

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Michele Endres Zuehl

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE AÇO –
LIGHT STEEL FRAME**

Santa Cruz do Sul

2019

Michele Endres Zuehl

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE AÇO –
LIGHT STEEL FRAME**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, para a obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Me. Henrique Luiz Rupp

Santa Cruz do Sul

2019

Michele Endres Zuehl

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE AÇO –
LIGHT STEEL FRAME**

Este trabalho foi submetido à banca examinadora, abaixo nomeada, do curso de Engenharia Civil, da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil.

Me. Henrique Luiz Rupp

Professor Orientador – UNISC

Me. Camila Crauss

Professor Examinador – UNISC

Me. Lucas Alexandre Reginato

Professor Examinador – UNISC

Santa Cruz do Sul

2019

Ao meu filho Vicente, por todo amor e inspiração.

AGRADECIMENTOS

À Deus e às energias do Universo por me manterem veraz e determinada na jornada acadêmica, essa importante etapa da minha vida à qual me mostrou quão guerreira e próspera posso ser na conquista dos meus sonhos.

À minha mãe por todo amor e incentivo e, por sempre afirmar o quanto sou capaz de concretizar meus objetivos. Ao meu marido pela paciência nas muitas vezes que não estive presente, pelo apoio e por sempre acreditar em mim. Ao meu amado filho pelo amor incondicional e pelas vezes que, mesmo sem entender, me motivou a continuar e a concretizar esse sonho.

Aos meus amigos, de perto e de longe, pelas palavras de incentivo e por acreditarem em mim e no meu potencial, até mesmo quando nem eu mais acreditava. Especialmente, à Engenheira Civil Cassia Paula Gabe, pela leitura do meu trabalho, pelas valiosas sugestões e por confiar na minha capacidade.

Ao Engenheiro Civil Eduardo Rayher Soares, por toda a disponibilidade em me ajudar no decorrer desse trabalho e pela gentileza em cooperar com o compartilhamento de material e informações, tornando possível o estudo de casos. À Engenheira Civil Luiza Bouvie, por ter me instigado na escolha do tema deste trabalho de conclusão.

Ao meu orientador Henrique Luiz Rupp, por aceitar me guiar nesta etapa, mesmo sabendo das dificuldades que eu poderia encontrar. Agradeço-te por sempre confiar que eu seria competente para concluir esse trabalho, por me tranquilizar quando necessário e por todo o conhecimento e apoio transmitidos.

Sou grata a todos que participaram da minha vida e que, de alguma forma contribuíram para a conclusão da minha graduação.

*“Um pássaro pousado em uma árvore nunca tem medo que o galho se rompa,
porque sua confiança não está no galho e sim em suas próprias asas, por isso
acredite em si mesmo!”*

Chico Xavier

RESUMO

A proficiência econômica e ambiental, do sistema construtivo *Light Steel Frame*, gradativamente ganha destaque como um método inovador na área da construção civil em nosso país. Porém, no que concerne à aplicação da técnica construtiva no Brasil é fato que, o progresso ainda é lento considerando que as normativas são estrangeiras, o que pode influenciar também na falta de preparo de alguns trabalhadores atuantes no setor. Neste âmbito, o presente trabalho apresenta como ideia principal, a divulgação e análise de estudo de casos relacionados às manifestações patológicas estabelecidas no método LSF, as quais podem ter origem devido aos vícios ou defeitos construtivos, fundamentados na falta de qualificação profissional. Ainda, estima-se que este trabalho possa contribuir na conscientização da importância de se adquirir conhecimento técnico e científico acerca de novos métodos construtivos, haja vista a necessidade de implantar inovações na construção civil de forma eficiente e com qualidade. Além disso, colaborar como referencial de pesquisas a respeito de manifestações patológicas em edificações executadas através do método *Light Steel Frame*, considerando a importância de o profissional estar preparado para inspecionar, diagnosticar e prover manutenção e reabilitação das construções afetadas por anomalias.

Palavras-chave: *Light Steel Frame*. Sistema Construtivo. Manifestações Patológicas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Desenho esquemático de uma residência em LSF | 16 |
| Figura 2 - Parafuso ponta broca | 24 |
| Figura 3 - Parafuso ponta agulha | 24 |
| Figura 4 - Parafusos: cabeça lentilha, sextavada e panela | 25 |
| Figura 5 - Parafuso cabeça trombeta | 25 |
| Figura 6 - Parafuso cabeça trombeta e ponta broca com asas | 25 |
| Figura 7 - Parafuso cabeça lentilha e ponta broca | 26 |
| Figura 8 - Parafuso cabeça sextavada e ponta broca | 26 |
| Figura 9 - Parafuso cabeça trombeta e ponta broca | 26 |
| Figura 10 - Parafuso cabeça trombeta e ponta broca com asa (1) | 27 |
| Figura 11 - Parafuso cabeça trombeta e ponta broca com asa (2) | 27 |
| Figura 12 - Desenho esquemático de fechamento externo com EIFS | 29 |
| Figura 13 - Orientação das fibras de madeira em uma placa OSB | 30 |
| Figura 14 - Placa cimentícia | 32 |
| Figura 15 - Cores das placas de gesso | 34 |
| Figura 16 - Esquema em corte transversal do tratamento de juntas – face externa da parede | 38 |
| Figura 17 - Tratamento de junta do sistema Aquapanel | 42 |
| Figura 18 - Esquema impermeabilização | 45 |
| Figura 19 - Contraventamento em “X” com fitas de aço galvanizado | 62 |
| Figura 20 - Componentes de um painel estrutural sem abertura | 62 |
| Figura 21 - Esquema de travamento horizontal dos montantes por meio de bloqueadores e fitas horizontais de aço galvanizado | 63 |
| Figura 22 - Detalhamento revestimento com placa de cimento e ancoragem | 64 |
| Figura 23 - Detalhamento tratamento de junta | 66 |
| Figura 24 - Detalhamento superposição de malha de reforço | 67 |
| Figura 25 - Detalhamento reforços com malha nos vértices de aberturas | 67 |
| Figura 26 - Painel típico em LSF | 76 |
| Figura 27 - Distribuição de cargas verticais | 77 |
| Figura 28 - Ligação dupla de montantes | 77 |
| Figura 29 - Ligação tripla de montantes | 78 |
| Figura 30 - Ligação de quatro montantes | 78 |
| Figura 31 - Encontro de montantes em perspectiva (Duplo – Triplo – quádruplo) | 79 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 32 - Fixação mecânica | 80 |
| Figura 33 - Distância entre fixadores mecânicos | 80 |
| Figura 34 - Distância até a borda | 81 |
| Figura 35 - Profundidade do fixador | 81 |
| Fotografia 1 - Método <i>Stick</i> | 19 |
| Fotografia 2 - Método por painéis | 20 |
| Fotografia 3 - Método modular | 21 |
| Fotografia 4 - Residência em LSF | 51 |
| Fotografia 5 - Revestimento fissurado | 52 |
| Fotografia 6 - Fissuras | 52 |
| Fotografia 7 - Deslocamento de revestimento e tratamento incorreto de junta | 53 |
| Fotografia 8 - Revestimento deslocado e placa danificada | 53 |
| Fotografia 9 - Estrutura sem travamento | 54 |
| Fotografia 10 - Fixação de placas | 54 |
| Fotografia 11 - Perfil Drywall | 55 |
| Fotografia 12 - Modulação de perfil | 55 |
| Fotografia 13 - Engaste de perfis | 56 |
| Fotografia 14 - Engaste de perfil no concreto e furos incorretos no perfil | 57 |
| Fotografia 15 - Fixação de perfil em estrutura existente | 57 |
| Fotografia 16 - Estrutura fora de prumo | 58 |
| Fotografia 17 - Empenamento de perfil | 59 |
| Fotografia 18 - Escoras de platibanda | 59 |
| Fotografia 19 - Perfil com sentido invertido | 69 |
| Fotografia 20 - Desalinhamento de perfil | 70 |
| Fotografia 21 - Solicitações fora dos nós | 71 |
| Fotografia 22 - Encontro de painéis | 72 |
| Fotografia 23 - Encontro de painéis | 72 |
| Fotografia 24 - Parafuso colapsado | 73 |
| Fotografia 25 - Parafuso cisalhado | 74 |
| Fotografia 26 - Cabeças de parafusos colapsados | 74 |
| Fotografia 27 - Cabeça de parafuso lentilha cisalhada | 75 |
| Fotografia 28 - Fixação mecânica dos painéis na fundação | 75 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Espessura e aplicação de placas cimentícias | 32 |
| Tabela 2 - Características sistema Aquapanel | 42 |
| Tabela 3 - Requisitos quanto à estanqueidade à água | 46 |
| Tabela 4 - Dimensões dos perfis segundo as normas brasileiras | 56 |
| Tabela 5 - Diferença entre perfis de Drywall e LSF segundo normas brasileiras | 61 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABDI | Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AEEBC | <i>Association d'Experts Européens du Bâtiment et de la Construction</i> |
| AISI | <i>American Iron and Steel Institute</i> |
| CBCA | Centro Brasileiro da Construção em Aço |
| CBIC | Câmara Brasileira da Indústria da Construção |
| DATec | Documento de Avaliação Técnica |
| EIFS | <i>Exterior Insulation and Finish System</i> |
| EPS | Poliestireno Expandido |
| ETICS | <i>External Thermal Insulation Composite Systems</i> |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização) |
| LSF | <i>Light Steel Frame</i> |
| NASFA | <i>North American Steel Framing Alliance</i> |
| NBR | Norma Brasileira |
| OSB | <i>Oriented Strand Board</i> |
| PFF | Perfil Formado a Frio |
| RF | Resistente ao Fogo |
| RU | Resistente à Umidade |
| SINAT | Sistema Nacional de Avaliação Técnica |
| ST | <i>Standard</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Área e delimitação do tema | 14 |
| 1.2 | Objetivos..... | 14 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral | 14 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos..... | 14 |
| 1.3 | Justificativa | 14 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1 | Light Steel Frame (LSF) | 16 |
| 2.1.1 | Métodos de construção do sistema LSF | 18 |
| 2.1.1.1 | Método Stick | 18 |
| 2.1.1.2 | Método por painéis..... | 19 |
| 2.1.1.3 | Método modular | 20 |
| 2.1.2 | Fundações..... | 21 |
| 2.1.3 | Coberturas | 21 |
| 2.1.4 | Ligações | 22 |
| 2.1.4.1 | Parafusos | 23 |
| 2.1.4.2 | Aplicações no sistema LSF..... | 25 |
| 2.1.5 | Fechamento vertical | 27 |
| 2.1.5.1 | Exterior Insulation and Finish System (EIFS) | 28 |
| 2.1.5.2 | Painéis de OSB (Oriented Strand Board) | 30 |
| 2.1.5.3 | Placa cimentícia | 31 |
| 2.1.5.4 | Gesso acartonado (DryWall) | 32 |
| 2.2 | Manifestações patológicas..... | 35 |
| 2.2.1 | Manifestações patológicas no sistema LSF | 36 |
| 2.2.1.1 | Fissuras..... | 37 |
| 2.2.1.2 | Manifestações patológicas das ligações..... | 39 |
| 2.2.1.3 | Umidade | 40 |
| 2.3 | Métodos preventivos..... | 40 |
| 3 | METODOLOGIA | 49 |
| 3.1 | Caracterização da pesquisa | 49 |
| 4 | RESULTADOS E ANÁLISES | 50 |
| 4.1 | Estudos de casos de manifestações patológicas no sistema Light Steel Frame ... | 50 |

| | | |
|--------------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.1 | Edificação 1..... | 50 |
| 4.1.2 | Edificação 2..... | 50 |
| 4.2 | Das manifestações patológicas e suas causas | 51 |
| 4.2.1 | Das medidas de recuperação e correção..... | 60 |
| 4.3 | Das manifestações patológicas e suas causas | 68 |
| 4.3.1 | Das medidas de recuperação e correção..... | 75 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 82 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 84 |

1 INTRODUÇÃO

Um dos assuntos mais importantes para o desenvolvimento sustentável tem sido providenciar equilíbrio entre responsabilidade social, sucesso econômico e proteção do meio ambiente. Em outras palavras, conforme publicado no Relatório Brundtland, “Nosso Futuro Comum” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019), desenvolvimento sustentável é considerado um desafio porque precisa corresponder não somente as necessidades da geração atual, mas também estar engajado em não comprometer a capacidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades.

Na Engenharia Civil, a busca por inovações tecnológicas mais eficientes que possam também aumentar a produtividade atendendo a demanda crescente no setor, bem como possibilitar a redução do desperdício através da industrialização e racionalização dos processos, já começou. Sob este âmbito, para que seja possível às construtoras sobreviverem ao mercado, se faz necessário o investimento em processos construtivos mais eficientes a fim de garantir competitividade através de produtos de melhor qualidade sem aumentos significativos de custos (CRASTO, 2005).

Dessa forma, com a finalidade de atender as novas dinâmicas de mercado, o uso do aço na construção civil vem aparecendo cada vez mais como uma alternativa viável e, o sistema *Light Steel Frame* (LSF), o qual se trata de um sistema construtivo composto por um conjunto de perfis formados a frio de chapas de aço galvanizadas, é capaz de proporcionar uma construção industrializada e a seco.

Por outro lado, é importante ressaltar que o aço, tanto quanto qualquer outro componente construtivo, quando empregado inadequadamente pode estar sujeito a sofrer manifestações patológicas, as quais em sua grande maioria pode ser evitada ainda na fase do projeto (SILVA, 2012).

Objetivando o estudo dos possíveis fenômenos patológicos no sistema construtivo *Light Steel Frame*, se torna imprescindível o conhecimento acerca do assunto.

Patologia da construção é o estudo das causas, efeitos e conseqüências do desempenho insatisfatório da edificação, seu estudo é indicado para apurar responsabilidades, corrigir defeitos de construção e principalmente prevenir e evitar defeitos futuros na construção. As manifestações patológicas da construção são vícios ou defeitos construtivos que se instalam nas edificações por erros de projeto, execução, uso ou manutenção (SILVA, 2012, p. 2).

1.1 Área e delimitação do tema

O presente trabalho foi desenvolvido na área de estruturas de aço com ênfase nas potenciais manifestações patológicas do sistema *Light Steel Frame*.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo contribuir para o entendimento e aprimoramento acerca das manifestações patológicas construtivas que possam ocorrer em sistemas industrializados, como o *Light Steel Frame*, através do estudo de informações sobre o tema, haja vista a carência de pesquisa e conhecimento quanto às características de desempenho e técnicas de execução de novos sistemas tecnológicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Descrever sucintamente as características do sistema *Light Steel Frame*, bem como sobre os materiais utilizados em sua concepção estrutural e fechamentos verticais;
- Pesquisar e apresentar uma visão geral sobre o que são manifestações patológicas;
- Explorar as possíveis manifestações patológicas adequadas ao sistema LSF, assim como suas causas;
- Avaliar ações viáveis para recuperação das referidas manifestações patológicas, tanto quanto obter entendimento de como evitá-las.

1.3 Justificativa

Atualmente o setor da engenharia civil vivencia uma constante busca por novos métodos de construção, os quais sejam capazes de suprir as demandas relacionadas à rapidez na execução e que, diminuam o custo final da obra, sem esquecer na redução de desperdícios visando sustentabilidade. Ainda, que apresentem bom desempenho e durabilidade agregando valor ao projeto.

Conforme exposto em bibliografia, o aço, que é considerado um material funcional, quando empregado no sistema construtivo *Light Steel Frame* proporciona avanço da qualidade no processo de produção, pois é mais proficiente econômico e ambientalmente (BOUVIE, 2015).

