguem o processo ideal, conseguem os resultados ideais, incluindo redução de custo a longo prazo e melhoria de qualidade.
- Pessoas e Parceiros (People and partners): agregar valor a uma organização, desafiando seus funcionários e parceiros a progredir e a se tornarem mais capazes e confiantes.
- Solução de Problemas (Problem solving): solucionar ininterruptamente a raiz dos problemas conduz à aprendizagem organizacional.

Os funcionários da Toyota são instruídos a relatar qualquer problema puxando o cordão “andon” (fontes de luz ligadas às máquinas) e, assim, parando a linha de montagem. Andon é o termo japonês para “lâmpada” e tipicamente é um luminoso com linhas de números que correspondem às estações de trabalho ou máquinas, e servem para detectar um problema nessas estações. É necessário resolver os problemas quando eles surgem, o mais rapidamente possível, com método científico ou embasado no conhecimento e atitudes da equipe de apoio (TOMA; NARUO, 2017; KAMADA, 2008).

Segundo Neyestani (2017), Kaoru Ishikawa foi o primeiro guru da gestão da qualidade total, que tem sido associado ao desenvolvimento e defesa do uso das sete ferramentas de controle de qualidade (QC) nas organizações para resolução de problemas e melhoria de processos. Ele propôs sete ferramentas básicas em 1968, ao publicar o livro intitulado "Gemba no QC Shuho" em que se preocupava em gerenciar a qualidade por meio de técnicas e práticas para empresas japonesas. Essas ferramentas têm os papéis significativos para monitorar, obter, analisar dados para detectar e resolver os problemas

dos processos de produção, a fim de facilitar a obtenção de excelência de desempenho nas organizações. Essas sete ferramentas básicas de controle de qualidade (Figura 2.3), introduzidas por Ishikawa, são:

- 1) Planilhas de verificação;
- 2) Histogramas;
- 3) Planilhas de Pareto;
- 4) Diagramas Ishikawa - Causas e efeitos;
- 5) Diagramas de dispersão;
- 6) Fluxograma
- 7) Planilhas de controle.

Figura 2.3 - As sete ferramentas de controle de qualidade



Fonte: Adaptado de Kerzner, 2009 apud NEYSTANI, 2017.

2.5.1 Planilhas de verificação

As planilhas de verificação são formulários simples com certos formatos que podem ajudar a registrar sistematicamente os dados numa empresa. Os dados são recolhidos e tabulados na folha de controle para registrar a frequência de eventos específicos durante um período de recolha de dados. Eles preparam uma abordagem consistente, eficaz e econômica, que pode ser aplicada na auditoria de garantia de qualidade para criticar e seguir as etapas de um processo específico. Além disso, eles ajudam o usuário a organizar os dados para a utilização posterior (MONTGOMERY, 2009; OMACHONU; ROSS, 2004 apud NEYESTANI, 2017). São ferramentas eficientes e poderosas para identificar problemas frequentes, mas não têm capacidade efetiva para analisar o problema de qualidade no local de trabalho. Seu formato é livre, devendo, porém ser simples, de fácil manuseio e capaz de comparar o efetivo e planejado. Essa ferramenta,

além de favorecer o monitoramento, ajuda a avaliar a eficiência das ações corretivas utilizadas (MARIANI, 2005).

2.5.2 Histograma

Histograma é uma ferramenta muito útil para descrever um sentido da distribuição de frequência dos valores observados de uma variável. É um tipo de gráfico de barras que visualiza dados de atributos e variáveis de um produto ou processo, também auxilia os usuários a mostrar a distribuição de dados e a quantidade de variação dentro de um processo (Figura 2.4). Exibe as diferentes medidas de tendência central (média, modo e média). Ele deve ser projetado adequadamente para que aqueles que trabalham no processo de operação possam facilmente utilizá-lo e compreendê-lo. Além disso, um histograma pode ser aplicado para investigar e identificar a distribuição subjacente da variável a ser explorada (OMACHONU; ROSS, 2004 *apud* NEYESTANI, 2017; FORBES; AHMED, 2011).

Figura 2.4 - Exemplo de Histograma



Fonte: NEYESTANI, 2017.

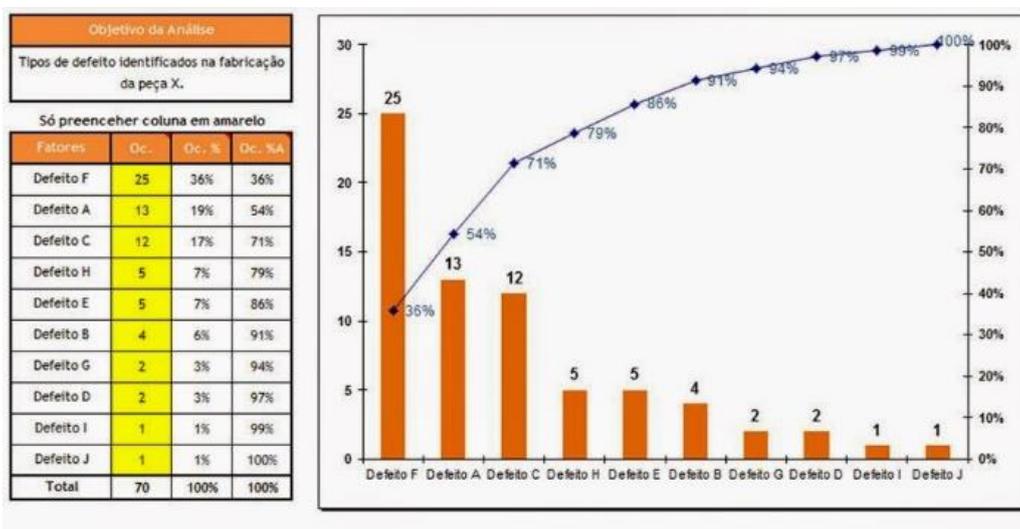
2.5.3 Gráfico de Pareto

O Gráfico de Pareto foi criado pelo economista italiano Vilfredo Pareto, que trabalhou com renda e outras distribuições desiguais no século 19. O Princípio de Pareto estabelece que a maior parte das perdas decorrentes dos problemas relacionados à qualidade é advinda de alguns poucos mas vitais problemas (CARPINETTI, 2012). A análise, a princípio, se baseava no fato de que 80% dos

“outputs” eram originados por 20% dos “inputs”, ou seja, 80% dos resultados eram influenciados por 20% das causas (KOCH, 2000). Posteriormente, o princípio de Pareto foi desenvolvido por Juran em 1950. Um gráfico de Pareto é um tipo especial de histograma que pode ser facilmente aplicado para encontrar e priorizar problemas de qualidade, condições ou suas causas na organização (JURAN; GODFREY, 1998). Por outro lado, é um tipo de gráfico de barras que mostra a importância relativa das variáveis, priorizadas em ordem decrescente da esquerda para a direita do gráfico (Figura 2.5). A variação descrita pela distribuição estatística de uma característica de qualidade tem muitas causas distintas. De acordo com o princípio de Pareto, algumas dessas causas têm efeito maior na variação total. Outras têm efeito de alguma forma menor, e a maioria terá um efeito muito pequeno (JURAN; GRZYNA, 1991).

O objetivo do diagrama de Pareto é descobrir o tipo diferente de "não conformidade" a partir de figuras de dados, dados de manutenção, dados de reparo, taxas de refugo de peças ou outras fontes. Além disso, o gráfico de Pareto pode gerar um meio para investigar a melhoria da qualidade e da eficiência, "desperdício de materiais, conservação de energia, questões de segurança, redução de custos" (MONTGOMERY, 2009; KERZNER, 2009; OMACHONU; ROSS, 2004 apud NEYESTANI, 2017). O Diagrama de Pareto permite organizar graficamente uma série de informações identificando e priorizando as principais ocorrências, podendo expressá-las nas quantidades de observações de cada efeito (SOUZA, 2002; MARSHALL JUNIOR *et al.*, 2011).

Figura 2.5 - Exemplo de Gráfico de Pareto



Fonte: MIRANDA, 2018.

2.5.4 Diagrama de Ishikawa – Causa e efeito

A técnica de análise de causa e efeito foi concebida por Kaoru Ishikawa, pioneiro da gestão da qualidade (AL-ZWAINY; MOHAMMED; VAROUQA, 2018). Esse diagrama também é conhecido por diagrama de peixe ou espinha de peixe, devido à sua forma. O diagrama de causa e efeito é uma ferramenta de solução de problemas que investiga e analisa sistematicamente todas as causas reais ou potenciais que resultam em um único efeito (NEYESTANI, 2017). O Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta gráfica que auxilia no gerenciamento e no Controle da Qualidade (CQ) em diferentes processos cujo principal objetivo é identificar quais são as causas para um efeito ou problema. O diagrama é utilizado atualmente não somente para tratar das características da qualidade de produtos, mas também para outros campos, e tem sido aplicado no mundo inteiro (MARTINS, 1997).

Para uma metodologia de gerenciamento eficaz, é muito importante identificar as “causas-raiz” e as “principais causas” do problema, que só podem ser encontradas se houver uma compreensão adequada do processo com uma boa experiência das ferramentas inovadoras e do uso das técnicas (AL-ZWAINY; MOHAMMED; VAROUQA, 2018). O diagrama de causa e efeito oferece uma abordagem estrutural para a pesquisa em busca de possíveis causas do problema (STEVENSON, 2005). Conforme Tubino (2000), esse diagrama simplifica processos considerados complexos fragmentando-os em processos mais simples e, portanto, mais controláveis.

Segundo Martins (1997), o procedimento para elaboração de um diagrama de causa e efeito deve seguir o seguinte critério:

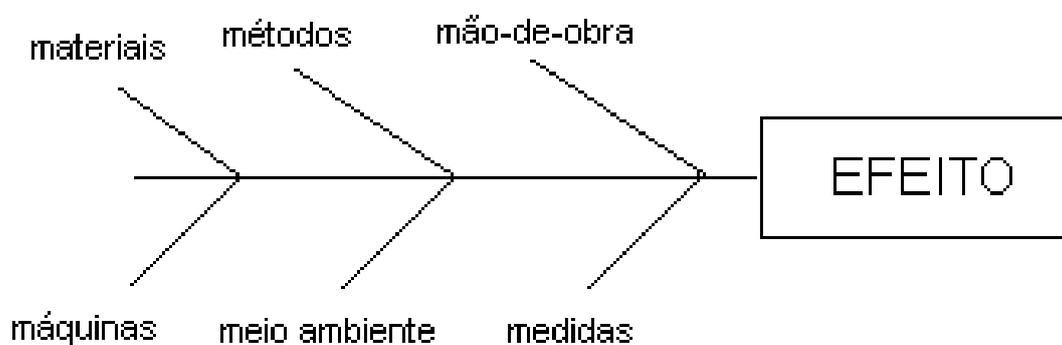
- Definir o problema de forma clara e objetiva;
- Começar a construir o diagrama, definir o efeito e o colocar numa caixa ao lado direito e colocar as principais categorias como “alimentadoras” desta caixa;
- Fazer um brainstorming² das possíveis causas dentro de cada uma das principais categorias e posicionando aquelas em relação a essas;

² Brainstorming é uma dinâmica de grupo usada como uma técnica para resolver problemas específicos, visando estimular a geração de ideias, provocar transformações, buscar soluções inovadoras e estimular melhorias a partir de um debate. As pessoas que participam convém que conheçam o maior número de disciplinas e áreas de conhecimento para potencializar o poder associativo do grupo e produzir o maior número possível de ideias (OSBORN, 1963).

- Analisar cada causa para focalizar causas cada vez mais específicas;
- Identificar e marcar as causas que se pareçam com as raízes dos problemas;
- Coletar dados para verificar qual a causa que mais se parece com a raiz do problema.

As causas principais que podem gerar um problema podem ser agrupadas sob seis categorias conhecidas como os 6 M: método, mão de obra, material, máquina, medida e meio ambiente (LILIANA, 2016; Figura 2.6).

Figura 2.6 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa

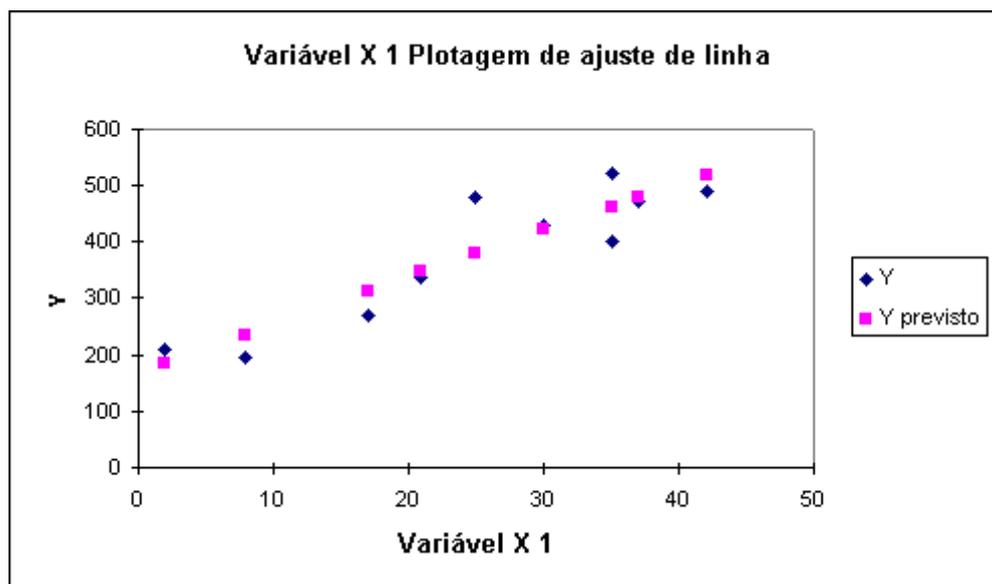


Fonte: ESALQ, 2019.

2.5.5 Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é uma ferramenta para desenhar a distribuição de informação em duas dimensões, o que ajuda a detectar e analisar as relações de padrão entre duas variáveis de qualidade e conformidade (como uma variável independente e uma variável dependente), e compreender se existe uma relação entre elas ou que tipo de relação é (fraca ou forte e positiva ou negativa). A forma do diagrama de dispersão frequentemente mostra o grau e a direção da relação entre duas variáveis, e a correlação pode revelar as causas de um problema. Os diagramas de dispersão são muito úteis na modelagem de regressão (OAKLAND, 2003; MONTGOMERY, 2009). O diagrama de dispersão pode indicar qual correlação existe entre duas variáveis: a) Correlação positiva; b) Correlação negativa; e c) Sem correlação. (Figura 2.7)

Figura 2.7 - Exemplo de Diagrama de Dispersão



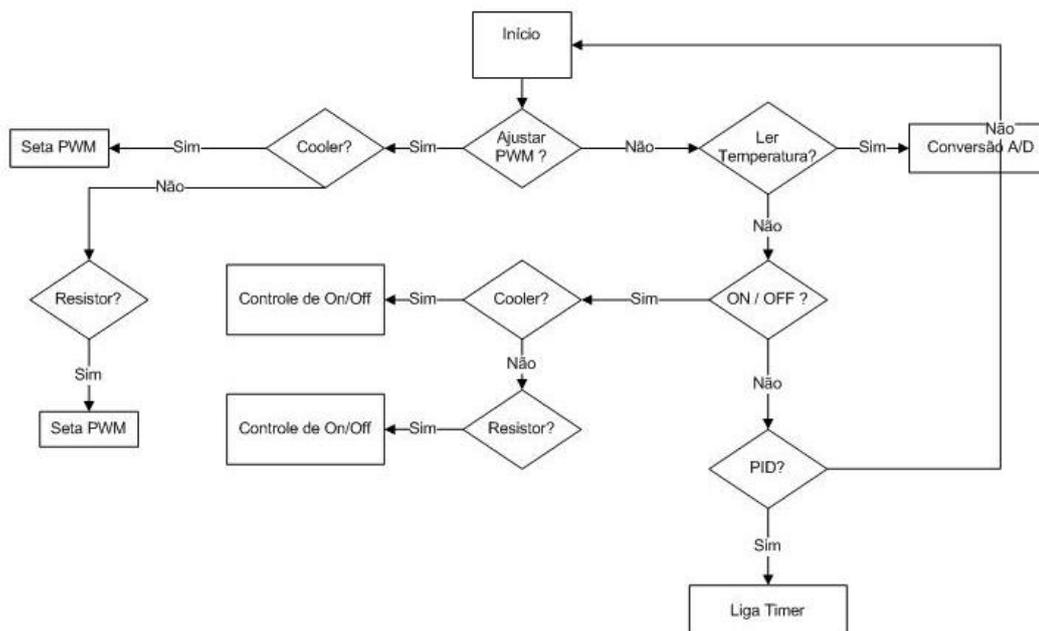
Fonte: ESALQ, 2019.

2.5.6 Fluxograma

O fluxograma apresenta uma figura esquemática que indica uma série de símbolos para descrever a sequência de passos existentes em uma operação ou processo. Por outro lado, um fluxograma visualiza uma imagem incluindo as entradas, atividades, pontos de decisão e resultados para usar e compreender facilmente o objetivo geral por meio do processo. Esse gráfico como uma ferramenta de resolução de problemas pode ser aplicado metodicamente para detectar e analisar as áreas ou pontos de processo que podem ter tido problemas potenciais por "documentar" e explicar uma operação, por isso é muito útil para encontrar e melhorar a qualidade no processo (FORBES; AHMED, 2011).

Entretanto, Pavani Junior e Scucuglia (2011) afirmam que os fluxogramas não permitem representar todas as características de um processo, mas que eles possibilitam um maior entendimento do processo pelos colaboradores da organização. Na Figura 2.8 é apresentada a simbologia utilizada em um fluxograma de processo.

Figura 2.8 - Exemplo de Fluxograma

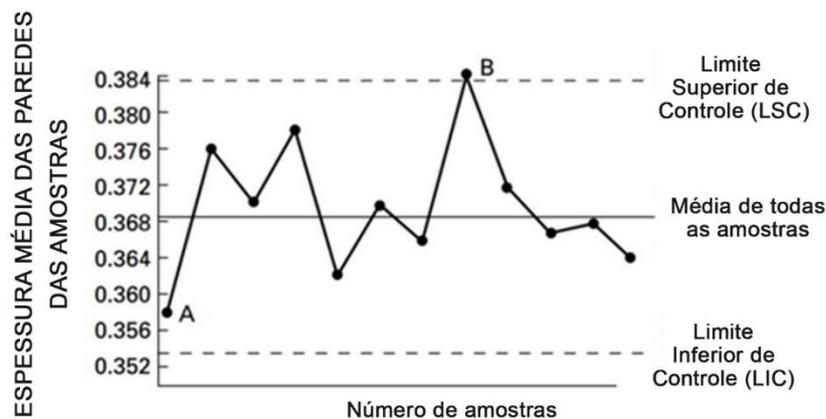


Fonte: PPGIA, 2018.

2.5.7 Gráfico de controle de qualidade ou planilha de controle

A carta de controle, ou carta de controle Shewhart, foi desenvolvida por Walter A. Shewhart na década de 1920, nos Laboratórios Bell Telephone, e é provavelmente a mais "tecnicamente sofisticada" para a gestão da qualidade (MONTGOMERY, 2009). Os gráficos de controle de qualidade são uma forma especial de "gráfico de execução que ilustra o montante e a natureza da variação no processo ao longo do tempo". Também pode desenhar e descrever o que tem acontecido no processo. Portanto, é muito importante aplicar o gráfico de controle, pois por meio dele pode-se observar e monitorar o processo de estudo que está em "controle estatístico". Nenhum problema com a qualidade de acordo com a amostra ou amostras estão entre limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Além disso, esse gráfico (Figura 2.9) pode ser utilizado para estimar "os parâmetros" e "reduzir a variabilidade" em um processo (OMACHONU; ROSS, 2004). O principal objetivo do gráfico de controle de qualidade é evitar os defeitos no processo (JURAN; GODFREY, 1998).

Figura 2.9 - Exemplo de Gráfico de Controle de Qualidade



Fonte: NEYESTANI, 2017

2.5.8 Matriz GUT

A Matriz GUT, de Kepner e Tregoe, analisa a criticidade de uma anomalia ou incorreções de construção. A Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) baseia-se na ponderação do grau de comprometimento (ou da criticidade) para cada enfoque analisado, para posterior interação técnica, viabilizando, dessa forma, uma melhor compreensão das soluções a serem adotadas (GOMIDE; FAGUNDES NETO; GULLO, 2014). A Matriz GUT proporciona uma compreensão global dos problemas, determinando a ordem de prioridade na gestão e resolução da situação (DAYCHOUM, 2011).

Segundo Pestana, Veras, Ferreira e Silva (2016), para a construção dessa matriz devem-se pontuar os problemas para a análise, seguindo a classificação GUT, nessa ordem:

- Gravidade, referente ao risco da situação analisada, estudando o resultado que pode surgir em médio e longo prazo;
- Urgência, que se refere ao prazo para interferência na resolução dos problemas;
- Tendência, que trata da possibilidade do crescimento do problema no decorrer do tempo.

Cada enfoque apresenta cinco graus de comprometimento (ou níveis de criticidade), sendo que cada grau representa uma nota (ou peso) previamente estabelecida (Quadro 2.1). Por fim, as três notas decorrentes dos graus ponderados para cada enfoque são somadas ou multiplicadas entre si, obtendo-se um resultado numérico que possibilita

ordenar as incorreções técnicas detectadas na edificação (GOMIDE; FAGUNDES NETO; GULLO, 2014).

Quadro 2.1 - Matriz GUT

| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
|--------|------|---|-------------------------|--------------------------|
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, dano ambiental grave, colapso da edificação | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Sem evolução | Imprevisto |

Fonte: GOMIDE; FAGUNDES NETO; GULLO, 2014

As metas da GQT são estabelecer a melhoria da qualidade como uma prioridade organizacional dominante e melhorar a eficácia organizacional (SPENCER, 1994). O processo de produção de trabalho e melhoria da qualidade deve começar com o compromisso dos gestores de topo, uma vez que são eles os responsáveis pela criação dos sistemas e infraestruturas de construção da produção (AHIRE; GOLHAR; WALLER, 1996).

Uma vasta literatura nas áreas de gestão, negócios e manufatura enfatiza a importância das melhores práticas em todos os campos de atividade (SZULANSKI, 1996; DAVIES; KOCHHAR, 2002 *apud* TOMA; NARUO, 2017). Portanto, essas práticas têm sido associadas à excelência tanto na indústria quanto nos serviços, e a análise de sua conexão tornou-se um tema de estudo relevante (QUESADA-PINEDA; GAZO, 2007).

Desse modo, na construção civil, para que as empresas obtenham o máximo desempenho da gestão da qualidade, o primeiro passo é fazer um mapeamento metódico dos principais processos que envolvem seus negócios. As organizações que devem sobreviver a longo prazo precisam ser adaptativas e inovadoras em paralelo com a eficiência (BROWN; EISENHARDT, 1995).

O foco no cliente e gestão são o princípio de ponto de ancoragem da GQT (CHILES; CHOI, 2000). O foco no cliente é expresso como a produção de bens ou serviços que atendem às necessidades do cliente. Na construção, refere-se ao cumprimento dos requisitos do projeto em termos de especificação técnica e qualidade do produto final. A nível operacional, a GQT prevê a promoção de relações de trabalho cooperativas entre todas as partes na formação de uma equipe conjunta (BURATI; MATTHEWS; KALIDINDI, 1992).

3. AÇO E SEUS COMPONENTES NA CONSTRUÇÃO

O aço pode ser definido, basicamente, como uma liga metálica composta de ferro com pequenas quantidades de carbono, o que lhe confere propriedades específicas, especialmente resistência e ductilidade, adequadas ao seu uso na construção civil. As principais matérias-primas que fazem parte da fabricação do aço são o minério de ferro (principalmente a hematita) e o carvão mineral (SILVA; PANNONI, 2010).

Na primeira fase de fabricação, ocorre o preparo das matérias-primas, na coqueria, em que o minério de carvão é transformado em coque siderúrgico e na sinterização os finos de minério de ferro são agrupados para lhes conferir granulometria adequada ao processo siderúrgico. Nessa etapa, o processo de transformação do minério de ferro em aço acontece quando o minério – cuja origem básica é o óxido de ferro (FeO) – é aquecido em fornos especiais (alto fornos), na presença de carbono (sob a forma de coque ou carvão vegetal) e de fundentes (que removem impurezas na forma de escória e também auxiliam na fusão dos metais). O objetivo da etapa inicial é reduzir ao máximo o teor de oxigênio da composição FeO , obtendo-se o chamado ferro-gusa, que contém de 3,5 a 4,0% de carbono em sua estrutura (METÁLICA, 2010, SILVA; PANNONI, 2010).

A próxima parte do processo é a produção de gusa, em uma segunda fusão: coque, sínter e escorificantes são depositados na extremidade superior do Alto-forno; uma injeção de ar provoca uma reação exotérmica que funde os materiais proporcionando como principal produto final o gusa líquido (material metálico ainda rico em carbono) e como produto secundário a escória de alto-forno, que pode ser utilizada na fabricação de cimento (SILVA; PANNONI, 2010).

Como resultado dessa segunda fusão, tem-se o ferro fundido, apresentando teores de carbono entre 2 e 6,7%. Após uma análise química do ferro, em que são verificados os teores de carbono, enxofre, fósforo, silício, manganês, entre outros elementos, ele vai para uma unidade da siderúrgica chamada aciaria, onde é transformado em aço. Na aciaria, portanto, ocorre a retirada de carbono do gusa, por meio de injeção de oxigênio puro, transformando-o, então, em aço líquido. O aço, é, assim, o resultado da descarbonatação do ferro gusa, ou seja, é produzido a partir desse, controlando-se o teor de carbono para no máximo 2%. O que se tem, portanto, é uma liga metálica constituída

essencialmente de ferro e carbono, esse último variando de 0,008% até aproximadamente 2,11%, além de certos elementos residuais oriundos de seu processo de fabricação (METÁLICA, 2010, SILVA; PANNONI, 2010).

A etapa seguinte constitui o lingotamento. O processo utilizado atualmente é lingotamento contínuo. O lingotamento tem como função primordial a transformação do aço da sua forma líquida para a sólida de uma forma contínua. O produto desse processo é o tarugo.

O processo de lingotamento contínuo como acontece atualmente surgiu na década de 1950, quando revolucionou o processo de solidificação do aço. Até aquele momento, o processo predominante era o lingotamento convencional, que consistia no derramamento do aço líquido em moldes para a solidificação e formação do produto desejado. A introdução do processo de lingotamento contínuo permitiu alcançar maiores níveis de rendimento, produtividade, qualidade e eficiência de custos. Passou a ser possível fabricar um produto mais padronizado e de custo mais baixo. Nesse processo, erros e atrasos de tempo entre as etapas ocasiona a fabricação de aço de baixa qualidade (BRETAS, 2013).

Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação, podendo ser a quente ou a frio, em que os lingotes se transformam em chapas após a diminuição da área de sua seção transversal. O produto recebido do lingotamento é pré-aquecido e deformado pela passagem sobre pressão em laminadores (cilindros justapostos), reduzindo sua espessura até a medida desejada para comercialização (SACCHI, 2016).

3.1 Chapas e perfis

Chapas são produtos planos laminados de aço com largura superior a 500mm. Podem ser classificadas entre chapas grossas (espessura superior a 5mm) e chapas finas (espessura inferior ou igual a 5mm). As chapas grossas são fabricadas pelas siderúrgicas com espessuras entre 5,00mm e 150,00mm, largura-padrão entre 1,00m a 3,80m e comprimento-padrão entre 6,00m a 12,00m. As dimensões preferenciais, ou seja, as

mais econômicas, são: 2,44m de largura, 12,00m de comprimento e espessuras variadas (SILVA; PANNONI, 2010).

As chapas grossas são utilizadas geralmente para a fabricação dos perfis soldados, mas também podem ser utilizadas em perfis formados a frio, necessitando de equipamento adequado para esse dobramento. As chapas finas são fabricadas pelas siderúrgicas com espessuras que variam entre 0,60mm e 5,00mm. As chapas finas apresentam largura-padrão entre 1,00m e 1,50m e comprimento-padrão entre 2,00m e 6,00m. As dimensões preferenciais na forma plana são oferecidas pela siderurgia nas medidas: 1,20m por 2,00m e 1,20m por 3,00m. As chapas finas podem também ser fornecidas em forma de bobinas, possuindo nesse caso custo unitário menor (SILVA; PANNONI, 2010; BELLEI, 1998).

As siderúrgicas brasileiras que fabricam chapas são a Companhia Siderúrgica Paulista –COSIPA, USIMINAS, Companhia Siderúrgica Nacional – CSN e ArcelorMittal Tubarão.

3.1.1 Perfis

Os perfis mais utilizados são aqueles cuja seção transversal se assemelha às formas das letras I, H, U e Z, recebendo denominação comparável a essas letras, e à letra L, nesse caso denominados cantoneiras. Os perfis podem ser obtidos por laminação ou a partir de operações de conformação a frio ou soldagem. São denominados, respectivamente, de perfis: (a) laminados, (b) soldados, (c) formados a frio (dobramento) e (d) perfis compostos.

3.1.1.1 Perfis laminados

Os perfis laminados (Figura 3.1) são fabricados a quente nas usinas siderúrgicas e são para estruturas de importância. Têm um custo mais vantajoso por dispensar a fabricação “artesanal” dos perfis soldados ou dos perfis formados a frio. Os perfis laminados fabricados no Brasil dividem-se em duas séries: W e HP. A designação dos perfis é: a série seguida da altura e da massa por unidade de comprimento. Por exemplo: W 310 x

44,5 ou HP 250 x 62. O aço geralmente utilizado na fabricação desses perfis é o ASTM A 572 Gr 50, com $f_y = 354$ MPa e $f_u = 450$ MPa

Figura 3.1 - Perfil laminado



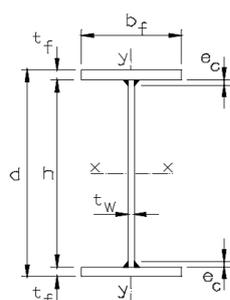
Fonte: NEW AÇO, 2019

3.1.1.2 Perfis soldados

Os perfis soldados abrangem uma vasta gama de tamanhos e atendem às necessidades estruturais de modo mais econômico. Eles podem ser obtidos por solda elétrica ou por caldeamento usando o efeito joule quando se passa uma corrente entre os pontos que se deseja soldar. O material de solda, seja por soldagem por eletrodo revestido, arco submerso ou qualquer outro tipo, deve ser especificado, compatibilizando-o com o tipo de aço a ser soldado, isto é, deve ter características similares de resistência à corrosão, resistência mecânica.

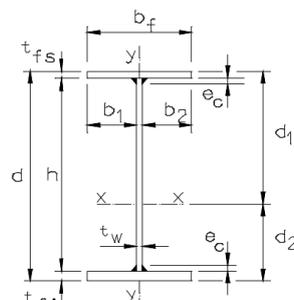
A norma NBR 5884 (ABNT, 2013) apresenta as características geométricas de vários perfis I e H soldados e tolerâncias na fabricação. São divididos entre séries simétrica, Figura 3.2, e monossimétrica (SILVA; PANNONI, 2010; Figura 3.3).

Figura 3.2 - Série simétrica



Fonte: SILVA; PANNONI, 2010

Figura 3.3 - Série monossimétrica



Fonte: SILVA; PANNONI, 2010

Série simétrica é a série composta por perfis que apresentam simetria na sua seção transversal em relação aos eixos X-X e Y-Y, conforme indicado no Quadro 3.1

Quadro 3.1 - Série simétrica

| SÉRIE | PERFIL | ESPECIFICAÇÕES | RELAÇÃO |
|-----------|---|---|------------------------------|
| Série CS | Formada por perfis soldados tipo pilar | Dimensões indicadas na norma NBR 5884 (ABNT, 2013) | relação $d/b_f = 1$ |
| Série CVS | Formada por perfis soldados tipo viga-pilar | Dimensões indicadas na norma NBR 5884 (ABNT, 2013) | relação $1 < d/b_f \leq 1,5$ |
| Série VS | Formada por perfis soldados tipo viga | Dimensões indicadas na norma NBR 5884 (ABNT, 2013) | relação $1,5 < d/b_f \leq 4$ |
| Série PS | Formada por perfis soldados simétricos | Dimensões não indicadas na norma NBR 5884 (ABNT, 2013) – mas seguem demais especificações da Norma Brasileira | |

Fonte: SILVA; PANNONI, 2010

Série monossimétrica é a série composta por perfis soldados que não apresentam simetria na sua seção transversal em relação ao eixo X-X e apresentam simetria em relação ao eixo Y-Y. A série monossimétrica é dividida conforme indicado no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Série monossimétrica

| SÉRIE | PERFIL | ESPECIFICAÇÕES | RELAÇÃO |
|-----------|--|---|----------------------------|
| Série VSM | Formada por perfis soldados monossimétricos tipo viga | Dimensões indicadas na norma NBR 5884 (ABNT, 2013) | relação $1 < d/b_f \leq 4$ |
| Série PSM | Formada por perfis soldados monossimétricos, inclusive os perfis com larguras de mesas diferentes entre si | Dimensões não estão indicadas na norma NBR 5884 (ABNT, 2013), mas que seguem as demais especificações da norma brasileira | |

Fonte: SILVA; PANNONI, 2010

A designação dos perfis I soldados faz-se, inicialmente pela série, seguido da altura em milímetros e, finalmente, pela massa aproximada em quilogramas por metro. Exemplos:

- Em um perfil série CS com 300mm de altura por 300mm de largura de mesa e 62,4kg/m, a designação é CS 300x62.

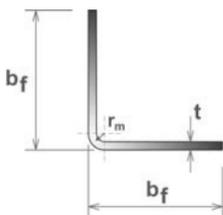
- Para um perfil da série VSM com 450mm de altura por 200mm de largura de mesa e 48,9kg/m a designação é VSM 450x49.

3.1.1.3 Perfis formados a frio (dobramento)

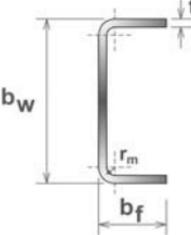
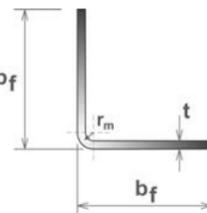
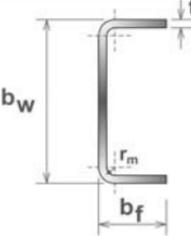
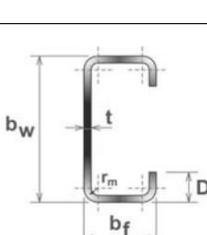
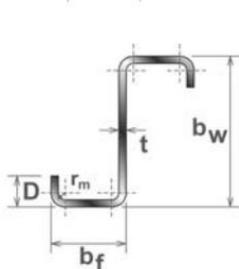
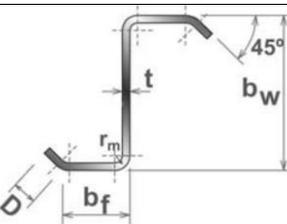
Perfis dobrados são feitos em chapa fina, são também conhecidos como perfis de chapas dobradas e vêm sendo utilizados de forma crescente na execução de estruturas metálicas leves como terças, montantes e diagonais de treliças, travamentos. No caso de estruturas de maior porte, o emprego de perfis formados a frio duplos, em seção unicelular (tubular-retangular) também denominados seção-caixão, pode resultar, em alguns casos, em estruturas mais econômicas. A isso deve-se a boa rigidez à torção (eliminando travamentos), menor área exposta, (reduzindo a área de pintura), menor área de estagnação de líquidos ou detritos (reduzindo a probabilidade de corrosão).

A norma NBR 6355 (ABNT, 2003), padroniza vários perfis formados com chapas de espessuras entre 1,50mm a 4,75mm, indicando suas características geométricas, pesos e tolerâncias de fabricação (Figura 3.4). A nomenclatura dos perfis também é padronizada. A designação dos nomes se dá pela seguinte ordem: tipo do perfil x dimensões dos lados x espessura, todas as dimensões são dadas em mm. O Quadro 3.3 mostram-se os tipos de perfis e nomenclatura padronizados.

Quadro 3.3: Perfis e nomenclaturas padronizados (continua)

| SÉRIE | SÉRIE TRANSVERSAL | DESIGNAÇÃO |
|----------------------------|---|-------------------------------------|
| Cantoneiras de abas iguais |  | $L b_f \times t$ Ex: L 50 x 3,00 |

Quadro 3.3: Perfis e nomenclaturas padronizados (conclusão)

| SÉRIE | SÉRIE TRANSVERSAL | DESIGNAÇÃO |
|----------------------------|---|--|
| U simples |  | U $b_w \times b_f \times t$ Ex: U 150 x 50 x 2,65 |
| Cantoneiras de abas iguais |  | L $b_f \times t$ Ex: L 50 x 3,00 |
| U simples |  | U $b_w \times b_f \times t$ Ex: U 150 x 50 x 2,65 |
| U enrijecido |  | Ue $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Ue 150 x 60 x 20 x 2,65 |
| Z enrijecido a 90° |  | Z90 $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Z90 200 x 75 x 20 x 2,25 |
| Z enrijecido a 45° |  | Z45 $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Z45 200 x 75 x 20 x 2,25 |

Fonte: ABNT, 2003

Figura 3.4 - Perfis formados a frio



(a)

(b)

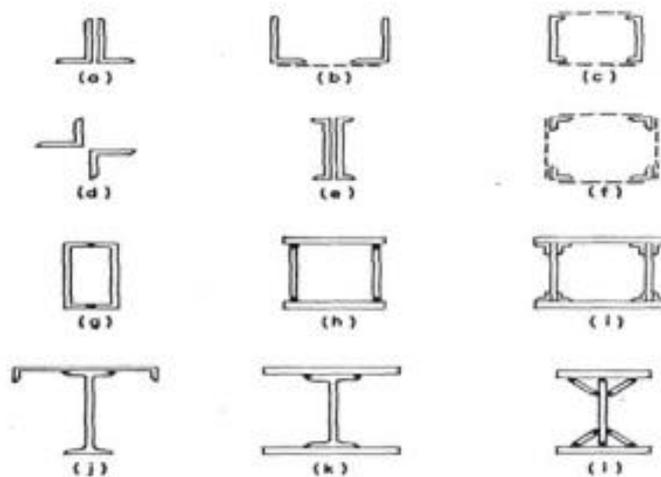
Fonte: SILVA; PANNONI, 2010

3.1.1.4 Perfis compostos

Os perfis compostos são obtidos pela composição, por meio de soldagem ou aparafusamento, de chapas ou outros perfis (Figuras 3.5 e 3.6).

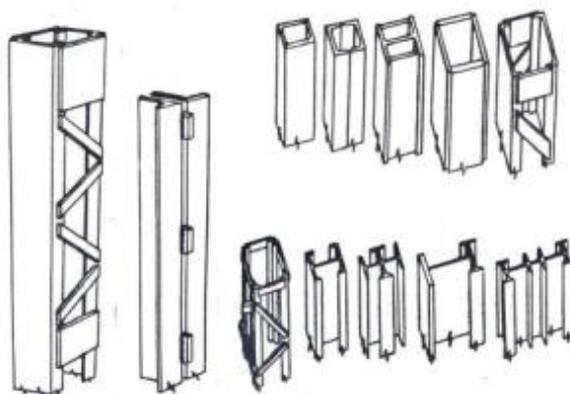
Os aços utilizados em estrutura na construção civil brasileira são divididos em dois grupos: aço-carbono e aço de baixa liga. Essa classificação refere-se à sua composição.

Figura 3.5 - Seções de perfis compostos utilizados como viga



Fonte: SILVA; PANNONI, 2010

Figura 3.6 - Perfis compostos usados como pilares



Fonte: SILVA; PANNONI, 2010

3.2 Aços-carbonos

Os aços carbono são os mais utilizados. O aumento de resistência em relação ao ferro puro é produzido pelo carbono e, em menor grau, pela adição de manganês. Em estruturas padrão de aço, ele é empregado com um teor de carbono com valor máximo de 0,45%, para se permitir uma boa soldabilidade. O aumento do teor de carbono aumenta a resistência e a dureza (redução de ductibilidade); porém, o aço pode tornar-se mais quebradiço e sua soldabilidade diminui consideravelmente (BELLEI, 1998).

Os aços carbono mais utilizados na construção civil são:

- ASTM-A36 - o aço mais aplicado na fabricação de perfis soldados (chapas com espessura $t \geq 4,57$ mm), especificado pela American Society for Testing and Materials;
- NBR 6648/CG-26 - aço, especificado pela ABNT (2014), usado na fabricação de perfis soldados e que mais se assemelha ao anterior;
- ASTM A572/Gr50 - aço empregado na fabricação de perfis laminados - NBR 7007/MR-250 (ABNT, 20011), que mais se assemelha ao ASTM A-36;
- ASTM-A570 - o aço mais usado na fabricação de perfis formados a frio (chapas com $t \leq 5,84$ mm);
- NBR 6650/CF-26 - aço, especificado pela ABNT (2014), usado na fabricação de perfis estruturais conformados a frio que mais se assemelham ao anterior.

3.3 Aços de baixa-liga

Os aços de baixa-liga são os aços carbono que possuem pequena quantidade de elementos de liga em sua composição, tais como cobre, nióbio, manganês, silício. Os elementos de liga majoram a resistência do aço, modificando, assim, a microestrutura para grãos finos. Dessa forma, obtém-se uma maior resistência com um teor de carbono da ordem de 0,20%, proporcionando, ainda assim, uma boa soldabilidade. De modo geral, os acréscimos são pequenos, de no máximo 0,5 a 0,7% da massa total do metal, proporção em que tais elementos não tem qualquer efeito considerável sobre a resistência do metal à corrosão atmosférica. A adição de outros metais proporciona maior resistência mecânica ($f_y = 300\text{MPa}$) ou maior resistência à corrosão, ou ambos. São propícios à utilização na construção civil, entretanto, é interessante uma análise econômica comparativa com o aço carbono, pois esse último tem menor resistência, mas menor custo por unidade de peso (PANNONI, 2004; SILVA; PANNONI, 2010).

3.4 Corrosão do aço

Há uma tendência natural do ferro presente no aço de retroceder ao seu estado primitivo de minério, ou seja, reagir com os elementos presentes no meio ambiente (O_2 , H_2O) formando óxido de ferro. Esse processo se inicia na superfície do metal e acaba levando à sua total deterioração, caso medidas preventivas não sejam tomadas. A adição de pequenas quantidades de cobre, fósforo e outros elementos tem um efeito favorável sobre os aços, diminuindo a velocidade com que são corroídos, quando expostos ao ar. Conhecido comercialmente como Cor-ten, esse aço foi desenvolvido pela companhia norte-americana United States Steel Corporation no início da década de 1930 (PANNONI, 2004).