Em vista disso, se faz necessário que profissionais da área estejam qualificados para projetar aplicando novas tecnologias, da mesma maneira que, sejam capazes de efetuar a correta aquisição e estocagem de insumos, produção dos elementos na indústria e finalmente a montagem e instalação final no canteiro de obras. Do mesmo modo, é importante que possuam respaldo técnico e científico para evitar futuras falhas de desempenho, bem como estejam atentos aos conhecimentos relacionados à inspeção, diagnóstico, manutenção e reabilitação das construções.

Considerando a limitada disponibilidade de material referente ao estudo das possíveis manifestações patológicas relacionadas ao sistema *Light Steel Frame* e seus métodos e materiais, tanto de vedação quanto estrutural, o presente trabalho de pesquisa e análise se propõe a auxiliar na busca por conhecimento e entendimento acerca do assunto. Além disso, se almeja poder contribuir para o diagnóstico das possíveis anomalias construtivas no sistema LSF, bem como buscar soluções para resolver e, principalmente, empenhar-se em expor ações e técnicas necessárias a fim de evitar tais manifestações patológicas.

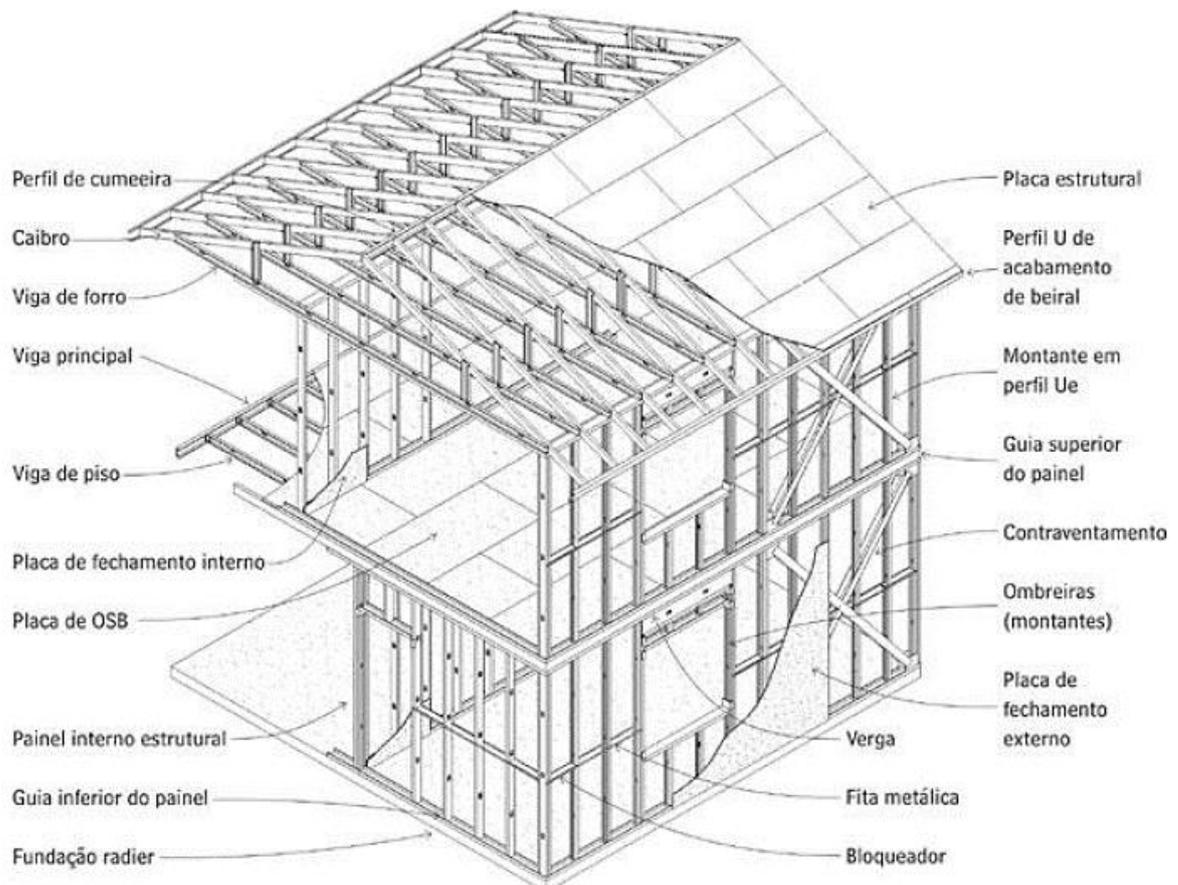
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Light Steel Frame (LSF)

Durante muitos anos os engenheiros civis se perguntaram se era possível que a construção no Brasil deixasse seu caráter artesanal para seguir o caminho da industrialização nos canteiros de obra (FARIA, 2008). Atualmente, o *Light Steel Frame* e a industrialização são os métodos construtivos que se enquadram na busca por resultados mais eficientes aliados a técnicas mais sustentáveis, bem como redução nos custos.

De acordo com Rodrigues (2006) existem dois conceitos básicos relativos ao Sistema *Light Steel Frame* (LSF): *Frame* é o esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação, sendo composto por elementos leves – os perfis formados a frio (PFF) e *Framing* é o processo pelo qual se unem e vinculam esses elementos.

Figura 1 - Desenho esquemático de uma residência em LSF



Fonte: Crasto e Freitas (2006, p. 2).

Ademais, segundo especialistas da ConsulSteel (2002) citados por Rego (2012), o método LSF não se resume apenas à estrutura de aço como também é composto por vários outros subsistemas, que além de estrutural, é também de isolamento térmico e acústico, de fechamento interno e externo e, de instalações elétricas e hidráulicas.

O uso do aço como material de construção pode ser fundamentado por meio de vários aspectos positivos que, conforme exposto no manual *Steel Building in Europe* (ARCELORMITTAL, 2019), são as seguintes:

- Força e eficiência combinadas;
- Alta resistência em relação ao peso e notável capacidade de carga;
- Pré-fabricado: estruturas inteiras criadas na indústria e montadas rapidamente no local;
- Adaptáveis: estruturas de aço podem ser alteradas e modificadas;
- Baixo custo e reciclagem simples;
- Estética rica e variada;
- Material fabricado em seções para então serem usados para produzir estruturas e componentes de construção.

O aço empregado no sistema construtivo *Light Steel Frame* se diferencia por ser uma solução econômica e eficiente, mas também por ascender vantagens como:

- Baixo peso estrutural: reduz as solicitações de fundação para a estrutura. Conforme descrito em literatura, uma estrutura de aço, quando comparada com uma estrutura de concreto, tem seu peso próprio relativamente mais baixo. Portanto, tal vantagem aliada à pré-fabricação fora do local da construção são contribuições significativas para a redução das atividades no canteiro de obras, minimizando possíveis desorganizações durante a execução, bem como contribui para redução do impacto ambiental.
- Dimensões mínimas de construção: o aço permite a construção de grandes vãos com profundidades relativamente pequenas, desenvolvendo solução estruturalmente eficiente e econômica.
- Velocidade de construção: há facilidades que contribuem para minimizar o período de construção, desde a concepção até a conclusão da obra. Os componentes de aço são pré-fabricados externamente de maneira extremamente precisa evitando a necessidade de correção de erros no local da montagem. Dessa forma, as atividades no local serão principalmente uma operação para juntar as peças de aço e montar a estrutura, o que leva a um curto período de construção.

- Flexibilidade e adaptabilidade: estruturas de aço são consideradas flexíveis e adaptáveis, pois os componentes podem ser projetados e fabricados tanto para projetos retilíneos quanto para plantas irregulares ou componentes curvos, nesses casos havendo implicações de custos mais elevados na fabricação.

- Solução sustentável: o aço pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder qualidade ou resistência, conforme exposto no manual *Steel Buildings in Europe* (ARCELORMITTAL, 2019). Há considerável valor comercial em sucatas de aço devido uma significativa quantidade de material reciclado ser usado para a produção de novos produtos de aço, sendo esses fabricados em condições controladas a fim de evitar desperdícios. Ainda, considerando o fato de que no local da construção é realizada praticamente apenas a montagem, há raramente qualquer desperdício.

2.1.1 Métodos de construção do sistema LSF

Na execução de edificações em *Light Steel Frame*, pode-se atingir um patamar de alto grau de industrialização onde as atividades no canteiro de obra se resumem à montagem da edificação através do posicionamento das unidades de interligação. Conforme a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2015), isso se justifica devido ao nível de industrialização proposto pelo projeto e a alta racionalização empregada no processo de construção.

Segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), bem como descrito no Manual da Construção Industrializada (ABDI, 2015), existem basicamente 3 métodos de construção utilizando o sistema LSF.

2.1.1.1 Método Stick

Os perfis são cortados no canteiro da obra e, painéis, lajes, colunas, contraventamentos e tesouras de telhados são montados no local (Fotografia 1). Os perfis podem vir perfurados para a passagem das instalações elétricas e hidráulicas. Já os demais subsistemas são instalados posteriormente à montagem da estrutura. Esse método de construção pode ser usado quando a pré-fabricação não é viável e, apresenta as seguintes vantagens:

- Não há necessidade de o construtor possuir local para a pré-fabricação do sistema;
- Facilidade de transporte dos perfis até o canteiro;

- As ligações dos elementos são de fácil execução, apesar do aumento de atividades na obra.

Fotografia 1 - Método *Stick*



Fonte: ABDI (2015, p. 138).

2.1.1.2 Método por painéis

Painéis estruturais ou não, contraventamentos, lajes e tesouras de telhado podem ser pré-fabricados fora do canteiro e montados no local (Fotografia 2). Ainda, segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), alguns materiais de fechamento podem também ser aplicados na fábrica para diminuir o tempo da construção. Os painéis e subsistemas são conectados no local usando as técnicas convencionais, os quais são parafusos auto-brocantes e auto-atarraxantes. As principais vantagens são:

- Velocidade de montagem;
- Alto controle de qualidade na produção dos sistemas;
- Minimização do trabalho na obra;
- Aumento da precisão dimensional devido às condições mais propícias de montagem dos sistemas de fábrica.

No Brasil, o método de construção por painéis é o mais amplamente utilizado, pois melhor se adaptou à cultura das empresas (ABDI, 2015).

Fotografia 2 - Método por painéis



Fonte: ABDI (2015, p. 139).

2.1.1.3 Método modular

Construções modulares são unidades completamente pré-fabricadas e podem ser entregues no local da obra com todos os acabamentos internos como revestimento, louças sanitárias, bancadas, mobiliários fixos, metais, instalações elétricas e hidráulicas, etc. Essas unidades podem ser estocadas lado a lado, ou uma sobre as outras já na forma da construção final (Fotografia 3). Por ser concebida em módulos, apresenta vantagens como:

- Realocação;
- Adaptação;
- Desconstrução.

Fotografia 3 - Método modular

Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 25).

2.1.2 Fundações

Para as construções em LSF, haja vista o baixo peso da sua estrutura, bem como de seus componentes de fechamento, as solicitações das fundações também serão reduzidas. Porém, na escolha da fundação é necessário considerar que a mesma seja contínua a fim de suportar as cargas uniformemente distribuídas ao longo dos painéis estruturais. Os tipos mais usuais de fundações para o sistema LSF são o Radier e a Sapata Corrida (Viga Baldrame).

Desse modo, com a base corretamente nivelada e em esquadro há maior possibilidade de precisão na montagem da estrutura e demais componentes do sistema (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012). Ainda, é fundamental a realização de sondagem do terreno no local da construção para que possa ser verificada a topografia, bem como o tipo de solo disponível, a existência ou não de lençol freático e, a profundidade de solo firme.

Assim, dispondo de todas as informações relevantes será possível a realização de um projeto apropriado e de uma execução satisfatória com a finalidade de maior eficiência estrutural. Pois, a qualidade final da fundação está intimamente ligada ao correto funcionamento dos subsistemas que formam o edifício (CONSULSTEEL, 2002).

2.1.3 Coberturas

Conforme LaBoube (1995) citado por Crasto (2005), a estrutura de um telhado deve suportar além do peso próprio de seus componentes, os pesos dos revestimentos de cobertura, forros suspensos, materiais de isolamento, cargas de vento, de neve, e outros equipamentos ou

elementos fixados ou apoiados à estrutura. Ainda, se faz necessário prever os possíveis carregamentos durante a execução da construção ou futura manutenção.

O sistema *Light Steel Frame*, devido sua versatilidade permite que os profissionais da área executem variados tipos de coberturas, sendo a estas atribuídas a função de proteger a edificação da ação das intempéries, bem como funcionar como regulador térmico dos ambientes.

2.1.4 Ligações

Com o intuito de garantir o desempenho satisfatório das estruturas em LSF é indispensável à correta prática dos elementos de ligação que, são todos aqueles componentes que possibilitam a transmissão dos esforços que podem ser: enrijecedores, placas de base, cantoneiras, chapas de gusset, talas de mesa e de alma. Segundo Bevilaqua (2005), há também os meios de ligação, os quais são os componentes que promovem a união entre as partes da estrutura para formar a ligação, como: soldas e parafusos. Salientamos que é necessário dar atenção as ligações, pois as mesmas podem comprometer o desempenho da estrutura, causar manifestações patológicas e elevar os custos da obra.

Segundo Elhajj (2004) citado por Crasto (2005), a escolha de um tipo específico de ligação ou fixação depende dos seguintes fatores:

- Condições de carregamento;
- Tipo e espessura dos materiais conectados;
- Resistência necessária da conexão;
- Configuração do material;
- Disponibilidade de ferramentas e fixações;
- Local de montagem, se no canteiro ou em uma fábrica ou oficina;
- Custo;
- Experiência de mão de obra;
- Normativas.

Nas construções em LSF, o parafuso é o meio de fixação mais utilizado porque é o mais eficiente considerando que, pode ser executado tanto nas fábricas como no canteiro de obras. Além disso, permite a ligação entre vários tipos de componentes da edificação.

2.1.4.1 Parafusos

A possibilidade de uma estrutura em aço poder ser desmontada e adaptada conforme a necessidade é viável devido as suas ligações serem aparafusadas e permitirem fácil execução e controle. Conforme consta no Manual da Construção Industrializada (ABDI, 2015), para que uma ligação tenha um bom desempenho é necessário que o dimensionamento e o detalhamento sejam precisos, capazes de garantir que as resistências correspondentes aos estados-limites sejam maiores que as solicitações de cálculo e, que as premissas de projeto possam ser devidamente atendidas na ligação real. Lembramos ainda que os tipos de solicitações que os parafusos estão submetidos são: tração, cisalhamento e tração combinada com cisalhamento (CASTRO, 1999).

Segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), para as construções em *Light Steel Frame* os parafusos auto-atarraxantes e auto-brocantes são os tipos de conexões mais utilizadas. Ainda, esses elementos são em aço carbono com tratamento cimentado e temperado. Também, são recobertos com uma proteção zinco-eletrolítica para evitar corrosão e manter características similares à estrutura galvanizada. Ressaltamos que os parafusos são elementos bastante confiáveis, haja vista que a indústria está em constante busca para o desenvolvimento da durabilidade e desempenho dos mesmos.

Há no mercado produtos de inúmeros tamanhos e comprimentos, os quais devem ser escolhidos conforme a aplicação necessária. Lembrando que, conforme explicado por profissionais, o parafuso ao fixar os componentes de aço entre si, deve ultrapassar o último elemento no mínimo em três passos de rosca. Já quando houver fixação entre elementos como placas de fechamento e perfis de aço, o parafuso deve fixar todas as camadas e ultrapassar o perfil de aço em pelo menos 10 mm (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

Além disso, é importante mencionar as seguintes recomendações, conforme exposto por Santiago, Freitas e Crasto (2012):

- O comprimento nominal do parafuso e o seu diâmetro estão diretamente relacionados à espessura total do aço que o parafuso pode perfurar;
- Quanto maior o diâmetro do parafuso, maior sua resistência ao cisalhamento;
- Quanto maior a espessura do aço a perfurar, menor deve ser o passo do parafuso, o qual se identifica como sendo a separação dos fios de rosca;
- A espessura da chapa de aço a ser perfurada é que define o tipo de ponta que o parafuso precisa ter.

Considerando que os parafusos são os mais usados no sistema *Light Steel Frame*, é importante expor que eles apresentam dois tipos de pontas e que, a escolha de qual usar deve ser baseada em suas aplicações, as quais são:

- Ponta broca

Figura 2 - Parafuso ponta broca



Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 97).

Quando o projeto solicita a conexão de várias camadas de materiais é o parafuso com ponta broca (Figura 2) que deve ser utilizado. Ainda, esse meio de ligação é usado em chapas de aço com espessura mínima de 0,84 mm e os mais recomendados nas ligações de perfis estruturais.

- Ponta agulha

Figura 3 - Parafuso ponta agulha



Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 97).

Por outro lado, os parafusos com ponta agulha (Figura 3) são os que perfuram chapas de aço com espessura máxima de 0,84 mm, bem como é recomendado apenas para uso em perfis de aço não estruturais.

Ademais, é comentado também por Santiago, Freitas e Crasto (2012), que o tipo de material a ser fixado vai definir qual cabeça de parafuso deve ser usada:

- Ligação metal/metal – fixação de perfis de aço entre si.

Figura 4 - Parafusos: cabeça lentilha, sextavada e panela



Fonte: Ciser Parafusos e Porcas (c2019, <<http://www.ciser.com.br/>>).

- Ligação chapa/metal – fixação de placas de fechamento nos perfis de aço.

Figura 5 - Parafuso cabeça trombeta



Fonte: Ciser Parafusos e Porcas (c2019, <<http://www.ciser.com.br/>>).

Além disso, os autores explicam que as fendas são, normalmente, do tipo Phillips nº 2, com exceção dos parafusos com cabeça sextavada, pois os mesmos não possuem fenda.

Também, outra característica que os parafusos podem ter são asas no corpo (Figura 6) para que seja possível a fixação de placas de fechamento do tipo OSB e cimentícias.

Figura 6 - Parafuso cabeça trombeta e ponta broca com asas



Fonte: Ciser Parafusos e Porcas (c2019, <<http://www.ciser.com.br/>>).

2.1.4.2 Aplicações no sistema LSF

Baseado nos estudos de Santiago, Freitas e Crasto (2012) e ConsulSteel (2002) segue abaixo as aplicações de cada tipo de parafuso utilizado no sistema LSF:

- Parafuso cabeça lentilha e ponta broca (Figura 7): a principal característica é a largura da sua cabeça permitindo fixar firmemente as chapas de aço sem separá-las e, sem que estas se rasguem. Normalmente utilizado nas ligações entre perfis, principalmente entre montantes e guias e, em fitas de aço galvanizado.

Figura 7 - Parafuso cabeça lentilha e ponta broca



Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 97).

- Parafuso cabeça sextavada e ponta broca (Figura 8): o formato de sua cabeça impede que seja utilizado onde uma placa seria posteriormente colocada. É um parafuso estrutural utilizado na ligação entre painéis, na ligação de perfis em tesouras, enrijecedores de alma em vigas de piso e nas peças de apoio das tesouras.

Figura 8 - Parafuso cabeça sextavada e ponta broca



Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 97).

- Parafuso cabeça trombeta e ponta broca (Figura 9): tem como principal característica a cabeça em forma de trombeta que permite a total penetração no substrato que está sendo utilizado, ficando rente à superfície. Este parafuso é utilizado na fixação de placas de gesso e OSB.

Figura 9 - Parafuso cabeça trombeta e ponta broca



Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 98).

- Parafuso cabeça trombeta e ponta broca com asas (Figura 10): é um parafuso utilizado na fixação de placas cimentícias. Este modelo possui nervuras em sua cabeça em formato de trombeta, a qual permite total penetração no substrato. As asas, que se localizam entre a ponta e a rosca, apenas se desprendem quando fazem contato com o perfil de aço onde se fixa a placa. Estas ainda proporcionam perfuração de maior diâmetro na placa, não permitindo que os filamentos do material que a compõem obstruam a perfuração.

Figura 10 - Parafuso cabeça trombeta e ponta broca com asa (1)



Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 98).

- Parafuso cabeça trombeta e ponta broca com asas (Figura 11): este modelo de parafuso não possui nervuras em sua cabeça e tem um passo menor. É aplicado na fixação de placas OSB de 25 mm de espessura nas vigas de piso que tenham no mínimo uma espessura de chapas de aço a perfurar de 1,6 mm. Normalmente o diâmetro do parafuso é nº 12 ou 14, sendo seu comprimento nominal de no mínimo 1 ¾ pol. O bit utilizado na parafusadeira é Phillips #3 em vez do #2.

Figura 11 - Parafuso cabeça trombeta e ponta broca com asa (2)



Fonte: Dry Center Gesso (2019, <<https://www.drycentergesso.com/produto/parafuso-com-asas/165>>).

2.1.5 Fechamento vertical

O fechamento vertical da estrutura de *Light Steel Frame* é composto por paredes externas e internas, as quais devem ser feitas com componentes o mais leve possível para estar de acordo com o propósito da edificação.

Os componentes são posicionados externamente à estrutura como uma “pele” e juntamente com os perfis galvanizados, vão formar as vedações internas e externas da construção (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

Os processos de fabricação dos elementos de vedação para o sistema LSF são pensados para uma construção otimizada e industrializada. Ainda, para garantir uma construção seca e rápida, eliminando a maior parte da execução com utilização de argamassa, o método usado é o fechamento através de placas e chapas, as quais são dimensionadas com largura padronizada de 1,20 m que são múltiplos da modulação 400 mm ou 600 mm dos perfis estruturais.

Os componentes de vedação devem atender os seguintes requisitos, de acordo com a ABNT NBR 15575-4:2013:

- Segurança estrutural;
- Segurança ao fogo;

- Estanqueidade;
- Conforto termo – acústico;
- Conforto visual;
- Adaptabilidade ao uso;
- Saúde;
- Durabilidade e manutenibilidade;
- Adequação ambiental.

Em pesquisa ao manual da ConsulSteel (2002) podemos destacar o fato de que, uma construção executada através do sistema construtivo *Light Steel Frame* admite inúmeras possibilidades de se fazer o fechamento externo. Essencialmente deve ser garantido um eficiente isolamento térmico, sendo que o fechamento externo do teto é usualmente igual ao das paredes. Já a cobertura, a qual ocupa o papel principal na defesa do interior da edificação contra o clima, pode ser adaptada a qualquer tipo de telha.

Nacionalmente, os materiais mais usados para fechamento das construções em LSF são:

- *Oriented Strand Board* (OSB);
- Placa cimentícia;
- Gesso acartonado (somente para ambientes internos).

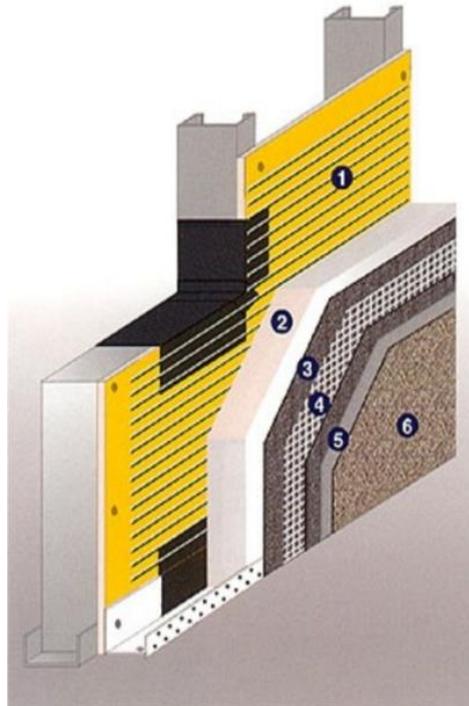
No entanto, há no mercado inúmeras possibilidades para novas tecnologias, como é o caso do *Exterior Insulation and Finish System* (EIFS).

2.1.5.1 Exterior Insulation and Finish System (EIFS)

Também conhecido como *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS), é um sistema de isolamento composto que se aplica pelo exterior da edificação com o propósito de proteger o edifício e, principalmente, fornecer conforto térmico à habitação.

Conforme a empresa Futureng (2019), o sistema EIFS (Figura 12) é constituído basicamente pelos seguintes componentes:

Figura 12 - Desenho esquemático de fechamento externo com EIFS



Fonte: Disponível em: <<http://www.futureng.pt/etics>>.

1 – fixação ao substrato (alvenaria ou placas OSB), através de parafusos e/ou de massa adesiva;

2 – placas de Poliestireno Expandido (EPS) ou outras placas de isolamento térmico, cuja espessura varia conforme a necessidade de proteção térmica;

3 – rede em fibra que confere resistência mecânica ao revestimento e cuja espessura varia conforme o nível pretendido de resistência ao impacto;

4 – revestimento base que protege o edifício, garantindo a permeabilidade à água;

5 – primário e regulador de fundo;

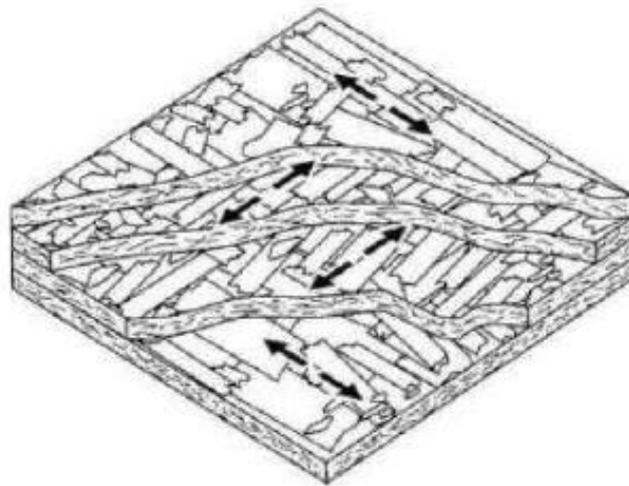
6 – revestimento final, de grande elasticidade e disponível numa grande variedade de cores e texturas.

Ademais, o isolamento térmico pelo exterior é reconhecido devido ser uma solução técnica de alta qualidade porque permite a redução de pontes térmicas, diminui o risco de condensações no interior da edificação, melhora do conforto térmico e economia de energia, devido redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento nos ambientes internos. Além disso, esse sistema de isolamento também permite a redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura, bem como a melhoria da impermeabilidade das paredes e, possibilidade de reabilitação de fachadas danificadas sem perturbar os ocupantes.

2.1.5.2 Painéis de OSB (Oriented Strand Board)

As placas de OSB (Figura 13) são constituídas de chapas de madeiras orientadas, as quais são concebidas a partir de fibras dispostas em camadas perpendiculares entre si, sendo as mesmas unidas com resinas. Após, são prensadas em altas temperaturas. Ainda, conforme Barros (2017), a resistência mecânica das placas OSB confere rigidez, baixo peso, facilidade de instalação manual e transporte.

Figura 13 - Orientação das fibras de madeira em uma placa OSB



Fonte: Barros (2017, p. 23).

Segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), as chapas OSB podem ser utilizadas para fechamento de face interna e externa dos painéis, para forros e pisos e, como substrato para cobertura do telhado. Além disso, auxiliam no isolamento termo acústico, garantindo conforto e eficiência à edificação.

Salientando que, apesar das propriedades de resistência e boa estabilidade das placas, as mesmas não devem ficar expostas a intempéries, sendo necessário acabamento impermeável quando utilizadas em áreas externas para garantir a estanqueidade da parede. Tal proteção externa, contra a água, é realizada com a utilização de membrana de polietileno de alta densidade, utilizada a fim de impedir a passagem de água para dentro do painel. Contudo, a mesma deve permitir a saída de vapor, evitando a condensação dentro dos ambientes. Também, é sabido que os painéis OSB são tratados contra insetos como cupins, por exemplo.

Ainda, conforme Lopes et al. (2008), é importante que sejam previstas juntas de dilatação de 3 mm em todo o perímetro da placa, fixadas adequadamente à montante e, estas devem estar desencontradas entre si. Além disso, é necessário evitar ou minimizar pontes

térmicas e acústicas. Para isso, se deve evitar contato direto da placa com o solo ou fundação colocando na base dos painéis uma fita seladora antes da montagem dos mesmos.

As placas em análise são usualmente fabricadas na dimensão de 1,20 m de largura por 2,40 m de comprimento, sendo este um fator importante para se conseguir eficiência no distanciamento entre os montantes, os quais seriam: 400 mm ou 600 mm. Considerando suas dimensões e por serem leves, os painéis OSB podem ser transportados manualmente e, a fixação é realizada utilizando parafusos auto-brocantes e auto-atarraxantes.

2.1.5.3 Placa cimentícia

As chapas cimentícias (Figura 14) são versáteis e podem ser empregadas tanto em fechamentos externos como internos, permitindo também o fechamento de áreas molhadas. O uso correto desse material depende de cuidados específicos para cada aplicação e execução, os quais são indicados pelos próprios fabricantes.

Por definição, toda chapa delgada que contém cimento na composição é chamada de cimentícia e possuem em sua composição mistura de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados (LOTURCO, 2003). Como características principais, podemos citar, segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012):

- Elevada resistência a impactos, possibilitando seu uso em fechamentos externos;
- Grande resistência à umidade, podendo ser exposta a intempéries;
- Incombustíveis;
- Podem ser curvadas depois de saturadas;
- Baixo peso próprio, proporcionando facilidade no transporte e manuseio;
- Compatível com a maioria dos acabamentos ou revestimentos;
- São cortadas com facilidade e de rápida execução.

Figura 14 - Placa cimentícia



Fonte: Disponível em: <<https://www.decorlit.com.br/produtos/construcao-industrializada>>.

As dimensões das placas cimentícias utilizadas no sistema *Light Steel Frame* possuem largura fixa de 1,20 m, comprimento que pode ser de 2,00 m, 2,40 m ou 3,00 m e, as espessuras variam em 6, 8 ou 10 mm, sempre de acordo com a função e aplicação da placa, conforme exposto na tabela 1.

Tabela 1 - Espessura e aplicação de placas cimentícias

| Espessura da placa | Aplicação Usual |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 mm | Podem ser aplicadas em divisórias leves e paredes secas internas, onde não existam aplicações de cargas suportadas diretamente pela placa. |
| 8 mm | Podem ser aplicadas em divisórias leves e paredes internas e externas, em áreas secas e úmidas, podendo existir aplicações de cargas suportadas pela placa. |
| 10 mm | Utilizadas para áreas secas e molhadas, internas ou externas. Ideal para paredes estruturais, melhorando a resistência contra impactos, aplicações de carga e isolamentos termo-acústicos. |

Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 87).

As características e aplicações específicas de cada placa, divulgadas pelos fabricantes, são de extrema importância e devem ser consideradas quando se optar pela utilização desse material.

2.1.5.4 Gesso acartonado (DryWall)

Com processo de fabricação industrial, as placas ou chapas de gesso acartonado (Figura 15) possuem em sua composição mistura de gesso, água e aditivos. Ainda, esse material é

revestido em ambos os lados por lâminas de cartão e tal configuração combina a resistência à compressão do gesso com a resistência à tração do cartão.

No sistema LSF, as chapas de gesso acartonado são vedações verticais leves utilizadas na parte interna das edificações. Conforme Silva e Silva (2004), as vantagens na utilização dos painéis de gesso acartonado são as seguintes:

- Manor massa, proporcionando um menor peso próprio das vedações a ser transferido para as fundações;
- Possibilidade de ganho de área pela menor espessura das paredes;
- Execução e acesso simplificado para facilidade de manutenção das instalações hidráulicas e elétricas, devido à vedação oca e estruturada por perfis;
- Possibilidade de ajuste do nível de desempenho acústico por variação da configuração (lã de vidro + placa adicional);
- Superfícies curvas são possíveis mediante umedecimento para conformação do cartão;
- Plano e qualidade superficial permitem a aplicação direta do acabamento;
- Se a utilização for bem planejada, redução do volume de perdas de material;
- Rapidez de execução de fechamento.