Na prevenção à corrosão, além do emprego de aços resistentes a esse problema, é utilizado o aço galvanizado e a pintura dos perfis. A galvanização consiste em revestir o aço com uma camada de zinco bem fina, seja por um banho de imersão quente, seja utilizando a eletro galvanização. O fenômeno da corrosão é sempre antecedido pela remoção de elétrons do ferro, formando os cátions Fe^{++} . A frequência e velocidade com que acontece essa remoção é variável de metal para metal e recebe o nome de potencial

de oxidação de eletrodo. O potencial do zinco é maior do que o ferro. Assim, em uma combinação dos dois elementos, o zinco atua como ânodo e o ferro como cátodo. Essa característica é utilizada como estratégia para se prevenir a corrosão do aço. Nela baseia-se o processo de proteção pelo uso do zinco. O revestimento com zinco proporciona uma dupla proteção: se a camada de zinco se mantiver intacta, sem qualquer perfuração, ela atua como uma barreira, evitando que a água e o oxigênio entrem em contato com o aço. Entretanto, caso haja uma perfuração na peça, na presença do ar atmosférico (ou seja, umidade), o zinco passa, então, a atuar como ânodo, corroendo-se em lugar do ferro (SILVA; PANNONI, 2010).

3.4.1 Galvanização por imersão à quente

O processo de galvanização por imersão à quente é realizado a uma temperatura aproximada de 450°C e pode ser aplicado em qualquer tipo de aço. Entretanto, a imersão em zinco fundente pode modificar as propriedades mecânicas do material, sendo necessário, portanto, a utilização de aço com propriedades mecânicas selecionadas (PARANHOS, 2002).

3.4.2 Eletro galvanização

O processo de eletro galvanização é, essencialmente, a frio. O aço laminado a frio é submetido à temperatura de aproximadamente 50°C, sem, entretanto, alterar as propriedades mecânicas do material base (PARANHOS, 2010).

3.4.3 Pintura

A proteção do aço por meio de material não metálico funciona, na superfície exposta, como uma barreira impermeável protetora. Os materiais impermeáveis geralmente utilizados são tintas, esmaltes, vernizes e plásticos.

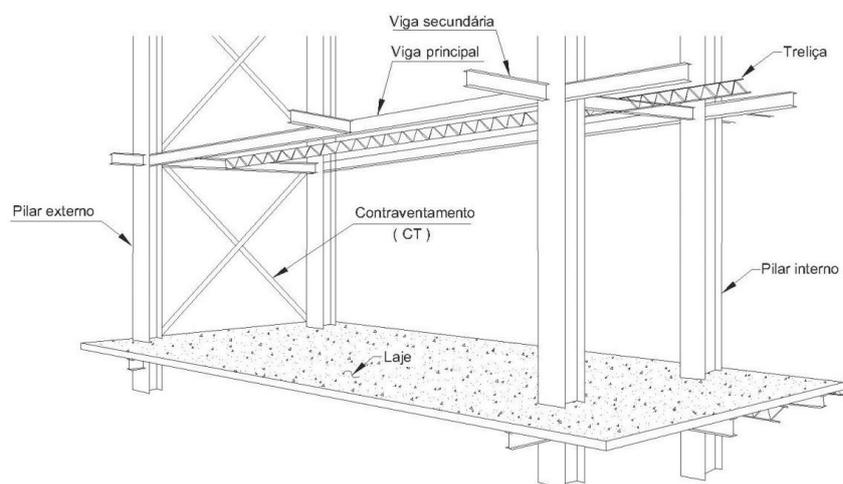
3.5 Principais componentes de um sistemas estrutural em aço

Os principais componentes estruturais dos edifícios estruturados em aço são (Figura 3.7):

- Pilares externos e internos;
- Vigas principais e secundárias (alma cheia e ou treliçada);

- Fechamentos verticais;
- Lajes;
- Contraventamentos.

Figura 3.7 - Elementos componentes de uma estrutura em aço



Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA, 2004

No Quadro 3.4 apresentam-se as Normas Brasileiras que regem o aço como sistema estrutural.

Quadro 3.4 - Normas nacionais para o aço como sistema estrutural

| NORMA | DIRETRIZES |
|--|---|
| NBR 8800 (ABNT, 2008) – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios | Apresenta procedimentos atualizados, similares aos das normas internacionais, e compatíveis com outras normas brasileiras. Seu escopo abrange elementos estruturais com perfis abertos e tubulares. |
| NBR 14762 (ABNT, 2010) - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio | Estabelece, com base no método dos estados-limites, os requisitos básicos que devem ser obedecidos no dimensionamento, à temperatura ambiente, de perfis estruturais de aço formados a frio, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, conectados por parafusos ou soldas e destinados a estruturas de edifícios. |
| NBR 6355 (ABNT, 2012) - Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização | Estabelece os quesitos exigíveis dos perfis estruturais de aço formados a frio, com seção transversal aberta. |

3.5.1 Pilares

São os elementos capazes de levar às fundações as cargas originárias de outras partes. Com relação à fixação, as colunas podem ser rotuladas ou engastadas. As colunas podem estar sujeitas a esforços de compressão, compressão com flexão e tração com flexão.

A seção básica para uso em edifícios é o tipo I ou H, laminado ou soldado. Entretanto, o perfil I é pouco usado, por causa do seu baixo raio de giro no sentido da menor inércia. O perfil H é ideal por possuir raios de giro muito próximos, e largura da mesa igual ou próxima à altura da seção (BELLEI, 1998; METÁLICA, 2010).

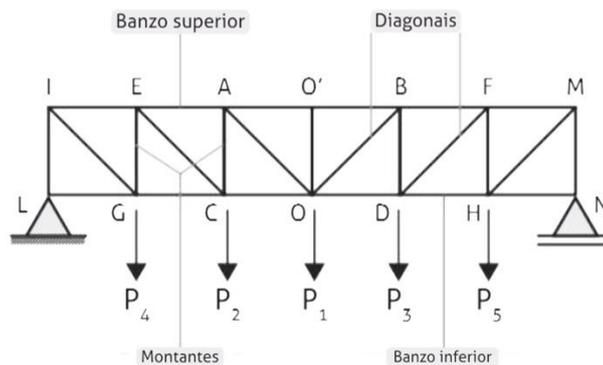
3.5.2 Vigas

As vigas utilizadas em estruturas em aço podem ser laminadas ou de chapas dobradas. 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 (CASTRO, 1999). Entretanto, se a viga metálica trabalhar com uma laje de concreto (por meio de conectores), passando a ser uma "viga mista", ela não estará sujeita ao fenômeno da flambagem lateral com torção.

As vigas, na construção de edificações, resistem na sua grande maioria a cargas uniformemente distribuídas devido ao seu peso próprio, reações das lajes e peso próprios das paredes. A prevenção de patologias se dá estudando como a estrutura deformará. No concreto armado a altura da viga varia entre 1/10 e 1/20 da distância entre os pontos de momento nulo. No aço, essa variação oscila entre 1/15 e 1/25 entre os mesmos pontos (CASTRO, 1999).

As vigas treliçadas (Figura 3.8 e 3.9) são fabricadas, basicamente, em perfis de chapa dobrada, normalmente perfil "U" dobrado. As treliças são utilizadas em vãos maiores e possibilitam uma ótima relação resistência/peso do sistema estrutural, pois sendo constituídas apenas por elementos tracionados ou comprimidos, permitem o uso de seções transversais relativamente esbeltas, compondo um sistema de grande altura, e consequente grande envergadura, sem, entretanto, possuir muito peso, como seria o caso, por exemplo, de vigas de alma cheia (TISOT; MEDEIROS; KRIPKA, 2010).

Figura 3.8 - Elementos de viga treliçada



Fonte: SILVA; SOUZA, 2015.

Figura 3.9 - Viga treliçada



Fonte: GALVAMINAS, 2018

3.6 Fechamentos Verticais

A principal função do fechamento vertical é estabelecer a separação entre ambientes ou entre o meio interno e externo, atuando como barreira, freio ou filtro. Na fachada, tanto na vedação, quanto no revestimento, é necessário considerar a possibilidade de deflexões, expansão e contração térmicas, deslocamentos relativos entre os pavimentos e oscilações do edifício causadas pelo vento. Para esse trabalho são considerados quatro tipos de fechamentos verticais:

a) Fachada cortina, podendo ser:

- Estruturas leves de aço (Light Steel Framing – LSF);
- Painéis Pré-Fabricados de Concreto (PFC);

- Painéis de concreto armado com alma de poliestireno expandido (EPS);
 - Painéis de concreto celular autoclavado (CCA);
- b) Alvenaria de vedação com blocos.
- c) Gesso acartonado.

Dutra (2010) esclarece que “fachada cortina” é, muitas vezes, confundida com a “fachada ventilada”, devido à semelhança de suas concepções e características estéticas. Na fachada ventilada, os revestimentos não constituem uma vedação completa e por isso precisam ser combinados com algum fechamento de vedação; na maior parte das vezes, usa-se alvenaria. Os materiais mais comumente utilizados para esses revestimentos são as placas de granito, os painéis cerâmicos extrudados ou prensados e ainda, os painéis de ACM (*aluminum composite material*) (MEDEIROS *et al*, 2014). A fachada cortina é constituída de elementos aparentes que fazem a vedação, não tendo, entretanto, função estrutural.

O Light Steel Framing (LSF) é o termo internacionalmente utilizado para o sistema construtivo caracterizado pelo uso de perfis leves de aço galvanizados formados a frio com vedação por painéis industrializadas de ambos os lados, sendo mais usual a utilização de placas cimentícias do lado externo e de chapas de gesso acartonado do lado interno (MEDEIROS *et al*, 2014). Os acabamentos externos do LSF podem ser argamassa (com aspecto final semelhante a uma construção convencional de alvenaria), laminado melamínico, cerâmica, verniz acrílico, pintura, massa texturizada com base acrílica e pastilhas.

3.6.1 Painéis Pré-Fabricados de Concreto (PFC)

São compostos por concreto e armação em aço, não tendo limitação de tamanho, podendo se conformar de acordo com cada projeto, permitindo revestimento com cerâmica, pastilha, pinturas e texturas variadas. Sua fixação à estrutura é feita por inserts ou argamassa e devido ao seu porte e peso sua instalação exige equipamentos de içamento como guindaste ou grua (VON KRÜGER, 2000).

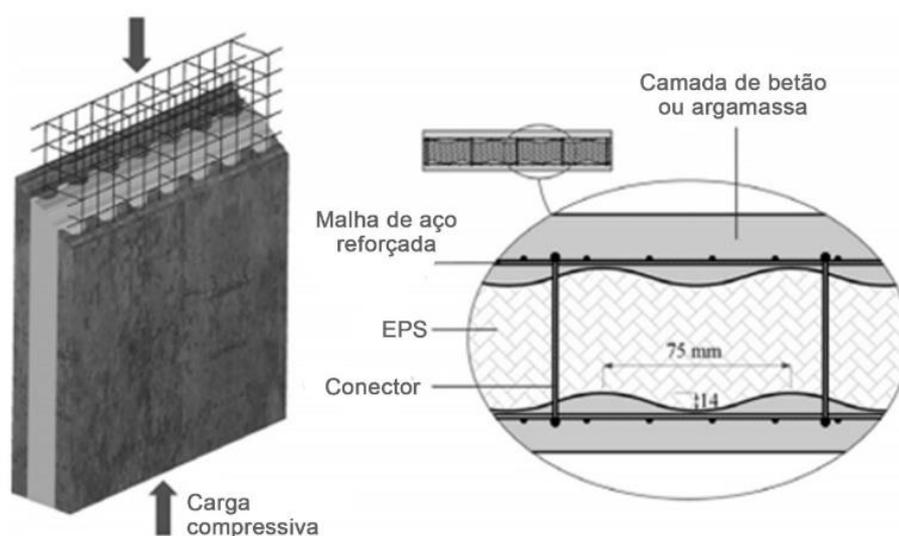
Esses painéis podem ser fixados na laje e nas vigas de borda ou diretamente nos pilares. No primeiro caso a base inferior suporta o peso do painel e ele fica sujeito à compressão. A carga de vento e as cargas decorrentes da deformação higrotérmica são absorvidas pela fixação da parte superior, executada com cantoneiras fixadas à viga de borda, que

permite movimentação no plano horizontal. No segundo caso, o pilar recebe uma cantoneira contínua soldada a ele, que apoia o painel fixado com argamassa colante ou parafusos. Essa fixação transmite as cargas devidas ao peso do painel e ao vento diretamente para os pilares que as transferem para a fundação. A movimentação entre a estrutura e os painéis deve ser prevista, sendo necessária a utilização de juntas que desvinculem o painel da estrutura (ARAÚJO; SOUZA; COSTA, 2009 *apud* RIBAS, 2013).

3.6.2 Painéis de concreto armado com alma de poliestireno expandidos (EPS)

A origem dos painéis EPS (Figura 3.10) é um projeto italiano, desenvolvido em região sujeita a terremotos, com o objetivo de se criar uma estrutura monolítica e que agregasse elementos de isolamento térmica. Os painéis são constituídos por uma camada intermediária de poliestireno, que varia de espessura, e duas camadas de concreto, ligadas ao recheio de poliestireno por armadura metálica definida em projeto. Sua espessura final pode variar entre 55mm a 110mm. Para conferir estabilidade e aumentar a capacidade de carga dos painéis são empregados conectores de aço, que se fixam, na horizontal, a cerca de 2m do piso. Além disso, uma malha de aço de reforço é incorporada em cada camada de concreto (SOUZA, 2009; CARBONARI, *et al*, 2013). Os painéis aceitam aplicações de cerâmicas (com argamassa cimento-cola) e gesso ou massa corrida como acabamento usual em alvenaria (MAMMINI, 1998).

Figura 3.10 - Painel EPS



Fonte: CARBONARI *et al*, 2013.

3.6.3 Painéis de concreto celular autoclavado

Os concretos leves, afirma Isaia (2011), são os concretos elaborados com agregados leves, com massa específica reduzida ou que substitui uma parte dos materiais sólidos por ar. Os concretos leves dividem-se em: concreto celular, concreto sem finos e concreto com agregados leves, cuja massa específica seca final não supere 2000kg/m³. Segundo Neville (2013), a massa específica dos concretos convencionais, não armados, está entre de 2200kg/m³ a 2600kg/m³.

O concreto celular é um concreto aerado, que possui em sua matriz sólida, células originadas da formação de bolhas, que podem ser por causa química ou inseridas mecanicamente no processo de sua execução (Figura 3.11). A cura em autoclave proporciona valores de resistência à compressão superiores à cura ao ar, para a mesma massa específica do produto (RIBEIRO, 2001).

Figura 3.11 - Concreto celular autoclavado



Fonte: AECWEB, 2019

3.6.4 Alvenaria de vedação com blocos

A alvenaria de fechamento pode ser definida como a alvenaria dimensionada para resistir apenas a ações de seu próprio peso. O subsistema de fechamento vertical é responsável por proteger o edifício de agentes indesejáveis (chuva, vento...) e também pela divisão dos ambientes internos. A maioria das edificações executadas pelo processo de construção convencional (estrutura reticulada de concreto armado moldada *in loco*) utiliza para o fechamento dos vãos paredes de alvenaria. O subsistema de fechamento vertical interage com os demais subsistemas da edificação: revestimento,

impermeabilização, esquadrias, instalações elétricas e de comunicação, instalações hidrossanitárias.

Os blocos que compõem uma alvenaria podem ser cerâmico vazado ou maciço (tijolo furado), de concreto, de concreto celular autoclavado e de solo-cimento. Os blocos cerâmicos utilizados na execução das alvenarias de fechamento, com ou sem revestimentos, devem atender à norma NBR 15270 (ABNT, 2017) que define termos, determina os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos solicitados no recebimento. Entretanto, ainda não existe no Brasil uma norma que trata sobre o comportamento de blocos cerâmicos funcionando em estrutura de aço.

Embora a construção estruturada com aço seja considerada um avanço tecnológico, o fechamento vertical com blocos cerâmicos, por razões culturais, ainda permanece.

Devido à pouca oferta e, conseqüentemente, altos preços, os painéis ainda são pouco utilizados no mercado brasileiro. Portanto, empreendimentos que optaram pela estrutura em aço visando agilizar o processo de produção do edifício, acabam sendo obrigados a executarem os fechamentos verticais com blocos cerâmicos ou concreto celular autoclavado. Esse tipo de fechamento ainda é conceitualmente contrário à industrialização proporcionada pela estrutura em aço.

3.6.5 Gesso acartonado

O sistema *drywall* chegou ao país em 1970 com a fundação da Gypsum do Brasil, a primeira fábrica de chapas de gesso, instalada em Pernambuco. Entretanto, o produto atingiu um resultado comercial irrelevante e só teve esse quadro modificado quando, em 1995, a fábrica foi adquirida pela Lafarge Gypsum, do grupo francês Lafarge. Ainda na década de 1990 chegaram ao Brasil a Knauf do Brasil (do grupo alemão Knauf) e a BPB Placo (*joint-venture* anglo-chilena) e aqui instalaram unidades industriais (DRYWALL, 2015).

O termo *Drywall* é amplamente usado nos Estados Unidos, e vem sendo utilizado no Brasil para se referir às divisórias de gesso acartonado com estrutura em perfis galvanizados. Portanto, esse termo faz referência aos componentes de fechamento utilizados na construção a seco, sendo as chapas de gesso acartonado e os perfis galvanizados apenas um dos vários tipos de *Drywall* (CRASTO, 2005).

As placas de gesso acartonado são fabricadas de forma industrial e compostas de uma composto de gesso, água e aditivos, revestidas em ambos os lados com lâminas de cartão, que confere ao gesso resistência à tração e flexão. São produzidas de acordo com a norma NBR 14715 (ABNT, 2010) e a norma NBR 14716 (ABNT, 2001). O espaçamento entre os montantes pode ser de 400mm ou de 600 mm, de acordo com os esforços solicitantes das placas de fechamento, revestimentos e peças suspensas fixadas ao painel. No caso de duas camadas de chapas de gesso em uma mesma face do painel, deve-se parafusar a primeira camada de placa nos montantes, com espaçamento de 50cm a 60cm entre os parafusos, pois os parafusos de fixação da segunda camada, com distância de 25cm ou 30cm, transpassam e fixam também a primeira camada aos montantes (CRASTO, 2005). Seu armazenamento deve acontecer sobre estrado ou sarrafos, até a altura máxima de 1,60m, priorizando a utilização do material conforme data de recebimento em obra. Os perfis também devem ser armazenados na posição vertical (SILVA, 2002). No Quadro 3.5 apresentam-se a classificação e características das placas de gesso de acordo com a norma NBR 14.715 (ABNT, 2010)

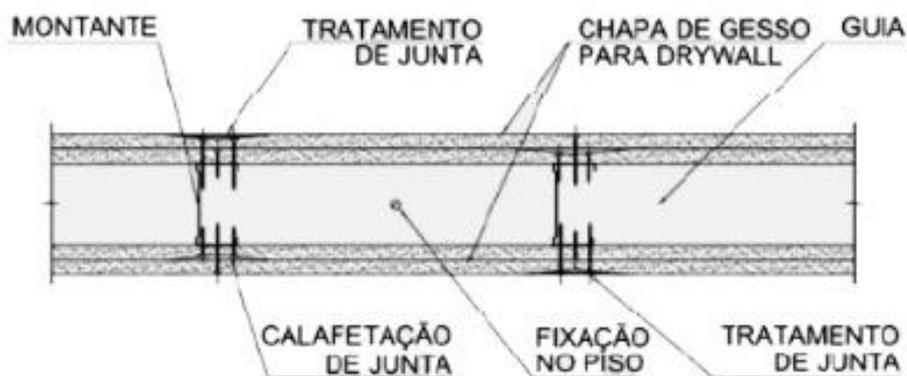
Quadro 3.5 - Classificação e características de placas de gesso

| CHAPA | CÓDIGO | APLICAÇÃO |
|----------------------|--------|--|
| Standard | ST | Paredes, revestimentos e forros em áreas secas |
| Resistente à umidade | RU | Paredes, revestimentos e forros em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado (de forma intermitente) |
| Resistente ao fogo | RF | Paredes, revestimentos e forros em áreas secas, com chapas especialmente resistentes ao fogo |

Fonte: ABNT, 2010, adaptado pela autora

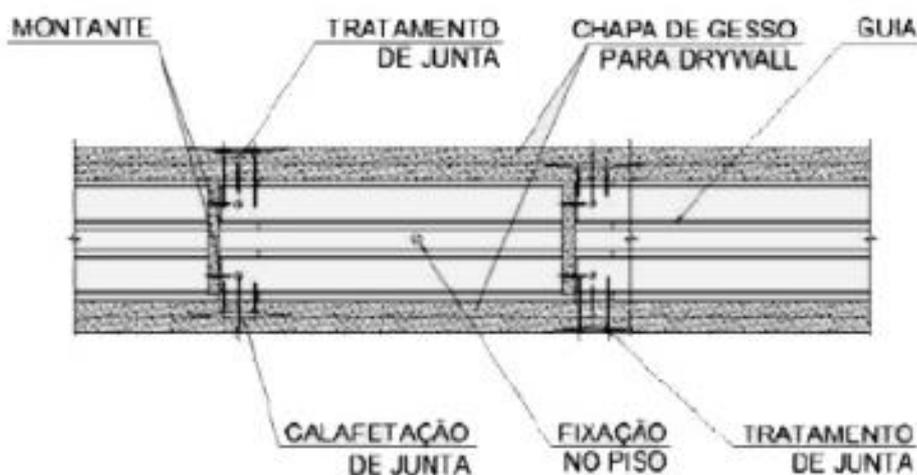
Segundo recomendação da norma NBR 15758 (ABNT, 2009), paredes entre duas unidades distintas devem ter as paredes constituídas de, no mínimo, chapa dupla (Figuras 3.12 e 3.13).

Figura 3.12 - Parede com estrutura simples/chapa dupla



Fonte: norma NBR 15758, (ABNT, 2001)

Figura 3.13 - Parede com estrutura simples/chapa dupla



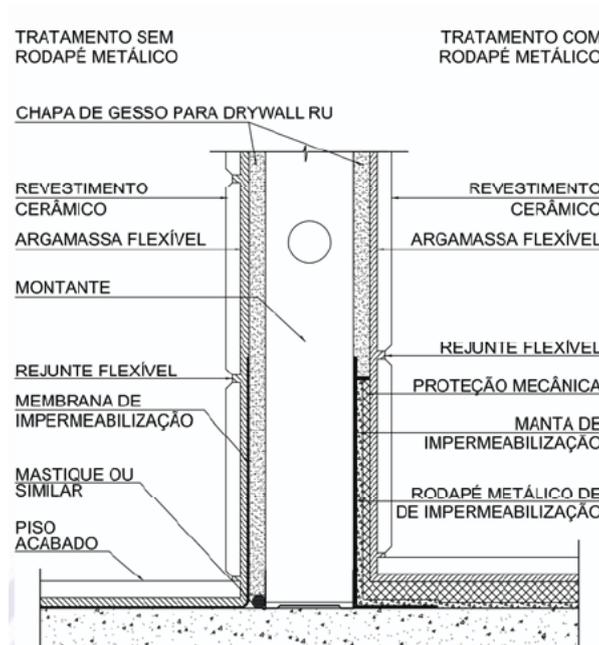
Fonte: norma NBR 15758, (ABNT, 2001)

Em áreas molháveis, além da chapa RU, deve ser aplicado um sistema de impermeabilização flexível, atingindo uma altura de pelo menos 20cm acima do piso, obedecendo a um projeto de impermeabilização que atenda à norma NBR 9575 (ABNT, 2010). A utilização de rodapé metálico é opcional. Segundo a norma NBR 15758 (ABNT, 2009), optando-se pela não utilização desse elemento, deve ser prevista a vedação da folga da chapa de gesso com o piso fazendo-se uso de mastique ou similar (Figura 3.14). Os sistemas de impermeabilização recomendados podem ser:

- a) membranas do tipo elastoméricas, por exemplo: poliuretano, poliuréia, borracha etileno-propileno-dieno (EPDM), butil, neoprene;

- b) membranas plastoméricas e termoplásticas, por exemplo: policloreto de vinila (PVC) e acrílicos;
- c) membranas asfálticas, por exemplo, soluções ou emulsões;
- d) mantas asfálticas elastoméricas e plastoméricas.

Figura 3. 14 - Áreas molháveis com e sem rodapé metálico



Fonte: ABNT, 2009

3.7 Lajes

Conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes ou placas são “elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais ao seu plano”. As lajes são responsáveis pela transferência das cargas verticais para as vigas e das horizontais para os pilares. O desempenho da estrutura é determinado pelo tipo de laje, que determina também todo o desenvolvimento da obra considerando-se produtividade, velocidade, precisão e segurança. Nas edificações estruturadas em aço as lajes são executadas de cinco formas:

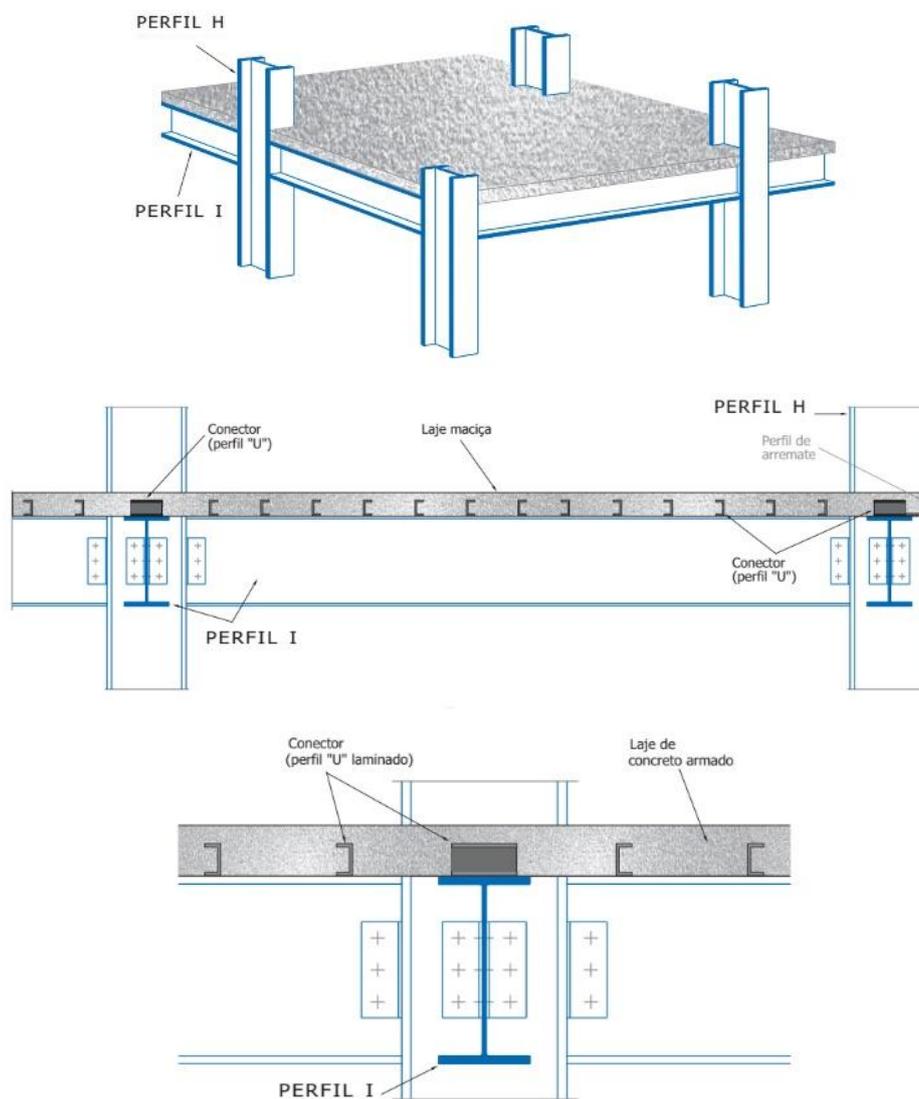
- Lajes maciça moldada in loco
- Laje alveolar protendida

- Laje com forma em aço, incorporada
- Laje pré-moldada de concreto

3.7.1 Laje maciça moldada in loco

São as lajes executadas em concreto com armadura de aço (Figura 3.15). Necessitam de forma e têm uma confecção mais demorada, necessitando de escoramento durante a concretagem e durante seu período de cura, que se estende por 28 dias.

Figura 3.15 - Laje maciça moldada in loco

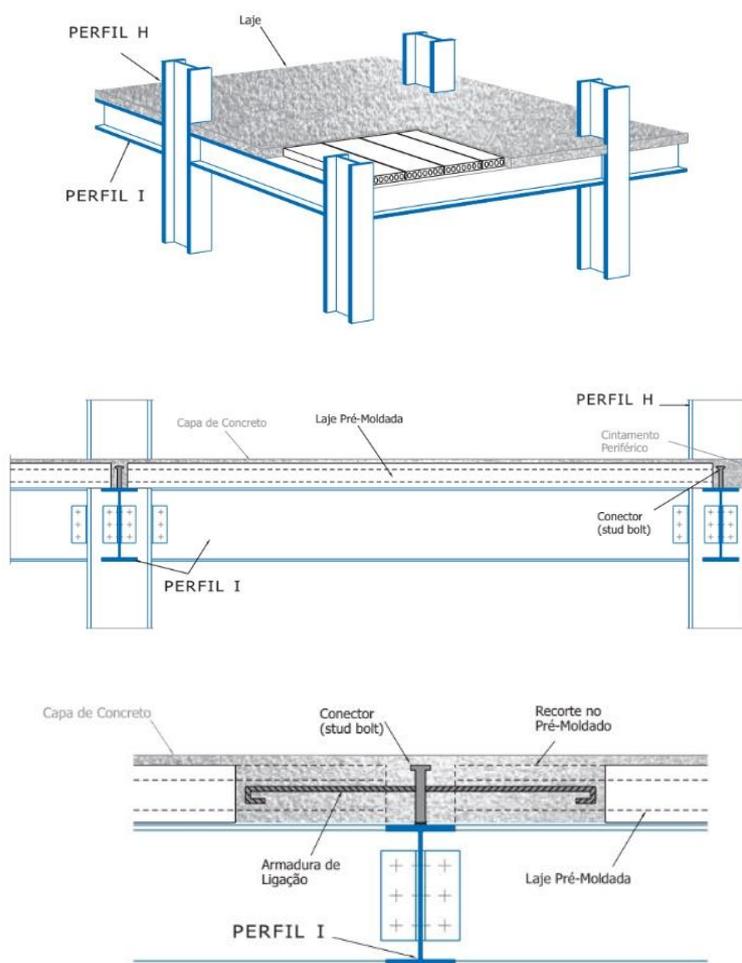


Fonte: COELHO, 2007

3.7.2 Laje alveolar protendida

É composta basicamente por painéis pré-fabricados de concreto protendido. São produzidas com concreto de alto desempenho, com resistência superior a 40MPa. Possui diversos alvéolos ao longo de seu comprimento, que são responsáveis por diminuir o peso próprio dos painéis. A largura do painel é de 124,5cm, porém o comprimento é variável, podendo atingir até 20m (Figura 3.16).

Figura 3.16 - Alveolar protendida



Fonte: COELHO, 2007

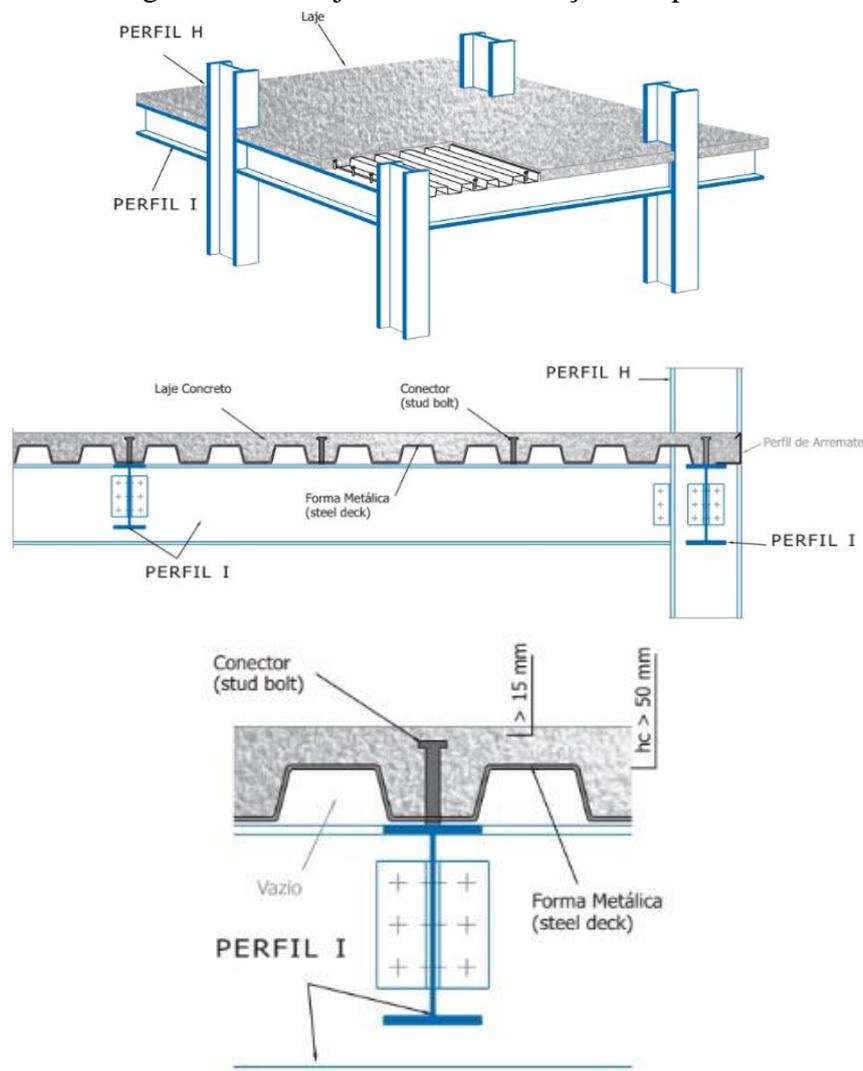
3.7.3 Laje com forma de aço incorporada

A laje com forma de aço incorporada, também conhecida como Steel Deck, é uma laje composta por uma telha trapezoidal de aço galvanizado e uma camada de concreto, tratando-se de uma laje mista (Figura 3.17). O aço serve como forma para o concreto

durante a concretagem e como armadura positiva para resistência aos momentos fletores, estando o concreto comprimido nas suas nervuras. Faz-se necessário a utilização de armadura superior destinada a controlar a fissuração do concreto, comportando-se como uma laje unidirecional. Nas áreas de momento negativo é necessário incorporar ocasionalmente uma armadura de reforço. Após a cura do concreto, a estrutura aço-concreto transforma-se um elemento estrutural único (SAÚDE; RAIMUNDO, 2006).

A norma NBR 16421 (ABNT, 2015) estabelece os requisitos e ensaios aos quais o material deve atender, seja ele revestido, conformado a frio, de seção transversal trapezoidal, reentrante, retangular e ondulado com revestimentos zincado por imersão a quente ou zincado por imersão a quente e revestido por pintura.

Figura: 3.17 - Laje com forma de aço incorporada

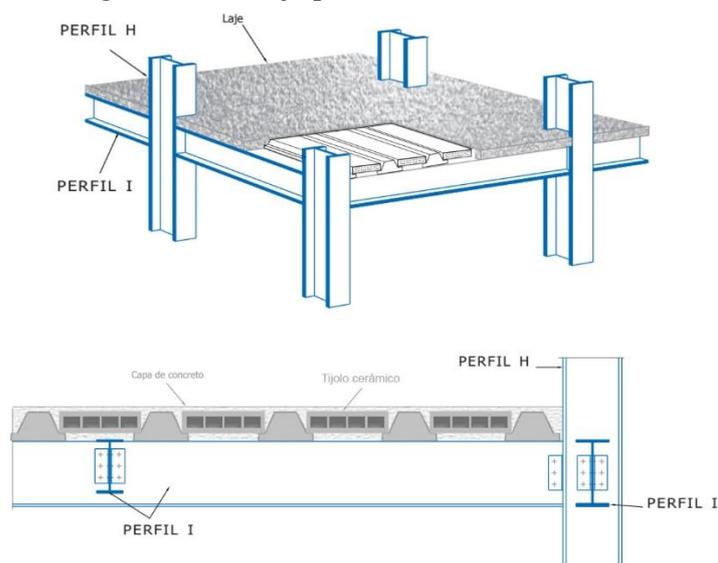


Fonte: COELHO, 2007.

3.7.4 Laje pré-moldada de concreto

As vigas de lajes pré-moldadas de concreto são moldadas e adquirem certo grau de resistência, antes do seu posicionamento definitivo na estrutura (Figura 3.18).

Figura 3.18 - Laje pré moldada de concreto



Fonte: COELHO, 2007

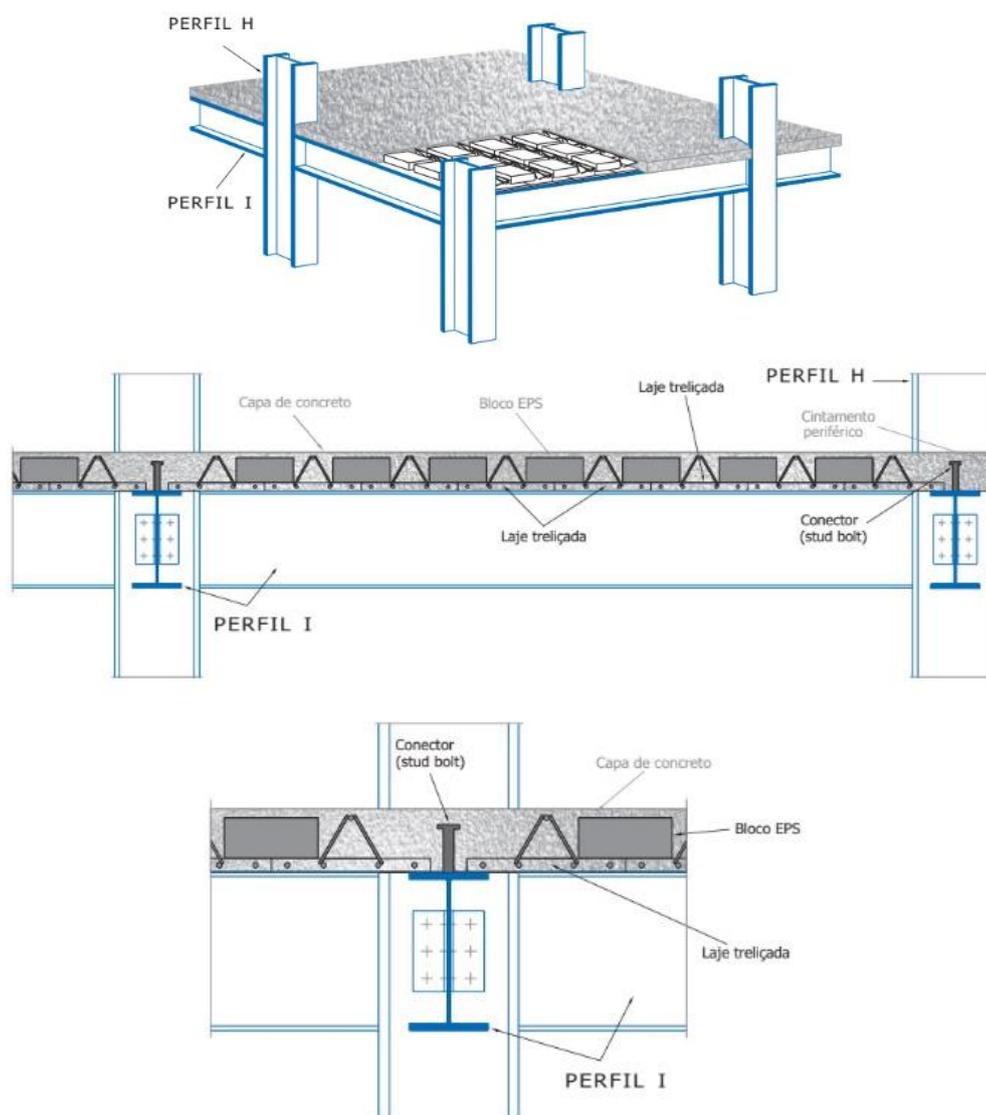
3.7.5 Laje painel treliçada

É também chamada de pré-laje maciça ou painel treliçado maciço. Os painéis têm incorporados em si a ferragem positiva necessária e uma ou duas armações treliçadas, de acordo com cálculos estruturais (Figura 3.19).

Como dito anteriormente, um sistema misto aço/concreto é aquele em que um perfil de aço laminado, soldado ou formado a frio, trabalha em conjunto com o concreto, formando uma viga mista, um pilar misto, uma laje mista ou uma ligação mista. A interação entre o concreto e o perfil de aço acontece de modo mecânico (conectores, mossas, ressaltos), por atrito ou, em alguns casos, por aderência e repartições de cargas - como em pilares mistos submetidos apenas a força normal de compressão. Um conjunto de sistemas mistos formam uma estrutura mista (QUEIROZ; PIMENTA; MATA; 2001).

Comparando-se com as estruturas puramente metálicas, as estruturas mistas são mais competitivas por reduzirem o gasto de aço estrutural, substituindo-o, parcialmente, pelo concreto armado, que tem menor custo. A construção em sistema misto de aço e concreto é apropriada para estruturas de vãos médios a elevados, caracterizando-se pela rapidez de execução e pela redução do peso total da estrutura, propiciando assim fundações mais econômicas (QUEIROZ; PIMENTA; MATA; 2001).

Figura 3.19 - Laje painel treliçada



Fonte: COELHO, 2007.

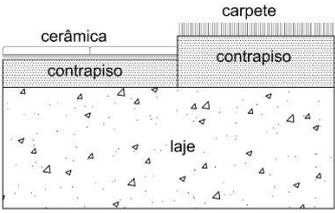
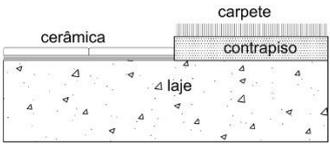
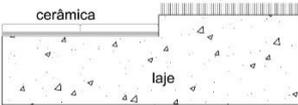
Os edifícios em estruturas mistas tornaram-se mais usuais devido aos progressos tecnológicos na produção de aço e concreto, assim como no desenvolvimento de

equipamentos que facilitam a montagem e posicionamento das estruturas mistas, além da não necessidade de utilização de formas e escoramentos e uma maior precisão dimensional frente ao concreto armado (NARDIN *et al*, 2005).