Conforme Santiago, Freitas e Crasto (2012), as dimensões das placas de gesso são especificadas por normas, nesse caso ABNT NBR 16618:2017 – Revestimento interno em gesso de paredes e tetos – Procedimento, e geralmente estão disponíveis com largura de 1,20 m e comprimentos que variam de 1,80 m a 3,60 m, bem como espessuras de 9,5 mm, 12,5 mm e 15 mm. Já em relação à categoria e necessidades de aplicação das placas, há no mercado três tipos:

- Placa *Standard* (ST) – são chapas de gesso normal e cartão comum para emprego em paredes de áreas secas;
- Placa hidrófuga Resistente a Umidade (RU) – possui coloração verde e tem seu uso destinado a ambientes internos sujeitos a ação da umidade. Tem fabricação especial, recebendo em sua composição adição de polímeros e tratamento a base de silicone;
- Placa Resistente ao Fogo (RF) – para aplicação em áreas secas em paredes com exigências especiais de resistência ao fogo, o gesso da chapa rosa recebe adição de fibras minerais incombustíveis em sua composição.

Figura 15 - Cores das placas de gesso



Fonte: Disponível em: <<http://diviplus.com.br/cores-placas-drywall>>.

Segundo Mitidieri Filho (1997) citado por Silva e Silva (2004), os componentes básicos do sistema de montagem de chapas de gesso acartonado são:

- Parafusos para fixação das chapas de gesso à estrutura;
- Materiais que possam ser utilizados no tratamento das juntas, como por exemplo, fita de papel reforçado;
 - Massa especial para rejuntamento à base de gesso e aditivos, inclusive resinas que conferem maior trabalhabilidade e plasticidade;
 - Cantoneiras metálicas para acabamento e proteção das chapas em cantos e em bordas cortadas;
 - Materiais que permitam um melhor desempenho termo-acústico, como lã de vidro ou lã de rocha.

Salientamos que, para uma eficiente implantação do sistema de painéis de gesso acartonado é necessário incorporar, além dos aspectos do produto, as características do processo construtivo e, um detalhe pouco lembrado é a previsão de juntas de movimentação para permitir a movimentação higrotérmica e assim, evitar fissuração. Pensando nesses detalhes, especialistas afirmam que o ideal é que o projeto das divisórias de gesso acartonado tenha início já na etapa de anteprojeto das edificações, bem como ter todos os vários projetos desenvolvidos simultaneamente.

2.2 Manifestações patológicas

O termo patologia é definido como o estudo sistemático de doenças com o objetivo de compreender suas causas, sintomas e tratamento (WATT, 2007). Para entender melhor a predisposição da estrutura ou de parte dela de apresentar problemas patológicos é necessário ter conhecimento aprofundado de como as construções são projetadas, executadas, usadas e, por vezes alteradas, além dos vários mecanismos pelos quais suas condições materiais e ambientais podem ser afetadas.

Segundo Castro (1999), manifestações patológicas acontecem quando a edificação não é capaz de se adaptar à ação de agentes agressivos, como por exemplo, agentes atmosféricos, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, variação de umidade, cargas excessivas, etc. Portanto, sabendo da dificuldade em obter controle sobre as variadas reações que as edificações possam ter perante tais agentes, haja vista as manifestações patológicas terem diversas causas e origens, se for possível determinar os diversos tipos de origens, será viável a realização de trabalho de prevenção através de planejamento e manutenção.

Ainda, a definição de patologia dos edifícios, fornecida pela *Association d'Experts Européens du Bâtiment et de la Construction – AEEBC* (2019) chama a atenção para três áreas separadas, embora relacionadas entre si como áreas de preocupação:

- Identificação, investigação e diagnóstico de defeitos em edifícios existentes;
- Prognóstico de defeitos diagnosticados, e recomendações para as ações mais adequadas considerando o edifício, seu futuro e recursos disponíveis;
- Concepção, especificação, implementação e supervisão de programas apropriados de obras de remediação; monitoramento e avaliação de obras corretivas em termos de seu desempenho funcional, técnico e econômico em uso.

Atualmente, é ainda notória a carência de pesquisas e publicações a respeito de manifestações patológicas no sistema construtivo *Light Steel Frame*. Considerando toda a evolução que se busca acerca das inovações na construção civil, é indispensável haver abordagem sobre problemas estruturais e dos demais componentes, bem como discussões sobre segurança, habitabilidade, conforto e estanqueidade das edificações.

2.2.1 Manifestações patológicas no sistema LSF

De acordo com Silva (2012), as manifestações patológicas podem ser evitadas utilizando as corretas especificações e, principalmente, desenvolvendo o projeto adequado em concordância com as normas técnicas. Ainda, é mencionado por especialistas da área que a deficiência dos materiais empregados e a falta de capacidade técnica da mão de obra empregada ou sua negligência, podem também provocar diversos vícios ou defeitos construtivos.

Destacado também por outros autores, o grande déficit nos projetos em *Light Steel Frame*, assim como no detalhamento e execução dos sistemas complementares de fechamento em geral, evidentemente provocará a ocorrência de manifestações patológicas. Castro (1999) menciona em seu trabalho que, em se tratando de estruturas de aço, as principais manifestações patológicas podem ser divididas em três categorias, conforme segue:

- **Adquiridas:** são mecanismos de degradações estruturais que ocorrem quando a estrutura não consegue se adaptar a ação de elementos externos, os quais podem ser líquidos corrosivos, atmosfera poluída, incêndios, vibrações, etc. A falta de preparo inicial da estrutura ou a falta de manutenção são os principais causadores desse tipo de problema. Como exemplo da manifestação patológica adquirida, a corrosão é a mais frequente.

- **Transmitidas:** podem ser transmitidas de obra para obra devido vícios e/ou falta de conhecimento técnico dos profissionais envolvidos na fabricação ou montagem da estrutura. Como exemplos podem mencionar: falha no desempenho de soldas devido a presença de impurezas oriundas da aplicação da mesma sobre superfícies impróprias (pintadas ou enferrujadas), falta de prumo e não utilização ou aplicação errada de mastic em juntas sujeitas a infiltração.

- **Atávicas:** são as de recuperação difícil e de alto custo, pois geralmente comprometem a segurança e funcionalidade da estrutura, estando as mesmas relacionadas à descuido, cobiça ou economia. Essas manifestações patológicas se desenvolvem quando há má concepção de projeto, erros de cálculo, escolha de fechamentos verticais de espessura inadequada e, também o uso de aço de resistência inferior às consideradas em projeto.

Segundo Crasto e Freitas (2006) a anomalia de maior ocorrência no sistema LSF é a fissuração na junta entre placas de fechamento. As irregularidades nas vedações verticais podem diminuir o desempenho das mesmas e alterar as características funcionais. Além da fissura, são mencionados por outros autores problemas como: falha estrutural, falta de prumo, problemas nas ligações, corrosão, umidade, bolhas nas junções das placas cimentícias, trincas

nas paredes, má qualidade do acabamento das placas de fachada, manchas nas placas causadas pela ação das chuvas, entre outros.

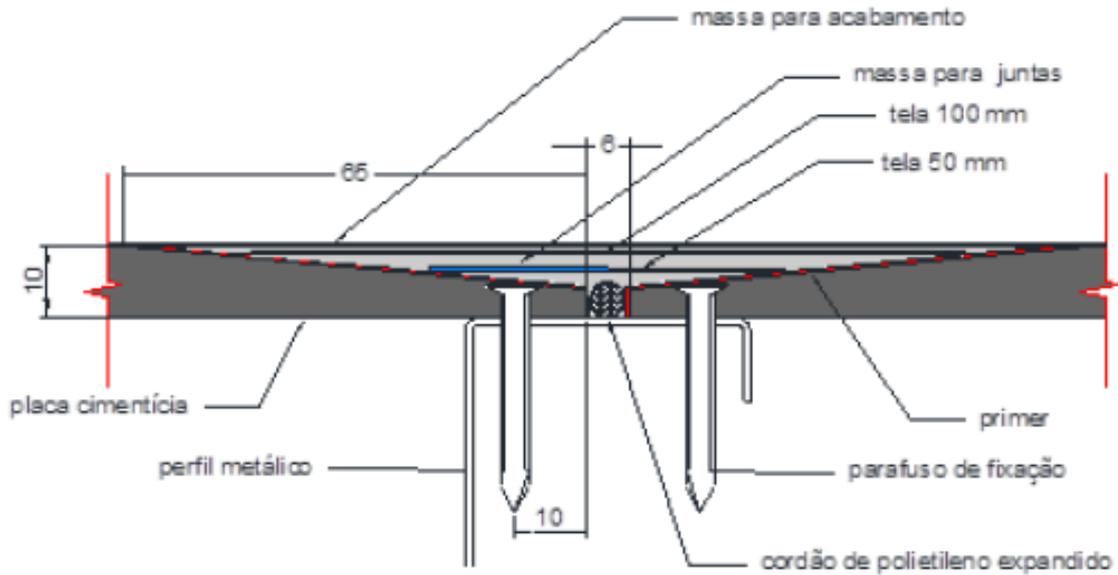
2.2.1.1 Fissuras

As fissuras quando presentes em edificações podem configurar em manifestações patológicas ou simplesmente causar desconforto aos usuários. É explicado por especialistas que as fissuras podem ocorrer no sistema construtivo LSF quando as vedações empregadas sofrem uma solicitação maior do que as mesmas foram dimensionadas para suportar. Pode também, acontecer variação de temperatura, resultando na dilatação e contração das chapas de fechamento, o que causa movimentação das mesmas e conseqüentemente, fissuras. Além disso, há também as falhas nas juntas entre placas que podem ser caracterizadas, conforme Lira e Lordsleem Jr. (2018), pelo destacamento da fita das juntas, geralmente ocasionadas por erros na etapa de montagem dos painéis.

Há, para a prevenção de fissuras, o chamado tratamento de juntas (Figura 16, por exemplo), os quais devem ser executados da maneira correta, pois caso contrário podem contribuir para o surgimento do problema mencionado. Conforme Crasto e Freitas (2006), as juntas podem apresentar duas configurações, sendo elas juntas aparentes e juntas invisíveis e, é importante saber o tipo de junta que se está trabalhando a fim de identificar qual o melhor tratamento.

Ainda conforme os autores, para as juntas aparentes que apresentam coeficiente de variação dimensional muito alto, a melhor solução seria a aplicação de perfis ou selantes elastoméricos que destacam visualmente as juntas. Por outro lado, quando se trata de juntas invisíveis, é necessário atentar para o que os fabricantes das placas indicam de tratamento, os quais podem citar o uso de selantes adesivos, bases protetoras, fitas teladas e massas cimentícias.

Figura 16 - Esquema em corte transversal do tratamento de juntas – face externa da parede



Fonte: Brasil (2018, p. 7).

Fonseca (2018) destaca em seu trabalho, método de manutenção e reparo de manifestação patológica exposta em fechamentos verticais, com placas de gesso acartonado, a qual se refere ao tratamento de fissuras. Para esse problema é recomendado limpeza da área para em seguida, proceder com a aplicação de massa específica para juntas. Logo após, se coloca fita de papel micro perfurada e, com ajuda de uma espátula é recomendado pressionar. Então, é colocada outra camada de massa e, quando esta estiver seca, lisa e uniforme, pode-se lixar e pintar. Porém, quando as fissuras são localizadas no meio das placas de fechamento do sistema e já houver a ocorrência de umidade, especialistas recomendam a substituição das placas afetadas, pois nesse caso, não há métodos de recuperação. Ademais, é explicado por especialistas que quando a ocorrência de falhas é localizada nas juntas entre as placas, se deve proceder na substituição da fita adesiva e da pasta de finalização utilizada.

Além disso, outro fator que eventualmente pode contribuir para o surgimento de trincas em placas cimentícias usadas para fechamento no sistema LSF, segundo Hofmann (2015), é a fundação em radier. O radier é caracterizado por ser uma fundação rasa e flexível, necessitando aumentar sua espessura a fim de torna-la rígida. Quando há escolha e/ou execução inadequada de uma fundação, os problemas podem surgir tanto no início da obra, como também durante a sua execução ou no término da mesma e, dependendo da gravidade, ocasionar até mesmo o colapso da estrutura em LSF.

2.2.1.2 Manifestações patológicas das ligações

Como explica Castro (1999), manifestação patológica das ligações são todas as formas de problemas que podem ocorrer tanto nos meios de ligação como nos elementos de ligação. Erros de concepção, corrosão, defeitos de fabricação de soldas e ligações parafusadas, além de montagem inadequada são exemplos de manifestações patológicas que podem ocorrer.

Considerando que o parafuso é o meio de fixação mais utilizado no sistema LSF, especialistas explicam que o mecanismo de transmissão das tensões nas ligações parafusadas acontece por meios indiretos e que, problemas de resistência estão sujeitos a acontecer tanto no fuste quanto na chapa de ligação.

Ainda em conformidade com o que Castro (1999) expõe, há basicamente três tipos de problemas patológicos que podem ocorrer com as ligações parafusadas: colapso da ligação, corrosão e detalhamento incorreto. Referente o colapso das ligações é sabido que podem ocorrer basicamente sete tipos de problemas em ligações parafusadas:

- Rompimento do parafuso devido tensão de cisalhamento ser maior que sua resistência de cálculo;
- Alargamento do furo ou rasgamento da chapa na direção da tensão, quando a chapa de ligação possui resistência inadequada à solicitação que está submetida;
- Escoamento do fuste do parafuso causando deformação na seção transversal;
- Escoamento da seção do furo junto ao parafuso com deformação da chapa;
- Solicitação axial maior que a resistência do parafuso na tração;
- Dobramento do parafuso;
- Rasgamento em toda seção transversal da chapa na região do parafuso devido tensão normal ser maior que tensão de escoamento.

Já os problemas de corrosão em ligações parafusadas acontecem quando as mesmas estão em contato com umidade e, esse problema só ocorre quando há incidência de frestas entre os parafusos e os meios de ligação. Com intuito de amenizar ou impedir que a corrosão ocorra, é fundamental evitar a penetração de umidade e, para isso, é recomendado que as estruturas sejam revestidas, executando uma camada de argamassa sobre as ligações. Ainda, é possível aplicar pintura anticorrosiva e utilizar resina na borda das frestas aparentes.

Além de tudo, problemas com detalhamento são considerados os mais comuns de surgirem, devidos o alto grau de precisão que as ligações parafusadas requerem para que seja possível o perfeito encaixe entre os elementos estruturais. Castro (1999) evidencia em seu

trabalho que os problemas mais comuns decorrentes da falta de detalhamento são os seguintes: dificuldade de aperto, gabarito errado, erro no cálculo do comprimento dos elementos, erros de fabricação e montagem.

2.2.1.3 Umidade

A Diretriz SINAT nº 003, revisão 2 (BRASIL, 2016), destaca que há duas fontes de umidade a serem consideradas:

- Fonte externa: ascensão de umidade do solo pelas fundações e infiltração de água de chuva pelas fachadas, lajes expostas e coberturas;
- Fonte interna: água decorrente do uso e limpeza dos ambientes, vapor de água e condensação de vapor de água gerado nas atividades normais de uso e, vazamento das instalações.

O sistema de vedação vertical interna e externa deve atender os critérios de normas relacionadas ao assunto e, conforme consta na Diretriz SINAT mencionada anteriormente (BRASIL, 2016), bem como no DATec nº 014b (BRASIL, 2018), o projeto deve propor e especificar detalhes construtivos que favoreçam a estanqueidade à água das fachadas e/ou minimizem o contato com água em áreas molhadas. Para isso, se faz necessário o detalhamento de pingadeiras, ressaltos, particularidades no encontro com a calçada externa, beirais de telhado e barras impermeáveis na base das paredes, bem como, detalhes construtivos de rodapés impermeáveis.

Ainda, quando utilizado chapas OSB no sistema de pisos em áreas molhadas ou molháveis deverá haver detalhes do sistema de impermeabilização a fim de evitar infiltração de água. Há também a necessidade de não permitir que infiltre água pelas juntas entre paredes e entre paredes e lajes, bem como evitar que a umidade percole da fundação para as paredes. Quanto ao sistema de cobertura, deve ser previsto em projeto os detalhes construtivos que garantam a estanqueidade do sistema.

2.3 Métodos preventivos

As manifestações patológicas em edificações são as responsáveis por promover desconforto aos usuários e, mais do que isso, podem ser as causadoras do comprometimento da estrutura em relação à segurança e estabilidade. Uma edificação deve estar preparada para atender requisitos de desempenho relativos à segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

É manifesto por especialistas que ainda na fase de projeto é possível ocorrer manifestações de problemas, porém, em construções oriundas do sistema LSF, pode ser ainda mais comum, a ocorrência de anomalias na fase de execução, devido à carência de qualificação de mão de obra nesse sistema, bem como a utilização de métodos construtivos inapropriados.

À vista disso, vale salientar a necessidade de métodos que possam ser eficientes no planejamento e execução das construções em *Light Steel Frame*, a fim de prevenir a ocorrência de manifestações patológicas.

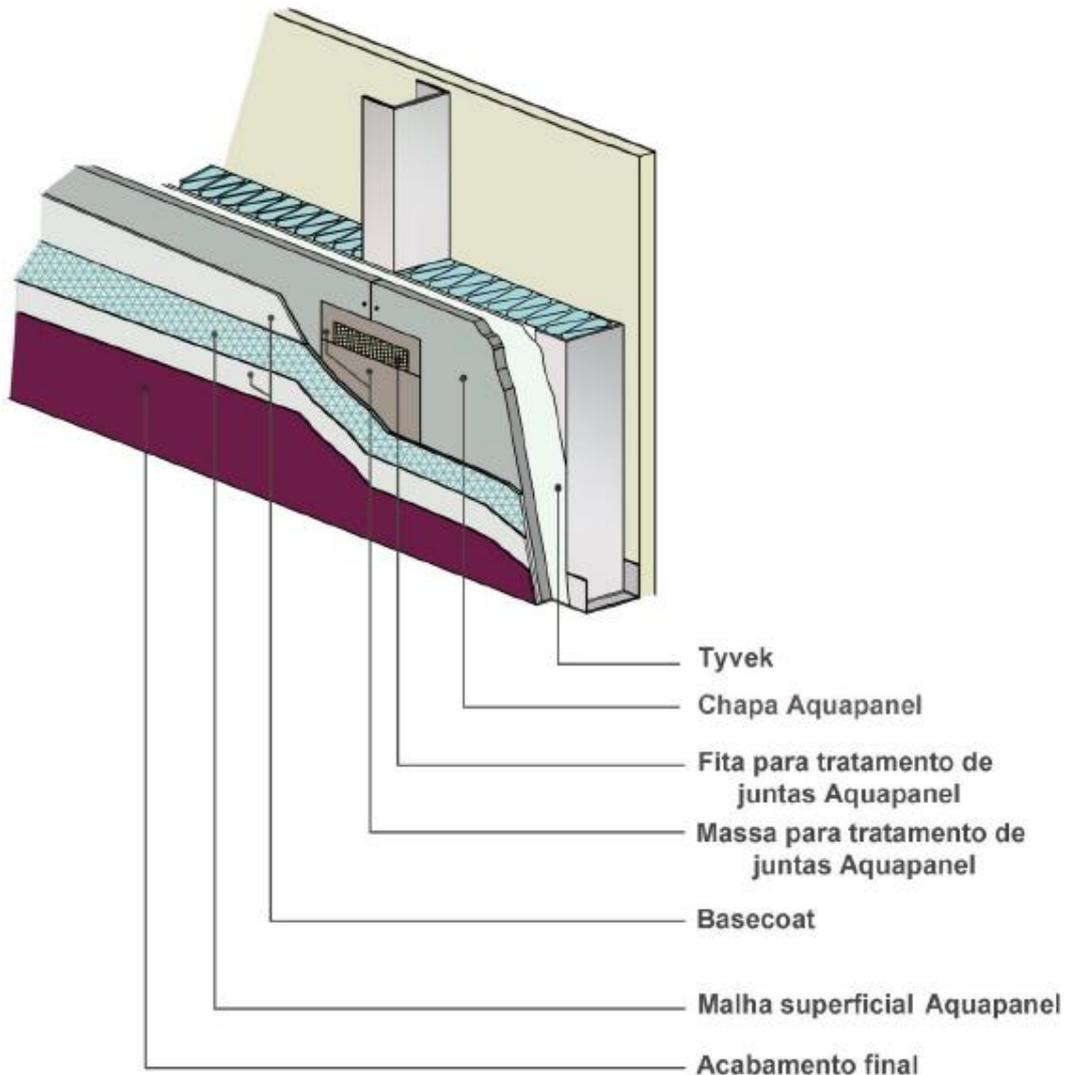
As trincas são a manifestação patológica mais comum no sistema LSF, as quais podem aparecer nas juntas e no corpo das placas de fechamento externo podendo comprometer a estética da edificação bem como comprometer a durabilidade, estanqueidade e salubridade. Portanto, algumas precauções devem ser seguidas quando executadas obras em LSF e, o tratamento nas juntas entre as placas é definitivamente uma necessidade, haja vista o interesse em evitar anomalias.

Desse modo, conforme descrito por Hofmann (2015), a maneira correta de executar o tratamento nas juntas é seguindo as recomendações dos fabricantes das placas, os quais disponibilizam de roteiro de aplicação dos produtos que compõem cada tratamento. A maioria dos fabricantes orienta para o uso de produtos elastoméricos, considerando a movimentação física em decorrência do coeficiente de variação térmica e umidade da placa que, conseqüentemente expõe maior esforço sobre as juntas, podendo esse produto ser estirado repetidamente pelo menos duas vezes o seu comprimento original e, depois de retirado o esforço, voltar ao seu comprimento original.

Em observação a pesquisas realizadas por outros autores quanto ao diagnóstico das placas cimentícias em relação às recomendações referidas ao tratamento de juntas visando especialmente a prevenção de fissuras, destacamos a seguir o sistema Aquapanel (Figura 17) da empresa alemã Knauf, apontada por profissionais da área como a melhor opção (HOFMANN, 2015):

- No sistema Aquapanel as chapas cimentícias são aparafusadas na estrutura metálica na parte externa e, na parte interna são colocadas chapas de drywall. Entre as placas cimentícias e a estrutura, deve ser colocada membrana hidrófuga sobre o montante, fazendo assim a interface entre este e a chapa cimentícia. Ainda, é necessária a colocação de lâmina mineral no interior da parede. Logo após, é executado o tratamento das juntas, aplicação de massa superficial e colocação de malha de reforço.

Figura 17 - Tratamento de junta do sistema Aquapanel



Fonte: Hofmann (2015, p. 70).

Quanto aos componentes do sistema, segue abaixo as características dos respectivos componentes:

Tabela 2 - Características sistema Aquapanel

(continua)

| COMPONENTE | CARACTERÍSTICA |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tyvek | Trata-se de uma espécie de tecido composto por finas fibras que, entrelaçadas, formam uma espessa e resistente estrutura. O Tyvek foi especialmente projetado para impedir a entrada de água e ao mesmo tempo permitir a saída do ar, evitando assim a condensação no interior da parede. |

Tabela 2 - Características sistema Aquapanel

(conclusão)

| | |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chapas cimentícias | As chapas Knauf AQUAPANEL® são compostas de cimento Portland e agregados leves e possuem uma tela de reforço embutida que lhes confere maior resistência, e bordas arredondadas que facilitam o tratamento de juntas. Disponíveis nas dimensões 1200 x 2400mm, as chapas têm 12,5mm de espessura, pesam 16kg/m ² e podem atingir um raio de curvatura de até 1m. (Tabela 6.6) |
| Fita para tratamento de juntas | Tela de fibra de vidro com tratamento anti-álcali e 33cm de largura que ficará embutida na massa para tratamento de juntas. |
| Massa para tratamento de juntas | Massa à base de cimento para preenchimento das juntas entre as chapas. |
| Malha de reforço | Ampla malha de fibra de vidro com gramatura 160g/m ² , resistente à alcalinidade e com largura igual a 1m. Projetada para combater possíveis trincas, a malha deverá ficar embutida na massa Basecoat. |
| Basecoat | Massa para acabamento à base de cimento reforçado com resina sintética que deverá ser aplicada de modo a obter uma camada de aproximadamente 5mm antes da colocação da malha de reforço e de 2mm após esta colocação. Pode ser aplicada manualmente ou com uma máquina de projeção de argamassa. |

Fonte: Hofmann (2015, p. 69).

Conforme fabricante desse sistema de fechamento, não há restrições quanto ao acabamento a ser utilizado.

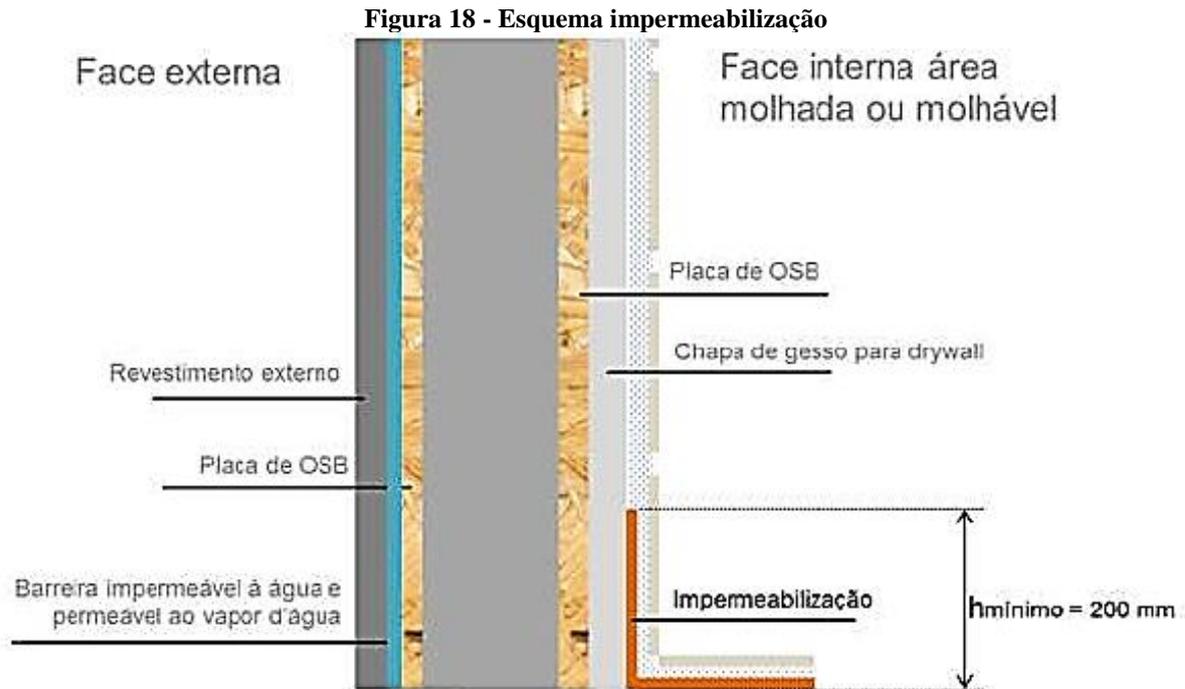
Crasto (2005) citado por Hofmann (2015) informa que o surgimento de trincas está também relacionado à instabilidade da estrutura através de deslocamentos provocados pela ação do vento (carga horizontal). Por isso, há a necessidade de executar a estrutura com ligações rígidas ou com elementos capazes de transmitir esses esforços para a fundação. Dito isto, segue abaixo as recomendações para a execução do contraventamento em edificações de LSF:

- Na estrutura de aço: método em “X”, feito com fitas de aço galvanizadas parafusadas aos montantes, sendo a largura, espessura e localização dessas fitas determinada pelo projeto estrutural. Outra maneira de se executar é o treliçamento de perfis metálicos, em forma de “X” ou “K” nos painéis.

- No fechamento vertical: são usadas placas de OSB localizadas sobre o aço, funcionando como diagrama rígido, sendo depois coberta pela membrana hidrófuga e, por último, pela placa cimentícia.

O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) expõe em seu relatório sobre Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamento em chapas delgadas (Sistemas leves tipo *Light Steel Framing*) (BRASIL, 2016), algumas premissas básicas de projeto em *Light Steel Frame* que devem ser seguidas a fim de impossibilitar o contato da umidade, em específico, com os perfis metálicos e, com as bordas dos painéis de fechamento, as quais estão descritas a seguir:

- Calçada externa ao redor da edificação com 600 mm, no mínimo, de largura e, inclinação de pelo menos 1% no sentido oposto à fachada;
- Nas vedações externas, desnível mínimo de 5 mm entre a calçada e a base dos quadros estruturais da fachada;
- Entre a base dos quadros estruturais e o piso acabado das áreas molhadas (banheiros e áreas de serviço) deverá haver diferença de cota mínima de 15 mm e, desnível mínimo de 30 mm entre a base dos quadros estruturais e o piso acabado do box;
- Poderá ser utilizado elemento de separação, com altura de 15 mm, entre o piso acabado do banheiro e o piso do box ou executado um desnível entre os mesmos de pelo menos 15 mm;
- Quando há delimitação de áreas molháveis e molhadas, realizar a impermeabilização com emprego de mantas ou membranas apropriadas na interface entre a base dos quadros estruturais e o piso e nas laterais das paredes até a altura mínima de 200 mm, sendo obrigatória a aplicação de rodapés, também de material impermeável, com 70 mm de altura no mínimo, conforme mostra a Figura 18 a seguir:



Fonte: Brasil (2016, p. 7).

- Na área do box deverá haver impermeabilização em toda a superfície do piso e, nas paredes até a altura mínima de 200 mm acima do ponto mais alto de hidráulica;
- É obrigatória a colocação de rodapés com material impermeável com no mínimo 70 mm de altura em todos os cômodos do pavimento térreo;
- Impedir o acúmulo de água em fachadas expostas a chuvas através de detalhamentos de projeto como rufos, beirais maiores que 600 mm, pingadeiras nos peitoris de janelas;
- Em paredes de uso de cubas ou lavatórios, bem como em ambientes de áreas molhadas ou molháveis, realizar a impermeabilização utilizando mantas ou membranas com dimensão suficiente para ultrapassar o equipamento de lavagem em no mínimo 200 mm a partir do piso dos ambientes;
- Quando ocorrer utilização de chapas de *drywall* em áreas molhadas ou molháveis é necessário a utilização daqueles resistentes à umidade (chapa RU);
- Quando se optar pela concepção de contrapiso de base cimentícia, executar sua espessura em no mínimo 40 mm e prever uso de filme de polietileno, mantas ou membranas para impermeabilização ou ainda, chapas de OSB com filme fenólico;
- No fechamento de paredes externas, instalar barreiras impermeáveis à água e permeáveis ao vapor d'água sob os componentes de acabamento da face externa;
- Tratamento fungicida para entrepisos de áreas de box do chuveiro.