Segundo Souza e Melhado (1998) as lajes podem ser divididas quanto ao grau de industrialização, sendo a laje moldada in loco considerada uma laje artesanal e feita de modo tradicional, em que não há uma grande preocupação com os níveis da laje, pois esses são posteriormente corrigidos com a camada de contrapiso (SOUZA; MELHADO, 2002).

Quanto ao acabamento, ele pode ser segmentado em laje convencional, nivelada ou acabada. No Quadro 3.6 apresentam-se os tipos de lajes, características e representação gráfica.

Quadro 3.6 - Tipos de lajes, características e representação gráfica

| TIPO DE LAJE | CARACTERÍSTICAS | REPRESENTAÇÃO GRÁFICA |
|--|--|--|
| Convencional | É usado o contrapiso, que consiste em uma camada de argamassa ou enchimento aplicado sobre a laje. |  |
| Nivelada | A camada do contrapiso é aplicada de modo a resultar em uma espessura mínima. |  |
| Acabada (também conhecidas por laje zero ou laje nível zero) | Não há a camada de contrapiso e o revestimento será aplicado diretamente sobre a laje. |  |

Fonte: A autora, 2019.

Anteriormente à concretagem, o nivelamento das formas deve ser conferido em diversos pontos, com auxílio de aparelho de precisão. Durante a concretagem, os níveis devem ser conferidos em diversos pontos, com o concreto ainda em estado fresco, para que as

correções necessárias ainda possam ser executadas. Após a concretagem, os pontos devem ser transferidos para a laje e verificados novamente, como também após o reescoramento. Essa verificação após a concretagem é necessária para avaliar se os erros de nivelamento não ultrapassaram as tolerâncias pré-definidas (SOUZA; MELHADO, 2002).

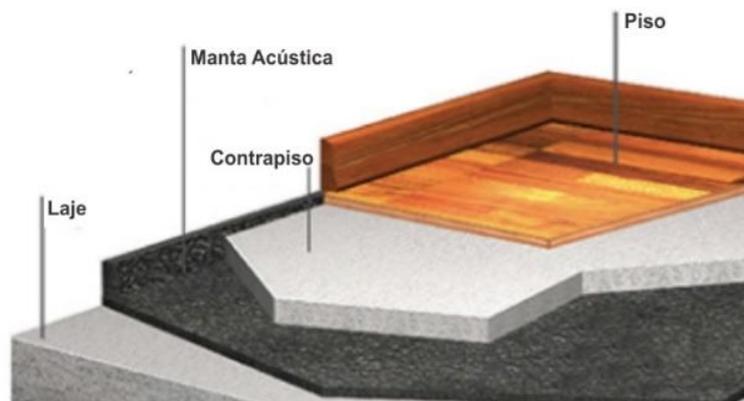
Na laje zero ou laje nível zero o desempenho e o acabamento superficial da laje é executado no momento da concretagem, por meio do emprego de alisadoras manuais (*float* de aço), sendo sua impermeabilização necessária (JORDY, 2002).

A consistência inadequada do concreto pode implicar no nivelamento da laje, repercutindo em grandes deformações. O acabamento da superfície pode ficar prejudicado, pois um concreto com um teor baixo de finos na sua composição não proporciona uma superfície rica em argamassa após o seu adensamento, o que prejudica a execução do acabamento da laje (SOUZA; MELHADO, 2002).

A cura do concreto (procedimentos visando proteção contra mudanças bruscas de temperatura, secagem veloz, exposição direta ao sol, chuvas fortes, agentes químicos, vibrações e choques) executada de modo correto evita fissuras e comprometimento da aderência à armadura (RANGEL; JORGE, 2009).

Devido ao aprimoramento na sua execução, foram construídas lajes nível zero com até 8cm de espessura, que resultou em sérios problemas acústicos. Ou seja, é possível executar tal procedimento, mas não convém. Com o intuito de prevenir essas situações a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) especifica a exigência mínima de 10cm para as lajes. Na parte 3 dessa norma são estabelecidos índices mínimos para desempenho acústico ao ruído de impacto. Pela exigência dessa norma, o máximo aceitável é $L'nTw$ de 80dB ($L'nTw$ – indicador normalizado padrão ISO - método ISO 140-7). Para alcançar esse valor, o melhor resultado é obtido com pisos flutuantes, que possuem um absorvedor acústico graças à manta localizada entre a laje e o contrapiso (Figura 3.20). As mantas possuem espessura variando entre 5mm e 20mm, e são compostas por polietileno expandido, lã de rocha, lã de vidro, borracha reciclada e outros (CBIC, 2013).

Figura 3.20 - Manta Acústica



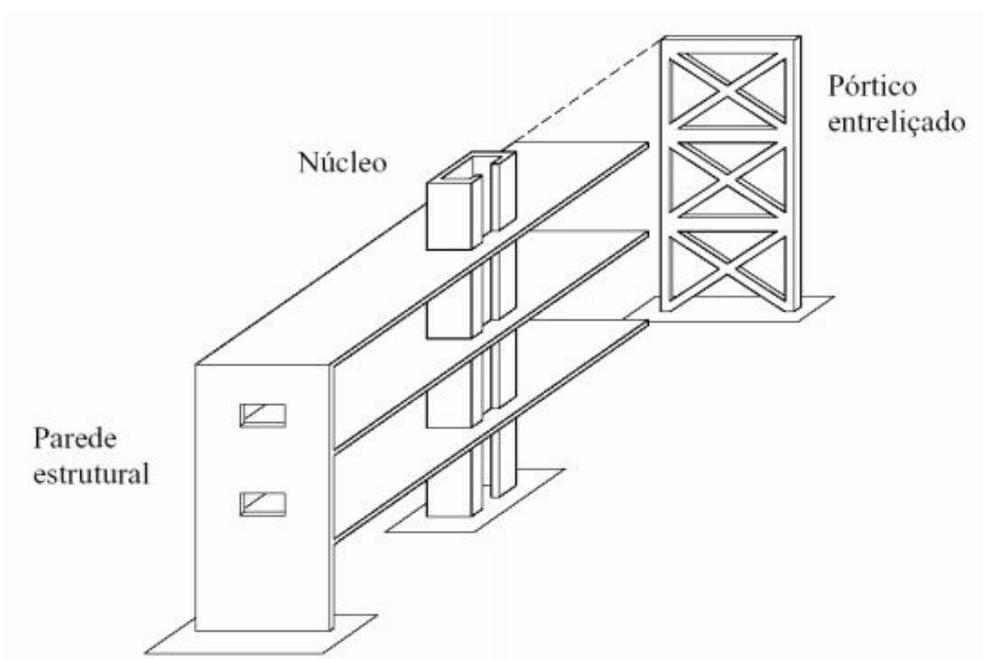
Fonte: OBRAMAX, 2019

3.8 Contraventamento

Contraventamento é o sistema de ligação entre os elementos principais de uma estrutura que tem como finalidade aumentar a rigidez da construção. Nas construções em concreto, os próprios elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e paredes) funcionam como estruturas de contraventamento. Toda construção recebe, normalmente, as cargas verticais oriundas do seu próprio peso (chamadas de peso permanente) e as sobrecargas (carga distribuída por metro quadrado nos andares: pessoas, móveis, divisórias).

No caso de estruturas de aço, as barras de contraventamento são dispostas no plano vertical e na diagonal ou em X, produzindo efeito de tração sobre a estrutura, tornando-a mais forte e aumentando sua resistência à ação dos ventos (Figura 3.21). Em edifícios de poucos andares, esse sistema não é necessário, entretanto, as ações horizontais passam a exercer um papel significativo na determinação do seu sistema estrutural. Como o efeito das ações horizontais é extremamente variável e aumenta rapidamente conforme a altura do edifício, faz-se necessário o uso do contraventamento, de modo a manter a sua forma espacial e integridade física, garantindo à estrutura o desenvolvimento do papel a que se destina (PEREIRA, 2000).

Figura 3.21 - Contraventamento



Fonte: CARNEIRO; MARTINS, 2008.

Os núcleos resistentes são os únicos elementos capazes de suportar, isoladamente, a todos os tipos de ações atuantes no edifício. Esses elementos são constituídos pela associação tridimensional de paredes retas ou curvas, que formam seções transversais abertas ou semi-fechadas. Suas dimensões transversais são bem superiores às dos demais elementos que, usualmente, compõem as estruturas de contraventamento, sendo sua rigidez a flexão responsável por grande parte da resistência global da estrutura (MATIAS JÚNIOR, 1997). Os tipos comuns de contraventamentos são:

- a) Pórticos (*Moment-resisting frames*);
- b) Paredes (*Shear-walls*);
- c) Paredes associadas a pórticos;
- d) Núcleos e tubos (*tubes*);
- e) Reticulado contraventado (*Braced structures*).

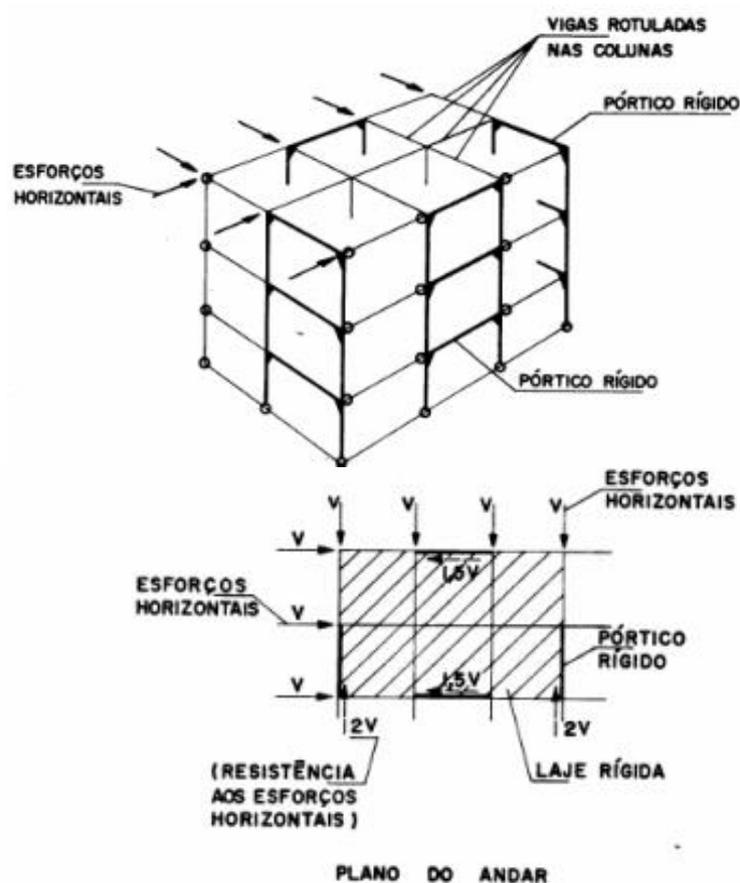
3.8.1 Pórticos (*Moment-resisting frames*)

Segundo Carneiro e Martins (2008), os pórticos não são muito empregados como elementos de contraventamentos, por possuírem uma rigidez relativamente pequena. Podem garantir, por si só, a resistência a ações horizontais no caso de edifícios de

pequena altura (Figura 3.22). Podem também serem usados em conjunto com outros elementos mais rígidos. O principal benefício desse sistema é liberar todos os vãos entre colunas, o que não é completamente possível nos demais sistemas. Contudo, há significativas desvantagens, tais como:

- Pode ser considerado um sistema menos econômico quando comparado com os outros;
- As ligações engastadas em perfis metálicos vigas-colunas são de execução mais elaborada;
- As colunas dos pórticos rígidos são significativamente mais pesadas porque, além da compressão, são dimensionadas também a flexão e, frequentemente, combatem os deslocamentos horizontais.

Figura 3.22 – Pórtico



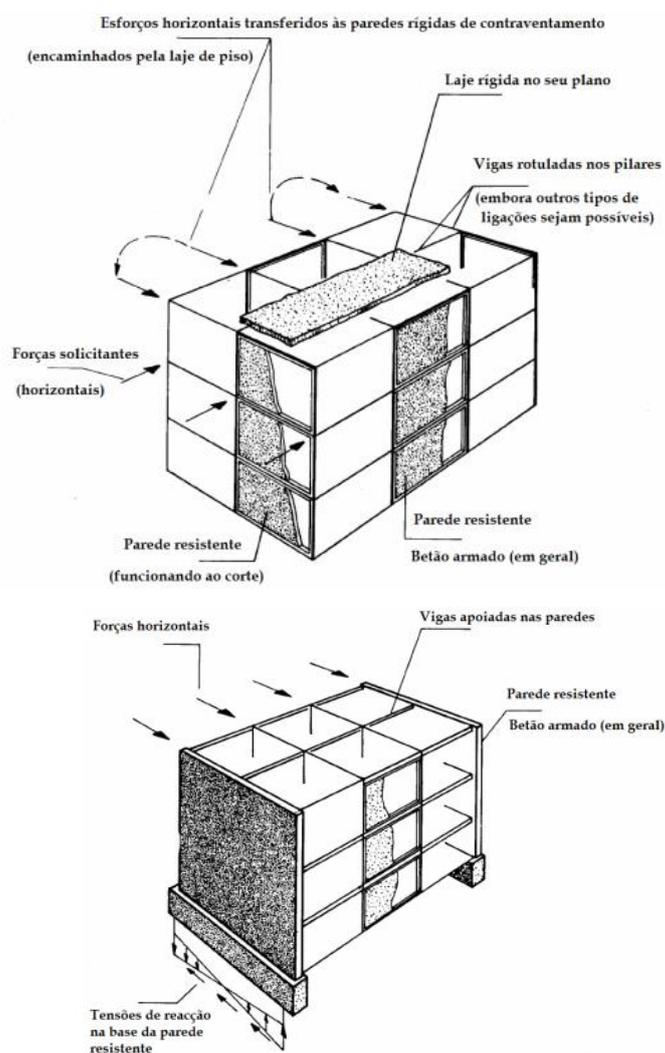
Fonte: CARNEIRO; MARTINS, 2008.

3.8.2 Paredes (*Shear-walls*)

Nas paredes, a resistência às ações laterais é, normalmente, realizada por um sistema formado pelos pisos da edificação e pela própria parede. Devido à elevada rigidez no seu próprio plano, os pisos da edificação, que são normalmente constituídos por lajes de concreto armado, comportam-se como diafragmas rígidos e transmitem às paredes de contraventamento os esforços oriundos das ações laterais aplicadas sobre a edificação. Essa distribuição de esforços está sujeita à rigidez do diafragma, da posição do centro de massa e do centro de rigidez/torção do sistema estrutural de uma edificação.

Essas paredes podem funcionar principalmente ao corte ou à flexão (Figura 3.23), dependendo da sua geometria e condições de fronteira (forma como se ligam aos restantes elementos da estrutura) (CARNEIRO; MARTINS, 2008).

Figura: 3.23 - Contraventamento do tipo parede



Fonte: CARNEIRO; MARTINS, 2008.

3.8.3 Paredes associadas a pórticos

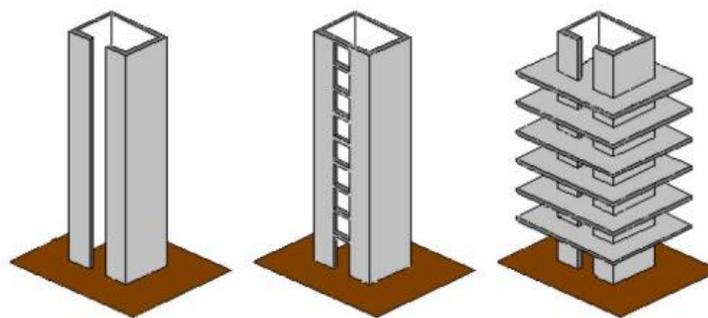
Freqüentemente, a estrutura de contraventamento é constituída por paredes estruturais em balanço, engastadas na fundação, ou por pórticos múltiplos ocasionalmente entrelaçados. Em qualquer desses casos, os nós da estrutura de contraventamento são de fato móveis, uma vez que é impossível a imobilidade completa, apenas os seus deslocamentos são desprezíveis (BELLEI, 1998).

Os sistemas compostos por pórticos e paredes resistentes podem ser usados para edifícios até cerca de 40 andares (CARNEIRO; MARTINS, 2008).

3.8.4 Núcleos e tubos (Tubes)

O núcleo resistente é considerado um dos principais elementos componentes dos sistemas estruturais de edifícios de andares múltiplos, conseguindo conferir à estrutura um apreciável acréscimo de rigidez, nas duas direções principais da estrutura. Essa característica está associada com a resistência à torção, dada a sua implantação em planta ser da ordem de grandeza da própria estrutura, evitando modos de rotação global da mesma (CARNEIRO; MARTINS, 2008; Figura 3.24).

Figura 3.24 - Contraventamento do tipo núcleo

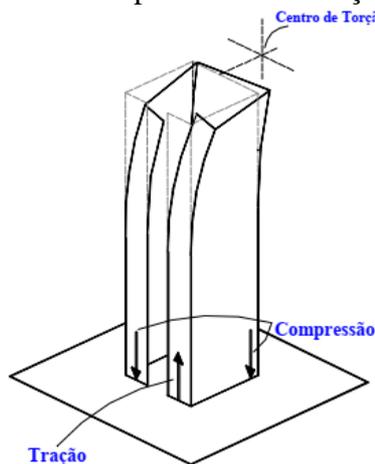


Fonte: CARNEIRO; MARTINS, 2008.

Os núcleos estruturais ganham importância à medida que a altura da edificação é aumentada. Geralmente são utilizados nas circulações verticais enclausuradas para que esse elemento seja viável arquitetonicamente. Núcleos estruturais são compostos pela união de paredes maciças de concreto armado em direções diferentes ou por pilares metálicos contraventados formando estruturas tubulares treliçadas (MARGARIDO, 2007).

Segundo Matias Júnior (1997), a principal característica que distingue o núcleo estrutural dos outros elementos que compõem a estrutura é verificada na sua capacidade de restrição ao empenamento, sendo esse empenamento o deslocamento na direção longitudinal da seção causado pela rotação da mesma em torno do centro de torção, como esquematizado na Figura 3.25.

Figura 3.25 - Empenamento da seção do núcleo



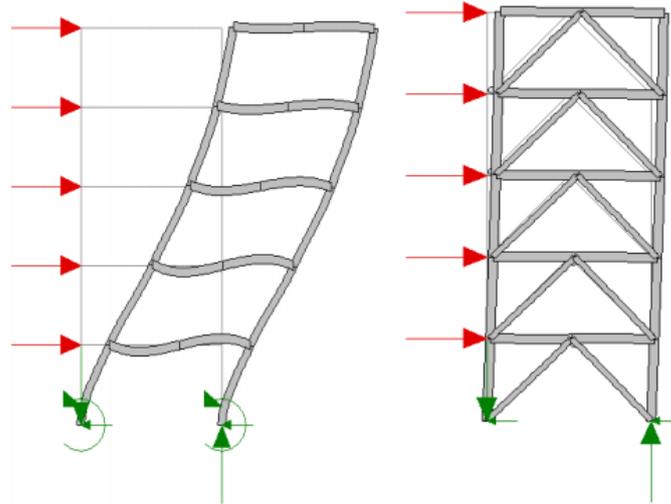
Fonte: SMITH; COULL, 1991

3.8.5 Reticulado contraventado (*Braced structures*)

O contraventamento reticulado contraventado é uma composição estrutural de em que os pórticos são enrijecidos por diagonais que são presas de um nó ao outro, tornando-os imobilizados. Pode-se utilizar esse recurso em estruturas de concreto armado, inclusive fazendo essas diagonais desse material (Figura 3.26). Contudo, o sistema funciona de maneira mais adequada se as estruturas forem de aço, podendo estar, ou não, sujeitas tanto à compressão como à tração. Nas edificações estruturadas em aço, de modo geral, esse é o sistema mais empregado de contraventamento, podendo as uniões entre vigas e pilares serem perfeitamente rotuladas (CARNEIRO; MARTINS, 2008).

Os contraventamentos, comumente em X, K e Y, são dispostos ao longo de toda a altura do edifício. A estrutura obtém rigidez horizontal por meio de efeitos de tração e compressão nas diagonais, além dos efeitos adicionais de tração e compressão nas colunas adjacentes aos contraventamentos (CARNEIRO; MARTINS, 2008).

Figura 3.26 - Contraventamento do tipo reticulada contraventada



Fonte: CARNEIRO; MARTINS, 2008.

4. PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Souza e Ripper (1998) e Carmo (2000), a patologia nas construções pode ser definida como o baixo desempenho (ou mesmo o fim do desempenho) em uma edificação e o estudo desse fenômeno e atuação pela engenharia se caracteriza pela análise das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência de falhas e processos de desgaste dos elementos que compõem o edifício.

McKaig (1962 apud CASTRO, 1999) considera que a maioria dos problemas patológicos das edificações têm sua origem creditada a ignorância, descuido ou cobiça do homem. Dentro desse panorama, Castro (1999) elenca as causas das patologias na construção. Essa não é uma lista restrita apenas a edifícios estruturados em aço, podendo ser vinculada a qualquer tipo de obra de engenharia (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Causas de patologias na construção (continua)

| ORIGEM DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM EDIFICAÇÕES | CAUSAS |
|--|---|
| Ignorância | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Incompetência dos homens responsáveis pelo projeto, construção ou inspeção; ▪ Supervisão por chefia ou encarregados sem a mínima qualificação; ▪ Contratação de manutenção por funcionários sem a mínima qualificação; ▪ Homens sem a mínima qualificação técnica fazendo suposições de extrema responsabilidade que deveriam ser de atribuição de seus respectivos encarregados; ▪ Competição sem supervisão; ▪ Ocorrência de situações sem precedentes anteriores; ▪ Insuficiência de informações preliminares. |
| Descuido | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Por parte de arquitetos e engenheiros que, devido a sua auto confiança, relegam a segundo plano pontos importantes do trabalho; ▪ Do empreendedor ou do supervisor que se aproveita de uma oportunidade sabendo que ele está se arriscando; ▪ Do projetista por não fazer uma coordenação adequada na produção dos projetos. |

Quadro 4.1 – Causas de patologias na construção (conclusão)

| ORIGEM DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM EDIFICAÇÕES | CAUSAS |
|---|--|
| Cobiça/economia | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminuição de custos em prejuízo a aspectos como segurança e qualidade; ▪ Manutenção relegada a um segundo plano. |

Fonte: CASTRO, 1999 adaptado pela autora.

As anomalias em estruturas de aço são, muitas vezes, resultantes de falhas de projetos, falhas de detalhamento, erros na fabricação e na montagem das estruturas - causadas por negligência ou ausência de controle de qualidade – e ainda, da falta de manutenção. As patologias nas estruturas em aço podem ser divididas em três categorias: adquiridas, transmitidas e atávicas, conforme apresentadas no Quadro 4.2 (CASTRO, 1999).

Quadro 4.2 – Categorias de patologias em construções (continua)

| CATEGORIAS DAS PATOLOGIAS | CARACTERÍSTICAS |
|----------------------------------|---|
| Adquiridas | São provenientes da ação de elementos externos. A estrutura não consegue se adaptar a ação de agentes agressivos e causadores de patologias como líquidos corrosivos, incêndios, atmosfera poluída, vibrações (geralmente resultantes da falta de preparo inicial da estrutura ou com a falta de manutenção). A corrosão é a patologia mais frequentemente encontrada em estruturas sujeitas a tais situações. |
| Transmitidas | Essas patologias, por simples ignorância, se repetem de obra em obra, pois são resultado de vícios ou desconhecimento técnico do pessoal de fabricação ou montagem da estrutura, ou da construção civil como um todo. Alguns casos que se repetem: as soldas sobre superfícies pintadas ou enferrujadas, cuja presença de impurezas podem se incorporar à solda prejudicando seu desempenho, ou ainda a não utilização ou má aplicação de mastic em juntas sujeitas a infiltração. Inclui-se também os casos de falta de prumo. |

Quadro 4.2 – Categorias de patologias em construções (conclusão)

| CATEGORIAS DAS PATOLOGIAS | CARACTERÍSTICAS |
|---------------------------|---|
| Atávicas | São consequência de má concepção de projeto, erros de cálculo, escolha de perfilados ou chapas de espessura inadequada, ou ainda do uso de tipos de aço com resistência diferentes das consideradas no projeto. Descuido, cobiça ou economia comprometem a segurança e funcionalidade da estrutura. Sua reparação é complicada e de alto custo. |

Fonte: CASTRO, 1999 adaptado pela autora.

A norma NBR 5674 (ABNT, 2012) estabelece os requisitos para a gestão do sistema de manutenção de edificações que inclui meios para:

- conservar as características originais da edificação;
- prevenir a perda de desempenho resultante da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes.

Edificações existentes antes da vigência dessa norma devem se adaptar ou criar os seus programas de manutenção acatando ao apresentado pela norma. Em função da norma, os edifícios possuem seu manual do proprietário, entregue pela construtora e elaborado seguindo, predominantemente, as normas e legislações apresentadas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Normas e Legislações relativas às construções (continua)

| NORMA OU LEGISLAÇÃO | ANO | CONTEÚDO |
|------------------------|------|----------------------------|
| NBR 14037 (ABNT, 2011) | 2011 | Elaboração de Manual |
| NBR 5674 (ABNT, 2012) | 2012 | Manutenção Predial |
| NBR15575 (ABNT, 2013) | 2013 | Desempenho das edificações |
| NBR 16280 (ABNT, 2015) | 2014 | Reforma em Edificações |

Quadro 4.3 - Normas e Legislações relativas às construções (conclusão)

| NORMA OU LEGISLAÇÃO | ANO | CONTEÚDO |
|--|------|--|
| Código de Defesa do Consumidor (PLANALTO, 1990) | 1990 | Estabelece normas de proteção e defesa do consumidor, de ordem pública e interesse social, nos termos dos arts. 5º, inciso XXXII, 170, inciso V, da Constituição Federal e art. 48 de suas Disposições Transitórias. |
| Código Civil Brasileiro (PLANALTO, 2002) | 2002 | Conjunto de normas que determinam os direitos e deveres das pessoas, dos bens e das suas relações no âmbito privado, com base na Constituição Nacional. |
| Manual Secovi / Sinduscon - 3º edição (SINDUSCONSP, 2019). | 2003 | Manual que tem por finalidade auxiliar empresas incorporadoras e construtoras na elaboração dos manuais específicos e definitivos de cada empreendimento, a ser entregue ao responsável legal. |

Fonte: A autora, 2019

4.1 Patologias do aço - Corrosão

Um dos maiores problemas causados pela exposição indevida do aço ao ambiente é a corrosão. Ambientes urbanos e semi-industriais se caracterizam essencialmente pela queima de combustível de veículos automotores e gases industriais, com altos índices de óxidos de enxofre e dióxido de carbono. A corrosão é o processo de oxidação do aço quando exposto a gases nocivos e umidade, estimulando alterações prejudiciais e indesejáveis nos elementos da estrutura. A liga perde suas qualidades primordiais como resistência mecânica, elasticidade e estética. A corrosão pode alcançar níveis tão altos que a remoção se torna impraticável, o que ressalta a importância de sua prevenção e controle (CASTRO, 1999).

Segundo Gonçalves, Sáles e Nimir (1989, *apud* CASTRO, 1999), os danos na seção transversal dos elementos estruturais é o principal problema causado pela corrosão. Essa 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.

O aço utilizado em estruturas requer tratamentos que evitem a corrosão. Pode-se também usar o aço patinável, que, exposto a certas condições ambientais, pode desenvolver em sua superfície uma película de óxidos aderentes e protetores, chamada de pátina, que atua diminuindo a velocidade de ataque de agentes corrosivos presentes no meio ambiente (PANNONI, 2004).

Operações de aquecimento e resfriamento controlados, denominados tratamento térmicos, visam afetar as características dos aços e ligas especiais tem como um dos principais objetivos o aumento da resistência a corrosão (KRAUSS, 1997).

O tratamento térmico é o grupo de procedimentos de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, velocidade de esfriamento, atmosfera e tempo, com o intuito de modificar as suas propriedades ou conferir-lhes determinadas características. As propriedades dos aços derivam, em princípio, da sua estrutura. Os tratamentos térmicos alteram, em maior ou menor escala, a estrutura dos aços, incidindo, em conseqüência, na alteração mais ou menos pronunciada, de suas propriedades. Quase todos os aços de alto carbono ou com elementos de liga são, impreterivelmente, submetidos a tratamentos térmicos antes de serem disponibilizados para uso (CHIAVERINI, 1988).

Segundo Chiaverini (1988) os principais objetivos dos tratamentos térmicos são os seguintes:

- remoção de tensões (oriundas de esfriamento desigual, trabalho mecânico ou outra causa);
- aumento ou diminuição da dureza;
- aumento da resistência mecânica;
- melhora da ductibilidade;
- melhora da usinabilidade;
- melhora da resistência ao desgaste;
- melhora das propriedades de corte;
- melhora da resistência à corrosão;

- melhora da resistência ao calor;
- modificação das propriedades elétricas e magnética.

Em geral, o aperfeiçoamento de uma ou mais propriedades, mediante um determinado tratamento térmico, é conseguida com prejuízo de outras. Por exemplo, o aumento da ductibilidade provoca simultaneamente queda nos valores de dureza e resistência à tração. É preciso, pois, que o tratamento térmico seja escolhido e aplicado criteriosamente, para que os inconvenientes apontados sejam reduzidos ao mínimo. Não se verifica, pela simples aplicação de um tratamento térmico, qualquer alteração da composição química do aço. Entretanto, casos há em que interessa somente uma modificação parcial de certas propriedades mecânicas; por exemplo, melhorar superficialmente a dureza do aço. Esse efeito é obtido pela alteração parcial da sua composição química. Os tratamentos em que a combinação de operações de aquecimento e resfriamento é realizada em condições tais que induzem a uma mudança parcial da composição química da liga e, conseqüentemente, uma modificação parcial de suas propriedades mecânicas, são chamados de "tratamentos termo-químicos" (CHIAVERINI, 1988).

Os tipos de corrosões em aço podem ser (Figura 4.1):

- Corrosão galvânica: Esse tipo de corrosão acontece devido a formação de uma pilha eletrolítica quando empregados metais diferentes. As peças podem se comportar como eletrodos e provocar os efeitos químicos de oxidação e redução: parafusos, porcas e arruelas galvanizados e esquadrias de alumínio encostadas indevidamente na estrutura. A prevenção ocorre por meio do isolamento dos metais ou da utilização de ligas com valores próximos na série galvânica (METÁLICA, 2013). Para evitar o problema, deve-se impedir o contato de outros metais com a estrutura de aço.
- Corrosão por lixiviação: Essa corrosão forma lâminas de material oxidado e se espalha por sob ele até alcançar camadas mais profundas. O combate a essa flocculação é normalmente realizado com tratamento térmico (METÁLICA, 2013).
- Corrosão sobre tensão: Resultante da soma de tensão de tração que é o fenômeno de deterioração de materiais causado pela ação conjunta de tensões mecânicas (residuais ou aplicadas) e um meio corrosivo. Essa tensão pode ser consequência de encruamento, solda, tratamento térmico, cargas. Geralmente, regiões tencionadas funcionam como

ânodos em relação ao resto do elemento e tendem a concentrar a cessão de elétrons. Com o tempo surgem microfissuras que podem provocar rompimento brusco da peça antes da percepção do problema. Como prevenção deve-se reduzir as tensões, modificar o pH do ambiente e proteger o material com inibidores químicos ou proteção catódica (METÁLICA, 2013; GENTIL, 1982).

- Corrosão por pontos: Essa forma de corrosão gera perfurações em peças sem uma perda notável de massa e peso da estrutura, sendo altamente destrutivo. Ela ocorre normalmente em locais com drenagem insuficiente. Pode ser causada pela deposição concentrada de elementos nocivos ao aço, por pilha de aeração diferencial ou por pequenos furos que permitem a infiltração e o alojamento de substâncias líquidas na peça. Os pontos de flecha ou amassamento também ficam sujeitos ao acúmulo de água, sujeira, deposições e favorecem a corrosão e a infiltração de água (SILVA, 2012). Para se evitar esse problema, substâncias não devem se acumular na superfícies das peças. Em casos simples, a peça deve ser limpa e um isolante deve ser aplicado sobre o furo. Em casos mais graves, pode ser necessário um reforço na estrutura e até a substituição da peça (METÁLICA, 2013).

- Corrosão por frestas: Ocorre em situações em que duas superfícies estão em contato ou muito próximas entre si (0,025mm a 0,1 mm). Devido à sua tensão superficial, a água fica depositada nas fendas existentes e tende a causar pilhas de aeração diferencial, onde a concentração de oxigênio nas bordas é superior à concentração da área mais interna da fenda, fazendo dessa uma região anódica. Por consequência, o processo de corrosão se concentra no ponto mais profundo da fresta, dificultando o acesso e o diagnóstico desse problema. Afetando pequenas partes da estrutura, essa situação é mais perigosa do que a corrosão uniforme, cujo alarme é mais visível (METÁLICA, 2013). Arestas vivas, rebarbas, recesso, gretas ou cavidades devem ser evitadas pois também propiciam situação ideal para desenvolvimento de corrosão ((METÁLICA, 2010). A norma NBR 8800 (ABNT, 2008) determina que a retenção de água ou condensação excessiva deve ser minimizada por projeto e detalhamento adequados e onde necessário, deve ser prevista drenagem eficiente da água .

- Corrosão em ranhuras: Por seu pequeno tamanho, as ranhuras passam despercebidas, mas tornam-se áreas para depósito de solução aquosa ou exposição do

material não protegido, possíveis de sofrerem corrosão, que se tornam visíveis apenas quando afloram na superfície da peça. Riscos, gretas e pontos parafusados enquadram-se nessa situação e recebem uma solução análoga à corrosão por frestas (METÁLICA, 2013).

Figura 4.1 – Corrosão visível na parede



Fonte: A autora, 2019.

Conforme Santoro (2006), um dos mecanismos de proteção é a pintura, que deve ser executada de acordo com processo técnico específico, começando com o detalhamento das técnicas de preparo das superfícies a serem protegidas e finalizando com a programação do monitoramento futuro do trabalho executado. Aumentam também a possibilidade de corrosão as falhas de projeto ou de execução com pintura sobre carepa de laminação, áreas de solda não preparadas devidamente ou áreas de difícil acesso. A exposição a variações climáticas requer cobertura com tinta de poliuretano, resistente aos raios ultravioleta. As tintas são constituídas, essencialmente, por uma matriz (resina) e reforços (substâncias dispersas na matriz), muitas vezes formando compósitos. Como barreira à corrosão, os revestimentos orgânicos são muito utilizados. A resina epóxi possui boa adesão em metais, apresentando elevadas propriedades mecânicas e muitas ligações cruzadas, possui boa resistência a solventes, ácidos e bases.

Para que um revestimento proporcione as devidas propriedades, é necessário preparar o substrato para recebê-lo. Por isso são empregados pré-tratamentos. A função dos pré-tratamentos é remover impurezas do substrato e prepará-lo para que receba o revestimento, protegendo-o do ambiente agressivo. O processo de fosfatização melhora a adesão das tintas, acomodando muitos pontos de ancoragem e atuando como barreira à corrosão; é econômico, possuindo boa aderência e resistência ao desgaste. Os tipos de fosfato mais empregados são o de zinco, manganês e ferro. O fosfato de zinco é aplicado em situações que necessitam de proteção duradoura (LONGHI *et al*, 2015).

Outro mecanismo de proteção contra a corrosão é a pastilha catódica ou pastilha Z, fazendo referência ao zinco presente no aparato. A pastilha Z é um pequeno ânodo de sacrifício formado por uma liga anódica galvânica envolvida em uma matriz cimentícia ativada. A pastilha Z é instalada em obras novas ou de recuperação estrutural motivadas por corrosão, bastando “amarrá-la” por meio de seus arames de fixação, ao aço das estruturas. Uma vez instalada, a corrente elétrica, que promove o processo de corrosão na estrutura em aço, é naturalmente interrompida e substituída pela corrente gerada pelo metal anódico da pastilha catódica, com sua massa iônica em direção ao aço, retornando pelo arame de fixação. Dessa forma, o aço interrompe a corrosão pois o metal anódico atrai para si as reações de corrosão, deixando o aço absolutamente inerte ou passivo. Portanto, o metal anódico sacrifica-se, sendo corroído, já que é mais eletronegativo. A corrosão no metal anódico da pastilha Z é extremamente lento, o suficiente para durar pelo menos 15 anos. Portanto, ao se utilizar tal recurso, a estrutura está protegida contra corrosão por esse período (RECUPERAR, 2000).

Segundo Castro (1999), na construção em aço a união dos metais por soldagem é realizada, essencialmente, pelo processo a arco elétrico. Normalmente são utilizados três tipos de equipamentos para sua realização: soldagem manual (eletrodo revestido), soldagem semi-automática (MIG/MAG) e soldagem automática (arco submerso).

As solicitações na solda não são sempre as solicitações de cálculo e sim solicitações decorrentes somente do seu peso próprio e de pequenos carregamentos externos, o que proporciona uma grande margem de segurança em relação a possíveis defeitos nas soldas. Se uma estrutura possuir defeitos diversos e não for submetida às suas solicitações de projeto, é bem possível que ela permaneça em pé durante todo o tempo de vida útil previsto (CASTRO, 1999).

Os problemas de corrosão em ligações parafusadas são ressaltados porque existem várias causas que podem dar início ao processo. Porém, o mecanismo de corrosão é sempre por frestas entre os parafusos e os elementos de ligação, problema causado na montagem da estrutura. Esses problemas são ocasionados por imperfeição no detalhamento do projeto. Eles podem ter sua origem também 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 (CASTRO, 1999).

Os pilares em contato com o solo também podem sofrer corrosão por contato com os componentes do solo. Nesse caso, é recomendável que o pilar fique afastado do solo por, pelo menos, 5 cm, ficando apoiado em uma base de concreto que aflore os 5 cm. Caso não seja possível tal arranjo, toda a região do pilar em aço abaixo do solo deve ser envolta em uma camada de concreto, preferencialmente armado, de espessura aproximada de 10 cm (REBELLO, 2014).

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. Os fatores mais importantes são: acidez, teor de umidade, grau de aeração, permeabilidade à água e condutividade elétrica. A agressividade dos solos aumenta à medida que cresce o teor de componentes ácidos (ácidos húmicos, cloretos, sulfatos e sulfetos). Para valores de $\text{pH} < 6,5$, os solos ácidos passam a ser gradativamente mais agressivos. 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. Nesses solos, o ataque é semelhante à corrosão atmosférica (CASTRO, 1999).

A ligação ideal entre os pilares de aço e a fundação em concreto armado é feita por uma placa em aço, soldada ao perfil de aço e conectada a fundação por meio de chumbadores (barras rosqueadas). Essas ligações são empregadas na interface aço-concreto entre os pilares e suas fundações, cuja principal função é de transmissão dos esforços das estruturas para a fundação. Os pilares em aço são submetidos a esforços provenientes da análise estrutural que deve ser feita conforme a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) e a norma NBR 6120 (ABNT, 1980), devendo possuir resistência maior que as solicitações (BAHIA; IKEDA, 2016).

Desde o momento do projeto alguns condicionantes devem ser observados visando a prevenção à corrosão. As superfícies devem ser planas e lisas e a curva é preferível à ângulos, especialmente obtusos. Os cantos e extremidades devem ser arredondados. Seções abertas, propícias ao acúmulo de água, devem ser evitadas na face superior (SOUZA, 1988). Deve-se, também, observar as cantoneiras. Essas devem permitir o fluxo de ar (para secagem da superfície); furos na estrutura (para drenagem em locais onde haja acúmulo de água) e ainda proporcionar locais de acesso para realização de manutenção (não devendo permitir cavidades nas ligações soldadas) (MEDEIROS *et al.*, 2014).

4.2 Patologias nos fechamentos verticais

As fissuras e trincas são sempre observadas em fechamentos verticais, a despeito do material utilizado.

A norma NBR 9575 (ABNT, 2010), que trata de impermeabilizações, define que as microfissuras têm abertura inferior a 0,05 mm, enquanto as aberturas com até 0,5 mm são chamadas de fissuras e, por fim, as maiores de 0,5 mm e menores de 1,0 mm são chamadas de trincas.

As patologias mais frequentes nos fechamentos com placas cimentícias são as trincas no corpo da chapa e nas juntas e revestimentos (SANTIAGO, 2008). Segundo Hofmann (2015), cada fabricante de placa cimentícia tem seu próprio tratamento, que deve ser seguido conforme instruções de uso do produto fornecidas pelo fabricante.

Para se evitarem trincas nos painéis EPS, devem-se colocar pedaços da malha em posição diagonal em relação aos fios do painel nos cantos dos vãos destinados a portas e janelas. Esse procedimento visa absorver tensões nesses pontos que frequentemente causam trincas (KIESEWETTER, 2007).

Edifícios erguidos com estrutura de aço no Brasil, muito frequentemente, ainda utilizam fechamentos convencionais em alvenaria. Essa associação é uma potencial fonte de patologias, uma vez que esses sistemas apresentam interfaces de construção nem sempre bem resolvidas (SALES, 2001; BASTOS, 2004; RIBAS, 2006).

Para Nascimento (2004), as fissuras são as manifestações patológicas mais observadas ao longo de toda a história da engenharia, provocando desconforto e receio quanto à estabilidade da edificação aos olhos do usuário, e trazendo perda de estanqueidade e degradação durante o ciclo de vida global do empreendimento. Para a prevenção de fissuras nos edifícios é necessário um controle sistemático e eficiente da qualidade dos materiais e dos serviços, uma perfeita compatibilização entre os diversos projetos executivos, estocagem e manuseio correto dos materiais e componentes no canteiro de obras e, finalmente, uma utilização e manutenção correta do edifício (THOMAZ, 2000).

Uma das causas de fissuras é a dilatação e contração dos materiais, causadas por mudanças de temperatura. A intensidade dessa variação dimensional depende dos materiais que compõem a parede, gerando tensões significativas não apenas em relação a si mesmo, mas também nas ligações com outros elementos (Figura 4.2). A magnitude das tensões desenvolvidas é resultado da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto e das propriedades elásticas do material (SILVA, 2002 apud GONÇALVES; BRITO; BRANCO, 2008).