As diretrizes expostas anteriormente se aplicam a um sistema construtivo direcionado a unidades térreas e sobrados, isoladas e geminadas, unifamiliares, e edifícios multifamiliares de até 05 pavimentos, destinados à construção de habitações.

Além disso, é válido ressaltar os requisitos exigidos por norma referente os detalhes que devem estar previstos em projeto quanto à estanqueidade à água, os quais estão descritos na Tabela 3 a seguir, pois segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013) a durabilidade da construção está diretamente associada à estanqueidade à água de seus elementos e as ABNT NBR 15575-1:2013, ABNT NBR 15575-4:2013 e ABNT NBR 15575-5:2013 estabelecem critérios para a estanqueidade de fachadas, pisos de áreas molhadas, coberturas e demais elementos da construção, incluindo as instalações hidrossanitárias.

Salientamos que, para o melhor entendimento das exigências normativas é importante o conhecimento da definição de áreas molhadas e molháveis de uma edificação e a ABNT NBR 15575-3:2013 esclarece da seguinte forma:

- Áreas molhadas: áreas da edificação cuja condição de uso e exposição pode resultar na formação de lâmina d'água pelo uso normal a que o ambiente se destina (banheiro com chuveiro, área de serviço e áreas descobertas);
- Áreas molháveis: áreas da edificação que recebem respingos de água decorrentes da sua condição de uso e exposição e que não resultem na formação de lâmina d'água pelo uso normal a que o ambiente se destina (banheiro sem chuveiro, lavabo, cozinha e sacada coberta).

Tabela 3 - Requisitos quanto à estanqueidade à água

(continua)

| ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE | SUBSISTEMAS | RECOMENDAÇÕES | COMENTÁRIOS |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PISOS | <ul style="list-style-type: none"> • Umidade ascendente • Áreas molhadas | <ul style="list-style-type: none"> • Considerar altura máxima do lençol freático no local da obra. • Manter seca a superfície inferior e os encontros com as paredes e pisos adjacentes que os delimitam. | <ul style="list-style-type: none"> • Evitar percolação de umidade prevendo impermeabilização das fundações e interposição de manta plástica ou camada de brita entre o solo e o contrapiso. • Adequada adoção de caimentos, recomendando-se 0,5% para pisos externos, 0,5% a 1% para pisos internos e 1% a 2% para pisos em box de chuveiros. |

Tabela 3 - Requisitos quanto à estanqueidade à água

(continua)

| | | | |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>FACHADAS E PAREDES INTERNAS</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Água de chuva (fachada) • Áreas molhadas (interna) • Áreas molháveis (fachada e interna) | <ul style="list-style-type: none"> • Atentar para os índices pluviométricos locais e velocidade característica e direção do vento. Paredes de fachadas devem permanecer estanques e não apresentar infiltrações, escorrimentos ou formação de gotas de água na face interna. • Quantidade de água que penetra na face da parede voltada para a área molhada não pode ser superior a 3 cm³ por um período de 24 h e não pode ocorrer a presença de umidade perceptível nos ambientes contíguos. | <ul style="list-style-type: none"> • A infiltração em fachadas pode ser evitada através da adoção de detalhes construtivos apropriados, correta escolha e aplicação de sistema de pintura, rejuntamento flexível entre paredes e esquadrias, bem como operações periódicas de manutenção. • Prever a aplicação de barras impermeáveis em regiões sujeitas à respingos ou deposição de água ao redor (lavatórios, pias de cozinha, etc) e, rodapés impermeáveis e correto caimento de pisos, são meios de evitar a migração de umidade. |
| <p>COBERTURAS (SC – sistema de cobertura)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Telhas • Coberturas • Aberturas de ventilação • Captação e escoamento de águas pluviais • Sistema de impermeabilização | <ul style="list-style-type: none"> • Telhas: não pode apresentar escorrimento, gotejamento de água ou gotas aderentes acima dos limites indicados em norma (NBR 15575-5/2013). • Durante a vida útil de projeto do SC, não pode ocorrer infiltrações de água. • O SC não pode permitir infiltração de água nas aberturas de ventilação e, essas aberturas não podem permitir o acesso de pequenos animais. | <ul style="list-style-type: none"> • Necessário utilizar telhas com adequadas características de geometria, resistência mecânica e impermeabilidade. • Considerar, em relação à estanqueidade, todas as confluências e interações com componentes ou dispositivos (parafusos, calhas, cumeeiras, etc), bem como os encontros de componentes com chaminés, tubos de ventilação e outros. Prever procedimentos corretos de substituição de componentes, limpeza de calhas e condutores. |

Tabela 3 - Requisitos quanto à estanqueidade à água

(conclusão)

| | | | |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COBERTURAS (SC – sistema de cobertura)</p> | | <ul style="list-style-type: none"> • O SC deve ter capacidade para drenar a máxima precipitação passível de ocorrer no local da obra. • Os sistemas de cobertura impermeabilizados devem manter a estanqueidade ao longo de toda vida útil do projeto, passando pelas manutenções previstas. | <ul style="list-style-type: none"> • A fim de evitar infiltração de água pelas aberturas de ventilação, evitar o seu posicionamento em áreas da cobertura expostas à direção predominante do vento ou em regiões de sobrepressão. Para prevenir a entrada de animais, geralmente se usa telas metálicas. • Devem ser especificados os caimentos e os encontros entre panos, seção de calhas e condutores, para que a água captada não atinja as fachadas e nem fique depositada nas proximidades das fundações. |
| <p>INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de água fria e água quente • Peças de utilização • Instalações de esgoto e águas pluviais • Calhas | <ul style="list-style-type: none"> • Atentar aos requisitos de cada uma de suas normas: • NBR 5626/1998 e NBR 7198/1993 • NBR 8160/1999 e NBR 10844/1989 • As calhas devem ser estanques e, é possível verificar vazamentos através de ensaio de transbordamento. | <ul style="list-style-type: none"> • A estanqueidade à água das tubulações depende da impermeabilidade do material e das condições de acoplamento dos tubos, bem como da estanqueidade de torneiras, registros e outras peças. |

Fonte: Elaborado a partir de CBIC (2013).

Conforme Lima (2013) é imprescindível o atendimento às exigências mínimas de desempenho para que uma edificação ofereça condições de habitabilidade e, de modo geral a durabilidade de um sistema está diretamente ligada ao atendimento das exigências de especificações e desempenho definidas para todos os componentes.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado inspirando-se na busca pelo conhecimento e interesse em compartilhar novas referências à cerca de manifestações patológicas, as quais ainda se mostram carente de material e divulgação, especialmente relacionada ao sistema construtivo *Light Steel Frame*.

Quando o assunto é reparo de edificações executadas com o sistema mencionado anteriormente, a solução que poderá ser potencialmente fácil e rápida, também depende de mão de obra especializada sobre o assunto. No momento em que um sistema construtivo apresenta falha ou desempenho diferente do previsto em projeto, há a necessidade de reparação através da manutenção corretiva, onde se realiza uma inspeção preliminar a fim de estabelecer critérios para classificar as manifestações patológicas. Por fim, se estabelece diagnóstico através de inspeção detalhada para posterior elaboração de um plano de manutenção.

Diante disso, foram realizadas pesquisas bibliográficas a fim de identificar os tipos e módulos de ocorrência das anomalias em LSF, bem como identificar os melhores tratamentos para as mesmas. Ainda, através da leitura de variados artigos e trabalhos acadêmicos, assim como de manuais especializados na construção em aço e normas técnicas, foi escrito sobre as possíveis execuções do método LSF com o propósito de prevenir ou minimizar ocorrências patológicas.

3.1 Caracterização da pesquisa

O presente trabalho pode ser identificado como uma pesquisa exploratória, a qual tem por objetivo compreender as causas e efeitos das manifestações patológicas encontradas em edificações executadas através do sistema LSF, bem como explorar tais problemas, através de pesquisas bibliográficas e estudos de casos, de modo que seja possível conectar conceitos e métodos para fornecer meios de recuperação das anomalias. Ainda, se busca compreender as técnicas e procedimentos necessários para evitar a ocorrência dos problemas apresentados.

A investigação das manifestações patológicas aqui apresentadas, encontradas em obras realizadas através do sistema construtivo LSF, é fundamentada no referencial teórico e fornecimento de informações de profissionais da engenharia que exercem suas atividades na área através de documentação fotográfica e laudos técnicos.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Dispondo de conhecimento dos capítulos anteriores e análise dos processos construtivos do sistema Light Steel Frame, é possível seguir adiante e realizar estudo de casos, relatando as manifestações patológicas encontradas nas edificações, bem como expor suas prováveis causas e verificar possíveis soluções e até mesmo métodos que possam impedir a ocorrência de tais manifestações patológicas.

4.1 Estudos de casos de manifestações patológicas no sistema Light Steel Frame

O presente trabalho visa apresentar dois estudos de casos, Edificação 1 e Edificação 2, realizando o levantamento das manifestações patológicas expostas em cada uma delas, possuindo como base o referencial teórico, no que se refere aos requisitos quanto ao desempenho das edificações, tendo em vista as condições de segurança, durabilidade, estanqueidade, conforto e sustentabilidade.

4.1.1 Edificação 1

O primeiro caso a ser apresentado, conforme informações constantes em laudo técnico disponibilizado por engenheiro civil (SOARES, 2018a) se refere a um pavilhão de uma empresa gráfica, situada em Novo Hamburgo-RS, com área de revestimento de 920 m², a qual foi executada em 46 dias e, aproximadamente 15 dias após finalização da obra, apresentou problemas no revestimento externo e demais áreas externas da fachada de compartimentação em planta fabril da empresa. Lembrando que, os registros fotográficos e sintomas expostos nos próximos parágrafos são datados de fevereiro do ano de 2018, a cerca de oito meses após a finalização da obra.

4.1.2 Edificação 2

O segundo estudo de caso apresentado nesse trabalho é referente, uma edificação residencial (Fotografia 4) de 200 m² localizada na cidade de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul. A construção foi vistoriada em março do ano de 2018, quando ainda estava em fase de montagem, sendo analisada quanto à estabilidade da estrutura, bem como concepção de projeto e fabricação dos painéis utilizados.

Fotografia 4 - Residência em LSF



Fonte: Soares (2018b, p. 26).

4.2 Das manifestações patológicas e suas causas

Referente à edificação 1 apresentada anteriormente, pode ser observado nas Fotografias a seguir e, como foi descrito em parecer profissional, a edificação manifestou fissuras entre as placas cimentícias, deslocamento de revestimento, movimentação excessiva dos painéis, perfis fora de prumo e empenamento da platibanda e escoras.

- Fissuras entre placas e deslocamento de revestimento:

As fissuras expostas em seguida (Fotografias 5 e 6), medindo de 0,5 mm a 1,5 mm em média, foram encontradas em toda a extensão da superfície de revestimento da fachada da edificação pesquisada, na parte interna e externa, em todas as arestas e em todos os panos. Ainda, se pode observar que há deslocamento do revestimento (Fotografias 7 e 8), o qual evidencia o tratamento incorreto das juntas (Fotografia 7), além da placa cimentícia danificada na Fotografia 8 também.

Fotografia 5 - Revestimento fissurado



Fonte: Soares (2018a, p. 3).

Fotografia 6 - Fissuras



Fonte: Soares (2018a, p. 2).

Fotografia 7 - Deslocamento de revestimento e tratamento incorreto de junta



Fonte: Soares (2018a, p. 10).

Fotografia 8 - Revestimento deslocado e placa danificada



Fonte: Soares (2018a, p. 10).

- Movimentação horizontal excessiva de painéis e perfis estruturais fora de prumo:

Conforme pode ser observado na Fotografia 9, não podemos confirmar o uso de contraventamentos, bloqueadores e chapas OSB, que pudessem garantir rigidez à estrutura, reduzindo a movimentação dos painéis. Constam apenas as placas cimentícias de espessura 8 mm, conforme informações de laudo, fixadas diretamente sobre os perfis metálicos.

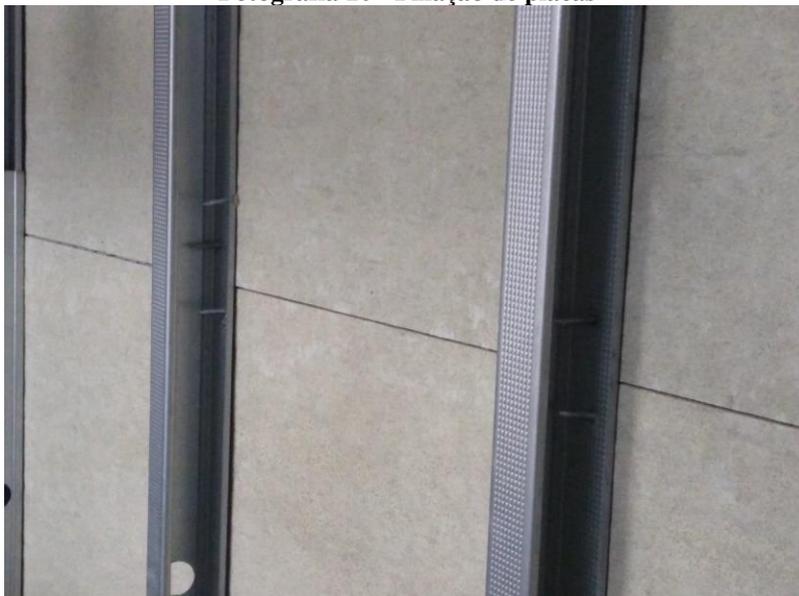
Fotografia 9 - Estrutura sem travamento



Fonte: Soares (2018a, p. 6).

É possível também observar na Fotografia 10 que, os meios de ligação entre placa e perfil de aço foram colocados apenas nas extremidades, pois não constam parafusos de fixação intermediária nas placas cimentícias.

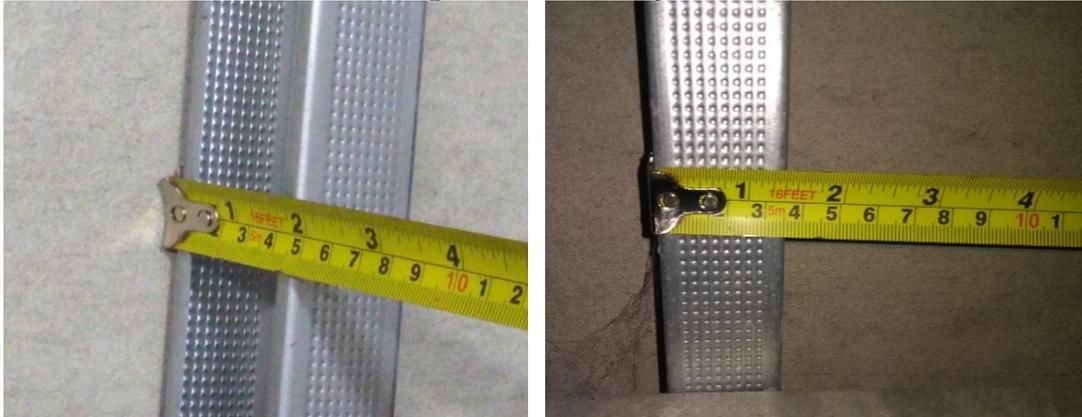
Fotografia 10 - Fixação de placas



Fonte: Soares (2018a, p. 14).

Além disso, os perfis escolhidos para a execução da estrutura apresentada, dimensões de 48x35x0,5 mm espaçados em 40 cm (Fotografias 11 e 12), também contribuem para a movimentação horizontal excessiva, haja vista serem perfis de aço conhecidos como do tipo *drywall*, os quais são usuais em execução de divisórias internas e não na composição estrutural, pois não distribuem as cargas do edifício.

Fotografia 11 - Perfil Drywall



Fonte: Soares (2018a, p. 5).

Fotografia 12 - Modulação de perfil



Fonte: Soares (2018a, p. 6).