Figura 4.2 - Fissuras



Fonte: A autora, 2019

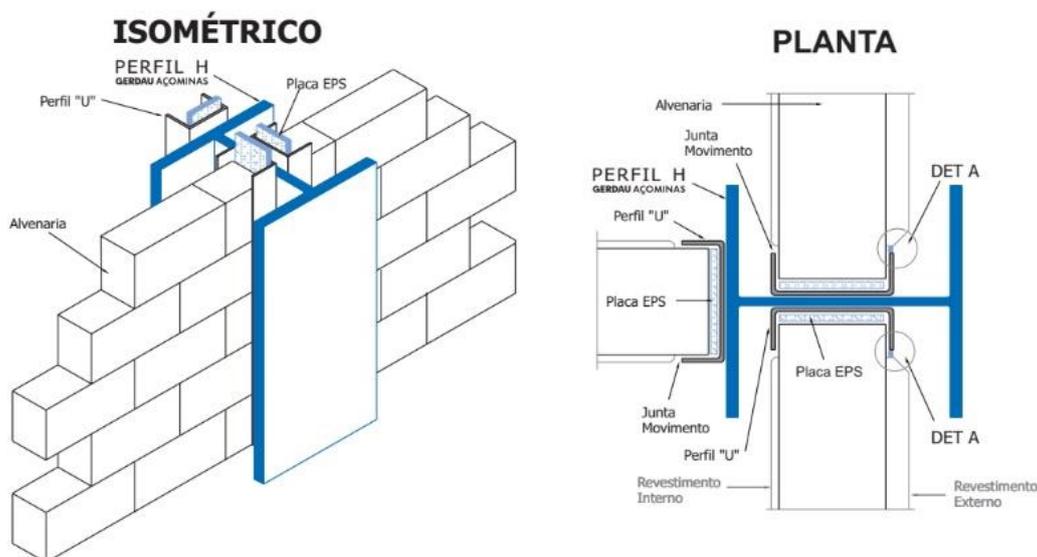
Provocam fissuras, também, os assentamentos diferenciais da fundação. Conforme a Associação Portuguesa das Indústrias de Cerâmica e Cristalaria, APICER, sua gravidade varia em função da distorção angular que provocam na estrutura. Distorções

de 1/300 podem ocasionar fissuras diagonais graves na alvenaria. As estruturas reticuladas sofrem danos consideráveis para distorções de 1/150, salvo se tiverem sido criadas juntas para tal efeito (APICER, 2000 *apud* GONÇALVES; BRITO; BRANCO, 2008). O concreto da laje no último andar, quando desprovida de proteção adequada a minimizar os movimentos de origem térmica, também provoca dilatação nas alvenarias do último andar. A dilatação plana das lajes e a flambagem provocada pelo gradiente de temperatura introduzem tensões de tração e de cisalhamento nas paredes das edificações (PEREIRA, 2005 *apud* GONÇALVES; BRITO; BRANCO, 2008). A atuação de sobrecargas concentradas pode provocar o surgimento de fissuras inclinadas a partir do ponto de aplicação ou esmagamento localizado (THOMAZ; HELENE, 2000).

Outras causas de fissuras em alvenaria são a utilização de argamassa rígida no assentamento dos blocos, chapisco mal curado (não aspersion de água ou aspersion insuficiente durante as primeiras 24 horas), juntas horizontais com largura insuficiente entre os elementos da alvenaria, ineficiência ou inexistência de vergas e contra-vergas que funcionam como redutores de tensão. Internamente, as fissuras podem surgir por retração da argamassa e ação de temperatura e umidade. Também há que se considerar a possibilidade de grandes vãos proporcionados pela estrutura em aço que torna indispensável o cuidado para projetar a alvenaria. O engenheiro calculista deve apresentar com maior precisão os valores das flechas imediatas em qualquer região das lajes, mesmo no longo prazo. Os limites de fissuração dos painéis de alvenaria de fechamento, em função dos valores de flecha, apresentam a possibilidade de problemas em números muito inferiores ao L/300 (flecha admissível) adotado na norma NBR 6118 (ABNT, 2014), especialmente em lajes planas e protendidas. Podendo prever a movimentação, a estrutura de aço apresenta vantagens em função do módulo de elasticidade conhecido e controlado industrialmente, da maior facilidade da execução de contra-flechas e do conhecimento das deformações (NASCIMENTO, 2004).

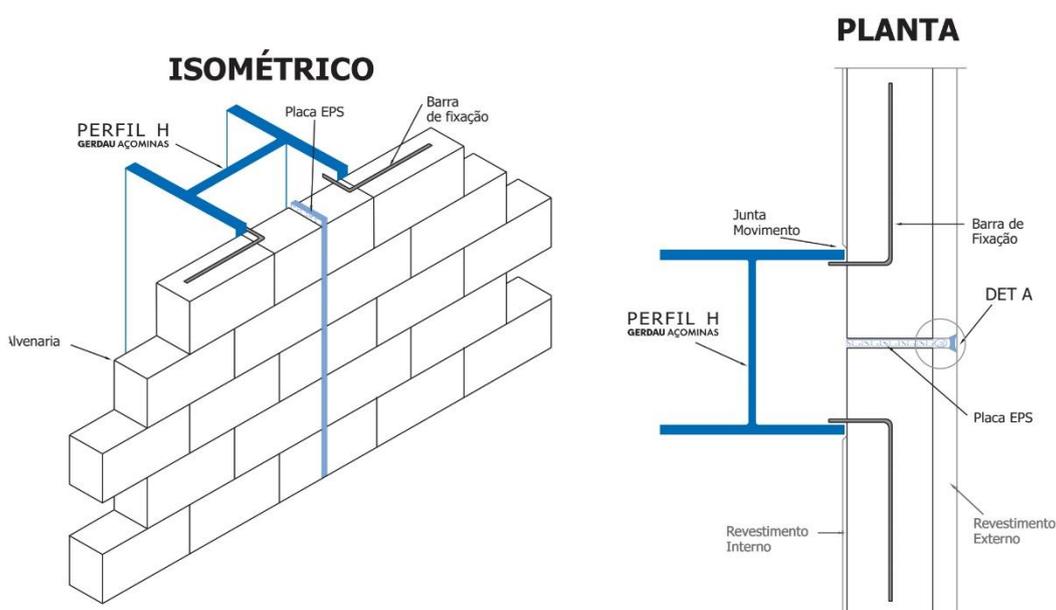
Nos casos de sistemas de fechamento em alvenaria, ainda é muito comum observar o uso de alvenaria vinculada, mesmo em estruturas com grandes vãos (Figura 4.3). A consequência mais clara dessa forma de tratar o sistema de fechamento é o aparecimento de várias manifestações patológicas nas alvenarias e na estrutura de aço. A incidência de manifestações patológicas é consideravelmente reduzida quando se utiliza a alvenaria desvinculada (Figura 4.4).

Figura 4.3 - Alvenaria vinculada



Fonte: COELHO, 2007

Figura 4.4 - Alvenaria desvinculada



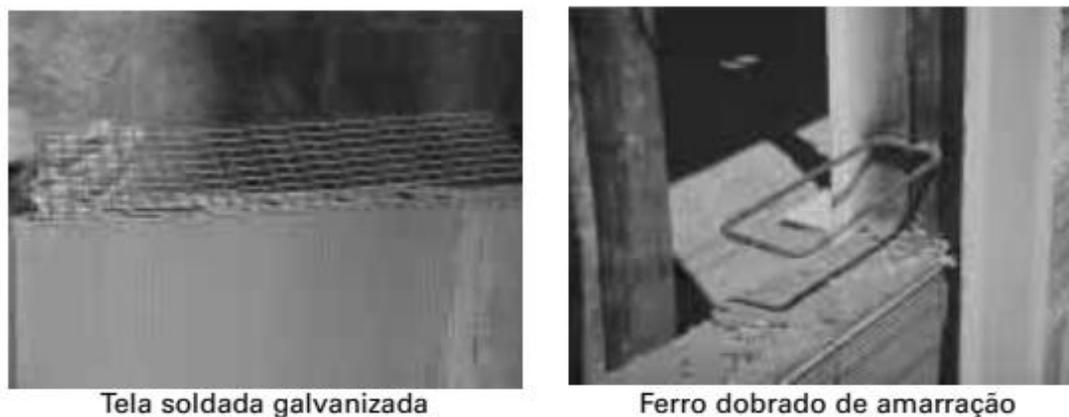
Fonte: COELHO, 2007

É de grande importância que exista uma boa aderência entre o concreto e a chapa de aço. O deslizamento entre os dois materiais provocado pela ausência de aderência faz com que ambos deixem de trabalhar em conjunto, além de impossibilitar a transferência de esforços. Vários dispositivos são utilizados para garantir uma boa aderência entre o concreto e a chapa de aço, sendo os mais usuais o emprego de estampagem de moedas

na superfície da chapa, o dobramento de chapa em ângulos reentrantes e a soldagem de barras no sentido transversal.

Na engenharia civil, o termo “ligações” das alvenarias trata sobre todas as soluções empregadas para unir ou desunir as alvenarias no contato com a estrutura suporte. Para definição do modelo de ligação, torna-se necessário conhecer sobre os mecanismos de fixação e suas capacidades de desempenho. O tipo e vão da estrutura a ser fechada com a alvenaria de fechamento está diretamente ligada à escolha do sistema. Normalmente, nos sistemas rígidos e semi-rígidos, a engenharia utiliza simplesmente o atrito lateral ou o dispositivo conhecido como ferro-cabelo: fios de aço com diâmetro de 3mm a 8mm. Outras alternativas são telas soldadas e fitas metálicas (NASCIMENTO, 2004; Figura 4.5).

Figura 4.5 – Dispositivos de ligação alvenaria e estrutura de aço



Tela soldada galvanizada

Ferro dobrado de amarração

Fonte: NASCIMENTO, 2004

A eficiência de cada um desses dispositivos é variável. Em uma série realizada com protótipos foi avaliado o desempenho desses sistemas (Nascimento, 2004). Os resultados são mostrados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 – Desempenho dos dispositivos de ligação

| SISTEMA | RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO (kgf) | LOCAL DE RUPTURA |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Fita metálica perfurada | 220 | Fita |
| Fita metálica corrugada | 400 | Fita |
| Ferro de amarração Ø 5,0mm | 400 | Fixação |
| Tela soldada Ø 1,65 mm | 800 | Corpo do fio |

Fonte: NASCIMENTO, 2004

Tabela 4.2 - Resistência ao cisalhamento da junta horizontal reforçada com dispositivo metálico

| FIXAÇÃO | RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (kgf) |
|----------------------------|--|
| Sem fixação metálica | 500 |
| Ferro cabelo | 800 |
| Ferro dobrado de amarração | 1800 |
| Tela soldada | 2100 |

Fonte: NASCIMENTO, 2004

Conforme Nascimento (2004), a distância entre os apoios como um fator definidor para a escolha do sistema de ligação entre a alvenaria e o pilar pode ser definida conforme apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Distância entre apoios para definição de alvenaria

| TAMANHO DO VÃO | TIPO DE ADERÊNCIA/FIXAÇÃO | ALVENARIA/ESTRUTURA |
|------------------------------|--|----------------------------|
| Vãos até 4,5m | Atrito lateral (rugosidade - chapisco) | Tipo Vinculada |
| Vãos entre 4,5m e 6,5m | Fixação lateral com tela soldada ou ferro dobrado de amarração | Tipo Vinculada |
| Vãos maiores ou igual a 6,5m | Fixação lateral e superior com folha de EPS (cantoneiras) ou argamassa expansiva | Tipo Desvinculada |

Fonte: NASCIMENTO, 2004

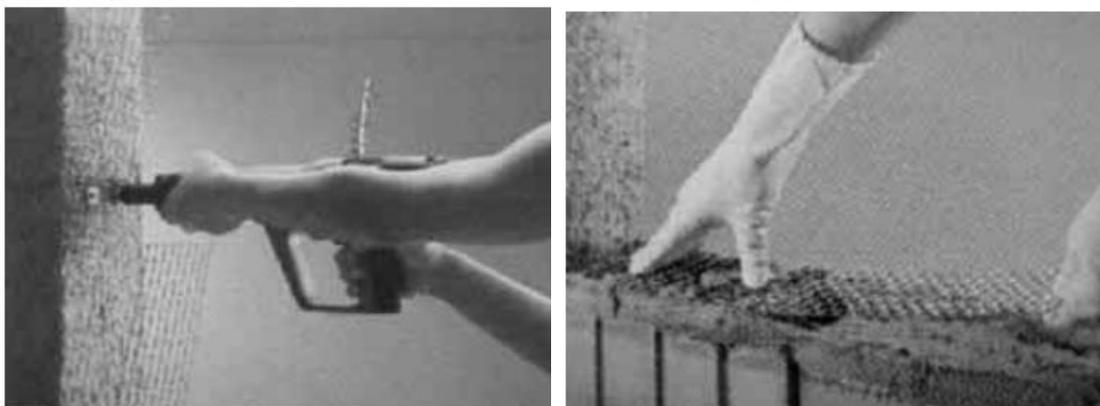
Nascimento (2004) destaca, ainda, alguns fatores a serem observados em relação à perfeita escolha para a ligação alvenaria/pilar:

- A aderência junto ao pilar é um fator considerável no desempenho;
- Quando utilizado sozinho, o conhecido ferro-cabelo não se mostra eficiente no sistema de ligação;
- A espessura do bloco é fator determinante;
- O preenchimento das juntas verticais próximas ao apoio contribui com a ligação;
- A ligação alvenaria/estrutura em aço é mais bem controlada que em estruturas de concreto armado levando em consideração a velocidade de execução;

- A utilização de argamassa de assentamento entre 4MPa e 8MPa se comporta bem com o sistema de fixação;
- O atrito lateral no pilar pode ser aprimorado com utilização de argamassa colante com adição de polímero para adesão química;
- O melhor desempenho para o sistema de vedação (alvenaria-estrutura) acontece com a utilização de ferro dobrado de amarração com a tela e argamassa deformável (até 8MPa);
- Na deformação da estrutura após a execução da alvenaria dos vãos, a tolerância ideal é de $L/1000$ para deslocamentos máximos da estrutura onde deve-se apoiar a alvenaria;
- A alvenaria exerce um papel muito mais importante no comportamento geral da edificação que apenas o papel de fechamento.

Recomenda-se o uso de telas como componente de ligação entre paredes e pilar para prevenir o surgimento de fissuras (Figura 4.6). Essas telas devem ficar embutidas entre pilares e paredes, na junta vertical da argamassa, com a dobra voltada para cima, na medida de 100mm dos 500mm do comprimento da tela. Generalizando, pode-se definir o tamanho da tela com largura inferior a 10mm, 15mm e 20mm da largura do bloco e, horizontalmente, com comprimento mínimo de 400mm. Utilizar uma cantoneira para fixar a tela com aba mínima de 20mm e chapa de 2mm, com os comprimentos apresentados na Tabela 4.4.

Figura 4.6 – Tela como elemento de ligação



Fonte: NASCIMENTO, 2004

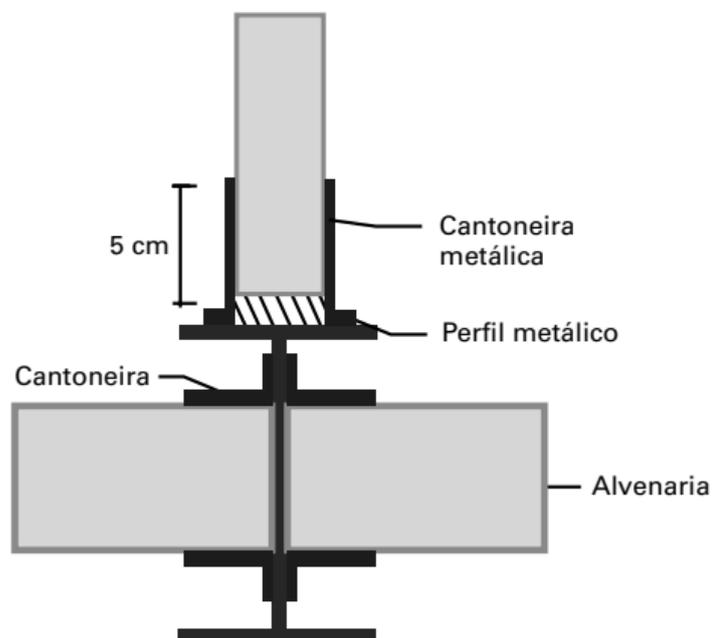
Tabela 4.4 – Dimensões da tela de ligação

| DIMENSÕES DA TELA LARGURA (mm) | COMPRIMENTO DA CANTONEIRA (mm) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 60 | 50 |
| 80 | 60 |
| 110 | 80 |
| 120 | 100 |
| 180 | 100 |

Fonte: NASCIMENTO, 2004

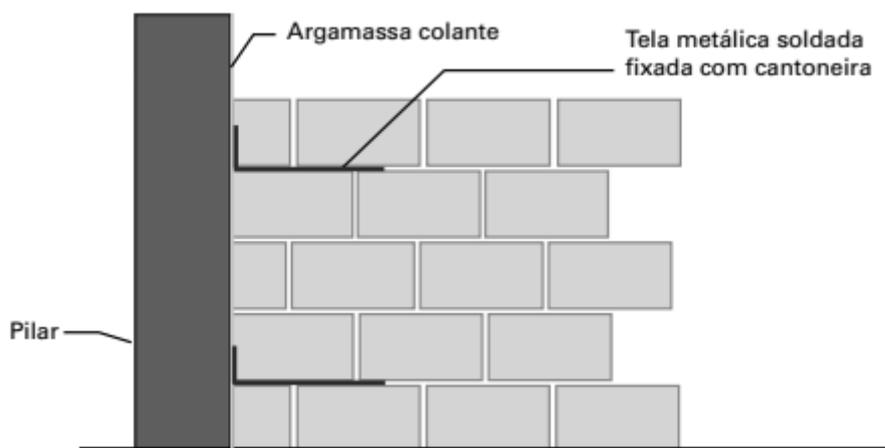
As cantoneiras são fixadas com pistolas de pressão e pinos de aço zincado ou por meio de soldagem (Figura 4.7). Devem-se assentar as telas cuidadosamente sobre a argamassa ao se assentar o tijolo, mantendo uma espessura de aproximadamente 10mm, observando o nivelamento e cobrimento da tela antes do próximo bloco ser assentado (Figura 4.8).

Figura 4.7 – Cantoneiras metálicas (planta) fixadas com pinos de aço zincado ou por meio de soldagem



Fonte: NASCIMENTO, 2004

Figura 4.8 - Telas de arame zincado fixadas com cantoneira



Fonte: NASCIMENTO, 2004

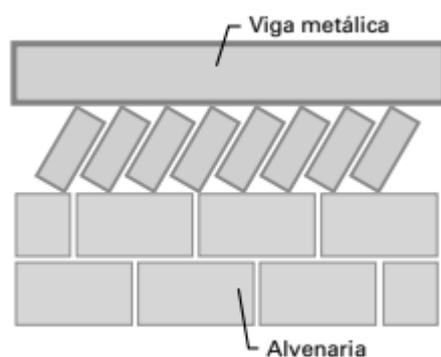
A rugosidade das vigas não é levada em consideração para o sistema de fixação das alvenarias, sendo necessária apenas a limpeza eficiente e a remoção de todo material solto, graxas e poeiras. A junção alvenaria/viga deve ser minuciosamente estabelecida no projeto. Essas ligações podem ser de três tipos: sistema rígido, sistema semi-rígido e sistema deformável. A utilização desses sistemas é definida em função de seus vãos:

- Vãos de até 4,5m - sistema rígido
- Vãos de 4,5m a 6,5m – sistema semi-rígido
- Vãos $\geq 6,5$ m – sistema deformável

a) Sistema rígido

No processo de sistema rígido utiliza-se o sistema de encunhamento, a partir do confinamento rígido da alvenaria sob a estrutura, tendo-se o cuidado de observar a distância entre os pilares (sistema rígido). O encunhamento superior não deve ser realizado antes de sete dias do término da alvenaria, utilizando argamassa de assentamento e aditivo com alumina ou similar tipo expansor, para evitar a retração excessiva da argamassa, garantindo fixação e estabilidade à alvenaria (Figura 4.9).

Figura 4.9 – Esquema de sistema rígido de fixação

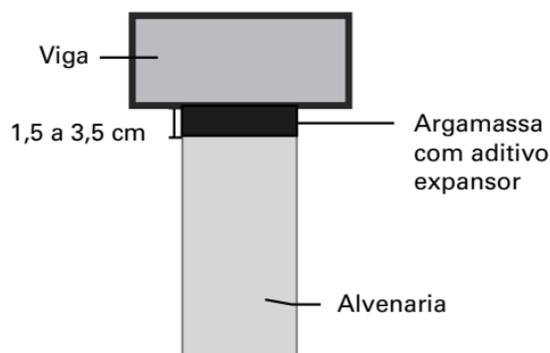


Fonte: NASCIMENTO, 2004

b) Sistema semi-rígido

O sistema semi-rígido considera pequenas deformações térmicas e estruturais sobre o painel de alvenaria, sendo necessário o emprego de argamassas de cimento e água com aditivo expansor (argamassa não retrátil). O preenchimento deve ser executado, no mínimo, sete dias após a finalização de todas as alvenarias, e elevada de baixo para cima do prédio com a fixação de cima para baixo (Figura 4.10).

Figura 4.10 – Esquema de sistema semi-rígido de fixação

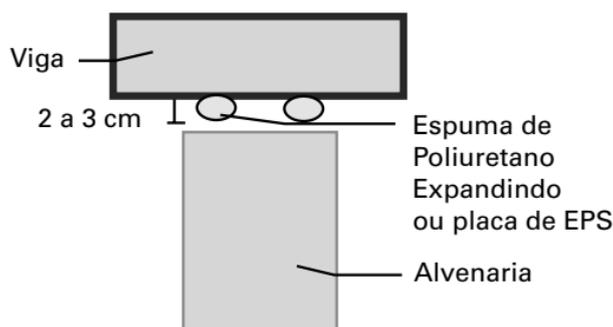


Fonte: MEDEIROS, 1999.

c) Sistema deformável

Para o sistema deformável é adotado o processo de confinamento lateral pelas cantoneiras, em função da necessidade de se absorver todos os efeitos de movimentação da estrutura. Esse sistema pode ser utilizado também lateralmente Pilar/Estrutura quando o tipo de estrutura for deformável e a alvenaria apresentar índice de esbeltez $\lambda \leq 25$ (Figura 4.11).

Figura 4.11 - Esquema de sistema deformável de fixação



Fonte: MEDEIROS, 1999.

Referindo-se a patologias no revestimento de fechamentos verticais, Cincotto (1988) afirma que interferências químicas são causadoras de fissuras na argamassa de assentamento em função de sua expansão, que ocorre por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal ou ataque de sulfatos (reação cimento sulfatos), ou ainda, devido à presença de argilo-minerais expansivos no agregado. Nascimento (2004) afirma que o encontro alvenaria/pilar deve ser executado de forma eficaz, sendo inspecionado visualmente sobre a existência de pontos distantes que permitiriam a percolação de água.

Outras patologias também afetam os fechamentos. Nos fechamentos vertical e horizontal em áreas molhadas, há o revestimento, onde é comum o emprego de agentes químicos agressivos nos procedimentos de limpeza do dia-a-dia do usuário, o que muitas vezes afeta rejuntas, causando infiltrações nos pisos e descolamento dos revestimentos nas paredes. A incidência de umidade constante, principalmente em áreas não expostas ao sol, propicia o surgimento de mofo ou bolor na superfície que também tende a desagregar o revestimento (CINCOTTO, 1988).

Na execução dos revestimentos de parede podem ser usadas argamassas convencionais ou industriais, entretanto, Campante e Baía (2003) defendem que as argamassas colantes são, atualmente, as mais utilizadas no Brasil devido às suas vantagens em relação às argamassas dosadas em obra. Dentre essas vantagens, podem ser citadas: menor retração por secagem nas placas cerâmicas, maior resistência de aderência, maior produtividade, menor custo global, além de serem conciliáveis com as práticas de regularização da base. Na execução com argamassa colante, o tempo em aberto deve ser rigorosamente observado. O tempo em aberto de uma argamassa colante é o intervalo entre a aplicação da argamassa até a formação de uma pele que impede a aderência das placas, ou também,

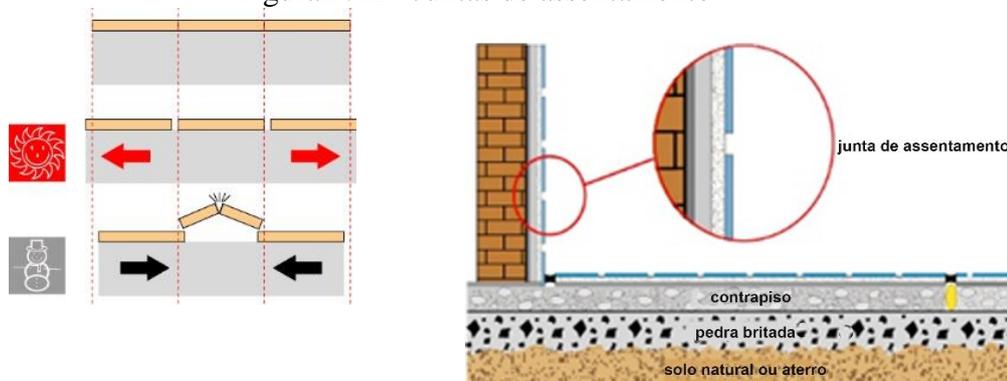
o intervalo máximo de tempo, após os cordões serem estendidos, em que as placas ainda podem ser assentadas dentro da resistência de arrancamento estabelecida em norma NBR 14083 (ABNT, 2004). Quando o tempo em aberto é ultrapassado, a argamassa deve ser retirada e descartada.

Tanto no revestimento de fechamentos horizontais, quanto no revestimento de contrapiso, a presença de juntas evita patologias. As juntas absorvem parte das deformações dos revestimentos cerâmicos, permitindo que as diferenças dimensionais entre as placas sejam compensadas e facilitam eventuais trocas de peças. Em juntas não preenchidas ou mal preenchidas em uma fachada, é razoável supor a ocorrência de alguma falha que, eventualmente, pode levar ao manchamento, à eflorescência ou à penetração de água em ambientes internos (JUNGINGER, 2003). As juntas de movimentação precisam ser alocadas em pontos onde as placas cerâmicas, a argamassa adesiva e a argamassa de emboço encontrem materiais distintos, como caixilhos de janelas ou qualquer outro tipo de acabamento (GOLDBERG, 1998). Todos os topos de platibandas e paredes devem ter proteção por chapins. Todos os beirais devem ser constituídos de pingadeiras e as interfaces de diferentes níveis devem ser resguardadas por rufos que inviabilizem a penetração de água (ILIESCU, 2016).

As juntas podem ser classificadas como de assentamento, de movimentação, de dessolidarização e estrutural (ILIESCU, 2016).

i) Juntas de assentamento – espaços deixados entre as peças cerâmicas durante seu assentamento (8 a 10 mm; Figura 4.12). O rejuntamento deve ser executado 72 horas após o assentamento das peças (CAMPANTE; BAÍA, 2003).

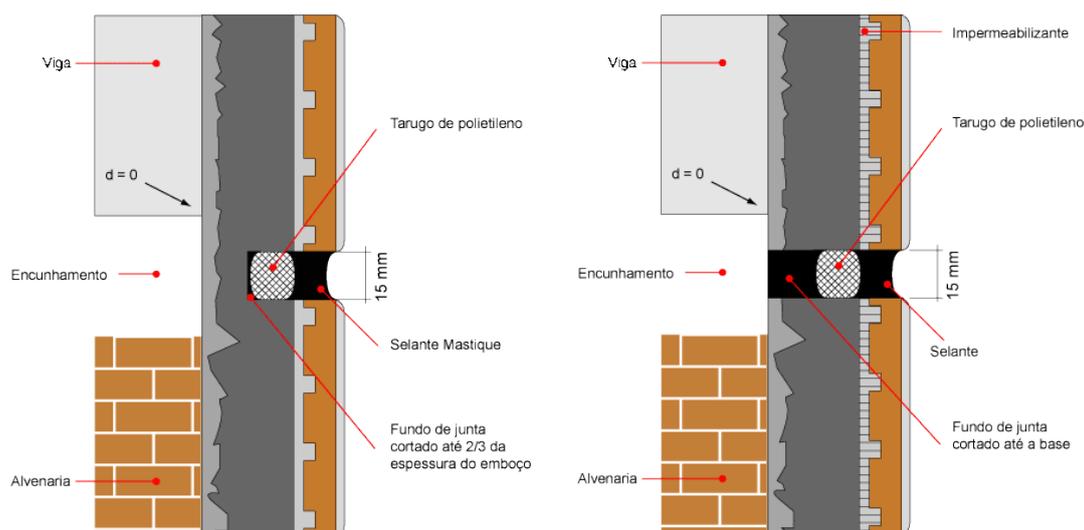
Figura 4.12 - Juntas de assentamento



Fonte: IAU, 2019

ii) Juntas de movimentação – espaço entre as partes da superfície para absorção dos movimentos e alívio das tensões. As juntas de movimentação podem ser previstas antes da execução do revestimento cerâmico, logo após o desempenho, com profundidade até a base ou até 2/3 do emboço ou contrapiso (ILIESCU, 2016; Figura 4.13).

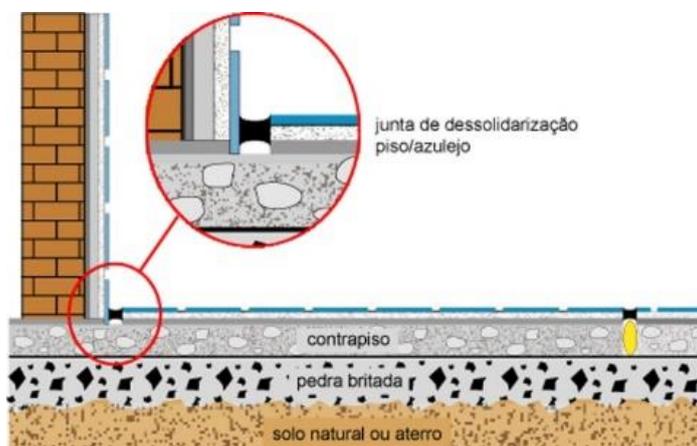
Figura 4.13 - Junta de movimentação



Fonte: IAU, 2019.

iii) Juntas de dessolidarização – são utilizadas nas mudanças de direção entre um mesmo revestimento e nas transições entre revestimentos diferentes (ILIESCU, 2016; Figura 4.13).

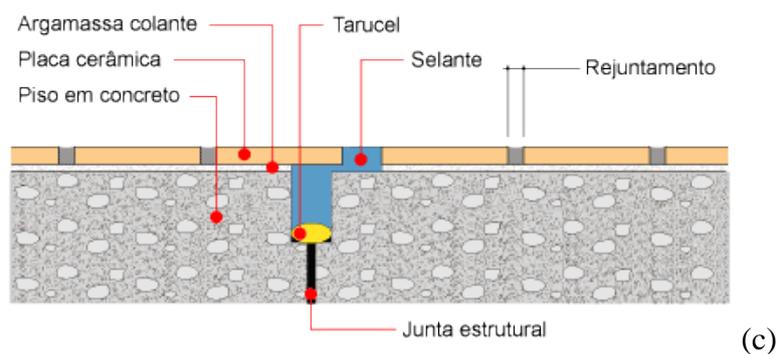
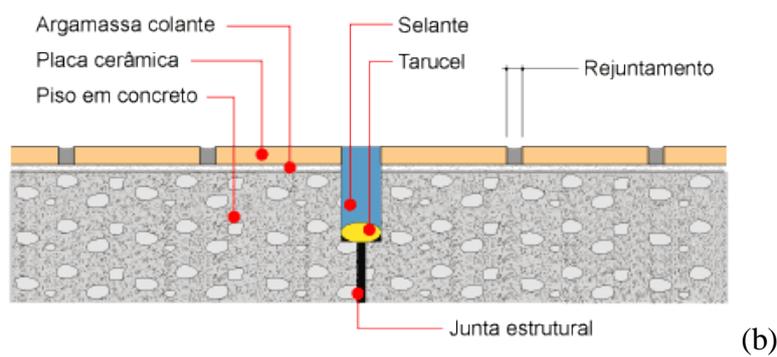
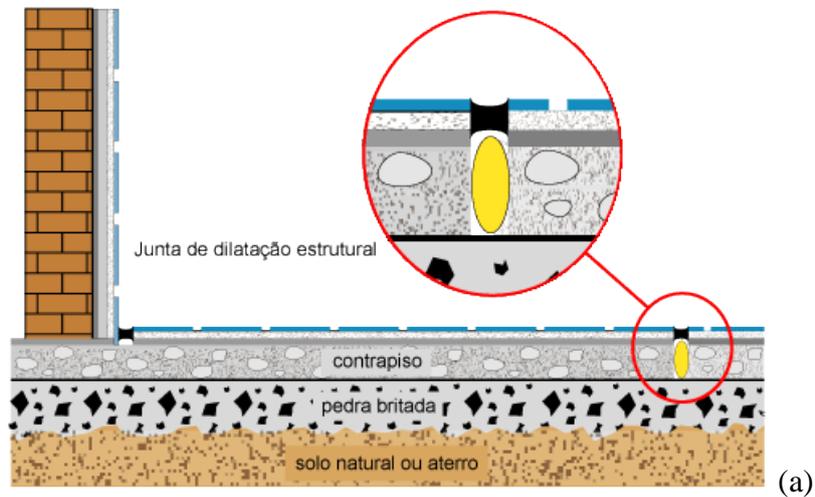
Figura 4.14 - Junta de dessolidarização



Fonte: IAU, 2019.

iv) Junta estrutural – espaço regular previsto para alívio de tensões da estrutura do substrato (ILIESCU, 2016; Figura 4.14).

Figura 4.15 - Junta Estrutural



Fonte: IAU, 2019

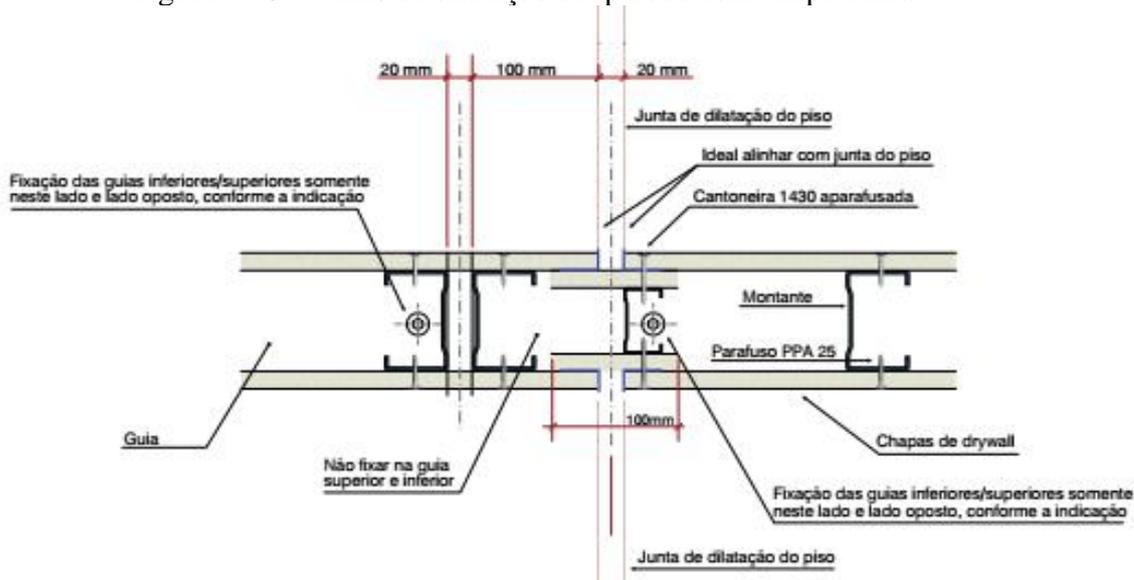
Em paredes de gesso acartonado, a norma NBR 15758 (ABNT, 2009) estabelece que os pré-requisitos para montagem dos sistemas de fechamento *drywall* são:

a) Locação, em cada ambiente, dos eixos das paredes;

- b) Compatibilidade do projeto entre a estrutura, fechamentos e as várias instalações;
- c) Proteção contra umidade excessiva e impedimento da entrada de chuva pelas aberturas (por exemplo, janelas, portas externas, coberturas, *shafts*, andar superior);
- d) Execução dos revestimentos (por exemplo argamassas, pasta de gesso), conforme projeto, das vedações verticais externas (fachadas) e internas (poço de elevador, escadas), que não forem em *drywall*;
- e) Nivelamento e, de preferência, acabamento da laje do piso;
- f) Resistência e homogeneidade do piso e da laje;
- g) Posicionamento, de acordo com o projeto, das saídas das várias instalações;
- h) Compatibilidade entre os dispositivos de fixação e os suportes.
- i) Comprimento dos montantes devem ser entre 5mm a 10mm menor do que a altura do pé-direito
- j) As chapas devem ser aparafusadas aos montantes com espaçamento entre os parafusos de 25cm a 30cm e no mínimo a 10mm da borda da chapa.

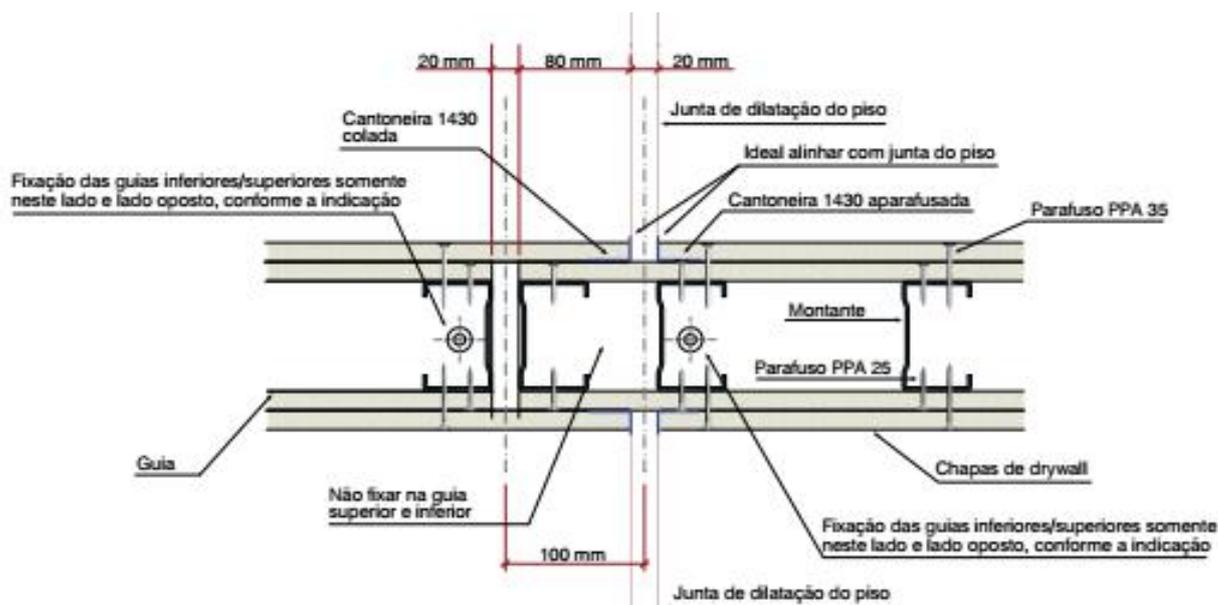
Em paredes de grandes dimensões devem ser previstas juntas de movimentação, evitando fissuras por movimentações mecânicas e higrotérmicas (Figuras 4.16 e 4.17).

Figura 4.16 - Juntas de dilatação em parede com chapa única



Fonte: TREVODRYWALL, 2019 adaptado da norma NBR 15.758 (ABNT, 2009)

Figura 4.17 - Juntas de dilatação em parede com chapa dupla



Fonte: TREVODRYWALL, 2019 adaptado da norma NBR 15.758 (ABNT, 2009)

As juntas devem ser previstas a cada 50m² de parede em caso de paredes constituídas de uma única chapa em cada face. Essa medida se altera para 70m² em caso de paredes constituídas de duas chapas. Em ambos os casos, as juntas devem ter distância máxima de 15,0m entre si. As juntas de dilatação das paredes sempre devem ser executadas no alinhamento das juntas de dilatação da edificação, segundo a norma NBR 15758 (ABNT, 2009).

No tratamento das juntas em paredes *drywall*, nunca deve-se empregar gesso comum, devendo ser utilizadas a massa e a fita conforme indicação do fabricante da placa. Em caso de distâncias maiores que 3mm entre as chapas ou entre as chapas e os elementos periféricos, ou seja, as lajes, paredes, deve-se calafetar os vãos com massa de colagem. Para serem evitadas retrações das juntas, que ocasionariam empenamentos e frestas nas chapas, o tempo de secagem deve ser observado, considerando que ele varia em função do tipo de massa, da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar (ABNT, 15.758). Também deve ser evitado o uso de massa corrida no tratamento da junta, de forma a evitar fissuras e descolamentos (MITIDIÉRI FILHO, 2012).

O projeto de instalações prediais deve ser executado visando evitar algumas situações indesejadas. As caixas da instalação de dois ambientes adjacentes não devem ser colocadas em posições opostas coincidentes, ou seja, as faces posteriores das caixas não

devem entrar em contato, devendo as caixas ser posicionadas com pelo menos 10 cm de afastamento entre si. As aberturas para as caixas elétricas e outras instalações podem ser executadas antes ou após a colocação das chapas, dependendo da sequência executiva e do tipo de instalação utilizada. A lã mineral deve ser posicionada e instalada antes do fechamento total das paredes e colocada entre os montantes, acompanhando o espaçamento entre eles, de forma a assegurar uma distribuição uniforme no interior da parede, evitando-se espaços vazios conforme a norma NBR 15758 (ABNT, 2009). Nos cantos devem ser usadas cantoneiras de aço galvanizado com orifícios, que proporcionam uma maior aderência da massa de rejunte. Essa cantoneira é essencial em casos de cantos vivos (SILVA, 2002).