Tabela 4 - Dimensões dos perfis segundo as normas brasileiras

| <i>Drywall</i> | LSF |
|----------------|--------|
| 48 mm | 90 mm |
| 70 mm | 140 mm |
| 90 mm | 200 mm |

Fonte: Construmetal (2016, p. 6).

Ainda, pode ser constatado pelas Fotografias 13, 14 e 15 que, os perfis de aço da estrutura foram engastados diretamente na laje de concreto armado. Inclusive, é possível observar a colocação incorreta de parafusos (Fotografia 14), danificando os elementos.

Fotografia 13 - Engaste de perfis

Fonte: Soares (2018a, p. 4).

Fotografia 14 - Engaste de perfil no concreto e furos incorretos no perfil



Fonte: Soares (2018a, p. 5).

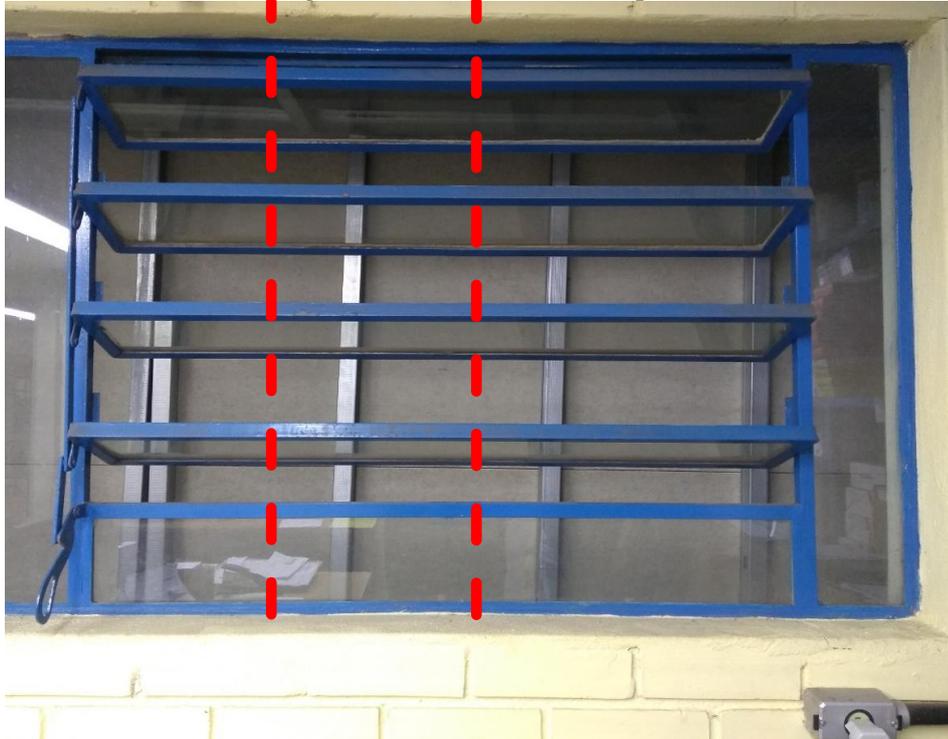
Fotografia 15 - Fixação de perfil em estrutura existente



Fonte: Soares (2018a, p. 16).

Em relação ao prumo da estrutura, é possível confirmar pela Fotografia 16 que, a obra não foi executada de forma correta.

Fotografia 16 - Estrutura fora de prumo



Fonte: Soares (2018a, p. 9).

- **Empenamento:**

De acordo com o exposto nas Fotografias 17 e 18 foram colocados perfis de aço como escoras da platibanda sobre as telhas do pavilhão, estando esses empenados e amassados. Porém, não há recomendação técnica para execução de escoras, haja vista que a edificação deve ser executada com perfil estrutural, sendo essa autossuficiente para suportar todas as cargas.

Fotografia 17 - Empenamento de perfil



Fonte: Soares (2018a, p. 3).

Fotografia 18 - Escoras de platibanda



Fonte: Soares (2018a, p. 9).

Portanto, após observação e análise dos registros fotográficos, podemos presumir que as causas mais prováveis das manifestações patológicas expostas se referem ao uso de perfil

incorreto na estrutura, a julgar pelo fato de não serem estruturais, assim, incompatíveis à aplicação. Igualmente, se presume que as anomalias surgiram pela falta de bloqueadores e contraventamentos, além da inexistência de placas que promoveriam auxílio na rigidez através do efeito diafragma.

Ademais, é presumível que as rachaduras e deslocamentos existentes nas vedações verticais possam ter sido ocasionados pela fixação incorreta dos painéis, ausência de tratamento nas juntas e falta de membrana hidrófuga, que serve como uma barreira para a entrada de umidade, mas que permite a passagem de vapor de água do interior para o exterior da edificação.

Além do exposto anteriormente, devemos destacar também o uso equivocado de perfis de aço como escoras, com intuito de promover a fixação da platibanda, segundo informações constantes em documento técnico, bem como a ancoragem dos perfis de aço diretamente em laje de concreto armado, conforme comentado anteriormente. Podemos constatar que, toda a concepção da edificação em estudo foi passível de falhas.

4.2.1 Das medidas de recuperação e correção

Mediante observação e estudo dos registros fotográficos disponibilizados, pode-se presumir que a execução da edificação foi ineficaz e há de se considerar que, possa ter ocorrido falha na concepção do projeto. Logo, após estudo bibliográfico e, listadas as manifestações patológicas presentes na construção, provenientes de prováveis erros de projeto ou possível falta dele, assim como a presumível falta de qualificação da mão de obra ou mesmo dos materiais utilizados, é possível proceder com a terapêutica dos problemas listados a fim de expor soluções técnicas viáveis com intuito de reestabelecer as condições de uso e até mesmo descrever métodos que possam evitar a ocorrência de defeitos.

Primeiramente, é indispensável a elaboração de projeto e realização de cálculos por profissional capacitado e habilitado com anotação de responsabilidade técnica, o qual cumpra com o especificado nas normas técnicas vigentes. Conforme Rodrigues e Caldas (2016), o sistema estrutural de uma edificação é dividido em dois subsistemas, o vertical que são os painéis que compõem paredes com função estrutural, as quais transmitem as cargas para a fundação e, o horizontal que recebe e transmite as cargas de piso e teto através de flexão para os subsistemas verticais, bem como usa da ação de diafragma para transmitir as próprias forças horizontais.

Em consulta a ABNT NBR 15253:2014 se pode constatar que, para a execução da obra em estudo deveria ter sido utilizado perfil de aço de qualidade estrutural com resistência ao escoamento mínima de 230 MPa e, espessura mínima de 0,80 mm considerando-se que, esses elementos devem resistir não somente ao peso próprio, como também ao peso dos materiais de fechamento, esforços de vento, movimentações por vibração e, movimentações térmicas, respeitando assim os requisitos mínimos de qualidade e segurança.

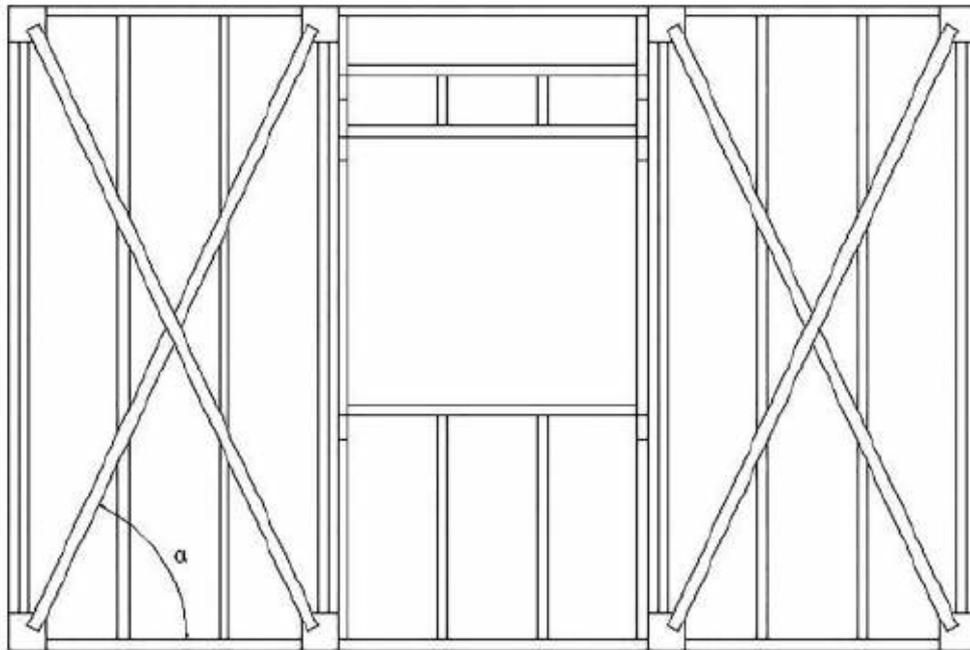
Tabela 5 - Diferença entre perfis de *Drywall* e LSF segundo normas brasileiras

| Requisitos mínimos | Drywall ABNT NBR 15217: 2009 [1] | LSF ABNT NBR 15253: 2014 [10] |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Limite de escoamento | 230 MPa (facultativo) | 230 MPa |
| Grau do aço | ZC ABNT NBR 7008: 2012 [9] | ZAR 230 ABNT NBR 7008-3: 2012 [9] |
| Espessura da chapa | 0,5 mm | 0,8 mm |
| Revestimentos do aço | Z275 (ABNT NBR 7008 [9]) | Z275 (ABNT NBR 7008 [9]) AZ150 (ABNT NBR 15578 [11]) |

Fonte: Construmetal (2016, p. 7).

Além disso, a estabilidade global da estrutura não foi efetiva devido à falta de contraventamento que, absorve principalmente as forças horizontais devidas à ação do vento, e bloqueadores, os quais desempenhariam a função de reduzir as vibrações e movimentações excessivas da edificação, bem como auxiliariam na prevenção da integridade do revestimento. O contraventamento da estrutura em *Light Steel Frame* é usualmente executado com fitas de aço galvanizado, as quais são dispostas em diagonais nos painéis estruturais na forma de “K”, “V” ou “X” (Figura 19) ou ainda, se pode utilizar perfis do tipo “Ue” em diagonais para montar o contraventamento conforme o sistema de encaixes estampados formando painéis treliçados (Figura 20).

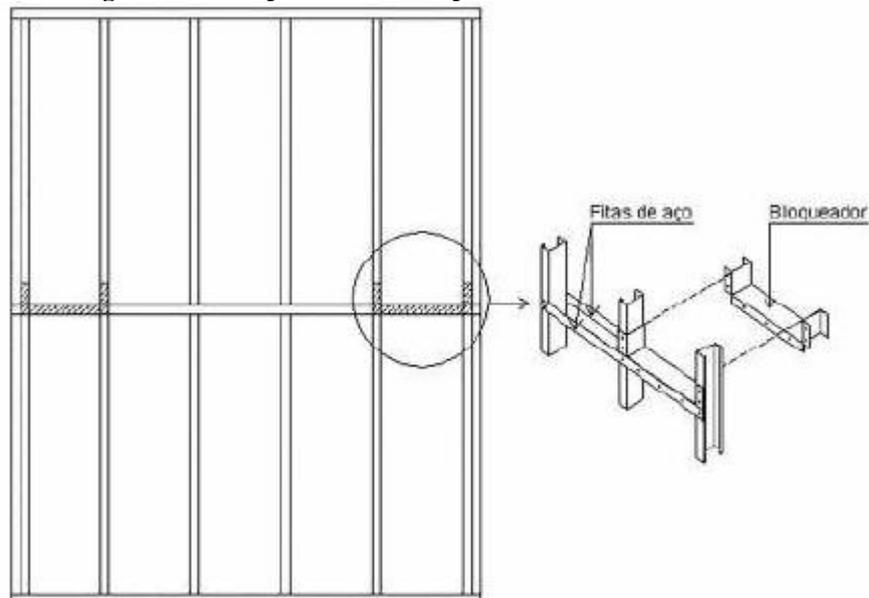
Figura 19 - Contraventamento em “X” com fitas de aço galvanizado



Fonte: Rodrigues e Caldas (2016, p. 23).

Segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), o ângulo em que a fita é instalada deve ficar preferencialmente entre 30° e 60° , pois influencia substancialmente na resistência do contraventamento aos carregamentos horizontais. Também, a largura, espessura e localização da fita devem ser dimensionadas no projeto estrutural, porém devem ter no mínimo 38 mm de largura e 0,80 mm de espessura devido às mesmas serem responsáveis em transmitir os esforços de tração devido à ação do vento (RODRIGUES; CALDAS, 2016).

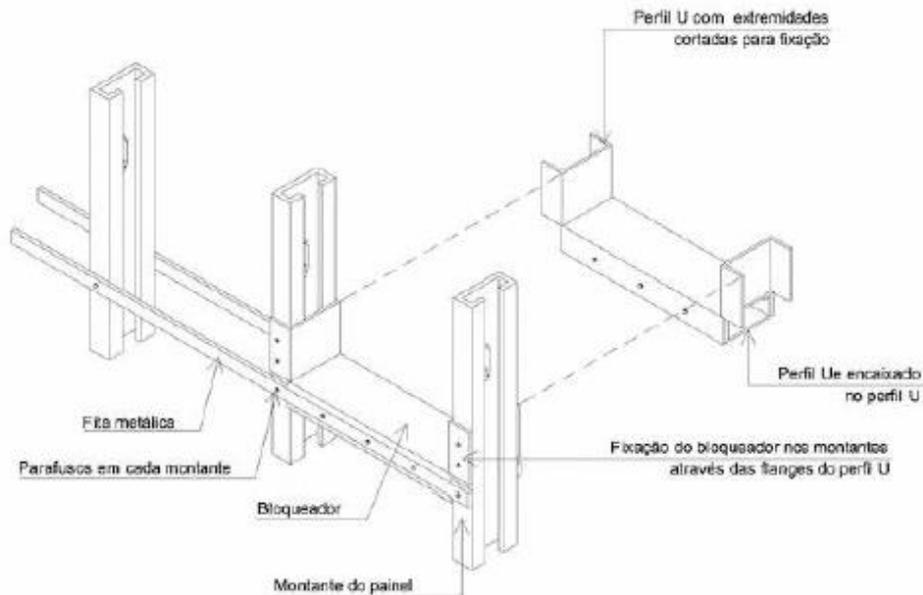
Figura 20 - Componentes de um painel estrutural sem abertura



Fonte: Rodrigues e Caldas (2016, p. 15).

E, as combinações de fitas horizontais com os bloqueadores contribuem para o travamento horizontal (Figura 21), podendo também diminuir o comprimento efetivo de flambagem global em relação ao eixo y do montante dos painéis de parede, assim como diminuir o comprimento efetivo de flambagem global por torção.

Figura 21 - Esquema de travamento horizontal dos montantes por meio de bloqueadores e fitas horizontais de aço galvanizado



Fonte: Rodrigues e Caldas (2016, p. 32).