A possibilidade de ocorrência de patologias no revestimento de pisos, tais como o descolamento de placas cerâmicas ou pétreas é majorada pela ausência, nas lajes nível zero, da camada de contrapiso que auxilia na absorção da deformação lenta do concreto, principalmente se essas placas possuírem grandes dimensões (ALLGAYER, 2001). Deve ser considerada a qualidade das cerâmicas de revestimentos, pois, conforme a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (ANFACER), existe no mercado interno produtos de baixa qualidade, resultante de processos de fabricação deficientes, principalmente relacionados à etapa de queima, muito importante para a definição das características do revestimento. Produtos resultantes de uma etapa de queima incompleta, quando submetidos a diferenças agudas de temperatura, podem apresentar variações em suas dimensões (dilatação ou contração). A expansão por umidade é uma das causas do estufamento e da gretagem (INMETRO, 2019). A expansão por umidade é, também, a maior responsável, isoladamente ou em conjunto com outros fatores, tais como ausência de juntas de assentamento, pelo descolamento das peças. A expansão por umidade, e não a absorção de água, é a característica crítica responsável por descolamentos de cerâmicas (ILIESCU, 2016). Esses descolamentos também podem ser provocados pela espessura excessiva da argamassa, pois se superiores a 2cm, propiciam, em função da retração natural, a ocorrência de tensões elevadas de tração entre a base e o chapisco (BAUER, 1997). O desgaste dos dentes da desempenadeira deve ser observado, pois essa diminuição da altura interfere na quantidade de argamassa, tornando-a insuficiente para a função de aderência (PEZZATO, 2010).

4.3 Patologias nas lajes e pisos

Uma das patologias mais graves nos pisos é o deslocamento cerâmico. Rhod (2011), Pezzato (2010), Fantini (2010) e Carvalho Júnior (2005) definem que os principais fatores que contribuem para essa patologia são:

- Especificação incorreta de material de assentamento ou de rejuntamento;
- Utilização da argamassa após vencido o tempo em aberto. O tempo em aberto é definido pela norma NBR 14083 (ABNT, 2004) como o intervalo máximo entre a extensão da argamassa sobre o substrato padrão e a aplicação das placas cerâmicas que resulte em aderência média de 0,5MPa;
- Exposição a altas temperaturas ou umidade;
- Deficiência no preparo da base (retração/falta de maturação/cura da argamassa da base);
- Falhas no projeto, tais como juntas de assentamento muito estreitas, ausência ou insuficiência de juntas de dilatação e de dessolidarização, e falhas e de especificação de cerâmica, argamassa ou rejunte;
- Erros de execução, tais como uso incorreto da desempenadeira dentada, falta de amassamento dos cordões, aderência da peça cerâmica ao substrato insuficiente;
- Manutenção incorreta, tais como limpeza com produtos ácidos, falta de manutenção, argamassa colante com deficiências de dosagem;
- Problemas com a base, tais como baixa resistência e excessiva deformação da estrutura;
- Materiais inadequados ou presença excessiva de engobe (substância em pó, geralmente na cor branca, presente no verso da peça, que inibe a reação e fixação da argamassa na cerâmica); emprego excessivo de aditivo plastificante e de incorporador de ar.

As lajes mistas, do tipo *Steel Deck*, podem apresentar três problemas: fissuras, descolamento e corrosão. O descolamento acontece quando 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. As causas desse tipo de falha são: sobrecarga excessiva e corrosão na chapa de aço. A corrosão acontece pela infiltração da água, que acaba por se acumular entre o concreto e a chapa, provocando corrosão e também descolamento (CASTRO, 1999).

Em lajes nível zero deve-se observar a passagem de embutidos na laje, sejam elétricas, hidráulicas ou instalações em geral. A necessidade de se criar passagens através de caixas instaladas durante a execução da laje constitui-se em um problema de difícil solução pois esses pontos tornam-se focos de patologias, tais como vazamentos (SOUZA; MELHADO, 2002). Vazamentos também acontecem em edificações mais antigas. Segundo Verçosa (1991), a umidade causada por infiltrações nos telhados das edificações tem como origem a água da chuva. Isto acontece quando as coberturas de telhas apresentam muitos vazamentos no sistema de escoamento das águas pluviais (calhas e tubos de queda) ou no próprio telhado. Esses vazamentos são os mais fáceis de localizar e de efetuar a correção.

As falhas de estanqueidades nas impermeabilizações, ou até mesmo a inexistência de impermeabilização, propiciam a deterioração das construções. Conforme Hussein (2013), a impermeabilização deve atender às exigências contidas em normas específicas, que resumem-se em:

1. Resistir as cargas que atuarão sobre a impermeabilização;
2. Resistir aos movimentos que ocorrerão, tanto por dilatação térmica como por dinâmica da estrutura;
3. Resistir ao desgaste resultante do tempo de uso ou intempéries;
4. Resistir às pressões dos fluídos aos quais estará submetida.

Storte (2011) divide as manifestações patológicas ligadas à impermeabilização em dois grupos, conforme mostrado no Quadro 4.4.

No Grupo 1 têm-se as manifestações patológicas provocadas pela infiltração d'água, devido à ausência ou falha da impermeabilização.

No Grupo 2 têm-se as manifestações patológicas originárias do processo construtivo, que podem provocar rompimentos ou danos à impermeabilização.

Quadro 4.4 – Manifestações patológicas ligadas à impermeabilização

| GRUPO | PATOLOGIA | MOTIVOS |
|--|--|--|
| Grupo 1 | Corrosão das Armaduras | A corrosão acontece quando o recobrimento da armadura fica abaixo do recomendado. |
| | | Acontece quando o concreto é executado com elevado fator água/cimento, acarretando alta porosidade e fissuras de retração. |
| | | Segregação do concreto com formação de ninhos de concretagem, devido ao traço, lançamento e vibração incorretos, formas inadequadas. |
| Ausência ou deficiência na cura do concreto causando fissuras, porosidade excessiva e diminuição da resistência. | | |
| | Carbonatação do Concreto | Ocorre em concretos porosos ou com baixo cobrimento das armaduras, reduzindo a alcalinidade do concreto (valores de PH inferiores a 10, quando deveria ser entre 12 e 14), tendo como consequência a destruição da capa da armadura, permitindo o início do processo de corrosão, quando em presença de água, oxigênio e diferença de potencial da armadura. |
| | Eflorescência | Eflorescência é a formação de depósitos salinos na superfície do concreto ou argamassas, como consequência da sua exposição à água de infiltrações ou intempéries, modificando a aparência do elemento onde se deposita. Há situações em que seus sais constituintes podem ser agressivos e causar degradação profunda. A alteração no aspecto visual é intensa onde há um contraste de cor entre os sais e o substrato sobre as quais se deposita. |
| Grupo 2 | Trincas e fissuras em estruturas de concreto | Podem ser causadas por variações térmicas, que acarretam em variação no seu tamanho. Esses movimentos são restritos pelos vínculos que envolvem os materiais, gerando tensões que podem provocar trincas ou fissuras. |
| | | As estruturas que são feitas de concreto armado deformam-se sob ação de cargas, podendo essas serem permanentes ou acidentais. Durante o cálculo estrutural, a flecha admitida por norma não compromete a estabilidade ou o efeito estético, porém se verificada inadequadamente pode gerar deformações, que comprometem as alvenarias e outros componentes ligados à estrutura, formando fissuras ou trincas. |
| | | O solo pode se deformar de maneira desigual por efeito das cargas das fundações, gerando recalques diferenciais que resultam em deslocamentos variáveis, provocando ocorrência de trincas e fissuras. |
| | | O concreto ou argamassa pode ter seu volume variado conforme sua absorção de água, retraído quando seca e expandindo quando a absorve. Essas variações são inerentes ao concreto e argamassas. A diferença no traço do concreto e argamassas causa maior ou menor retração, podendo-se evitar problemas com os seguintes métodos: - menor relação água/cimento, tornando o concreto menos poroso; - maior teor de agregados; - correta hidratação. |
| | | As falhas de concretagem incorrem em uma superfície desagregada ou com baixa resistência. São responsáveis por grande parte das patologias de corrosão das armaduras, que geram fissuras no concreto e expansão das armaduras. |
| | | A ausência de recobrimento adequado das armaduras pode gerar corrosão das armaduras, tendo como manifestação a inutilização da capa de cobrimento das armaduras, possibilitando o contato com a umidade, podendo ocasionar fissuras, corrosão da armadura e dilatação do concreto. |
| | | As tubulações ou peças emergentes devem ser rigorosamente fixadas à superfície, para que seu suposto deslocamento não prejudique o substrato (causando fissuras) e a impermeabilização empregada nesses locais. |

Fonte: STORTE (2011) adaptado pela autora.

5. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho utiliza-se uma abordagem estatística para definição de parâmetros na prevenção de patologias no sistema de fechamento nas edificações estruturadas em aço. As patologias são observadas e definidas a partir dos dados apresentados por Bastos (2004) tendo-se cinco edificações como referência, analisadas sob aspectos de construção por Sales (2001).

De posse das informações acerca das patologias encontradas pelos usuários, são levantados os elementos causadores de cada incidência. Para se fazer uma análise do método de falhas (causa e efeito) é usado o Diagrama de Ishikawa, em que todas os motivos possíveis são considerados na investigação de um problema. Ishikawa sugere que tais hipóteses, quando discutindo sobre um problema que envolve um grupo de pessoas, sejam sugeridas pelos componentes desse grupo. Após essa análise, cada uma das patologias é analisada em uma Matriz GUT, estabelecendo-se, assim, o grau de risco que cada uma representa. Nesse trabalho, o "*brainstorming*" é substituído pelas causas de patologias encontradas na revisão bibliográfica.

É feito um levantamento sobre todas as ocorrências no momento de construção de cada edifício e essas, correlacionadas com os elementos de construção em que acontecem cada patologia. Assim é possível identificar as patologias que têm relação com o fato da estrutura ser em aço e as patologias comuns a qualquer edificação.

5.1 Edificações de referência

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROPEC) da Universidade Federal de Ouro Preto tem ênfase em construção em aço e é importante salientar o desenvolvimento de diversos trabalhos. Com a perspectiva de se obterem soluções projetuais na prevenção de patologias em edifícios estruturados em aço é feita uma análise em grande parte de material lá produzido.

No presente trabalho utilizam-se os dados apresentados por Sales (2001) e Bastos (2004). No primeiro, verifica-se a introdução da construção industrializada, observando métodos, dificuldades e falhas de um processo inovador em relação ao convencional concreto armado. São utilizados especialmente os dados referentes a ocorrências no

canteiro de obra, que repercutiram em patologias já naquele momento. No segundo, são apresentadas as patologias verificadas nessas mesmas edificações após a ocupação por seus usuários.

A pesquisa de Bastos (2004) mostra a relação do usuário com a edificação, apresentando aspectos positivos e negativos do habitar/trabalhar em prédios com estrutura em aço. A ocupação das edificações acontecem como residências, lojas, edifícios de salas comerciais e sedes de empresas. Após entrevistas e preenchimentos de questionários, um dos frutos obtidos com essa pesquisa é o levantamento das patologias mais constantemente verificadas e a assiduidade com que são encontradas. Esse levantamento demonstra em forma de estatística, o que melhor permite identificar a frequência da ocorrência de cada situação. Todos os edifícios encontram-se na cidade de Belo Horizonte, portanto, sujeitos às mesmas condições ambientais, e dá continuidade a pesquisa de Sales (2001). O trabalho de Sales (2001) consiste de uma abordagem investigativa acerca do desempenho de painéis de fechamento associados à construção em aço, tendo como objetivos analisar os processos de execução de edifícios estruturados em aço, além de se fazer uma avaliação preliminar dos painéis disponíveis no mercado regional, no que diz respeito a seu desempenho acústico e vibratório. Essa pesquisa baseia-se sobre o desempenho de painéis em nove edifícios. O trabalho de Sales (2001) dá continuidade à pesquisa de Von Krüger (2000). Nesse último, são levados em consideração dados referentes a: impacto de corpo mole e de corpo duro, solicitação de peças suspensas, interação entre paredes e portas, resistência ao fogo e massa superficial para a análise de desempenho estrutural.

A pesquisa de Bastos (2004) seleciona cinco edificações estruturadas em aço dentre as analisadas por Sales (2001). Os perfis em aço que compõem a estrutura dos edifícios variam entre perfis laminados e soldados. Os fechamentos verticais externos diferenciam-se, enquanto todos os fechamentos internos verticais são em painéis de gesso acartonado.

5.2 Identificação das edificações de referência

Os edifícios analisados na pesquisa são apresentados nas Figuras de 5.1 a 5.5.

Figura 5.1 - Edifício 1



Fonte: SALES, 2001



Fonte: A autora, 2019

O Edifício 1 foi construído em 1999 e 2000, possui três pavimentos e tem fim residencial. Sua construtora, de pequeno porte, encontra, atualmente, inativa.

Figura 5.2 - Edifício 2



Fonte: SALES, 2001



Fonte: A autora, 2019

O Edifício 2 foi construído entre 1996 e 1998, possui dezenove pavimentos e tem fim comercial. Sua construtora, de porte médio, encontra-se, atualmente, inativa.

Figura 5.3 - Edifício 3



Fonte: SALES, 2001



Fonte: A autora, 2019

O Edifício 3 foi construído em 1999 e 2000, possui três pavimentos e tem fim residencial. Sua construtora, de pequeno porte, encontra-se, atualmente, inativa.

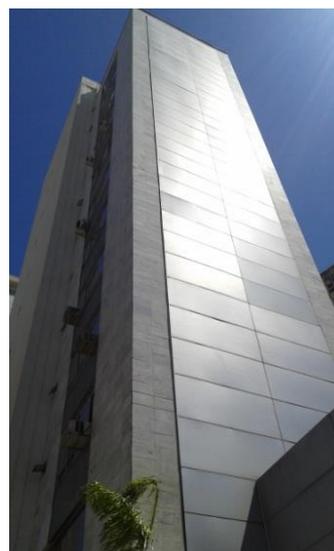
Figura 5.4 - Edifício 4



Fonte: SALES, 2001



Fonte: BASTOS, 2004



Fonte: A autora, 2019

O Edifício 4 foi construído em 1995 e 1997, possui 10 pavimentos e tem uso comercial. Sua construtora, de pequeno porte, encontra-se, atualmente, inativa.

Figura 5.5 - Edifício 5



Fonte: SALES, 2001



Fonte: A autora, 2019

O Edifício 5 foi construído em 1999 e 2000, com nove pavimentos e fim comercial. Sua construtora, de grande porte, encontra-se, atualmente, inativa.

No Quadro 5.1 são apresentados os edifícios que fazem parte das pesquisas de Sales (2001) e Bastos (2004), com suas características e eventos de construção. Pode-se observar que todas as construtoras dos edifícios pesquisados não possuíam quadro fixo de funcionários e, por isso mesmo, não tinham qualquer programa de treinamento contínuo. A mão de obra é contratada por serviço a ser executado ou ela vem como parte complementar na compra de algum sistema componente da edificação.

Quadro 5.1 – Características das edificações

| Edifício | Pavimentos | Ano | Sistema Estrutural | Fechamentos verticais | | Fechamentos horizontais | Mão de obra |
|------------|------------|------|--|------------------------------|--|--|--|
| | | | | Interno | Externo | | |
| Edifício 1 | 3 | 2000 | Estrutura em aço de perfis laminados, não aparentes. | Painéis de gesso acartonado | Tijolo cerâmico furado | Laje de piso em painéis pré-moldados de concreto armado. | Mão de obra contratada para cada empreendimento. Não adotou programa de treinamento de pessoal ou plano sistematizado para introdução de novas tecnologias na obra |
| Edifício 2 | 19 | 1998 | Estrutura em aço de perfis soldados, não aparentes | Painéis de gesso acartonado | Alvenaria de blocos de concreto celular | Laje com forma em aço, incorporada | Utilizou mão de obra contratada para cada serviço específico, por empreitada, e assim não adotou nenhum programa de treinamento, pois tentou terceirizar a maior parte da obra com a intenção de apenas administrar a montagem da construção. |
| Edifício 3 | 3 | 2000 | Estrutura em aço de perfis leves, não aparentes | Painéis de gesso acartonado | Painéis de concreto armado com alma de poliestireno expandido (4,00m x 3,00m x 7cm de espessura) | Laje de piso em painéis pré-moldados de concreto armado. | Não possuía quadro fixo de funcionários para a obra, portanto não manteve nenhum tipo de programa de treinamento. As etapas de acabamento forma contratadas por empreitada, assim a obra se tornou um conjunto de serviços terceirizados. |
| Edifício 4 | 12 | 1997 | Estrutura em aço de perfis soldados, não aparentes. | Painéis de gesso acartonado | Alvenaria de blocos de concreto celular | Laje com forma em aço, incorporada | Não manteve quadro fixo de funcionários no canteiro de obras, não havendo assim, programa de treinamento ou de introdução de novas tecnologias. |
| Edifício 5 | 9 | 2000 | Estrutura em aço de perfis soldados, não aparentes. | Painéis de gesso acartonado. | Painéis de concreto celular autoclavado e alvenaria em blocos de concreto celular. | Laje de piso em concreto moldado em loco. | A mão de obra do canteiro foi, quase que em sua totalidade, contratada pelas empresas prestadoras de serviços, que venderam os respectivos sistemas componentes da construção para a construtora, a qual assumiu a função de coordenar o processo. |

Fonte: SALES, 2001 (Adaptado pela autora)

5.3 Aplicação de ferramentas de Gestão de Qualidade Total

O Diagrama de Causa e Efeito possui o objetivo de indicar a relação entre o efeito e as causas que contribuem para sua ocorrência, e consideram que os problemas e não conformidade sejam classificados em seis categorias de causas conhecidos por 6M.

Nesse trabalho, o diagrama de Ishikawa segue a categorização 6 fatores M, assim caracterizados:

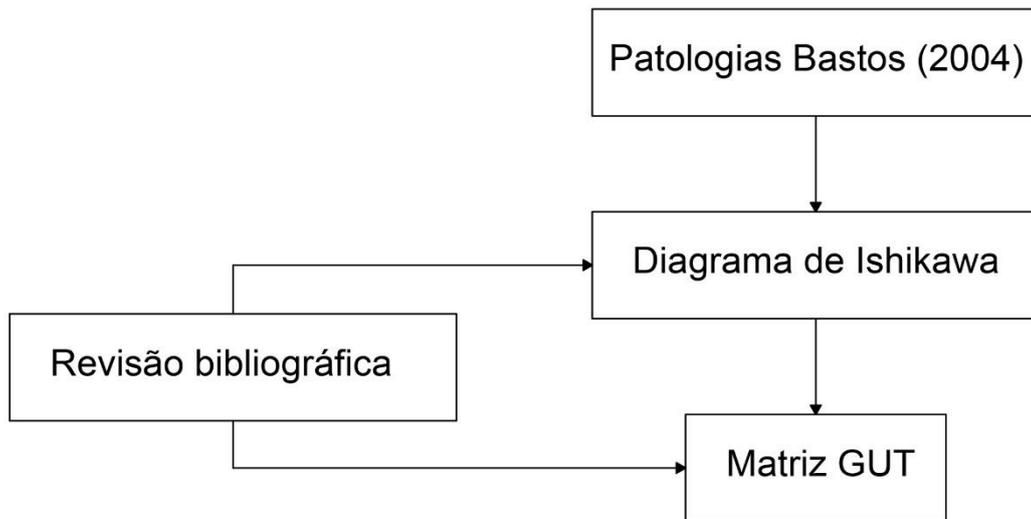
- **Matéria prima:** possíveis causas referentes aos materiais utilizados.
- **Medida:** possíveis causas referentes a qualquer valor dimensional que impacte no desempenho do produto. Esses valores podem ser característicos do material (espessura, peso, tamanho) ou relativo à grandeza dos elementos executados em obra (espessura, quantidade).
- **Meio Ambiente:** possíveis faltas referentes às interferências causados por chuva, umidade, calor, sol.
- **Mão de obra:** possíveis causas referentes aos problemas causados pelos executores da tarefa: erros, pressa, imprudência, que foram causados pelo funcionário contrariando/ignorando/não entendendo orientação superior.
- **Método:** possíveis causas referentes a problemas causados por procedimentos, rotinas ou técnicas utilizadas, determinados em projeto ou por meio de ordens superiores.
- **Máquina:** possíveis causas referentes a problemas causados por maquinário ou ferramentas.

Após o Diagrama de Ishikawa, é utilizada a ferramenta histograma, onde são mostradas a proporção da fonte de cada causa, dentre os seis fatores M citados anteriormente. Tendo-se o valor das causas referentes a cada patologia, é apresentado um gráfico com a representação final de cada causa.

Considerando todas as causas apontadas nos Diagramas de Ishikawa, têm-se, então, destacadas as que são diretamente relacionadas com o fato de provocarem patologias em uma edificação estruturada em aço.

Cada uma das patologias é analisada em uma Matriz GUT, estabelecendo-se, assim, o grau de risco que cada uma representa (Figura 5.6).

Figura 5.6 – Fluxograma da análise realizada



6. RESULTADOS

As possíveis causas das patologias identificadas nos edifícios analisados são segmentadas no Diagrama de Ishikawa segundo os 6M. Essas patologias passam, também, pela análise na Matriz GUT. Após a obtenção dos levantamentos quantitativo (Ishikawa) e qualitativo (Matriz GUT), foi feita uma avaliação da interferência da estrutura em aço com as patologia analisadas.

6.1 Patologias identificadas

No Quadro 6.1 são apresentadas as patologias identificadas por Bastos (2004) e o respectivo índice de ocorrência.

Quadro 6.1 – Patologias e índices de ocorrências

| PATOLOGIA | Resultado em % |
|---|----------------|
| Infiltrações | 62,3% |
| Trincas ou fissuras | 54,2% |
| Transmissão de som pelas paredes | 40,7% |
| Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações verticais | 40,4% |
| Vazamento nas lajes entre os andares | 38,0% |
| Descolamento do piso | 18,8% |
| Desnível da laje de piso | 12,5% |
| Descolamento dos revestimentos das áreas molháveis | 11,2% |
| Corrosão de elementos estruturais aparentes | 9,1% |
| Empenamento e/ou movimentação das paredes internas | 7,5% |

Fonte: BASTOS, 2004 (Adaptado pela autora, 2019)

No Quadro 6.2 são apresentadas as principais patologias identificadas por Bastos (2004), segmentadas segundo a parte componente da edificação, sejam elas em fechamento vertical interno, fechamento vertical externo, fechamento horizontal ou estrutura de aço. O item “causas” apresenta eventos/situações descritas por Sales (2000) durante o período de obra de cada edifício. Essas situações impactam, em maior ou menor grau, na ocorrência de patologias futuras.

Quadro 6.2 - Relação patologias e eventos no período de obra (continua)

| Item | Descrição | Incidência | Edifício | Causa | |
|--|--|--|---|--|--|
| Fechamento vertical interno em placas de gesso | Empenamento e/ou movimentação das paredes internas | 7,5% | 01 | Carência de mão de obra qualificada: desperdício de tempo e retrabalho | |
| | | | 02 | Problemas no transporte e estocagem das placas de gesso | |
| | | | | Infiltração nas lajes de piso, danificando algumas divisórias de gesso | |
| | | | 03 | 7,5% | Instalação das placas de gesso sem vãos de esquadrias fechados: chuva danificando algumas placas |
| | | | | | Deformações apresentadas pelas chapas dos perfis leves |
| | | | 04 | Não foram relatados problemas nos fechamentos em gesso | |
| | 05 | Não foram relatados problemas nos fechamentos em gesso | | | |
| | Descolamento dos revestimentos das áreas molháveis | 11,2% | 01 | Carência de mão de obra qualificada: desperdício de tempo e retrabalho | |
| | | | 02 | Não houve mão de obra especializada durante a obra | |
| | | | 03 | Deformações apresentadas pelas chapas dos perfis leves | |
| | | | 04 | Não houve mão de obra especializada durante a obra | |
| | | | 05 | Não houve mão de obra especializada durante a obra | |
| | Transmissão de som pelas paredes | 40,7% | 01 | Carência de mão de obra qualificada | |
| | | | 02 | Não houve mão de obra especializada durante a obra | |
| | | | 03 | Não houve mão de obra especializada durante a obra | |
| | | | 04 | Não houve mão de obra especializada durante a obra | |
| | | | 05 | Não houve mão de obra especializada durante a obra | |
| | | | 04 | Após um período relativamente curto de uso, o edifício apresentou problemas de fissuras na ligação da cortina de alvenaria de fachada com as lajes de teto | |
| 05 | | | Deformação nos balanços que receberiam os painéis de vedação, sendo necessário um perfil a mais na borda dessas lajes para regular e compensar as diferenças de alinhamento na montagem | | |
| Estrutura em aço | Corrosão de elementos estruturais aparentes | 9,1% | 01 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra | |
| | | | 02 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra | |

| | | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|-------|----|---|
| | | | 03 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 04 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 05 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| Fechamento horizontal | Desnível da laje de piso | 12,5% | 01 | Os painéis de laje não previam desníveis de áreas molhadas para áreas secas, por isso foi feito um capeamento por todos os pavimentos que permitiu a criação desses desníveis |
| | | | 02 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 03 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 04 | Após um período relativamente curto de uso, o edifício apresentou problemas de infiltração nas fachadas e fissuras na ligação da cortina de alvenaria de fachada com as lajes de teto |
| | | | 05 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | Descolamento do piso | 18,8% | 01 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra. É um serviço comum em qualquer edificação brasileira |
| | | | 02 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra É um serviço comum em qualquer edificação brasileira |
| | | | 03 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra É um serviço comum em qualquer edificação brasileira |
| | | | 04 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra É um serviço comum em qualquer edificação brasileira |
| | | | 05 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra. É um serviço comum em qualquer edificação brasileira |
| | Vazamento nas lajes entre os andares | 38,0% | 01 | Acréscimo de carga em todos os pavimentos, devido à não previsão dos desníveis de áreas secas para áreas molhadas, podendo ter causado fissuras na laje |

| | | | | |
|-----------------------------|---|-------|----|---|
| | | | 02 | Houve alguns pequenos defeitos de acabamento e, depois do prédio em uso, surgiram alguns problemas de infiltração nas lajes de piso |
| | | | 03 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 04 | Após um período relativamente curto de uso, o edifício apresentou problemas de fissuras na ligação da cortina de alvenaria de fachada com as lajes de teto |
| | | | 05 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 01 | Acréscimo de carga em todos os pavimentos, devido à não previsão dos desníveis de áreas secas para áreas molhadas, podendo ter causado fissuras na laje |
| | Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações verticais | 40,4% | 02 | Houve alguns pequenos defeitos de acabamento e, depois do prédio em uso, surgiram alguns problemas de infiltração nas lajes de piso |
| | | | 03 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 04 | Após um período relativamente curto de uso, o edifício apresentou problemas de fissuras na ligação da cortina de alvenaria de fachada com as lajes de teto |
| | | | 05 | Não houve situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 01 | Surgiram trincas nas junções das alvenarias com vigas e pilares, pois as vedações externas estavam trabalhando junto com a estrutura. Foi necessário depois soltar a alvenaria da estrutura |
| Fechamento vertical externo | Trincas | 54,2% | | A estrutura em aço montada apresentou diferenças de prumo e alinhamento de fachada |
| | | | 02 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 03 | <i>Inserts</i> de fixação de painéis de fechamento horizontais foram cobertos por concreto no capeamento do piso |
| | | | 04 | Após um período relativamente curto de uso, o edifício apresentou problemas fissuras na ligação da cortina de alvenaria de fachada com as lajes de teto |
| | | | 05 | Deformação nos balanços que receberiam os painéis de vedação, sendo necessário um perfil a mais na borda dessas lajes para regular e |

| | | | | |
|--|--------------|-------|----|--|
| | | | | compensar as diferenças de alinhamento na montagem |
| | Infiltrações | 62,3% | 01 | Surgiram fissuras nas junções das alvenarias com vigas e pilares, já que as vedações externas estavam trabalhando junto com a estrutura. Foi necessário depois soltar a alvenaria da estrutura |
| | | | 02 | Houve alguns pequenos defeitos de acabamento e, depois do prédio em uso, surgiram alguns problemas de infiltração nas lajes de piso |
| | | | 03 | Não foram detectadas situações que levassem à ocorrência de tal patologia ainda durante a obra |
| | | | 04 | Após um período relativamente curto de uso, o edifício apresentou problemas de infiltração nas fachadas |
| | | | 05 | Deformação nos balanços que receberiam os painéis de vedação. Necessário um perfil a mais na borda dessas lajes para regular e compensar as diferenças de alinhamento na montagem |

Fonte: SALES (2000), BASTOS (2004). Adaptado pela autora

No Apêndice A apresentam-se fotos mostrando as patologias identificadas nas cinco edificações estudadas.

6.2 Levantamentos qualitativos de causas de patologias utilizando o Diagrama de Ishikawa

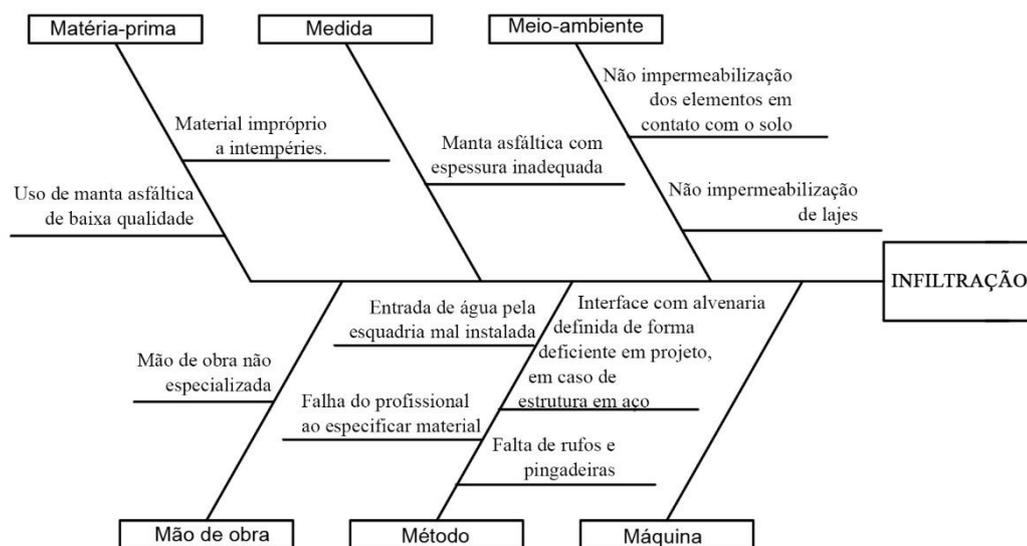
As possíveis causas de patologias são divididas segundo sua origem. Para cada uma das dez patologias identificadas por Bastos (2004) é apresentado um Diagrama de Ishikawa, com as possíveis causas divididas entre matéria-prima, medida, meio-ambiente, mão de obra, método e máquina. Após o Diagrama, essas mesmas causas são relacionadas em quadros, organizados pelos itens que compõem o 6M. Pretende-se assim que as causas possam ser melhor visualizadas.

Nas Figuras 6.1 a 6.10 apresentam-se os Diagramas de Ishikawa para as causas de patologias segundo sua origem: infiltração, trincas, transmissão de sons pelas paredes, transmissão de sons pelas lajes ou pelas instalações verticais, vazamentos nas lajes entre os andares, descolamento do piso, desnível da laje de piso, descolamento dos

revestimentos da áreas molháveis, corrosão de elementos estruturais aparentes e empenamento e/ou movimentação das paredes internas.

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.1, são apresentadas causas que implicam em infiltração na envoltória e laje.

Figura 6.1 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Infiltração"



Fonte: A autora, 2019

Nos Quadros 6.3 a 6.12 são mostradas todas as causas relacionadas organizadas pelos itens que compõem o 6M.

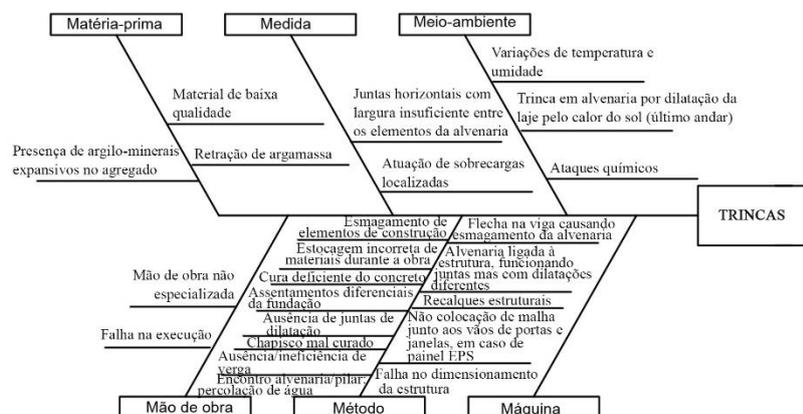
Quadro 6.3 - Relações de causas da patologia "Infiltração"

| | |
|---------------|--|
| MATÉRIA-PRIMA | Uso de manta asfáltica de baixa qualidade |
| | Material impróprio a intempéries |
| MEDIDA | Manta asfáltica com espessura inadequada |
| MEIO AMBIENTE | Não impermeabilização dos elementos em contato com o solo |
| | Não impermeabilização de lajes |
| MÃO DE OBRA | Mão de obra não especializada |
| MÉTODO | Entrada de água pela esquadria mal instalada |
| | Falta de rufos e pingadeiras |
| | Interface com alvenaria definida de forma deficiente em projeto, em caso de estrutura em aço |
| | Falha do profissional ao especificar material |
| MÁQUINA | Não há parâmetros aplicáveis |

Fonte: A autora (2019)

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.2, são apresentadas possíveis causas que implicam em trincas.

Figura 6.2 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Trincas"



Fonte: A autora

Quadro 6.4 - Relações de causas da patologia "Trincas ou fissuras" (continua)

| | |
|--|--|
| MATÉRIA-PRIMA | Material de baixa qualidade |
| | Presença de argilo-minerais expansivos no agregado |
| | Retração de argamassa |
| MEDIDA | Juntas horizontais com largura insuficiente entre os elementos da alvenaria |
| | Atuação de sobrecargas localizadas |
| MEIO AMBIENTE | Variações de temperatura e umidade |
| | Trinca em alvenaria por dilatação da laje pelo calor do sol (último andar) |
| | Ataques químicos |
| MÃO DE OBRA | Mão de obra despreparada |
| | Falha na execução |
| MÉTODOS | Esmagamento de elementos de construção |
| | Estocagem incorreta de materiais durante a obra |
| | Cura deficiente do concreto |
| | Flecha na viga causando esmagamento da alvenaria |
| | Alvenaria ligada à estrutura, funcionando juntas mas com dilatações diferentes |
| | Recalques estruturais |
| Encontro alvenaria/pilar: percolação de água | |

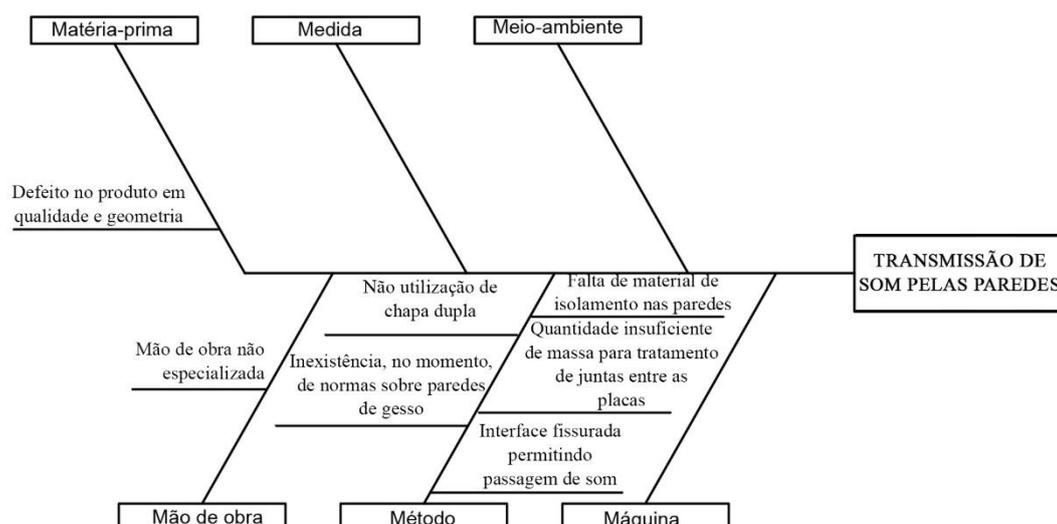
Quadro 6.4 - Relações de causas da patologia "Trincas ou fissuras" (conclusão)

| | |
|----------------|--|
| | Assentamentos diferenciais da fundação |
| | Ausência de juntas de dilatação |
| | Chapisco mal curado |
| | Ausência/ineficiência de verga |
| | Falha no dimensionamento da estrutura |
| | Não colocação de malha junto aos vãos de portas e janelas, em caso de painel EPS |
| MÁQUINA | Não há parâmetros aplicáveis |

Fonte: A autora, 2019

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.3, são apresentadas possíveis causas que implicam em transmissão de som pelas paredes.

Figura 6.3 - Diagrama de Ishikawa para análise de possíveis causas da patologia "Transmissão de som pelas paredes"



Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.5 - Relações de possíveis causas da patologia "Transmissão de som pelas paredes" (continua)

| | |
|----------------------|--|
| MATÉRIA-PRIMA | Defeito no produto em qualidade e geometria |
| MEDIDA | Não há parâmetros aplicáveis |
| MEIO AMBIENTE | Não há parâmetros aplicáveis |
| MÃO DE OBRA | Mão de obra despreparada |
| MÉTODO | Não utilização de chapa dupla |
| | Inexistência, no momento, de normas sobre paredes de gesso |
| | Falta de material de isolamento nas paredes |

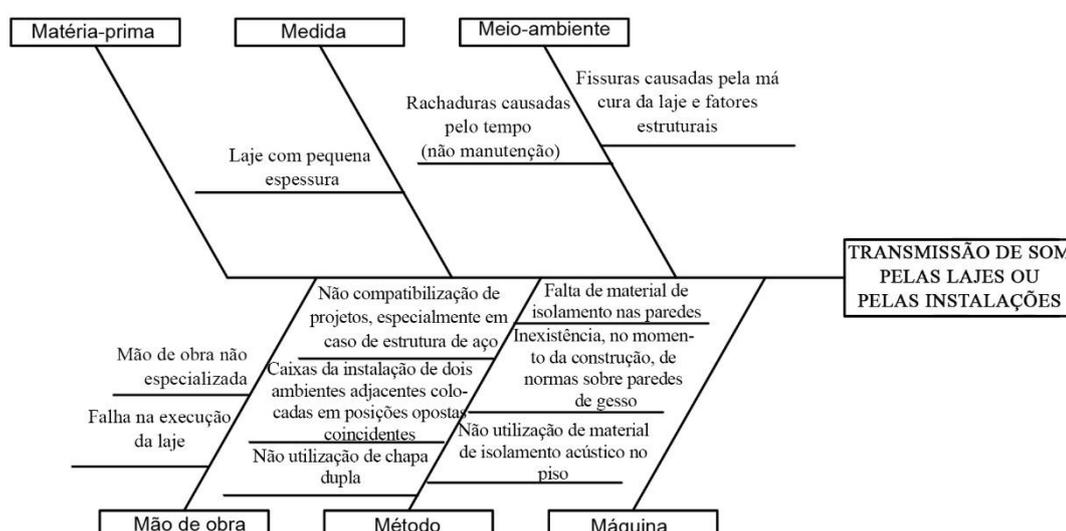
Quadro 6.5 - Relações de possíveis causas da patologia "Transmissão de som pelas paredes" (Conclusão)

| | |
|---------|---|
| | Quantidade insuficiente de massa para tratamento de juntas entre as placas de gesso |
| | Interface fissurada permitindo passagem de som |
| MÁQUINA | Não há parâmetros aplicáveis |

Fonte: A autora, 2019

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.4, são apresentadas possíveis causas que implicam em transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações verticais:

Figura 6.4 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações elétricas"



Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.6 - Relações de causas da patologia "Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações elétricas" (continua)

| | |
|---------------|--|
| MATÉRIA-PRIMA | Não há parâmetros aplicáveis |
| MEDIDA | Laje com pequena espessura |
| MEIO AMBIENTE | Fissuras causadas pela má cura da laje e fatores estruturais |
| | Rachaduras causadas pelo tempo (não manutenção) |
| MÃO DE OBRA | Mão de obra despreparada |
| | Falha na execução da laje |
| MÉTODO | Não compatibilização de projetos, especialmente em caso de estrutura de aço |
| | Caixas da instalação de dois ambientes adjacentes colocadas em posições opostas coincidentes |

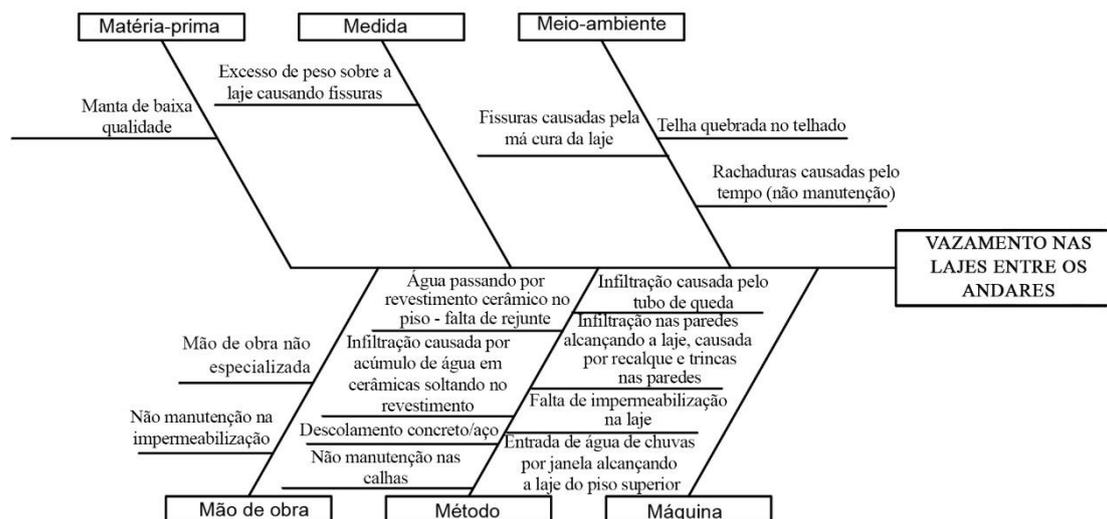
Quadro 6.6 - Relações de causas da patologia "Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações elétricas" (conclusão)

| | |
|----------------|--|
| | Falta de material de isolamento nas paredes |
| | Não utilização de material de isolamento acústico no piso |
| | Inexistência, no momento da construção, de normas sobre paredes de gesso |
| | Não utilização de chapa dupla |
| MÁQUINA | Não há parâmetros aplicáveis |

Fonte: A autora, 2019

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.5, são apresentadas causas que implicam em vazamento nas lajes entre andares.

Figura 6.5 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Vazamento nas lajes entre os andares"



Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.7 - Relações de causas da patologia "Vazamento nas lajes entre os andares" (continua)

| | |
|----------------------|--|
| MATÉRIA-PRIMA | Manta de baixa qualidade |
| MEDIDA | Excesso de peso sobre a laje causando fissuras |
| MEIO AMBIENTE | Fissuras causadas pela má cura da laje |
| | Telha quebrada no telhado |
| MÃO DE OBRA | Rachaduras causadas pelo tempo (não manutenção) |
| | Mão de obra despreparada |
| MÉTODO | Não manutenção na impermeabilização |
| | Infiltração causada pelo tubo de queda |
| | Água passando por revestimento cerâmico no piso - falta de rejunte |

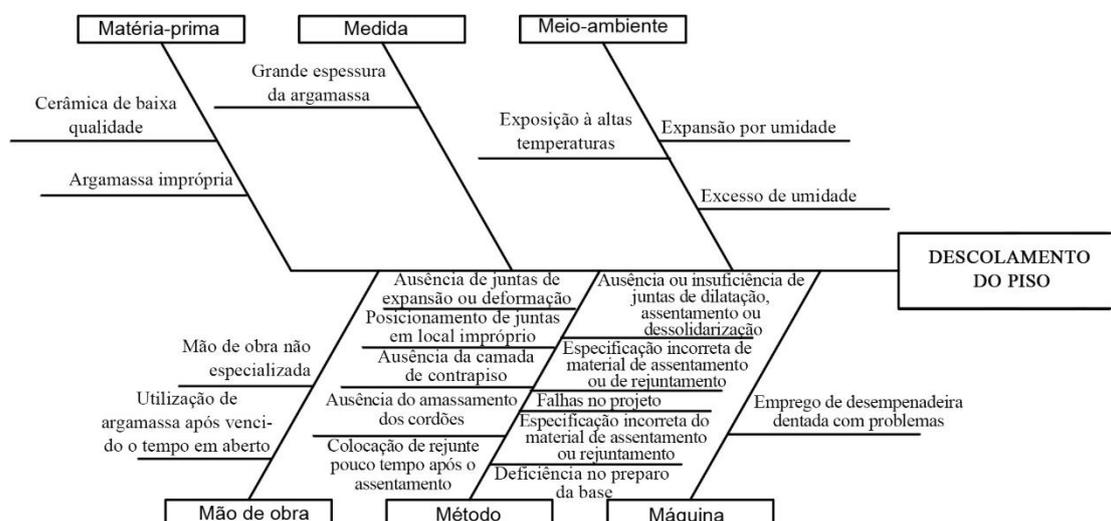
Quadro 6.7 - Relações de causas da patologia "Vazamento nas lajes entre os andares" (conclusão)

| | |
|----------------|--|
| | Infiltração causada pelo tubo de queda |
| | Água passando por revestimento cerâmico no piso - falta de rejunte |
| | Infiltração causada por acúmulo de água em cerâmicas soltando no revestimento externo |
| | Descolamento concreto/aço |
| | Infiltração nas paredes alcançando a laje, causada por recalque e fissuras nas paredes |
| | Falta de impermeabilização na laje |
| | Entrada de água de chuvas por janela alcançando a laje do piso superior |
| | Não manutenção nas calhas |
| MÁQUINA | Não há parâmetros aplicáveis |

Fonte: A autora, 2019

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.6, são apresentadas causas que implicam nesse descolamento.

Figura 6.6 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Descolamento do piso"



Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.8 - Relações de causas da patologia "Descolamento do piso" (continua)

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| MATÉRIA-PRIMA | Cerâmica de baixa qualidade |
| | Argamassa imprópria |
| MEDIDA | Grande espessura da argamassa |
| MEIO AMBIENTE | Exposição à altas temperaturas |
| | Expansão por umidade |

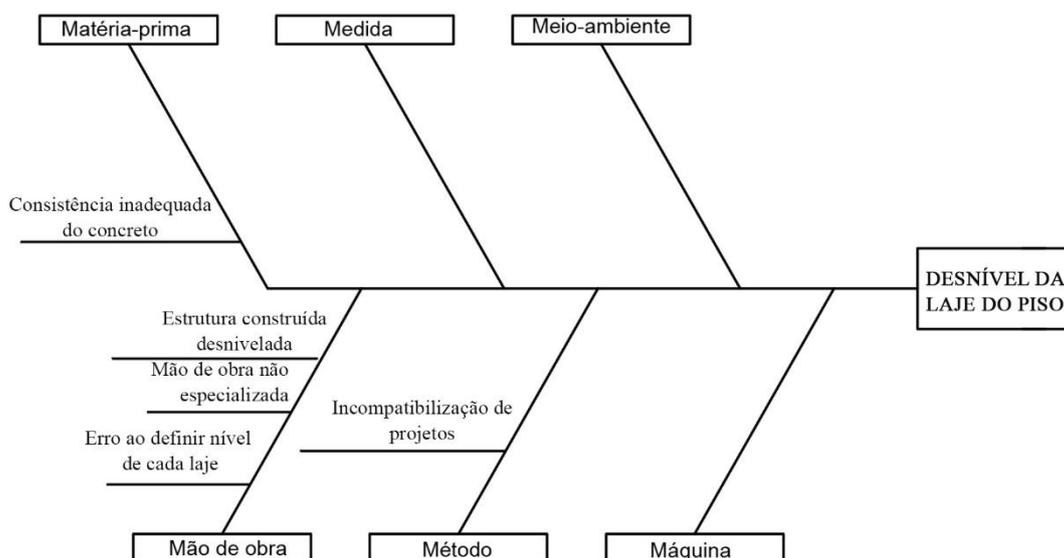
Quadro 6.8 - Relações de causas da patologia "Descolamento do piso" (conclusão)

| | |
|-------------|--|
| | Excesso de umidade |
| MÃO DE OBRA | Mão de obra despreparada |
| | Utilização de argamassa após vencido o tempo em aberto |
| MÉTODO | Ausência de juntas de expansão ou deformação |
| | Posicionamento de juntas em local impróprio |
| | Ausência ou insuficiência de juntas de dilatação, assentamento ou dessolidarização |
| | Falhas no projeto |
| | Especificação incorreta de material de assentamento ou de rejuntamento |
| | Ausência da camada de contrapiso |
| | Deficiência no preparo da base |
| | Ausência do amassamento dos cordões |
| | Colocação de rejunte pouco tempo após o assentamento |
| | MÁQUINA |

Fonte: A autora, 2019

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.7, são apresentadas causas que implicam em desnível da laje de piso.

Figura 6.7 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Desnível da laje do piso"



Fonte: A autora, 2019

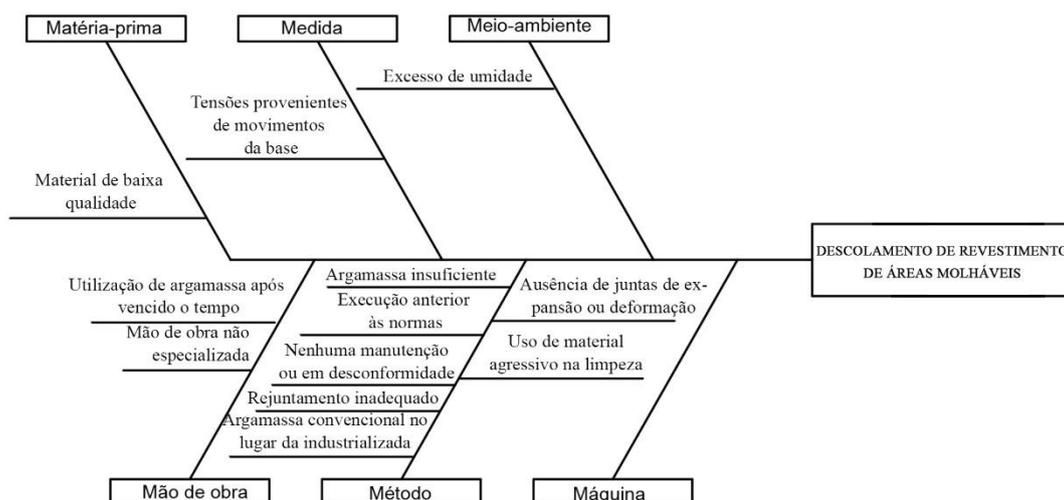
Quadro 6.9 - Relações de causas da patologia "Desnível da laje do piso"

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| MATÉRIA-PRIMA | Consistência inadequada do concreto |
| MEDIDA | Não há parâmetros aplicáveis |
| MEIO AMBIENTE | Não há parâmetros aplicáveis |
| MÃO DE OBRA | Mão de obra despreparada |
| | Erro ao definir nível de cada laje |
| | Estrutura construída desnivelada |
| MÉTODO | Incompatibilização de projetos |
| MÁQUINA | Não há parâmetros aplicáveis |

Fonte: A autora, 2019

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.8, são apresentadas causas que implicam em descolamento dos revestimentos das áreas molháveis.

Figura 6.8 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Descolamentos dos revestimentos em áreas molháveis"



Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.10 - Relações de causas da patologia "Descolamento de revestimento de áreas molháveis" (continua)

| | |
|---------------|---|
| MATÉRIA-PRIMA | Material de baixa qualidade |
| MEDIDA | Tensões provenientes de movimentos da base |
| MEIO AMBIENTE | Excesso de umidade |
| MÃO DE OBRA | Utilização de argamassa após vencido o tempo em aberto |
| | Mão de obra despreparada |
| MÉTODO | Argamassa insuficiente |
| | Execução anterior às normas |
| | Nenhuma manutenção ou em desconformidade com o manual do proprietário |

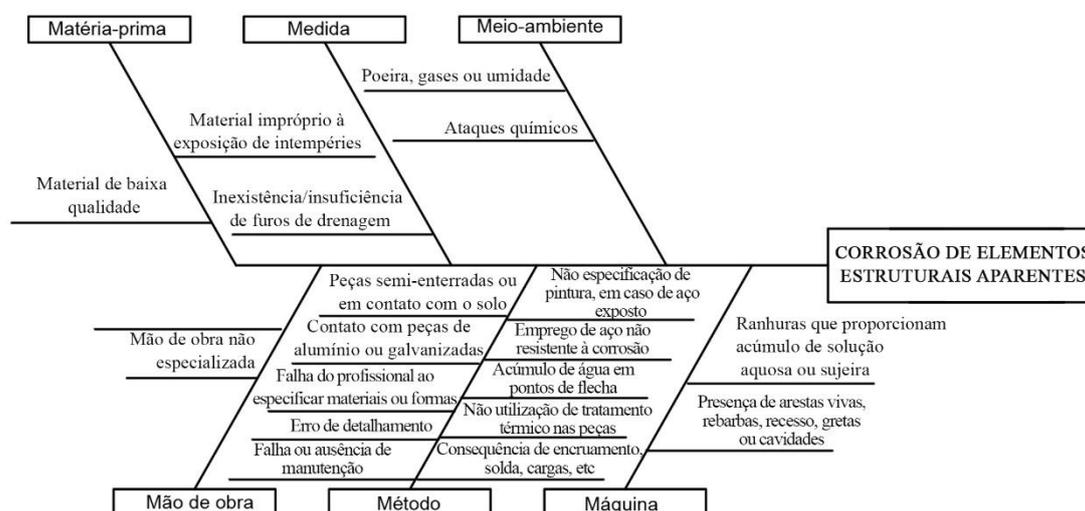
Quadro 6.10 - Relações de causas da patologia " Descolamento de revestimento de áreas molháveis" (continua)

| | |
|---------|--|
| | Rejuntamento inadequado |
| | Argamassa convencional no lugar da industrializada |
| | Ausência de juntas de expansão ou deformação |
| | Uso de material agressivo na limpeza |
| MÁQUINA | Não há parâmetros aplicáveis |

Fonte: A autora, 2019

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.9, são apresentadas causas que implicam em corrosão de elementos aparentes.

Figura 6.9 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Corrosão de elementos estruturais aparentes"



Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.11 - Relações de causas da patologia "Corrosão de elementos estruturais aparentes" (continua)

| | |
|---------------|--|
| MATÉRIA-PRIMA | Material de baixa qualidade |
| | Material impróprio à exposição de intempéries |
| MEDIDA | Inexistência/insuficiência de furos de drenagem |
| MEIO AMBIENTE | Poeira, gases ou umidade |
| | Ataques químicos |
| MÃO DE OBRA | Mão de obra não especializada |
| MÉTODO | Peças semi-enterradas ou em contato com o solo |
| | Contato com peças de alumínio ou galvanizadas |
| | Falha do profissional ao especificar materiais ou formas |
| | Erro de detalhamento |
| | Falha ou ausência de manutenção |
| | Não especificação de pintura, em caso de aço exposto |
| | Emprego de aço não resistente à corrosão |

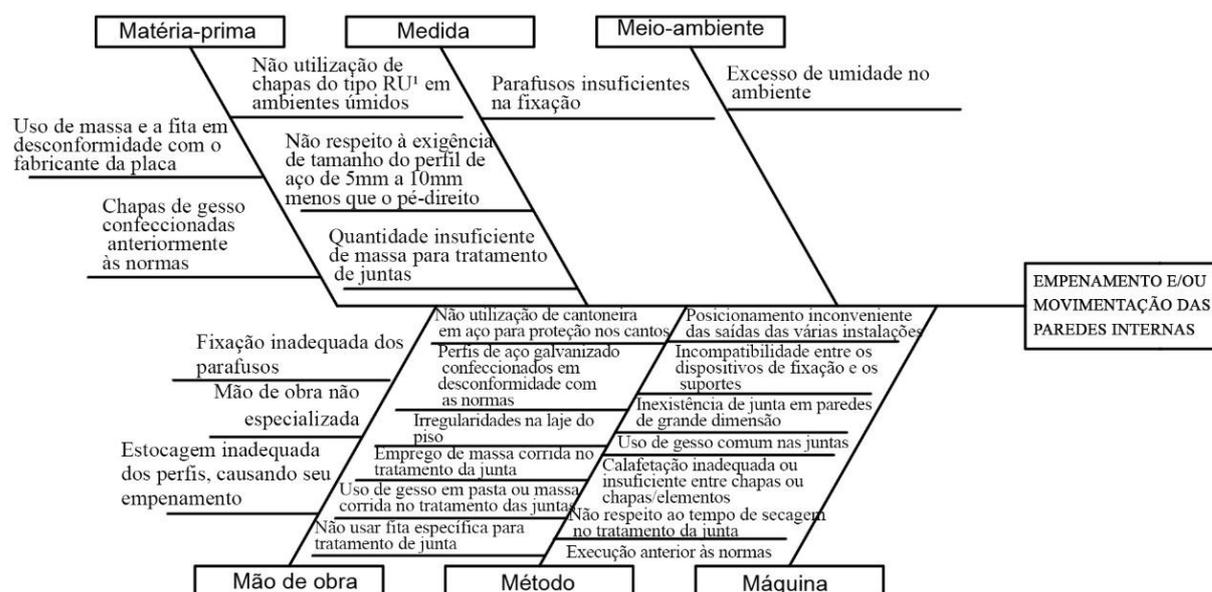
Quadro 6.11 - Relações de causas da patologia "Corrosão de elementos estruturais aparentes" (conclusão)

| | |
|---------|---|
| | Acúmulo de água em pontos de flecha |
| | Não utilização de tratamento térmico nas peças |
| | Consequência de encruamento, solda, cargas. |
| MÁQUINA | Presença de arestas vivas, rebarbas, recesso, gretas ou cavidades |
| | Ranhuradas que proporcionam acúmulo de solução aquosa ou sujeira |

Fonte: A autora, 2019

No Diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 6.10, são apresentadas causas que implicam em empenamento e/ou movimentação das paredes internas.

Figura 6.10 - Diagrama de Ishikawa para análise de causas da patologia "Empenamento e/ou movimentação das paredes internas"



Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.12 - Relações de causas da patologia "Empenamento e/ou movimentação das paredes internas" (continua)

| | |
|---------------|---|
| MATÉRIA-PRIMA | Chapas de gesso confeccionadas anteriormente às normas |
| | Uso de massa e a fita em desconformidade com o fabricante da placa |
| | Não utilização de chapas do tipo RU ¹ em ambientes úmidos |
| MEDIDA | Não respeito à exigência de tamanho do perfil de aço de 5mm a 10mm menos que o pé-direito |
| | Quantidade insuficiente de massa para tratamento de juntas |
| | Parafusos insuficientes na fixação |

Quadro 6.12 - Relações de causas da patologia "Empenamento e/ou movimentação das paredes internas" (conclusão)

| | |
|---------------|---|
| MEIO AMBIENTE | Excesso de umidade no ambiente |
| MÃO DE OBRA | Mão de obra desqualificada |
| | Estocagem inadequada dos perfis, causando seu empenamento |
| MÉTODO | Fixação inadequada dos parafusos |
| | Não utilização de cantoneira em aço para proteção nos cantos |
| | Perfis de aço galvanizado confeccionados em desconformidade com as normas |
| | Irregularidades na laje do piso. |
| | Execução anterior às normas |
| MÃO DE OBRA | Uso de gesso em pasta ou massa corrida no tratamento das juntas |
| | Mão de obra desqualificada |
| | Estocagem inadequada dos perfis, causando seu empenamento |
| MÉTODO | Fixação inadequada dos parafusos |
| | Não utilização de cantoneira em aço para proteção nos cantos |
| | Perfis de aço galvanizado confeccionados em desconformidade com as normas |
| | Irregularidades na laje do piso. |
| | Execução anterior às normas |
| MÉTODO | Uso de gesso em pasta ou massa corrida no tratamento das juntas |

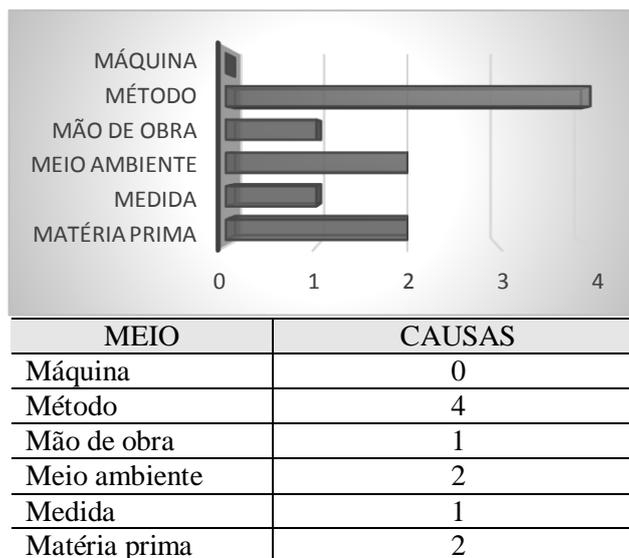
Fonte: A autora, 2019

6.3 Avaliação do potencial de causas

A patologia “Infiltração” está relacionada com quatro causas ligadas ao método, duas causas ligadas a matéria-prima e meio ambiente e uma causa ligada a mão de obra e a medida. O item máquina não apresenta nenhuma causa relacionada à patologia.

Apresentam-se na Figura 6.11 os números de causas relacionadas à patologia “Infiltração”

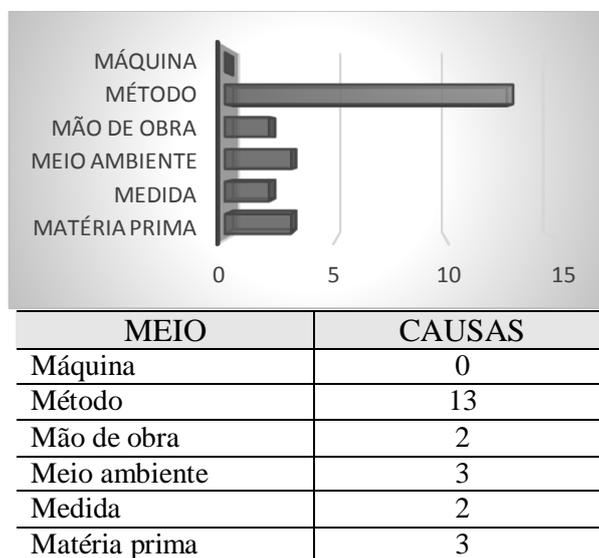
Figura 6.11 – Número de causas relacionadas à patologia “Infiltração”



Fonte: A autora, 2019

A patologia “Trincas” apresenta duas causas ligadas à medida e a mão de obra, treze causas ligadas ao método, três causas relacionadas à matéria-prima e ao meio ambiente e nenhuma causa relacionada a máquina. Apresentam-se na Figura 6.12 os números de causas relacionadas à patologia “Trincas”

Figura 6.12 – Número de causas relacionadas à patologia “Trincas”



Fonte: A autora, 2019

A patologia “Transmissão de som pelas paredes” tem cinco causas relacionadas ao método, uma causa relacionada a mão de obra e a matéria prima e nenhuma causa relacionada à medida, meio-ambiente e máquina. Apresentam-se na Figura 6.13 os números de causas relacionadas à patologia “Transmissão de som pelas paredes”.

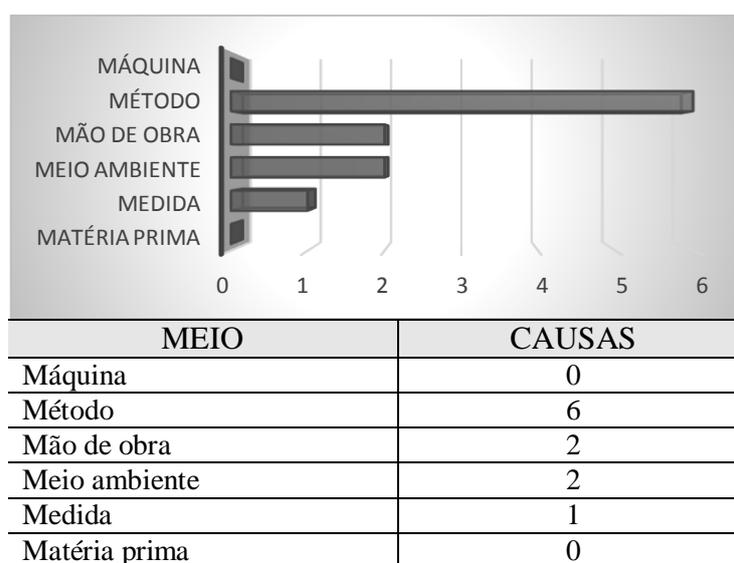
Figura 6.13 – Número de causas relacionadas à patologia “Transmissão de som pelas paredes”



Fonte: A autora, 2019

A patologia “Transmissão de som pelas lajes ou instalações verticais” não apresenta nenhuma causa relacionada à matéria-prima ou máquina. Há uma causa relacionada à medida, duas causas relacionadas a meio ambiente e mão de obra e seis causas relacionadas à método. Apresentam-se na Figura 6.14 os números de causas relacionadas à patologia “Transmissão de som pelas lajes ou instalações verticais”.

Figura 6.14 – Número de causas relacionadas à patologia “Transmissão de som pelas lajes ou instalações verticais”

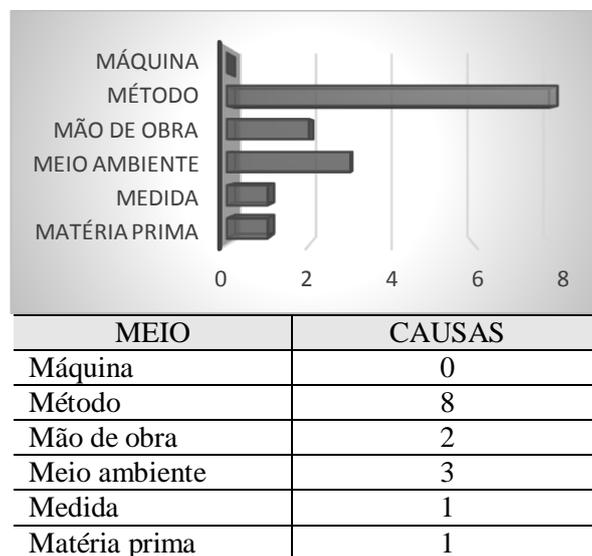


Fonte: A autora, 2019

A patologia “Vazamento entre lajes” tem oito causas ligadas ao método, três ao meio ambiente, duas causas relacionadas à mão de obra, uma causa devido à matéria-prima e

à medida e nenhuma causa pertinente à máquina. Apresentam-se na Figura 6.15 os números de causas relacionadas à patologia “Vazamento entre lajes”.

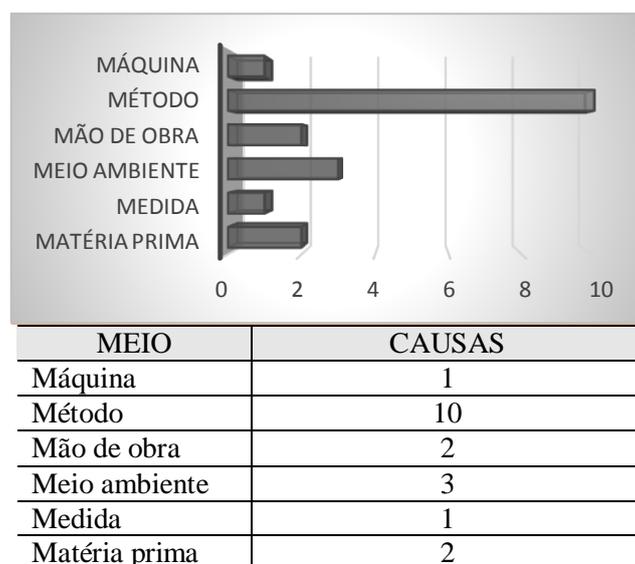
Figura 6.15 – Número de causas relacionadas à patologia “Vazamento entre lajes”



Fonte: A autora, 2019

Em relação à patologia “Descolamento de pisos”, foram relacionadas uma causa à máquina e medida, dez causas relacionadas ao método, duas causas relativas à mão de obra e matéria prima e três ao meio ambiente. Apresentam-se na Figura 6.16 os números de causas relacionadas à patologia “Descolamento de pisos”.

Figura 6.16 – Número de causas relacionadas à patologia “Descolamento de pisos”

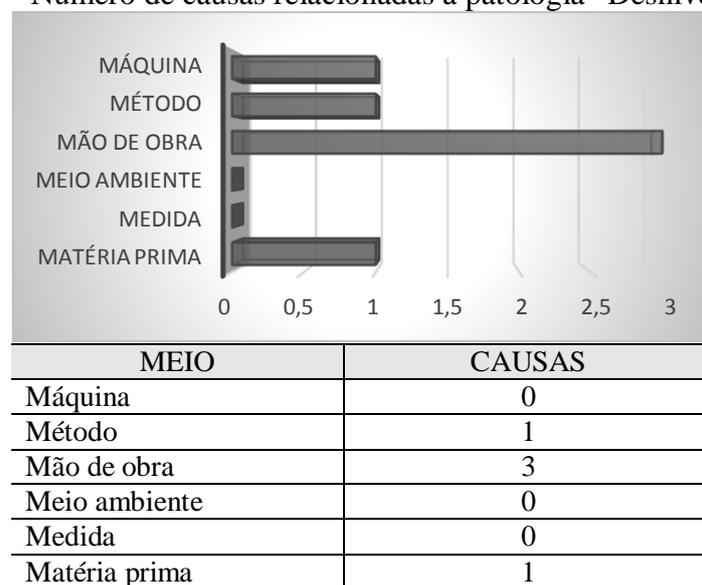


Fonte: A autora, 2019

Na patologia “Desnível entre lajes” foram relacionadas três causas referentes à mão de obra, e apenas uma causa a cada um dos itens: matéria prima e método. Os itens

máquina, meio ambiente e medida não apresentam nenhuma causa. Apresentam-se na Figura 6.17 os números de causas relacionadas à patologia “Desnível entre lajes”.

Figura 6.17 – Número de causas relacionadas à patologia “Desnível entre lajes”



Fonte: A autora, 2019

A patologia “descolamento de cerâmica em áreas molháveis” não tem qualquer relação com máquinas. Com matéria-prima, meio ambiente e medida foi analisado uma causa referente a cada desses itens, enquanto duas causas foram relacionadas à mão de obra. O item método foi relacionado a sete causas possíveis. Apresentam-se na Figura 6.18 os números de causas relacionadas à patologia “Descolamento de cerâmica em áreas molháveis”.

Figura 6.18 – Número de causas relacionadas à patologia “Descolamento de cerâmica em áreas molháveis”

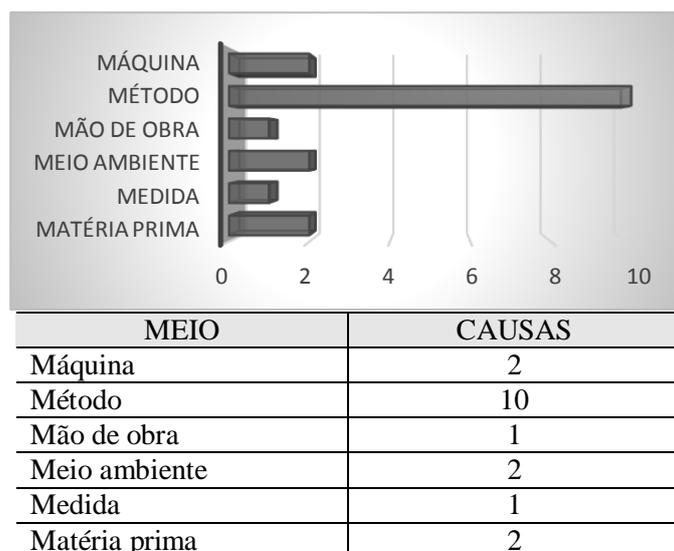


Fonte: A autora, 2019

Sobre a patologia “Corrosão”, foram analisadas uma possível causa relacionada a medida e mão de obra, dez causas relacionadas à método, enquanto matéria-prima, meio ambiente e máquina apresentam duas causas cada.

Apresentam-se na Figura 6.19 os números de causas relacionadas à patologia “Corrosão”.

Figura 6.19 – Número de causas relacionadas à patologia “Corrosão”

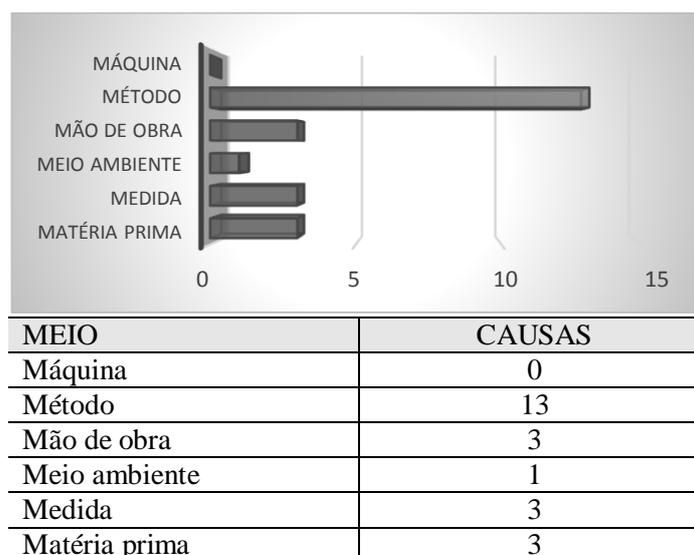


Fonte: A autora, 2019

Em relação à patologia “Empenamento e/ou movimentação das paredes internas”, foram analisadas 23 possíveis causas para essa patologia. Foram observadas três causas referentes aos itens matéria-prima, medida e mão de obra. Com relação ao item meio-ambiente foi observada uma única causa, enquanto o item máquina não tem nenhuma causa relacionada. O item método apresenta treze possíveis causas.

Apresentam-se na Figura 6.20 os números de causas relacionadas à patologia “Empenamento e/ou movimentação das paredes internas”.

Figura 6.20 – Número de causas relacionadas à patologia “Empenamento e/ou movimentação das paredes internas”.

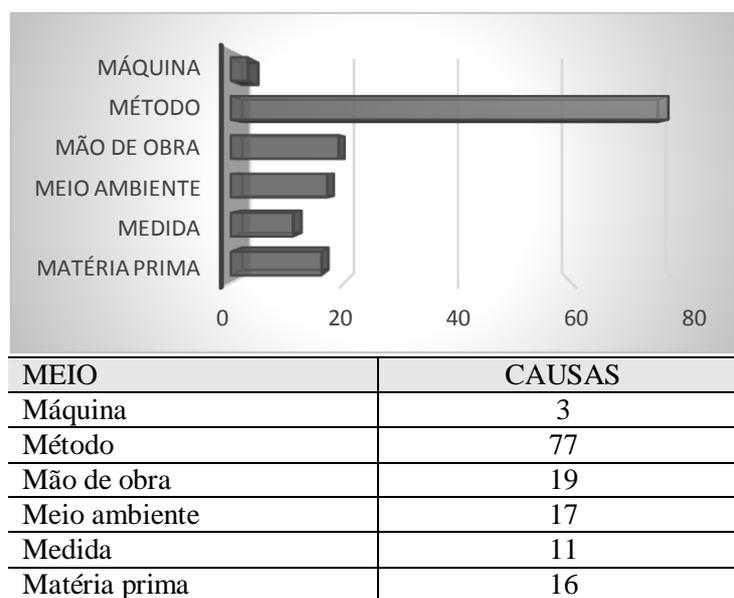


Fonte: A autora, 2019

6.3.1 Levantamento total

Foram analisadas 143 causas possíveis para as dez patologias apresentadas na pesquisa de Bastos (2004). Dentre os 6M pesquisados, 77 causas são relacionadas ao Método, 19 ao item Mão de obra, 17 ao Meio Ambiente, 16 à Matéria-Prima, 11 à Medida e 3 à Máquina. Na Figura 6.21 mostra-se a representatividade total de cada uma das causas 6M em relação às patologias estudadas.

Figura 6.21 – Número total de cada uma das causas 6M em relação às patologias estudadas

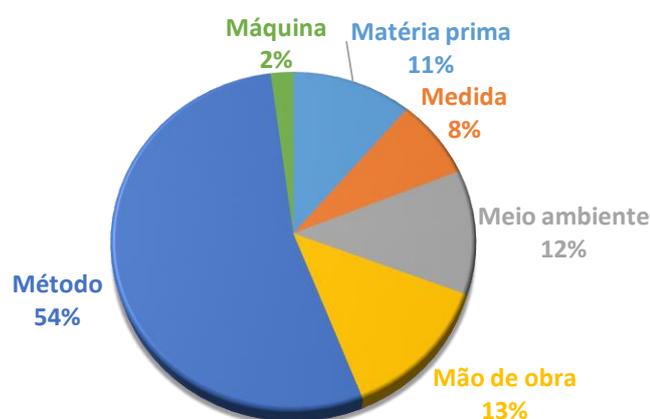


Fonte: A autora, 2019

Constata-se, portanto, que a maneira de construir ou as resoluções constantes em projeto são responsáveis pela maioria absoluta das patologias, representando 54% das possíveis causas de patologias nos edifícios pesquisados. O método pode significar determinações de projeto (ou a falta delas) e a prática executiva no canteiro de obras. Algumas técnicas construtivas podem apresentar-se como insuficientes na prevenção de patologia e só apresentarão consequências no futuro. Outras vezes, alguns métodos construtivos podem ter sido ignorados, por desleixo ou economia. Como dito por McKaig (1962), a presença de patologias se explica por ganância, desconhecimento ou descuido.

Em segundo lugar, mas com uma representação bem menor, 13%, a mão de obra é apontada como possível contribuinte de patologias, sendo seguida de fatores ambientais e matéria-prima. A medida representa apenas 8% das causas de patologia, enquanto a máquina tem uma representação insignificante, com apenas 2% das causas de patologia (Gráfico 6.1). No Gráfico 6.1 representa-se o percentual de causas relacionadas a cada um dos 6M:

Gráfico 6.1 - Percentual de causas 6M



Fonte: A autora, 2019

6.4 Avaliação da interferência da estrutura em aço com a patologia indicada

As patologias definidas na pesquisa de Bastos (2004) não estão todas, necessariamente, correlacionadas ao fato dos edifícios serem estruturados em aço. Algumas dessas patologias podem ocorrer em qualquer edificação, independente do material de sua estrutura. Outras patologias ocorrem apenas em edifícios cuja estrutura seja de aço.

As lajes em *Steel Deck* e paredes de gesso acartonado foram escolhas que compuseram um sistema industrializado que tinha como foco a opção pela estrutura em aço. Entretanto, as patologias apresentadas nesses dois elementos não se resumem ao fato de serem edificações estruturadas em aço. O concreto, presente na laje *Steel Deck*, permanece como causador de toda patologia. As paredes em gesso acartonado são inerentes ao material da estrutura do edifício, assim como sub-sistemas que advém desse fechamento, como instalações elétricas, revestimentos horizontais e verticais.

No Quadro 6.13 é feita uma verificação entre as patologias que só acontecem pelo fato de uma edificação ser estruturada em aço e as patologias que poderiam acontecer em qualquer edificação.

Quadro 6.13 – Relação da patologia especificamente com a estrutura em aço
(continua)

| Patologia | Possíveis causas | Relação com estrutura em aço | |
|---|---|------------------------------|-----|
| | | Sim | Não |
| Empenamento e/ou movimentação das paredes internas | Uso de massa e a fita em desconformidade com o fabricante da placa | | x |
| | Não utilização de chapas do tipo RU em ambientes úmidos | | x |
| | Não respeito à exigência de tamanho do perfil de aço de 5mm a 10mm menos que o pé-direito | | x |
| | Quantidade insuficiente de massa para tratamento de juntas | | x |
| | Parafusos insuficientes na fixação | | x |
| | Excesso de umidade no ambiente | | x |
| | Mão de obra desqualificada | | x |
| | Estocagem inadequada dos perfis, causando seu empenamento | | x |
| | Fixação inadequada dos parafusos | | x |
| | Não utilização de cantoneira em aço para proteção nos cantos | | x |
| | Perfis de aço galvanizado confeccionados em desconformidade com às normas | | x |
| | Irregularidades na laje do piso | | x |
| | Execução anterior às normas | | x |
| | Uso de gesso em pasta ou massa corrida no tratamento das juntas | | x |
| Não uso de fita específica para tratamento de junta | | x | |

Quadro 6.13 – Relação da patologia especificamente com a estrutura em aço
(continua)

| Patologia | Possíveis causas | Relação com estrutura em aço | |
|---|---|------------------------------|-----|
| | | Sim | Não |
| | Posicionamento inconveniente das saídas das várias instalações | | x |
| | Incompatibilidade entre os dispositivos de fixação e os suportes | | x |
| | Inexistência de junta em paredes de grandes dimensões | | x |
| | Uso de gesso comum nas juntas | | x |
| Corrosão de elementos estruturais aparentes | Material de baixa qualidade | | x |
| | Material impróprio à exposição de intempéries | x | |
| | Inexistência/insuficiência de furos de drenagem | x | |
| | Poeira, gases ou umidade | x | |
| | Ataques químicos | x | |
| | Mão de obra não especializada | | x |
| | Peças semi-enterradas ou em contato com o solo | x | |
| | Contato com peças de alumínio ou galvanizadas | x | |
| | Falha do profissional ao especificar materiais ou formas | | x |
| | Erro de detalhamento | x | |
| | Falha ou ausência de manutenção | | x |
| | Não especificação de pintura, em caso de aço exposto | x | |
| | Emprego de aço não resistente à corrosão | x | |
| | Acúmulo de água em pontos de flecha | x | |
| | Não utilização de tratamento térmico nas peças | x | |
| Consequência de encruamento, solda, cargas, etc | x | | |
| Presença de arestas vivas, rebarbas, recesso, gretas ou cavidades | x | | |
| Ranhuras que proporcionam acúmulo de solução aquosa ou sujeira | x | | |
| Descolamento de revestimento de áreas molháveis | Material de baixa qualidade | | x |
| | Tensões provenientes de movimentos da base | | x |
| | Excesso de umidade | | x |
| | Utilização de argamassa após vencido o tempo em aberto | | |
| | Mão de obra despreparada | | x |
| | Argamassa insuficiente | | x |
| | Execução anterior às normas | | x |
| | Nenhuma manutenção ou em desconformidade com o manual do proprietário | | x |
| | Rejuntamento inadequado | | x |
| | Argamassa convencional no lugar da industrializada | | x |
| | Ausência de juntas de expansão ou deformação | | x |
| Uso de material agressivo na limpeza | | x | |
| Desníveis da laje do piso | Consistência inadequada do concreto | | x |
| | Mão de obra despreparada | | x |
| | Erro ao definir nível de cada laje | | x |

Quadro 6.13 – Relação da patologia especificamente com a estrutura em aço
(continua)

| Patologia | Possíveis causas | Relação com estrutura em aço | |
|---|--|------------------------------|-----|
| | | Sim | Não |
| | Estrutura construída desnivelada | | x |
| | Incompatibilização de projetos | | x |
| Descolamento do piso | Cerâmica de baixa qualidade | | x |
| | Argamassa imprópria | | x |
| | Grande espessura da argamassa | | x |
| | Exposição a altas temperaturas | | x |
| | Expansão por umidade | | x |
| | Excesso de umidade | | x |
| | Mão de obra despreparada | | x |
| | Utilização de argamassa após vencido o tempo em aberto | | x |
| | Ausência de juntas de expansão ou deformação | | x |
| | Posicionamento de juntas em local impróprio | | x |
| | Ausência ou insuficiência de juntas de dilatação, assentamento ou dessolidarização | | x |
| | Falhas no projeto | | x |
| | Especificação incorreta de material de assentamento ou de rejuntamento | | x |
| | Especificação incorreta do material de assentamento ou rejuntamento | | x |
| | Ausência da camada de contrapiso | | x |
| | Deficiência no preparo da base | | x |
| | Ausência do amassamento dos cordões | | x |
| | Colocação de rejunte pouco tempo após o assentamento | | x |
| | Emprego de desempenadeira dentada com problemas | | x |
| | Vazamento de lajes entre os andares | Manta de baixa qualidade | |
| Excesso de peso sobre a laje causando fissuras | | | x |
| Fissuras causadas pela má cura da laje | | | x |
| Telha quebrada no telhado | | | x |
| Rachaduras causadas pelo tempo (não manutenção) | | | x |
| Mão de obra despreparada | | | x |
| Não manutenção na impermeabilização | | | x |
| Infiltração causada pelo tubo de queda | | | x |
| Água passando por revestimento cerâmico no piso - falta de rejunte | | | x |
| Infiltração causada por acúmulo de água em cerâmicas soltando no revestimento externo | | | x |
| Descolamento concreto/aço | | x | |
| Infiltração nas paredes alcançando a laje, causada por recalque e trincas nas paredes | | | x |
| Falta de impermeabilização na laje | | | x |
| Entrada de água de chuvas por janela alcançando a laje do piso superior | | | x |

Quadro 6.13 – Relação da patologia especificamente com a estrutura em aço
(continua)

| Patologia | Possíveis causas | Relação com estrutura em aço | |
|--|--|------------------------------|-----|
| | | Sim | Não |
| | Não manutenção nas calhas | | x |
| Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações elétricas | Laje com pequena espessura | | x |
| | Fissuras causadas pela má cura da laje e fatores estruturais | | x |
| | Rachaduras causadas pelo tempo (não manutenção) | | x |
| | Mão de obra despreparada | | x |
| | Falha na execução da laje | | x |
| | Não compatibilização de projetos, especialmente em caso de estrutura de aço | x | |
| | Caixas da instalação de dois ambientes adjacentes colocadas em posições opostas coincidentes | | x |
| | Falta de material de isolamento nas paredes | | x |
| | Não utilização de material de isolamento acústico no piso | | x |
| | Inexistência, no momento da construção, de normas sobre paredes de gesso | | x |
| | Não utilização de placa dupla | | x |
| Transmissão de som pelas paredes | Defeito no produto em qualidade e geometria | | x |
| | Mão de obra despreparada | | x |
| | Não utilização de placa dupla | | x |
| | Inexistência, no momento, de normas sobre paredes de gesso | | x |
| | Falta de material de isolamento nas paredes | | x |
| | Quantidade insuficiente de massa para tratamento de juntas entre as placas de gesso | | x |
| | Interface fissurada permitindo passagem de som | | x |
| Trincas | Material de baixa qualidade | | x |
| | Presença de argilo-minerais expansivos no agregado | | x |
| | Retração de argamassa | | x |
| | Juntas horizontais com largura insuficiente entre os elementos da alvenaria | | x |
| | Atuação de sobrecargas localizadas | | x |
| | Variações de temperatura e umidade | | x |
| | Trinca em alvenaria por dilatação da laje pelo calor do sol (último andar) | | x |
| | Ataques químicos | | x |
| | Mão de obra despreparada | | x |
| | Falha na execução | | x |
| | Esmagamento de elementos de construção | x | |
| | Estocagem incorreta de materiais durante a obra | | x |
| | Cura deficiente do concreto | | x |
| | Flecha na viga causando esmagamento da alvenaria | x | |
| Alvenaria ligada à estrutura, funcionando juntas mas com dilatações diferentes | x | | |

Quadro 6.13 – Relação da patologia especificamente com a estrutura em aço (conclusão)

| Patologia | Possíveis causas | Relação com estrutura em aço | |
|-------------|--|------------------------------|-----|
| | | Sim | Não |
| | Recalques estruturais | | x |
| | Encontro alvenaria/pilar: percolação de água | | x |
| | Assentamentos diferenciais da fundação | | x |
| | Ausência de juntas de dilatação | | x |
| | Chapisco mal curado | | x |
| | Ausência/ineficiência de verga | | x |
| | Falha no cálculo | | x |
| | Não colocação de malha junto aos vãos de portas e janelas, em caso de painel EPS | | x |
| Infiltração | Uso de manta asfáltica de baixa qualidade | | x |
| | Material impróprio a intempéries | | x |
| | Manta asfáltica com espessura inadequada | | x |
| | Não impermeabilização dos elementos em contato com o solo | | x |
| | Não impermeabilização de lajes | | x |
| | Mão de obra não especializada | | x |
| | Entrada de água pela esquadria mal instalada | | x |
| | Falta de rufos e pingadeiras | | x |
| | Interface com alvenaria definida de forma deficiente em projeto, em caso de estrutura em aço | x | |
| | Falha do profissional ao especificar material | x | |

Fonte: A autora, 2019

Após a análise, tem-se, então, uma relação das patologias que são pertinentes a uma edificação estruturada em aço. No Quadro 6.14 apresentam-se essas patologias.

Quadro 6.14 - Relação de patologias ligadas à construção estruturada em aço (continua)

| PATOLOGIA | CAUSA |
|---|---|
| Vazamento de lajes entre os andares | Descolamento concreto/aço |
| Transmissão de som pela laje ou pelas instalações elétricas | Não compatibilização de projetos |
| Trincas | Esmagamento de elementos de construção |
| | Flecha na viga causando esmagamento da alvenaria |
| | Alvenaria ligada à estrutura. Funcionando juntas, mas com dilatações diferentes |
| Infiltrações | Interface com alvenaria definida de forma deficiente em projeto |
| | Falha do profissional ao especificar o material |

Quadro 6.14 - Relação de patologias ligadas à construção estruturada em aço (conclusão)

| PATOLOGIA | CAUSA |
|---|---|
| Corrosão de elementos estruturais aparentes | Material impróprio à exposição de intempéries |
| | Inexistência/insuficiência de furos de drenagem |
| | Poeira, gases ou umidade |
| | Ataques químicos |
| | Peças semi-enterradas ou em contato com o solo |
| | Contato com peças de alumínio ou galvanizadas |
| | Erro de detalhamento |
| | Não especificação de pintura, em caso de aço exposto |
| | Emprego de aço não resistente à corrosão |
| | Acúmulo de água em pontos de flecha |
| | Não utilização de tratamento térmico nas peças |
| | Consequência de encruamento, solda, cargas, etc |
| | Presença de arestas vivas, rebarbas, recesso, gretas ou cavidades |
| | Ranhuradas que proporcionam acúmulo de solução aquosa ou sujeira |

Fonte: A autora, 2019

No Quadro 6.15 apresentam-se as patologias relacionadas ao fato de ser um edifício estruturado em aço, a quantidade de causas e a resultado percentual desses valores.

Quadro 6.15 - Surgimento de patologias em edificações estruturas em aço (percentual)

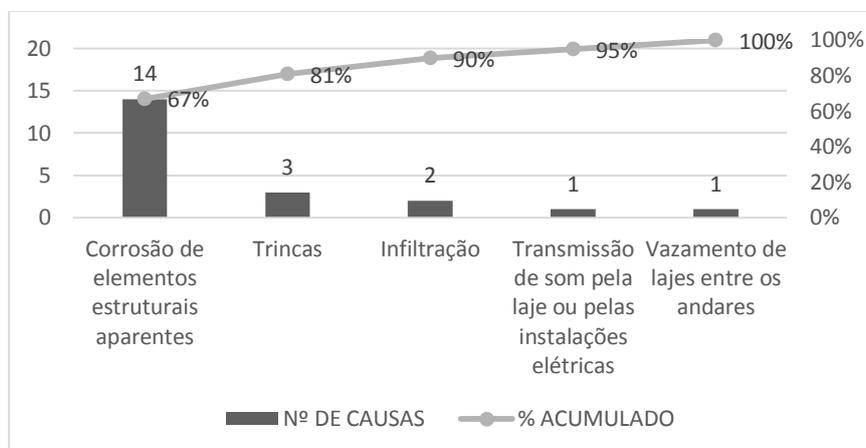
| PATOLOGIA | QUANTIDADE DE CAUSAS | RESULTADO EM % |
|---|----------------------|----------------|
| Vazamento de lajes entre os andares | 1 | 5% |
| Transmissão de som pela laje ou pelas instalações elétricas | 1 | 5% |
| Trincas ou fissuras | 3 | 14% |
| Infiltrações | 2 | 9% |
| Corrosão de elementos estruturais aparentes | 14 | 67% |

Fonte: A autora, 2019

No Gráfico 6.2 está representado o percentual de causas para cada patologia referente à uma edificação estruturada em aço. A corrosão de elementos aparentes tem 14 causas, representando 67% das possibilidades de eventos causadores dessa patologia em

edifícios estruturados em aço. No Gráfico 6.2 mostra-se a relação percentual de causas e patologias.

Gráfico 6.2 - Percentual de causas e patologias



Fonte: A autora, 2019

Todas as patologias apresentadas por Bastos (2004) foram analisadas na Matriz GUT, baseando-se na revisão bibliográfica, por meio da qual é possível identificar o quão prejudicial e potencialmente perigosa é cada patologia. Nos Quadros 6.16 a 6.25 mostra-se a análise GUT para cada patologia.

Quadro 6.16 - Matriz GUT para a patologia “Empenamento e/ou movimentação das paredes internas”

| Descrição | | Empenamento e/ou movimentação das paredes internas | | |
|--------------------|------|---|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 1 | 1 | 1 |
| TOTAL | | 3 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.17 - Matriz GUT para a patologia “Corrosão de elementos estruturais aparentes”

| Descrição | | Corrosão de elementos estruturais aparentes | | |
|--------------------|------|---|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 10 | 10 | 10 |
| TOTAL | | 30 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.18 - Matriz GUT para a patologia “Descolamento dos revestimentos das áreas molháveis”

| Descrição | | Descolamento dos revestimentos das áreas molháveis | | |
|--------------------|------|---|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 3 | 6 | 6 |
| TOTAL | | 15 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.19 - Matriz GUT para a patologia “Desnível da laje de piso”

| Descrição | | Desnível da laje de piso | | |
|--------------------|------|--|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave. | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada. | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais. | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais. | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 3 | 1 | 1 |
| TOTAL | | 5 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.20 - Matriz GUT para a patologia “Descolamento do piso”

| Descrição | | Descolamento do piso | | |
|--------------------|------|--|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave. | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada. | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais. | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais. | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 1 | 6 | 6 |
| TOTAL | | 13 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.21 - Matriz GUT para a patologia “Vazamento nas lajes entre os andares”

| Descrição | | Vazamento nas lajes entre os andares | | |
|--------------------|------|--|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave. | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada. | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais. | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais. | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 6 | 3 | 3 |
| TOTAL | | 12 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.22 - Matriz GUT para a patologia “Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações verticais”

| Descrição | | Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações verticais | | |
|--------------------|------|--|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave. | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada. | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais. | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais. | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 1 | 1 | 1 |
| TOTAL | | 3 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.23 - Matriz GUT para a patologia “Transmissão de som pelas paredes”

| Descrição | | Transmissão de som pelas paredes | | |
|--------------------|------|--|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave. | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada. | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais. | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais. | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 1 | 1 | 1 |
| TOTAL | | 3 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.24 - Matriz GUT para a patologia “Trincas ou fissuras”

| Descrição | | Trincas | | |
|--------------------|------|--|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave. | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada. | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais. | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais. | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 8 | 8 | 10 |
| TOTAL | | 28 | | |

Fonte: A autora, 2019

Quadro 6.25 - Matriz GUT para a patologia “Infiltrações”

| Descrição | | Infiltrações | | |
|--------------------|------|--|-------------------------|--------------------------|
| GRAU | NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA |
| Máximo | 10 | Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave. | Evolução imediata | Em ocorrência |
| Alto | 8 | Risco de ferimentos aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada. | Evolução no curto prazo | A ocorrer |
| Médio | 6 | Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais. | Evolução no médio prazo | Prognóstico para breve |
| Baixo | 3 | Incômodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais. | Evolução no longo prazo | Prognóstico para adiante |
| Mínimo | 1 | Depreciação imobiliária | Não evoluirá | Imprevisto |
| Nota em GUT | | 6 | 10 | 10 |
| TOTAL | | 26 | | |

Fonte: A autora, 2019

No Quadro 6.26 são apresentadas as notas obtidas para cada patologias por meio da análise da Matriz GUT.

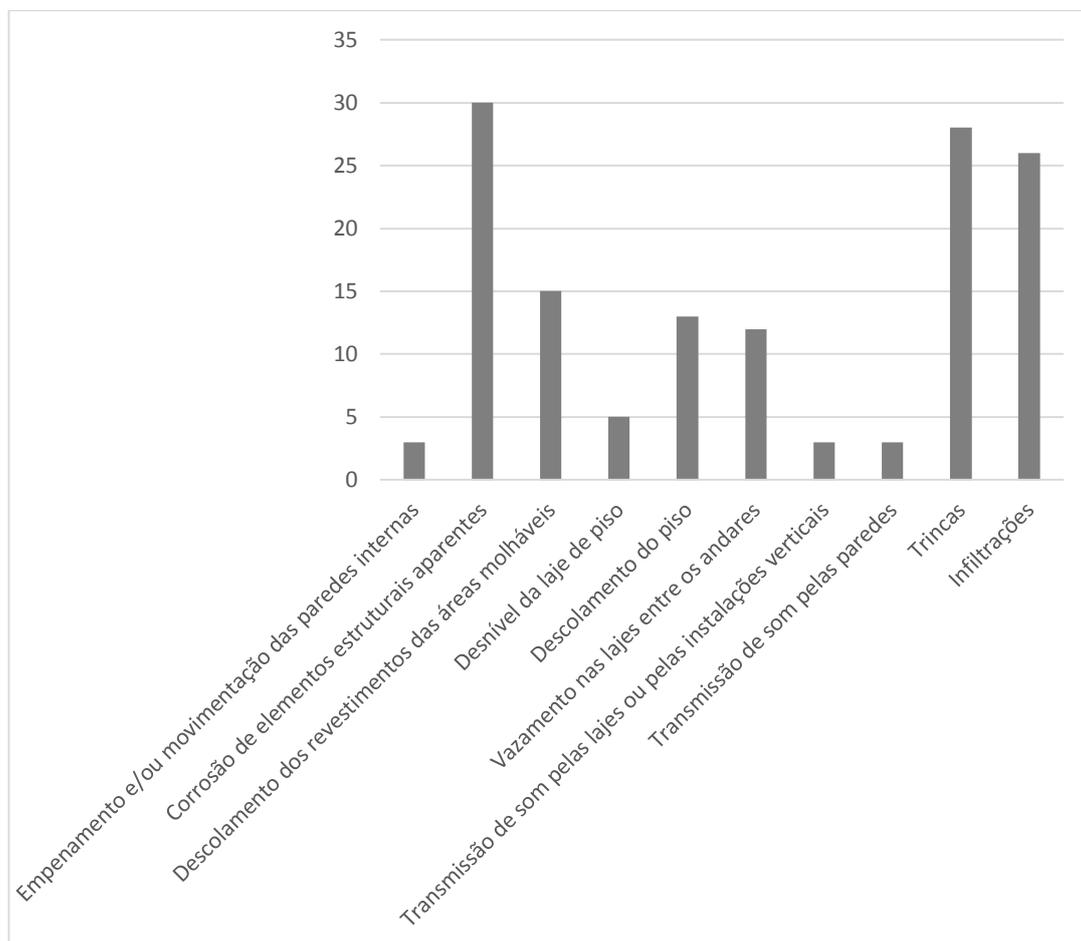
Quadro 6.26 - Notas GUT de cada patologia

| PATOLOGIA | NOTA NA MATRIZ GUT |
|---|--------------------|
| Empenamento e/ou movimentação das paredes internas | 3 |
| Corrosão de elementos estruturais aparentes | 30 |
| Descolamento dos revestimentos das áreas molháveis | 15 |
| Desnível da laje de piso | 5 |
| Descolamento do piso | 13 |
| Vazamento nas lajes entre os andares | 12 |
| Transmissão de som pelas lajes ou pelas instalações verticais | 3 |
| Transmissão de som pelas paredes | 3 |
| Trincas ou fissuras | 28 |
| Infiltrações | 26 |

Fonte: A autora, 2019

No Gráfico 6.3 estão representadas graficamente as Notas GUT de cada patologia.

Gráfico 6.3 - Notas GUT de cada patologia



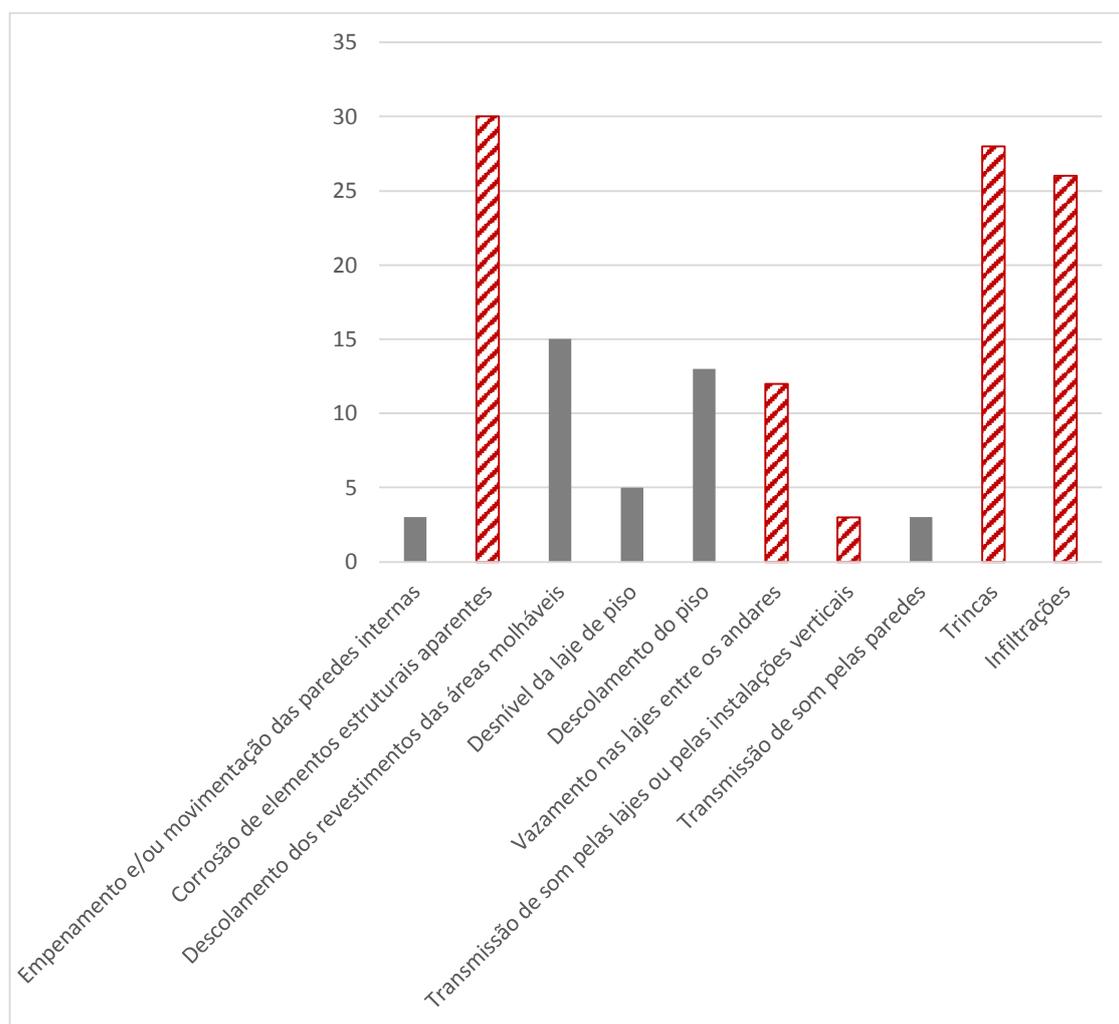
Fonte: A autora, 2019

Como mostrado anteriormente, as patologias que têm relação com o fato de ser uma edificação estruturada em aço são:

- Vazamento de lajes entre os andares;
- Transmissão de som pela laje ou pelas instalações elétricas;
- Trincas;
- Infiltrações;
- Corrosão de elementos estruturais aparentes.

Relacionando as notas da Matriz GUT de cada patologia e destacando com hachura as patologias relacionadas ao fato de ser uma edificação estruturada em aço, tem-se a representação mostrada no Gráfico 6.4.

Gráfico 6.4 – Destaque para patologias relacionadas a uma edificação estruturada em aço



Fonte: A autora, 2019

Assim, verifica-se que as patologias relacionadas com o fato de ser uma edificação estruturada em aço são também as que possuem maior Nota GUT, ou seja, são as patologias que trazem mais risco a esse tipo de edificação. Portanto, a identificação e a prevenção de patologias decorrentes do sistema estrutural em aço torna-se extremamente relevante, pois como observado, essas patologias são as que causam maior impacto na vida útil de um edifício, com repercussões graves e até mesmo o colapso total.

6.5 Parâmetros na prevenção de patologias

Utilizando algumas ferramentas da GQT, é identificado o problema mais crítico: o método (causas referentes a problemas causados por procedimentos, rotinas ou técnicas aplicadas, determinados em projeto ou após ordem superior no canteiro de obras). O método é apontado como a principal causa de patologias em geral e, em especial, de patologias em edificações estruturadas em aço. São, ainda, identificadas todas as possíveis causas de cada patologia. Após esse levantamento, são definidos parâmetros essenciais para a prevenção de patologias na interface aço/fechamento.

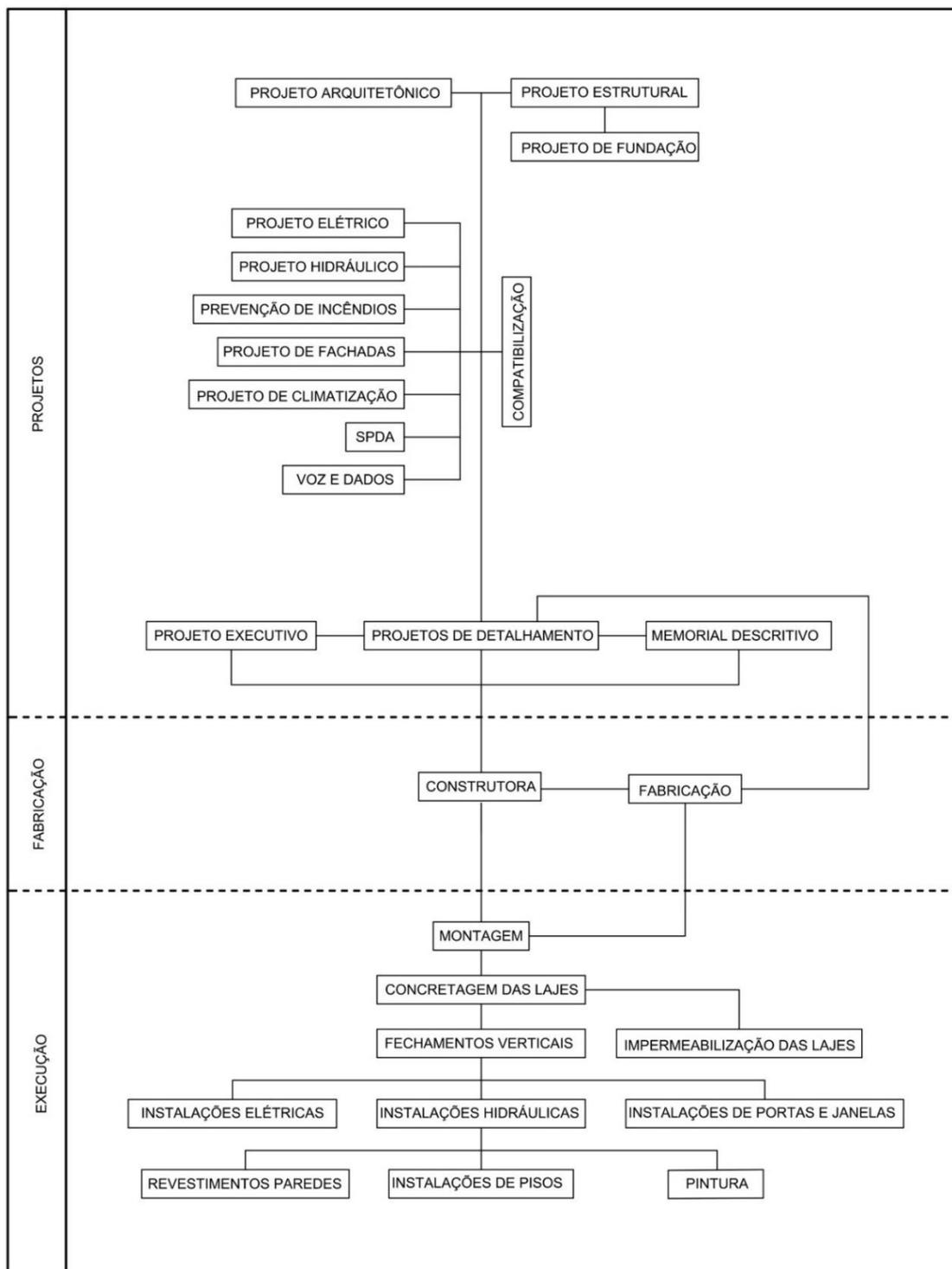
Considerando todas as causas de patologias diretamente relacionadas com a estrutura em aço de um edifício, é possível segmentá-las entre as atividades que compõem uma edificação estruturada nesse material. No Quadro 6.27 apresenta-se um organograma com a organização de atividades que constituem o processo de criação de um edifício estruturado em aço.

A primeira etapa de construção de um edifício, após trâmites legais, legislação de meio ambiente, topografia e sondagem, é o projeto arquitetônico. Comumente, uma segunda etapa é o projeto estrutural. Entretanto, no caso de edificações estruturadas em aço, os projetos arquitetônico e estrutural devem ser executados, pelos respectivos profissionais envolvidos, de forma concomitante (XUE; SHEN; REN, 2010).

É determinante para o desempenho ótimo de um edifício estruturado em aço que a opção por esse material seja estabelecida desde o início do processo. O planejamento da execução deve ser elaborado nesse momento, estabelecendo etapas e evitando retrabalhos ou perdas. Os projetos complementares devem comunicar-se entre si, evitando profundas modificações ao serem compatibilizados. Antes do início das obras, todos os projetos devem ter sido elaborados, de modo que os projetos executivos possam abranger todos os sistemas e interações.

Considerando-se o planejamento e construção de um edifício estruturado em aço, esse processo pode ser decomposto em três grandes etapas: projetos, fabricação e execução.

Quadro 6.27- Organização de atividades que constituem o processo de criação de um edifício estruturado em aço



Fonte: A Autora, 2019

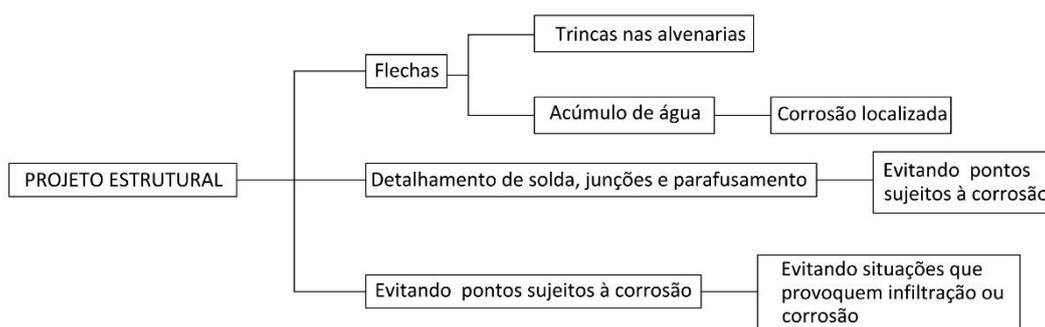
6.5.1 Projetos

Na etapa de projetos é onde o edifício é pensado. O projeto arquitetônico estabelece o nascimento do edifício. Esse projeto estabelece a essência do edifício: sua volumetria, altura, fachada, materiais. O projeto estrutural deve ser estudado simultaneamente ao arquitetônico, uma vez que, se pensado isoladamente, acarreta modificações indesejadas pelo arquiteto.

Os projetos complementares compõem-se de todos os sistemas componentes da edificação (elétrico, hidráulico, fachada, prevenção à incêndio), assim como os projetos de detalhamento e executivos. A compatibilização entre todos os projetos previne alterações desnecessárias, que envolvem custos, desperdício e retrabalhos.

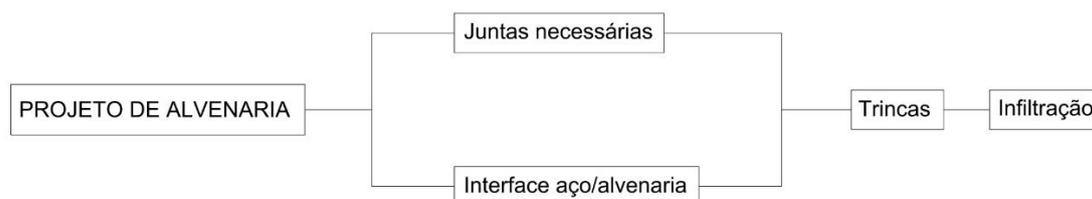
O projeto estrutural é responsável pela prevenção de algumas patologias. As flechas podem provocar fissuras nas alvenarias, bem como o esmagamento de elementos de construção. O arco causado pela flecha pode, também, ser responsável pelo acúmulo de água, provocando corrosão localizada. O projeto estrutural também deve contemplar adequadamente detalhes de solda, junções e parafusamento, evitando assim pontos críticos sujeitos à corrosão. Deve também especificar sobre o tipo de aço da estrutura, pois isso determina a maneira como ela funciona sob todas as condições ambientais a que ela é submetida, evitando situações que provoquem sua deteriorização (Quadro 6.28).

Quadro 6.28 – Projeto estrutural



O projeto de alvenaria deve ser executado considerando as juntas necessárias e a interface estrutura em aço/fechamento, pois alvenaria e estrutura em aço possuem coeficientes de dilatação diferentes. Esse cuidado evita o surgimento de fissuras, que, conforme a localização, tornam-se focos de infiltração (Quadro 6.29).

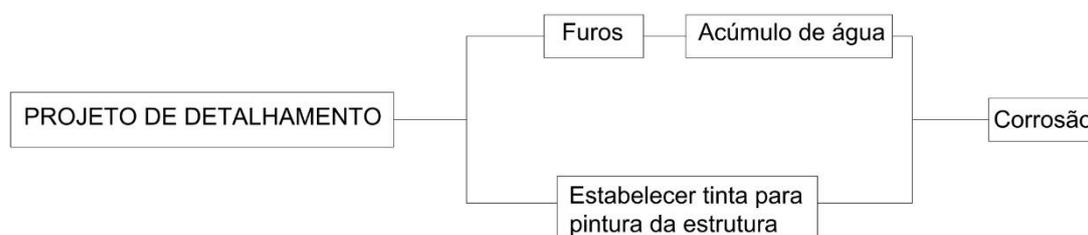
Quadro 6.29 – Projeto de alvenaria



Após terminados todos os projetos, faz-se necessária uma compatibilização entre eles. Esse levantamento evita que elementos de um projeto interfiram em elementos de outro projeto. Assim, definem-se as instalações elétricas de acordo com a estrutura, as instalações hidráulicas abrangendo os dutos de ar condicionado e assim por diante. A compatibilização dos projetos evita situações como patologias relacionadas à acústica entre lajes ou paredes. Uma vez que a possibilidade desses problemas acontecerem é detectada, é evitada a passagem de som por locais nas lajes com espessura reduzida ou em paredes com isolamento insuficiente.

O projeto de detalhamento da estrutura, dentre vários pontos, deve prever furos ao longo das peças. Esse artifício impede o acúmulo de água, o que provoca corrosão. O projeto de detalhamento também deve estabelecer a tinta para pintura da estrutura em aço, caso ela seja exposta, ou seja, aparente (Quadro 6.30).

Quadro 6.30 – Projeto de detalhamento

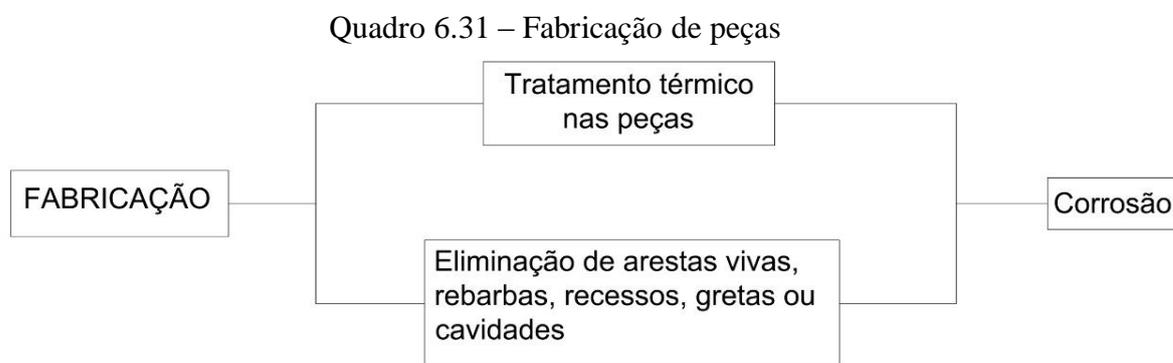


6.5.2 Fabricação

Numa segunda etapa, já estabelecidos os projetos arquitetônico, estrutural e detalhamento das peças de aço, a construtora, encomenda a fabricação da estrutura. A fábrica deve ter conhecimento de todas as características e informações apresentadas

nos desenhos, sobre todos os elementos que compõem a estrutura, as especificações de materiais e de ligação, e, caso seja pertinente, a ordem de execução das ligações.

Na fabricação da estrutura deve ser conferido o tratamento térmico nas peças, uma vez que quase sempre ele é recomendado. Também deve ser analisada a presença de arestas vivas, rebarbas, recessos, gretas ou cavidades. Em caso afirmativo, eles devem ser eliminados. Tanto a falha no tratamento térmico, quanto a presença de defeitos de fabricação são agentes causadores de corrosão. Essa patologia também é a consequência de encruamento, solda, cargas e ranhuras que podem ocorrer na fabricação ou na montagem no canteiro de obra, e por isso devem ser evitadas (Quadro 6.31).

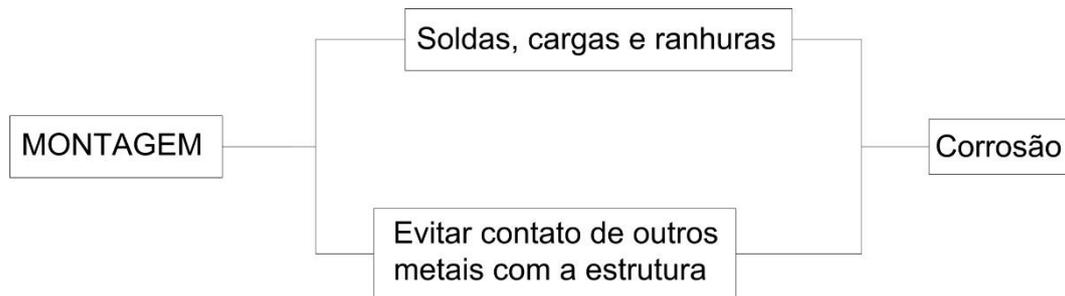


6.5.3 Execução

Nessa etapa, são executadas uma sequência de atividades planejadas em obediência aos critérios técnicos e operacionais movida pelo trabalho de equipes coordenadas.

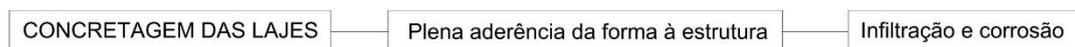
Também no momento de montagem, e ainda na execução do fechamento vertical, deve ser evitado o contato de qualquer outro metal com a estrutura de aço, situação passível de provocar corrosão. Sendo imprescindível o posicionamento do pilar no solo, o projeto estrutural deve conter detalhamento sobre a base de concreto ou camada de concreto que protege o aço do contato com o solo (Quadro 6.32).

Quadro 6.32 – Montagem da estrutura



No canteiro de obras, na execução da laje *Steel Deck*, deve ser observada a plena aderência da forma à estrutura. Um eventual descolamento pode ocasionar frestas, que criam um espaço passível de vazamento de água, provocando infiltração e corrosão (Quadro 6.33).

Quadro 6.33 – Concretagem da laje



7. CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÃO

7.1 Considerações finais

A construção estruturada em aço apresenta-se como uma alternativa à já estabelecida construção em concreto, com algumas vantagens. Entretanto, por motivos históricos e culturais, seu uso não se disseminou tanto no Brasil como aconteceu em outros países. Fazem-se necessários um maior conhecimento e domínio do processo de edificar com estrutura em aço. Para edificar com qualidade, garantindo uma vida útil longa e com bom desempenho, é muito importante que sejam tomadas as medidas preventivas ao surgimento das patologias. As patologias nas edificações depreciam o imóvel, causam transtornos para o usuário, colocando-o em risco e podendo levar ao colapso do edifício.

Em um momento de mudança no cenário econômico, as empresas procuram aperfeiçoar seus processos, tornando-se mais competitivas e lucrativas. A construção civil em países com alto grau de desenvolvimento pauta-se por uma construção limpa, com baixo volume de desperdício e erros. Dentro desse cenário, a construção em aço tornou-se mais usual do que em um país como o Brasil, onde é latente o baixo índice educacional da mão de obra não especializada e, por fatores históricos e culturais, o despreparo da mão de obra especializada para trabalhar com tal material. Torna-se, portanto, essencial que esses últimos envolvidos tenham total domínio do processo, conhecendo cada etapa e, dessa forma, interferindo no momento ideal para a prevenção de patologias. A definição pelo aço como elemento estrutural deve ser feita desde o início. Como mostrado nesse trabalho, a modificação na escolha do material estrutural durante o processo acarreta retrabalhos, incertezas e possíveis patologias.

O arquiteto e o engenheiro calculista devem atuar em conjunto, pois as peculiaridades do projetar em aço exigem tal condição. Como foi demonstrado anteriormente, a maneira de fazer (seja por determinação de projeto, seja por prática de canteiro) tem uma influência muito maior no surgimento de patologias do que qualquer outra possibilidade, incluindo a qualidade da mão de obra, reconhecidamente de baixa instrução.

O projeto estrutural é responsável pela prevenção de algumas patologias. Um dos maiores benefícios de se construir em aço é também um dos maiores causadores de patologias. Os grandes vão proporcionados pelas vigas em aço, mais esbeltas, são

também a causa de flechas, causando esmagamento da alvenaria e provocando fissuras. Assim, tanto arquiteto, quanto calculista devem se atentar para essa possibilidade.

Ainda considerando a prevenção a trincas, faz-se necessário um projeto de alvenaria, que deve indicar juntas e detalhes acerca da interface aço/fechamento. Fissuras e trincas podem acontecer em consequência de problemas nessa interface, visto que os dois materiais possuem coeficientes de dilatações diferentes. Essas trincas tornam-se, posteriormente, pontos de infiltração de água.

A água também é responsável pela corrosão, quando se acumula em flechas de vigas. A corrosão também ocorre em soldas, junções e parafusamento, cujos pontos devem ser observados no projeto estrutural, assim como a especificação do material da estrutura, detalhando o uso ou não de pintura, o tipo ideal de aço para cada condição ambiental, o tratamento térmico quando necessário. A boa qualidade na fabricação e montagem da estrutura evita características físicas que repercutem em corrosão. Defeitos de fabricação, de solda ou contato com outros metais também são focos causadores de corrosão.

Em função do exposto anteriormente faz-se necessário na construção estruturada em aço que os seguintes parâmetros sejam observados para que se evite o surgimento das patologias:

- Vazamento nas lajes entre andares: evitar o descolamento aço/concreto.
- Transmissão de som pelas lajes e instalações elétricas: atentar para a perfeita compatibilização de projetos.
- Trincas: evitar flechas causando esmagamento da alvenaria. Prever juntas adequadas pois alvenaria e estrutura possuem com dilatações diferentes.
- Infiltração: no momento do projeto, atentar para interface aço/alvenaria, assim como à especificação desses materiais.
- Corrosão: observância ao tipo de aço e as condições de exposição: poeira, umidade, intempéries. Também à qualidade da fabricação, especificação de pintura, furos e tratamento térmicos.

7.2 Conclusão

O desenvolvimento desse trabalho busca, conforme estabelecido nos objetivos descritos no capítulo 1, o aprofundamento dos estudos sobre um tema corrente na construção civil: as patologias, focando, especialmente, nas patologias presentes nas edificações estruturadas em aço.

Toda edificação está sujeita à ocorrência de patologias, se não forem observados os procedimentos para evitá-las. Embora os edifícios analisados sejam estruturados em aço, patologias não são uma exclusividade desse material. Portanto, as lajes de concreto, paredes de alvenaria, pisos revestidos com cerâmicas, instalações elétricas e outras partes estão sujeitas a problemas, a despeito do material utilizado na estrutura da edificação.

Ainda considerando as patologias analisadas nessa pesquisa, ressalta-se a não relação de frequência entre o surgimento dessas e a estrutura em aço, ou seja, embora algumas patologias tenham sido apontadas mais vezes, elas não estão, necessariamente, associadas ao material da estrutura. Entretanto, após realizada a análise para verificação do grau de risco que cada patologia implica, verifica-se que as patologias relacionadas ao fato de ser uma edificação estruturada em aço são extremamente comprometedoras, podendo levar ao colapso da estrutura.

Sendo assim, nesse trabalho mostra-se a importância de se conhecer cada fonte de patologia, sua prevenção e sua repercussão, especialmente ao se construir uma edificação estruturada em aço.

REFERÊNCIAS

AECWEB. 2019. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/com-ar-incorpora-do-concreto-celular-proporciona-isolamento-termoacustico_15378_10_0> Acesso em: 12 fev. 2019.

AHIRE, S. L.; GOLHAR, D. Y.; WALLER, M. A. Development and validation of TQM implementation constructs. 1996. **Decision Sci.**, v. 271, p. 23–56.

ALLGAYER, M. O. **Laje zero em edificações de múltiplos Pavimentos**: comparação com o sistema construtivo tradicional. Orientador: Ruy Alberto Cremonini. 2001. 79 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

AL-ZWAINY, F. M. S.; MOHAMMED, I. A.; VAROUQA, I. F. Diagnosing the Causes of Failure in the Construction Sector Using Root Cause Analysis Technique. **Journal of Engineering**. v. 2018, Article ID 1804053. 12 p.

AMERICAN NATIONAL STANDARD – **ANSI/ASTM A 570 – 79**. Standard Specification for Hot-Rolled Carbon Steel Sheet and Strip, Structural Quality. 24 CFR 200, Subpart S. EUA. 1979. p. 530-532.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A 36/A 36M**. Standard Specification for Carbon Structural Steel, 2004.

_____. **ASTM A572/572M 07**: Standard specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel. USA, 2007.

ANDI, M. T. Design Documents Quality in the Japanese Construction Industry: factors influencing and impacts on construction process. **International Journal of Project Management**, v. 21, 2003, p. 537-546.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA E CRISTALARIA - APICER. Manual de Alvenaria de Tijolo. Coimbra, 2000 *apud* GONÇALVES, A.; BRITO J.; BRANCO F. Causas de anomalias em paredes de alvenaria de edifícios recentes. **Revista Engenharia Civil**, Universidade do Minho, Portugal, 2008.

ARAÚJO, E.C; SOUZA, H.A.; COSTA, R.M.X. **A interface entre os perfis tubulares e o sistema de fechamento vertical externo**. São Paulo, Editora Adonis, 2009. 43 p. *apud* RIBAS, R. A. J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. Orientador: Henor Artur de Souza. 2013. 233 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5884**: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico. Rio de Janeiro, 2013. 32 p.

_____. **ABNT NBR 14037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2011. 16 p.

_____. **ABNT NBR 14083**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 2004. 4 p.

_____. **ABNT NBR 14715**: Chapas de gesso acartonado – Requisitos. Rio de Janeiro, 2010. 7p.

_____. **ABNT NBR 14716**: Chapas de gesso acartonado - Verificação das características geométricas. Rio de Janeiro, 2001. 4 p.

_____. **ABNT NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010. 87 p.

_____. **ABNT NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017. 26 p.

_____. **ABNT NBR 15575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para sistema de pisos. Rio de Janeiro, 2013. 40 p.

_____. **ABNT NBR 15758**: Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall - Projeto e procedimentos executivos para montagem. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **ABNT NBR 16280**: Reforma em edificações — Sistema de gestão de reformas — Requisitos. Rio de Janeiro, 2015. 11 p.

_____. **ABNT NBR 16421**: Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto - Requisitos e ensaios. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **ABNT NBR 5674**: Manutenção de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 25 p.

_____. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

_____. **ABNT NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, Rio de Janeiro, 1980. 5 p.

_____. **ABNT NBR 6355**: Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio, Rio de Janeiro, 2003. 36 p.

_____. **ABNT NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização, Rio de Janeiro, 2012. 36 p.

_____. **ABNT NBR 6648**: Bobinas e chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural — Especificação. Rio de Janeiro, 2014. 3 p.

_____. **ABNT NBR 6650**: Bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural — Especificação. Rio de Janeiro, 2014. 3 p.

_____. **ABNT NBR 7007**: Aços-carbono e Microligados de Uso Estrutural e Geral. Rio de Janeiro, 2011. 6 p.

_____. **ABNT NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.

_____. **ABNT NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e projeto – Rio de Janeiro, 2010. 14 p.

BAHIA, A. M.; IKEDA JÚNIOR. I. Dimensionamento de base de pilares metálicos em seções retangulares e circulares. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. *Anais ... Construmetal 2016*. São Paulo, SP, 2016. 25 p.

BARRETTO, A. R. Sistema Toyota de produção: Lean Manufacturing - implantação e aplicação em uma indústria de peças automotivas. **Tékhnē e Lógos**, Botucatu, SP, v.3, n.2, Julho. 2012.

BARROS, G. O desenvolvimento do setor siderúrgico brasileiro entre 1900 e 1940: Crescimento e substituição de importações. **Estudos Econômicos**, v. 45, 2015, p. 153-183.

BASTOS, M. A. R. **Avaliação de sistemas construtivos semi e/ou industrializados de edifícios de andares múltiplos por meio da perspectiva de seus usuários**. Orientador: Henor Artur de Souza. 2004. 458p. 2v. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

BAUER, R. J. F. Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p. 321-333

BAUERMANN, M. **Uma investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos em aço**. Orientador: Antônio Maria Claret de Gouvêia. 2002. 269p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2002.

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em Aço**. 2. ed. Pini. São Paulo, 1998.

BENEVOLO, L. **História da Arquitetura Moderna**. 3. ed. Ed. Perspectiva, 2001, 815 p.

BESTERFIELD, D. H.; BESTERFIELD-MICHNA, C.; BESTERFIELD, G. H.; BESTERFIELD-SACRE, M.; URDHWARESHE, H.; URDHWARESHE, R. **Total Quality Management** For Anna University. 3. ed. Delhi, Índia: Pearson Education India. 2012.

BRETAS, A. M. C. **Modelagem do Sequenciamento no Processo de Lingotamento Contínuo por Métodos Exatos e Heurísticos**. Orientador: Martín Gómez Ravetti. 2013. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013.

BROWN, S. L.; EISENHARDT, K. M. Product development: past research, present findings, and future directions. **Academy of Management Review**. v. 20, n. 2, 1995. p. 343-378.

BUENO, N. P. A Revolução de 1930: uma sugestão de interpretação baseada na Nova Economia Institucional. **Revista Estud. Econ.** v.37, n.2, São Paulo, 2007.

BURATI, J. L.; MATTHEWS, M. F.; KALIDINDI, S. N. Quality management organizations and techniques. **J. Constr. Eng. Manage.** v.181, 1992, p.112–128.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC - **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575:2013.** Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 308p.

CAMPANTE, E. F.; BAÍA, L. L. M. **Projeto e execução de revestimento cerâmico.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

CARBONARI, G.; CAVALARO S. H. P.; CANSARIO M. M.; AGUADO, A. Experimental and analytical study about the compressive behavior of eps sandwich panels. **Materiales de Construcción**. v. 63, n. 311, 2013, p. 393-402.

CARMO, P. I. O. **Gerenciamento de edificações: proposta de metodologia para o estabelecimento de um sistema de manutenção de estruturas de concreto armado.** Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho. 2000. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

CARNEIRO, F.; MARTINS, J. G. Contraventamentos de estruturas. 2008. Disponível em: <https://pilaresedificios.files.wordpress.com/2011/10/contraventamento-de-estruturas.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2019.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas.** 2.ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CARVALHO JÚNIOR, A. N. **Avaliação da Aderência dos Revestimentos Argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** Orientador: Paulo Roberto Gomes Brandao. 2005. 331 p. Tese (Doutorado

em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. Orientador: Ernani Carlos de Araújo. 1999. 204p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 1999.

CENTRO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - CBCA. 2015. **Revista Arquitetura & Aço**: revista trimestral do CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço). Rio de Janeiro: Roma. 76 p.

CHIAVENATO, I. **Comportamento Organizacional**. 3. ed., Ed. Manole, 2013, 476 p.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 6. ed., Publicação da Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1988.

CHILES, T. H.; CHOI, T. Y. Theorizing TQM: An Austrian and evolutionary economics interpretation. **J. Manage. Stud**, v. 372, 2000. p185–212.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento**: análise e recomendações. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. São Paulo: Pini, 1988. p.549-554.

COELHO, A.; ODEBRECHT, S. Arquitetura moderna: reconhecimento e análise de edifícios representativos em Blumenau, SC. **Dynamis revista tecno-científica**. out-dez/2007, v.13, n.1, p.46- 58.

COELHO, R. A. **Interface entre perfis Estruturais laminados e Sistemas complementares**. Gerdau, 4. ed., 2007.

COLIN, S. 2010. Disponível em: <https://coisasdaarquitectura.wordpress.com/2010/06/16/escola-de-chicago/>. Acesso em: 09 fev. 2018.

COUTINHO, C. B. **A Gestão no Brasil** – História do movimento que ajudou a mudar o país. Uma saga de Minas Gerais. Belo Horizonte: 3i Editora Ltda. 2 ed., 2018.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados**. Orientador: Arlene Maria Cunha Sarmanho. 2005. 231p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005.

DALGLEISH, S. **The wrong road toward improvement**. Quality, 2004.

DAVIES, A. J.; KOCHHAR, A. K. Manufacturing best practice and performance studies: a critique. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 22, n.3, 2002. p. 289-305.

DAYCHOUM, M. **40 Ferramentas e Técnicas de Gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2011.

DRYWALL. 2015. Disponível em: <http://www.drywall.org.br/imprensa.php/2?pagina=2/894/drywall-tem--anos-no-mundo--no-brasil>. Acesso em: 03 out. 2018.

DUTRA, M. R. **Caracterização de Revestimentos em Fachadas Ventiladas**. Análise do Comportamento. Orientador: Pedro Gameiro Henriques. 2010. 85 p Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2010.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - ESALQ. 2019 a. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/qualidade/mod3/pag1_3.htm. Acesso em: 03 jun. 2019.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - ESALQ. 2019 b. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm>. Acesso em: 03 jun. 2019.

FANTINI, P. R. **Patologias em revestimentos cerâmicos em escolas de Maringá-PR**. Orientador: Romel Dias Vanderlei. 2010. 52 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Construção de Obras Públicas) - Curso de Pós-Graduação em Construção de Obras Públicas. Universidade Federal do Paraná, Maringá, 2010.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. 2019. Disponível em: https://portalibre.fgv.br/data/files03/06/E0/43/8395A610CABD1A968904CBA8/Sondagem%20da%20Constru__o%20FGV_press%20release_Abr19.pdf. Acesso em: 03 abr. 2019.

FIESP. 2016. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/baixa-productividade-da-construcao-compromete-remuneracao-do-trabalho>.

Acesso em: 19 out. 2017.

FORBES, L. H.; AHMED S. M. **Modern construction: lean project delivery and integrated practices**. 2011. Boca Raton, Fly: Taylor and Francis Group *apud* NEYESTANI, B. **Seven basic tools of quality control: the appropriate techniques for solving quality problems in the organizations**. Munich Personal RePEc Archive. 2017. p. 1-10,.

GALVAMINAS. 2018. Disponível em: <http://www.galvaminas.com.br/blog/trelica-metalica-saiba-tudo-sobre-ela/>. Acesso em: 03 abr. 2019.

GARNIER, C. R. F. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas**. Orientador: Ernani Carlos de Araújo. 2009. 396 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2009.

GENTIL, V. **Corrosão**. Guanabara Dois, Rio de Janeiro. 2. ed., 1982, 453p.

GIBBONS, M.; LIMOGES, C.; NOWOTNY, H.; SCHWARTZMAN, S.; SCOTT, P.; TROW, M. **The New Production of Knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies**. London: Sage Publications, 1994 *apud* LACERDA, D. P. PACHECO, D.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 4, 2013. p. 741-761.

GIEDION, S. **Espaço, tempo e arquitetura**. 1. ed. 2004. Giedion Sigfried-Ed. WMF Martins Fontes. 950 p.

GOLDBERG, R. P. **Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades**. Technical Design Manual. USA: Laticrete International, 1998.

GOMIDE, T. L. F. 2016. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2016/02/01/qualidade-total-e-a-norma-de-desempenho-em-edificacoes/>

Acesso em: 05 jul. 2019.

GOMIDE, T. L. F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Inspeção predial total** – diretrizes e laudos no enfoque da qualidade total e da engenharia diagnóstica. Ed. Pini, 2. ed., 2014.

GONÇALVES, A.; BRITO J.; BRANCO F. Causas de anomalias em paredes de alvenaria de edifícios recentes. **Revista Engenharia Civil**, Universidade do Minho, Portugal, 2008.

GONÇALVES, R. M.; SÁLES, J. J.; NIMIR, W. A. Alguns aspectos da deterioração e inspeção de pontes metálicas. In: SEMINÁRIO USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO, 4, 1989, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, p.199-212 *apud* CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. Orientador: Ernani Carlos de Araújo. 1999. 204p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 1999.

GUEDES, M. H. **A Bela Cidade de Chicago**. Ed. Clube de Autores. 1. ed., 2016. 61p.

GURMU, A. T.; AIBINU, A. A. Construction equipment management practices for improving labor productivity in multistory building construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 143, n. 10, October 2017.

HOFMANN, G. A. A. **Tratamento de juntas invisíveis em placas cimentícias no sistema *Light Steel Framing***. Orientador: Henor Artur de Souza. 2015. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

HUSSEIN, J. S. M. **Levantamento de patologias causadas por infiltrações devido à falha ou ausência de impermeabilização em construções residenciais na cidade de Campo Mourão – PR**. Orientador: Roberto Wickers. 2013. 54 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão. 2013.

IAU. 2019. Disponível em: <https://www.iau.usp.br>. Acesso em: 03 fev. 2019.

ILIESCU, M. **Patologia dos Revestimentos Cerâmicos**. 2016. Disponível em: http://www.iliescu.com.br/palestras/patologia_dos_revestimentos_ceramicos.pdf. Acesso em: 11 mar. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2017. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/estudos-especificos-da-construcao-civil/pesquisa-anual-da-industria-da-construcao-paicibge>. Acesso em: 01 nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/24653-pib-tem-resultado-negativo-de-0-2-no-1-trimestre-de-2019>. Acesso em: 06 jun. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>. Acesso em: 10 mar. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Edifícios de pequeno porte estruturados em aço**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA, 2018. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=33603. Acesso em: 10 mai. 2019.

ISAIA, G.C. **Concreto**: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

JORDY, J. C. **Desempenho e avaliação dos serviços de impermeabilização aplicados em edificações**. Orientador: Luiz Carlos Mendes. 2002. 496 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2002.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. Orientador: Jonas Silvestre Medeiros. 2003. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

JURAN, J. M.; GRAYNA, F. M. **Controle da qualidade**: handbook conceitos, políticas e filosofia da qualidade. São Paulo: Editora McGraw – Hill Ltda., 1991. 377 p.

JURAN, M.; GODFREY, A. **Juran's quality handbook**. 5. ed., 1998. Washington, DC: McGraw-Hill Companies, Inc.

KAMADA, S. **Como Operar um “andon”**. 2008. Disponível em: https://www.lean.org.br/comunidade/artigos/pdf/artigo_36.pdf. Acesso em: 11 jun. 2019.

KERZNER, H. **Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling**. 10 ed., 2009, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. *apud* NEYESTANI, B. **Seven basic tools of quality control: the appropriate techniques for solving quality problems in the organizations**. Munich Personal RePEc Archive. 2017. p. 1-10.

KIESEWETTER, O. **Paredes de painéis monolíticos de EPS**. 2007. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/129/artigo285706-1.aspx>. Acesso em: 12 fev. 2019.

KOCH, R. **O Princípio 80/20: O segredo de se fazer mais com menos**. 1 ed. 2000. Rio de Janeiro: ROCCO. 270p.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P.; MALHOTRA, M. K. **Operations management: Processes and supply chains**. 2013. New York: Pearson.

KRAUSS, G. **Steels: heat treatment and processing principles**, ASM, 1997.

KRÜGER, P. G. VON **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. Orientador: Henor Artur de Souza. 2000. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

KÜHL, B. M. **Arquitetura do ferro e arquitetura ferroviária em São Paulo: reflexões sobre a sua preservação**. Atelier Editorial, 1998. 436 p

LACERDA, D. P.; PACHECO, D.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gest. Prod.** São Carlos. v. 20, n. 4, 2013. p.741-761.

LIKER, J. K. **A Cultura Toyota - A Alma do Modelo Toyota**. 1. ed., 2009. Bookman.

LILIANA, L. **A new model of Ishikawa diagram for quality assessment**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016.

LIMMER, C.V. **Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC. 1997.

LONGHI, M.; ZINI, L. P.; TESSARO, G.; BIRRIEL, E. J.; ZATTERA, A. J.; KUNST, S. R. **Caracterização de um filme epóxi-poss aplicado em Substratos de aço pré-tratados com fosfato de zinco e óxido de zircônio**. ABRAFATI, 2015. Disponível em: http://www.abrafati2017.com.br/2015/Dados/PDF/Paper_114.pdf. Acesso em: 12 fev. 2019.

LUKKA, K. **The constructive research approach**. In: OJALA, L.; HILMOLA, O.P.(Ed.). **Case study research in logistics**: Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, 2003. p. 83-101.

MACIEL, L. L.; MELHADO, S. B. **Qualidade na construção civil**: fundamentos. São Paulo: EPUSP, 1996. 23 p. TT/PCC/15. Texto técnico *apud* BAUERMAN, M. **Uma investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos em aço**. Orientador: Antônio Maria Claret de Gouvêia. 2002. 269p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2002.

MAMMINI, O. O Processo Monolite de Construção com Painéis de EPS. **Téchne**. v. 37, São Paulo: Pini, 1998. p.53- 55.

MANZIONE, L. **Estudo de métodos de planejamento do processo de projeto de edifícios**. Orientador: Sílvio Burrattino Melhado. 2006. 250p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MARGARIDO, A. F. **O uso do aço na arquitetura**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

MARIANI, C. A. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. **RAI - Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 2, n. 2, 2005. p.110-126.

MARSHALL JÚNIOR, I.; CIERCO, A. A.; ROCHA; A. V.; MOTA, E. B.; LEUSIN, S. **Gestão da qualidade**. 10. ed., Rio de Janeiro: Editora FGV, 2011.

MARTINS, G. B. H. **Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina**. Orientador: Rejane Helena Ribeiro da Costa. 1997, 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MATIAS JÚNIOR, I. G. **Análise não linear de estruturas tridimensionais de edifícios altos com núcleos resistentes sobre fundações flexíveis**. Orientador: Dagoberto Dario Mori. 1997. 224p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MAXIMIANO, A. C. A. **Teoria Geral da Administração: da revolução urbana à revolução digital**. 3. ed., 2002. São Paulo: Editora Atlas.

MCKAIG, T. H. **Building Failures – case studies in construction and design**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1962 *apud* CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. Orientador: Ernani Carlos de Araújo. 1999. 204p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 1999.

MCKINSEY. 2017. Disponível: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution/pt-br>. Acesso em: 07 mai. 2019.

MEDEIROS, 1999. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00022.pdf. Acesso em: 06 jul. 2019.

MEDEIROS, J. S.; MELLO, M. B.; ROGGERO, M. V. V.; SEGUNDO, M. J. P.; PIENFRANTONIO, V. B. **Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas**. Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014. 128p.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. Orientador: Vahan Agopyan. 1994. 310 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MELHADO, S. B.; AGOPYAN, V. **O Conceito de Projeto na Construção de Edifícios**: Diretrizes para sua Elaboração e Controle. Boletim Técnico, EPUSP. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/139. 1995.

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

METÁLICA. 2009. Disponível em: <http://www.metlica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=883>. Acesso em: 23 set. 2017.

METÁLICA. 2010. Disponível em: http://www.metlica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=581. Acesso em: 23 mai. 2018.

METÁLICA. 2013. Disponível em: <<http://wwwo.metlica.com.br/corrosao-em-estruturas-metalicas>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

MIRANDA, E. 2018. Disponível em <https://www.gp4us.com.br/diagrama-de-pareto-na-pratica/>. Acesso em: 03 ago. 2019.

MITCHELL, A.; FRAME, I.; CODAY, A.; HOXLEY, M. A conceptual framework of the interface between the design and construction processes. **Engineering, Construction and Architectural Management**. v. 18, n. 3, 2011, p.297-311.

MITIDIÉRI FILHO, C. V. **Patologia de paredes *drywall***: formas de prevenção. Seminário Patologias precoces de obra: o risco do passivo técnico e as ações para evitar os defeitos de construção, São Paulo, 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6. ed. 2009, Danvers, MA: John Wiley & Sons, Inc.

MORAES, F. R. **Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de empreendimentos em construção metálica** – uma visão segundo a nova filosofia de produção. Orientador: João Luiz Calmon Nogueira da Gama. 2000. 244 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

MOTA, J. A.R. Influência da junta vertical na resistência a compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto celular autoclavados. Orientador: Eduardo

Chahud. 2001 223 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

NARDIN, S.; SOUZA, A. S. C; EL DEBS, A. L. H. C.; EL DEBS, M.K. Estruturas mistas aço-concreto: origem, desenvolvimento e perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON, 47, 2005, Olinda, 2005.

NASCIMENTO, O. L. **Alvenarias**. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2004.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEW AÇO. 2019. Disponível em: <https://www.newaco.com.br/perfil-laminado-i>. Acesso em: 05 mai. 2019.

NEYESTANI, B. **Seven basic tools of quality control: the appropriate techniques for solving quality problems in the organizations**. Munich Personal RePEc Archive. 2017, p. 1-10.

OAKLAND, J. S. **Total Quality Management**: text with cases. 3. ed., 2003, Jordan Hill, Oxford, UK: Butterworth-Heinemann

OBRAMAX. 2019. Disponível em: <https://www.obramax.com.br/manta-acustica-para-contrapiso-sound-soft-3mm-13x10m-89194973.html>. Acesso em: 08 mai. 2019.

OLIVEIRA, A. B. F. **Inserção de sistemas construtivos industrializados de ciclo aberto estruturados em aço no mercado da construção civil residencial brasileira**. Orientador: Henor Artur de Souza. 2013. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.

OMACHONU, V. K.; ROSS, J. E. **Principles of total quality**. 3. ed., 2004, Boca Raton, Florida: Taylor & Francis *apud* GURMU, A. T.; AIBINU, A. A. Construction equipment management practices for improving labor productivity in multistory building construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 143, n. 10, October 2017.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **Measuring productivity**: Measurement of aggregate and industry level productivity growth. 2001, Paris *apud* GURMU, A. T.; AIBINU, A. A. Construction

equipment management practices for improving labor productivity in multistory building construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 143, n.10. October 2017.

Osborn, A.F. *Applied imagination: Principles and procedures of creative problem solving* (Third Revised Edition). New York: Charles Scribner's Sons, 1963.

PANNONI, F. D. História, Comportamento e Usos dos Aços Patináveis na Engenharia Estrutural Brasileira. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. 59, 2004, **Anais ...** ABM, p. 678-689,

PARANHOS, R. M. V. Avaliação da resistência à corrosão atmosférica de aços fosfatizados e pintados para aplicação na indústria da construção civil. Orientador: Vanessa de Freitas Cunha Lins. 2002. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

PARANHOS, R. M. V. - Caracterização de fases intermetálicas presentes em aço galvanizado por imersão a quente com tratamento metálico do revestimento metálico. Orientador: Vanessa de Freitas Cunha Lins. 2010. 112 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química).. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.

PAVANI JÚNIOR, O.; SCUCUGLIA, R. **Mapeamento e gestão por processos – BPM** (Business Process Management). 1. ed., 2011. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda., 2011.

PENNA, L. V. Trinca de solidificação off-corner no lingotamento contínuo de tarugos. Orientador: Roberto Parreiras Tavares. 2005. 220 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

PEREIRA, A. C. O. Estudo da influência da modelagem estrutural do núcleo nos painéis de contraventamento de edifícios altos. Orientador: Dagoberto Dario Mori. 2000. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PEREIRA, M. Anomalias em Paredes de Alvenaria sem Função Estrutural. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2005 *apud*

GONÇALVES, A., BRITO J. BRANCO F. Causas de anomalias em paredes de alvenaria de edifícios recentes. **Revista Engenharia Civil**, Universidade do Minho, Portugal, 2008.

PESTANA, M. D; VERAS G. P; FERREIRA, M. T. M.; SILVA, A. R. Aplicação integrada da Matriz GUT a da matriz da qualidade em uma empresa de consultoria ambiental. Um estudo de caso para elaboração de proposta de melhorias. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 36, 2016. **Anais ...ENESEP**, 2016, João Pessoa, PB 2016.

PEZZATO, L. M. Patologia no sistema revestimento cerâmico: um estudo de caso em fachadas. Orientador: Eduvaldo Paulo Sichieri. 2010. 162 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

PLANALTO. 1990. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18078.htm. Acesso em: 06 set. 2019.

PLANALTO. 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110406.htm. Acesso em: 06 set. 2019.

PPGIA. 2018. Programa de Pós-Graduação em Informática. Disponível em: <http://www.ppgia.pucpr.br/~santin/ee/2008/5/Fluxograma.html>. Acesso em: 29 ago. 2019.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MATA, L. A. C. **Elementos das Estruturas Mistas Aço Concreto**, Belo Horizonte: Editora O Lutador, 2001. 336 p.

QUESADA-PINEDA, H.; GAZO, R. Best manufacturing practices and their linkage to top-performing companies in the US furniture industry. **Benchmarking: An International Journal**, v.14, n.2, 2007, p. 211-221.

RANGEL, D. O.; JORGE, M. **A Laje Nível Zero, em Substituição do Contrapiso em Edifícios Residenciais, como Alternativa Viável**. Salvador: Universidade Católica de Salvador, 2009. Disponível em: <http://info.ucsal.br/banmon/index.html>>4. Acesso em: 07 abr. 2009.

REBELLO, Y. C. P. **Manutenção preventiva em estruturas metálicas**. Engewold, janeiro 2014, 44p.

RECUPERAR. 2000. Disponível em: <http://www.engegraut.com.br/revista-recuperar/revista-recuperar-ed33.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2019.

RHOD, A. B. **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos**: análise da frequência de ocorrência em áreas internas de edifícios em uso em Porto Alegre. Orientador: Ana Luiza Raabe Abitante. 2011. 71 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

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

RIBAS, R. A. J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. Orientador: Henor Artur de Souza. 2013. 233 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

ROJAS, E. M.; ARAMVAREEKUL, P. Labor productivity drivers and opportunities in the construction industry. **J. Manage. Eng.** 2003. 10.1061/(ASCE)0742-597X(2003)19:2. V.78., p. 78–82.

SACCHI, C. C. Avaliação de desempenho estrutural e manifestações patológicas em estruturas metálicas. Orientador: Alex Sander C. de Souza. 2016. 138p. Dissertação (Mestrado em estrutura e Construção Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

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

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema *Light Steel Framing* associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural**. Orientador: Ernani Carlos de Araújo. 2008. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

SANTORO, A. J. Proteção de Estruturas metálicas. **Revista Recuperar**. Rio de Janeiro, Janeiro/Fevereiro 2006,

SANTOS, R. E. **A armação do concreto no Brasil**: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. Orientador: Bernardo Jefferson de Oliveira. 2008. 338 p. Belo Horizonte, 2008. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SATO, M. **The Toyota Leaders**: An Executive Guide. New York: Vertical. 2008

SAÚDE, J.; RAIMUNDO, D. **Lajes Mistas**: Aspectos Construtivos e Respectives Recomendações do Eurocódigo 4. Instituto Politécnico de Tomar, Portugal. 2006.

SHAMSUDDIN, A.; MASJUKI, H. Survey and case investigations on the application of quality management tools and techniques in SMIs. **International Journal of Quality & Reliability Management**. v. 20, n.7, 2003, p.795–826.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de produção: do ponto de vista de engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, D. M.; SOUTO, A. K. **Estruturas** – Uma abordagem arquitetônica. Porto Alegre, UniRitter, 2015.

SILVA, J. M. **Alvenarias Não Estruturais**. Patologias e Estratégias de Reabilitação. Seminário sobre Paredes de Alvenaria. Porto, 2002. p. 187-206 *apud* GONÇALVES, A., BRITO J. BRANCO F. Causas de anomalias em paredes de alvenaria de edifícios recentes. **Revista Engenharia Civil**, Universidade do Minho, Portugal, 2008.

SILVA, R. C.; GONÇALVES, M. O.; ALVARENGA, R. C. S. S. Alvenaria racionalizada. **Revista Técnica**. Edição 112 - Julho/2006.

SILVA, R. Manifestações patológicas em sistemas Construtivos de aço - algumas medidas preventivas. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA. 2012. **Anais** Construmetal 2012. 13p.

SILVA, V. P.; PANNONI, F. D. **Estruturas de aço de edifícios** - Aspectos tecnológicos e de concepção. Editora: Edgard Blucher. 2010.

SINDUSCONSP. 2019. Disponível em: https://sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2015/12/manual_do_proprietario_3_edicao1.pdf. Acesso em: 10 set. 2019.

SMITH, B. S.; COULL, A. **Tall Building Structures**. Analysis and Design. A Wiley - Interscience Publication. 1991

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. 2018. Disponível em: http://snic.org.br/assets/doc/historia_do_cimento_no_brasil.pdf. Acesso em: 08 fev. 2018.

SOUZA, A. C A G. Análise Comparativa de Custos de Alternativas Tecnológicas para Construção de Habitações Populares. Orientador: Fernando Artur Nogueira Silva. 2009. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2009.

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. O projeto para produção como ferramenta de gestão da qualidade: aplicação às lajes de concreto armado de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1998, Florianópolis. **Anais...**: ANTAC, 1998.

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. **Projeto e Execução de Lajes Racionalizadas de Concreto Armado**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.

SOUZA, G. R. **Implantação do Controle Estatístico de Processos em uma empresa de bebidas**. Orientador: Flavio Sanson Fogliatto. 2002. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SOUZA, U. E. L. O projeto como agente de durabilidade da estrutura metálica. **A Construção**. n. 2129, São Paulo, nov. 1988. p. 31-34.

SOUZA, V. C. M; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Pini, 1998.

SPASOJEVIC BRKIC, V. K.; DJURDJEVIC; T.; DONDUR, N.; KLARIN, M. M.; TOMIC, B. Um exame empírico do impacto da aplicação de ferramentas de qualidade no desempenho dos negócios: Provas da Sérvia. **Total Quality Management & Business Excellence**. v. 24, n.5-6, 2013, p.607-618.

SPENCER, B. Models of organisations and total quality management: a comparison and critical evaluation. **Academy of Management Review**. v. 19, n. 3, 1994, p. 446-71.

STEVENSON, W. **Operation Management**. McGraw-Hill/Irwin, Boston, Mass, USA, 8. ed., 2005.

STORTE, M. **Manifestações Patológicas na Impermeabilização de Estruturas de Concreto em Saneamento**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura, São Paulo, 18 nov. 2011. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=703>>. Acesso em: 04 abr. 2012.

SZULANSKI, G. Exploring internal stickiness: impediments to the transfer of best practice within the firm. **Strategic Management Journal**, v. 17. Winter Special Issue, 1996. p. 27-43.

TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. Orientador: Mércia Maria Boturra de Barros. 1999. 293p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 5. ed., 2000.

THOMAZ, E.; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e alvenarias de vedação em edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – ISSN 0103-9830, BT/PCC/252. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.

TISOT, G. D.; MEDEIROS, G. F.; KRIPKA, M. Estudo de treliças metálicas para coberturas em duas águas através de otimização topológica. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Construmetal, 2010.

TOMA, S.; NARUO, S. Total Quality Management and Business Excellence: The best practices at Toyota Motor Corporation. **Amfiteatru Economic Recommend**, v. 19, n. 45, 2017. p 566-580.

TREVODRYWALL, 2019. Disponível em: <http://www.trevodrywall.com.br/>. Acesso em: 04 abr. 2019 *apud* ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15758**: Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall - Projeto e procedimentos executivos para montagem. Rio de Janeiro, 2009.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991.

VIANNA, H. **O mistério do samba**. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2014. p.35.

VITRUVIUS. 2015 Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.063/437>. Acesso em: 18 mai. 2018.

VIVANCOS, A. G.; CARDOSO, F.F. Reflexos da implementação de sistemas de gestão da qualidade na organização e no meio ambiente de trabalho de empresas construtoras de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 8, 2000, Salvador, **Anais...**: ENTAC, 2000, p. 1-8.

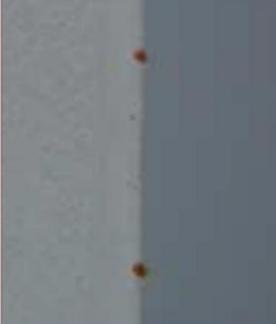
XUE, X.; SHEN, K.; REN, Z. Critical Review of Collaborative Working in Construction Projects: Business Environment and Human Behaviors. **Journal of Management in Engineering**. v.26, n.4, 2010, p.196-208.

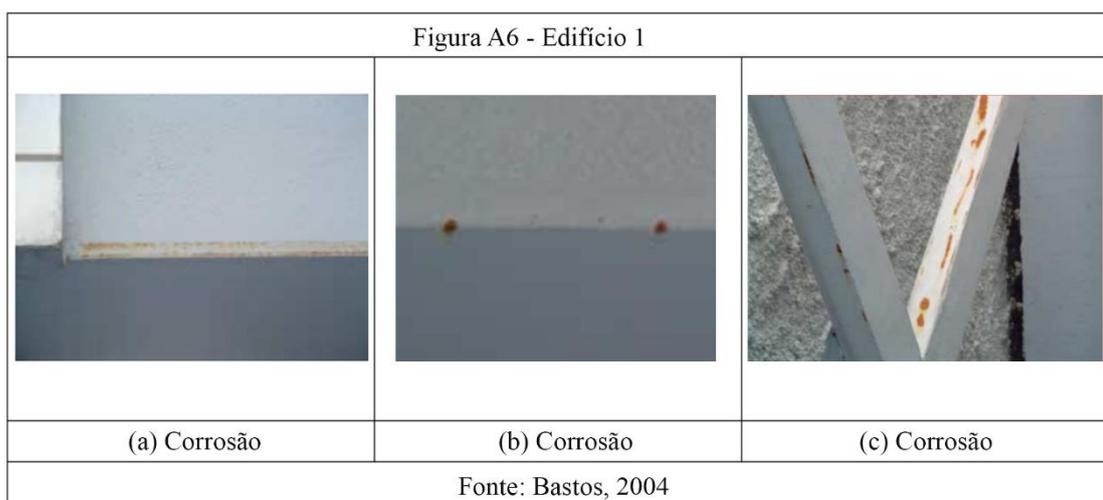
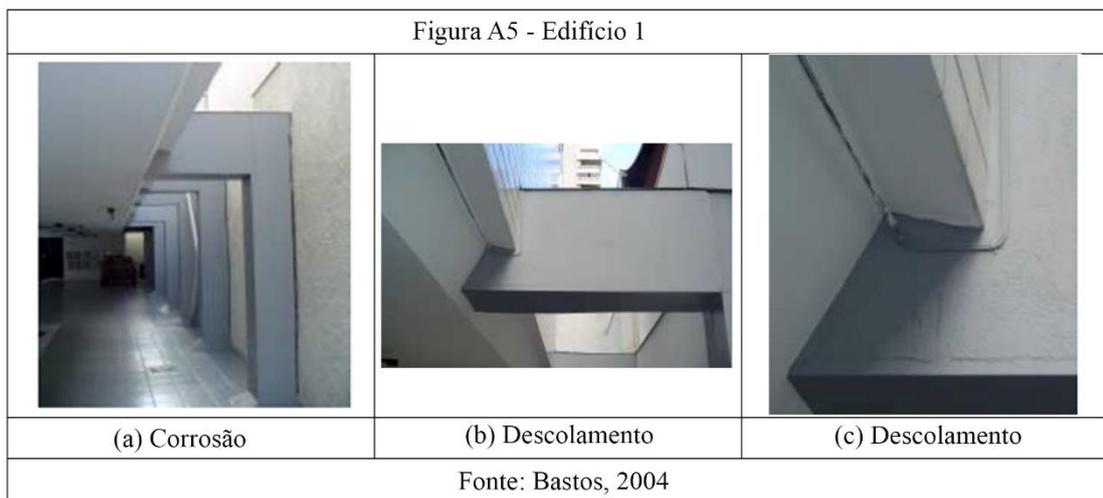
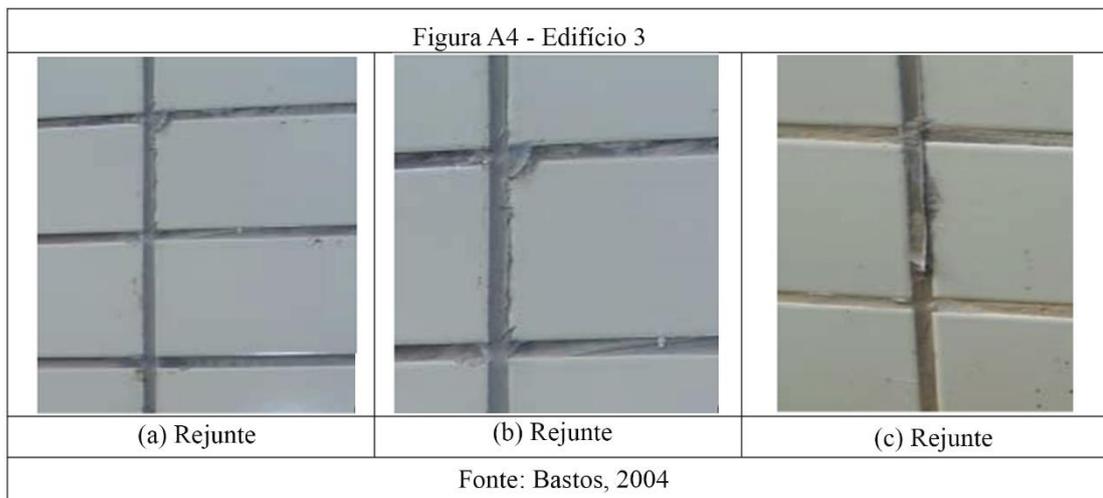
YANG, J. B.; WEI, P. R. Causes of Delay in the Planning and Design Phases For Construction Projects. **Journal of Architectural Engineering**. v.16, n.2, 2010, p. 80-83.

APÊNDICE A - FOTOS DAS PATOLOGIAS IDENTIFICADAS

| Figura A1 - Edifício 1 | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| (a) Descolamento/ Infiltração | (b) Corrosão | (c) Corrosão |
| Fonte: Bastos, 2004 | | |

| Figura A2 - Edifício 1 | | |
|--|--|--|
|  |  |  |
| (a) Corrosão | (b) Corrosão/ descolamento | (c) Descolamento |
| Fonte: Bastos, 2004 | | |

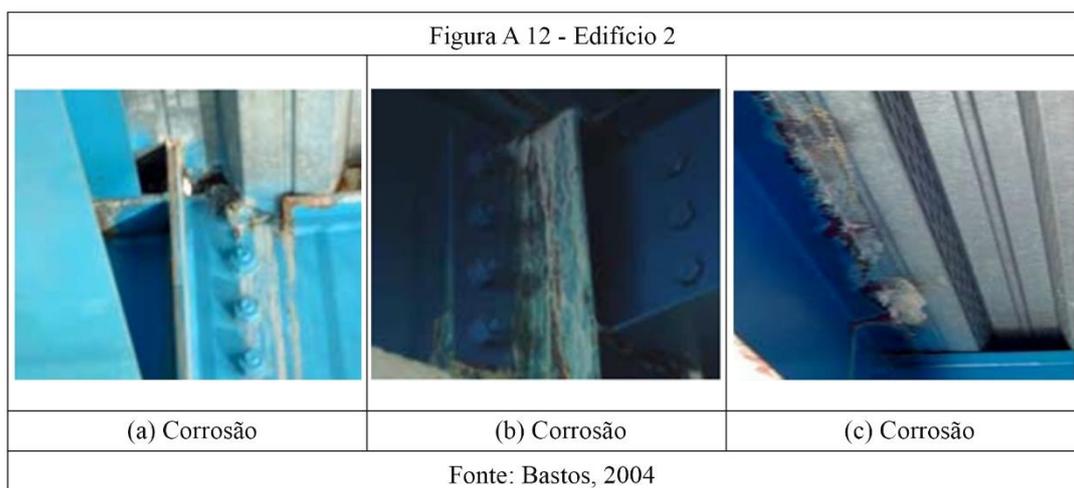
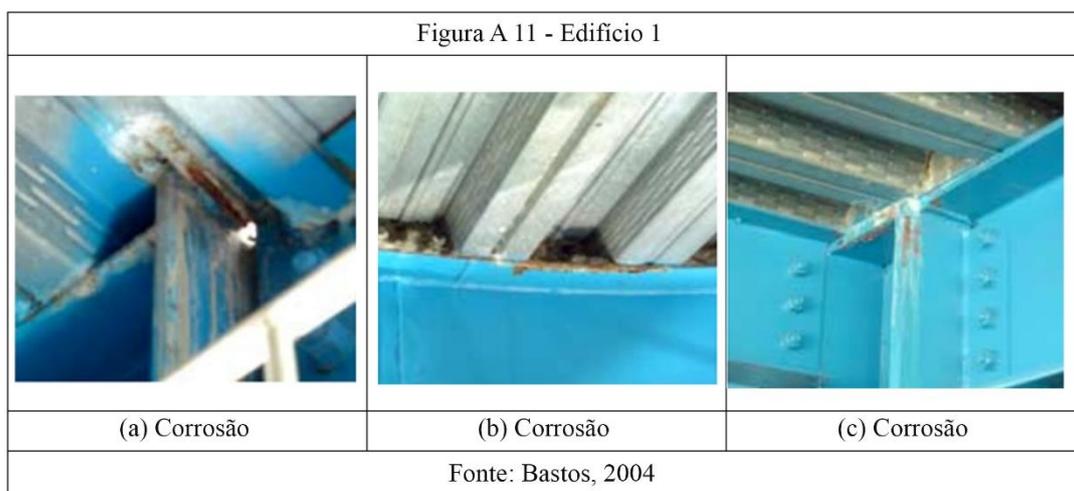
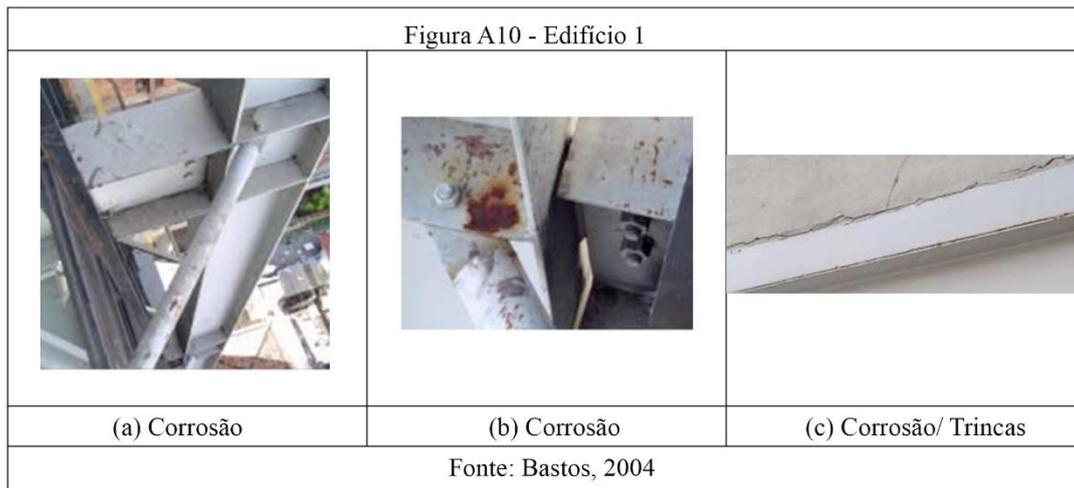
| Figura A3 - Edifício 1 | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| (a) Corrosão | (b) Corrosão | (c) Corrosão |
| Fonte: Bastos, 2004 | | |



| Figura A7 - Edifício 1 | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| (a) Fissura | (b) Corrosão | (c) Infiltração |
| Fonte: Bastos, 2004 | | |

| Figura A8 - Edifício 2 | | |
|--|--|--|
|  |  |  |
| (a) Infiltração | (b) Infiltração | (c) Fissura |
| Fonte: Bastos, 2004 | | |

| Figura A9 - Edifício 2 | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| (a) Corrosão | (b) Corrosão | (c) Corrosão |
| Fonte: A Autora, 2018 | | |



| Figura A 13 - Edifício 1 | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| (a) Corrosão | (b) Corrosão | (c) Corrosão |
| Fonte: Bastos, 2004 | | |

| Figura A 14 - Edifício 1 | | |
|--|--|---|
|  |  |  |
| (a) Fissura | (b) Fissura | (c) Infiltração |
| Fonte: Bastos, 2004 | | |

| Figura A 15 - Edifício 2 | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| (a) Infiltração | (b) Descolamento | (c) Fissura |
| Fonte: A Autora, 2018 | | |