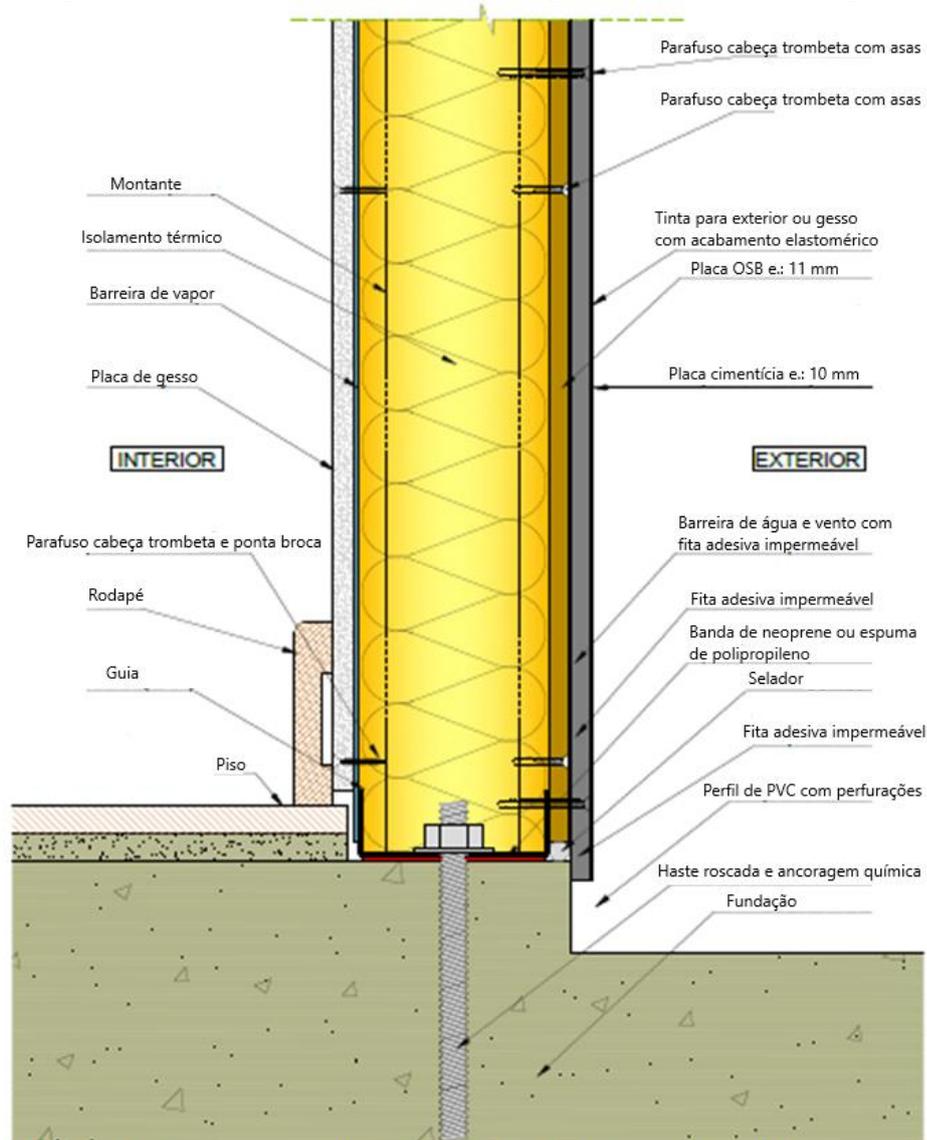
Ainda, o efeito diafragma, que consiste na capacidade das paredes de fechamento resistir às forças laterais (devidas ao vento) e, o diafragma rígido, que é o painel, também funciona como uma espécie de contraventamento no sistema LSF. O caminho de carregamento funciona da seguinte forma: as vedações externas transferem as ações horizontais ao piso que, por sua vez transfere aos painéis estruturais de contraventamento, os quais descarregam nas fundações (RODRIGUES; CALDAS, 2016).

Em relação ao caso estudado, a fim de contribuir para o contraventamento da estrutura e aumentar a resistência das placas cimentícias utilizadas, assim como foi sugerido no laudo técnico, poderia ser empregado o uso de chapas OSB que possuem boas propriedades mecânicas, o que garantiria o efeito diafragma em painéis de parede. É necessário lembrar também, a importância de respeitar o solicitado nos manuais técnicos quanto ao emprego e execução das placas cimentícias, pois para a edificação em questão, como exposto pelo profissional que acompanhou a recuperação da mesma, as placas deveriam ser fixadas em

todos os perfis componentes da estrutura e não somente no perímetro da placa como foi feito, e também, respeitar o espaçamento exigido pelo fabricante.

Quanto à fixação inferior dos painéis na base de concreto existente ou fundação, a ancoragem deveria ter sido feita através de chumbadores mecânicos, conforme recomendação de profissional habilitado. Ainda, para prevenção de corrosão e a fim de evitar o contato direto do aço estrutural com o concreto teria que ter usado banda acústica, a qual se refere a uma fita de polietileno expandido. Na Figura 22, a seguir, pode ser observado um detalhamento completo de execução ideal para o sistema *Light Steel Frame*, em atenção a revestimento com placa de cimento com exposição do modo correto da ancoragem do perfil de aço à fundação.

Figura 22 - Detalhamento revestimento com placa de cimento e ancoragem



Fonte: Incose (2018).

Lembrando que, conforme referencial teórico, os parafusos de fixação da placa cimentícia e OSB são os parafusos cabeça trombeta com ponta broca e asas. Sendo respectivamente, o primeiro com a cabeça nervurada para uma melhor penetração no substrato e, o segundo com passo menor, além de não possuir nervuras em sua cabeça.

Ademais, outra medida corretiva a ser aplicada no estudo de caso apresentado seria ancorar os painéis conforme solicitação de projeto estrutural com vistas às normas vigentes e utilizar, no mínimo parafusos com cabeça sextavada e ponta broca, os quais se qualificam como parafusos estruturais e são utilizados na ligação entre painéis. Observando ainda, as recomendações na execução das ligações, haja vista, na edificação em estudo, ser possível comprovar a colocação dos mesmos de forma incorreta, por vezes frouxos ou muito apertados ocasionando danos aos elementos.

Com relação ao problema de empenamento das escoras da platibanda, bem como dela própria, se destaca mais uma vez o equívoco na concepção estrutural dos elementos, da mesma maneira que a escolha errada dos materiais. O correto seria a estrutura ser autoportante, sem a necessidade de haver escoras, as quais ainda podem danificar o telhado onde estavam apoiadas, causando problemas relacionados às goteiras e infiltrações.

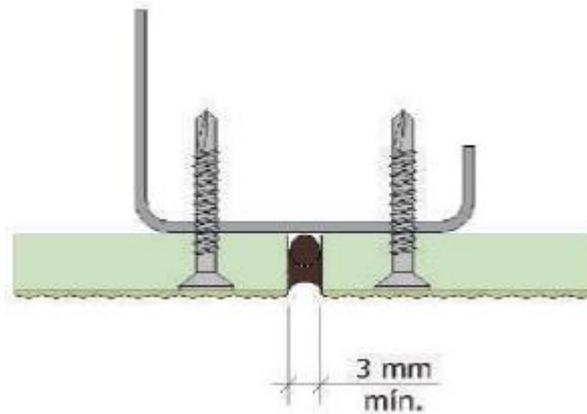
As manifestações patológicas, relacionadas às fissuras e ao deslocamento de revestimento são acentuadas e de elevada gravidade, especialmente se considerada a data de entrega da obra e a data aproximada do surgimento das mesmas. Conforme referencial teórico, para a vedação utilizada na edificação em estudo não se usou todos os componentes necessários e, nem mesmo se contemplou a execução correta para que o conjunto atendesse os requisitos mínimos, entre eles: segurança estrutural, estanqueidade, conforto visual e durabilidade.

Para o tratamento dos problemas relacionados às fissuras e ao deslocamento do revestimento, primeiramente se pode sugerir que deve ser executado tratamento nas juntas entre as placas cimentícias empregadas no fechamento externo da edificação, após, partir para a aplicação da primeira camada de *basecoat* (massa para acabamento à base de cimento reforçado com resina sintética) e, então sobrepor a tela estrutural para depois aplicar novamente, mais uma camada de *basecoat*, deixando a superfície pronta para receber a finalização desejada e recomendada.

É também importante lembrar as recomendações específicas para fachadas, sobre a aplicação de membrana hidrófuga antes da instalação das placas cimentícias, pois a mesma impede a entrada de água e vento, ao mesmo tempo em que permite a saída do ar, evitando assim condensação e umidade no interior da parede (INCOSE, 2018).

Quanto à execução do tratamento de juntas entre placas, há de se considerar as recomendações dos fabricantes dependendo da placa cimentícia utilizada. No caso em estudo, foi verificado através das informações em laudo que a placa cimentícia utilizada foi da marca Infibra e, a mesma expõe em seu manual técnico que são necessárias juntas entre as placas devido às movimentações do produto, sendo a espessura mínima correspondente à 3 mm, conforme Figura 23 a seguir:

Figura 23 - Detalhamento tratamento de junta



Fonte: Infibra (2018, p. 3).

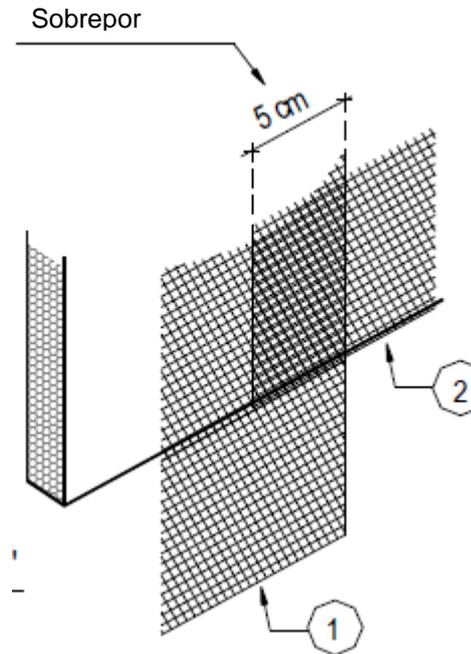
Portanto, para o melhor desempenho das placas cimentícias, se faz necessário pesquisa junto ao fabricante das recomendações de execução, inclusive do tratamento das juntas, a fim de evitar a ocorrência de manifestações patológicas, à exemplo das expostas neste trabalho, como as fissurações no corpo da chapa, trincas nas juntas e revestimentos, até mesmo o deslocamento dos mesmos.

Ademais, após cura do material aplicado no tratamento das juntas, se prossegue para a aplicação do *basecoat* sobre a superfície da placa cimentícia, que deve estar limpa e seca, o qual segundo a ConsulSteel (2002) é uma mistura de polímeros acrílicos e cimento, indicado para aplicação de camada com espessura entre 2 e 5 mm, nas fachadas das construções à seco, ajudando no processo de estanqueidade.

Após a primeira camada de *basecoat* é incorporado à mesma, cuidadosamente, a malha de reforço, que é composta de fibra de vidro e se configura como um complemento da composição de fachada, pois possui a capacidade de absorver impactos, ao mesmo tempo em que distribui as tensões geradas em toda a superfície (CONSULSTEEL, 2002), propiciando assim resistência e evitando manifestações patológicas nas placas cimentícias.

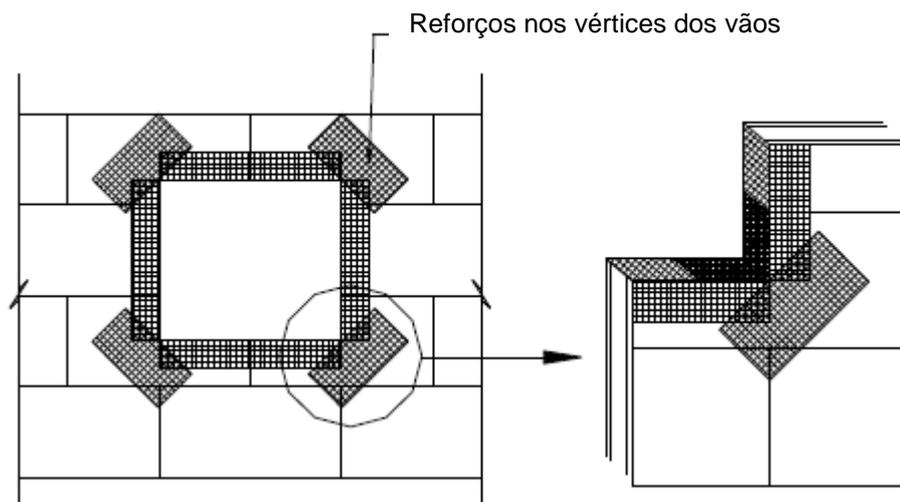
Quanto à aplicação da tela estrutural, as arestas das mesmas devem se sobrepor umas sobre as outras e, nos vértices das aberturas também deve ser previsto aplicação de reforço de malha, a fim de absorver as tensões concentradas nesses locais (Figuras 24 e 25).

Figura 24 - Detalhamento superposição de malha de reforço



Fonte: ConsulSteel (2002, p. 226).

Figura 25 - Detalhamento reforços com malha nos vértices de aberturas



Fonte: ConsulSteel (2002, p. 226).

Finalizando, é recomendada pela Incose (2018), a aplicação de mais uma camada de acabamento entre 1 a 2 mm de espessura de *basecoat* em cima da malha de reforço, visando cobrir imperfeições ou transparências de malha. Assim, ao final dessas etapas, a tela estará no

meio do revestimento base fortalecendo toda a superfície contra agressões mecânicas, evitando rachaduras em longo prazo. Por fim, depois de finalizado o tempo de cura, a superfície estará pronta para receber o revestimento final.

4.3 Das manifestações patológicas e suas causas

Este trabalho, baseado em parecer técnico de profissional habilitado, tem por objetivo expor também as condições encontradas na edificação 2 em estudo, além de explicar as causas e prováveis soluções, referindo-se em normas e manuais técnicos vigentes e, se preciso for, em legislação internacional sobre o assunto.

Assim, quanto às manifestações patológicas foram observadas: painéis fabricados em desacordo com o projeto e desalinhados, montagem dos painéis em desconformidade com o projeto, problemas relacionados às conexões, seleção e uso equivocado de placas OSB, além de perfis recebendo e transmitindo cargas fora dos pontos corretos.

- Divergência na fabricação e montagem de painéis

Segundo informações relatadas em parecer técnico pelo profissional que inspecionou a edificação em estudo, a mesma foi executada com a utilização de material de qualidade e com as dimensões de perfil corretas para a montagem dos painéis estruturais. Porém, se observou falhas na fabricação destes, havendo inconformidades entre os perfis detalhados em projeto e alguns dos executados no canteiro, pois se pode visualizar na Fotografia 19 a seguir, alguns perfis com o sentido invertido.

Fotografia 19 - Perfil com sentido invertido



Fonte: Soares (2018b, p. 2).

Conforme o *Prescriptive Method* (NASFA, 2000), citado por Rodrigues e Caldas (2016), é importante que a configuração de montagem de um painel em *Light Steel Frame* siga o conceito *in line framing*, que significa estrutura alinhada. Nesse caso, estando os perfis montantes modulados de forma não padronizada, pode ocasionar desalinhamento dos centroides das seções transversais e, conseqüentemente gerar cargas excêntricas no perfil, reduzindo a capacidade de suporte.

- Desalinhamento de perfis e carregamento fora dos apoios

Problemas quanto ao alinhamento dos perfis foram confirmados, conforme Fotografia 20 a seguir, que mostra próximo à escada, perfis do primeiro e segundo pavimento desalinhados.

Fotografia 20 - Desalinhamento de perfil



Fonte: Soares (2018b, p. 6).

Considerando o descrito em laudo técnico, o profissional que analisou a execução da obra encontrou erros desde a fase de projeto. Segundo o mesmo, problema referente ao alinhamento e sentido dos perfis se repetiram por toda a obra em consequência de erros de montagem, considerando que as instruções de execução não eram claras.

Ainda, é possível verificar na Fotografia 21 que, a viga de piso treliçada executada na parte interna da garagem, não está recebendo carregamento nos pontos certos. É importante lembrar que, a treliça sendo solicitada de forma diferente das boas práticas da engenharia vai resultar em redução da capacidade da mesma em resistir aos esforços.

Fotografia 21 - Solicitações fora dos nós



Fonte: Soares (2018b, p. 5).

- Conexão de painéis

As soluções construtivas para realizar o encontro dos painéis são variadas e necessárias para garantir a rigidez da estrutura, bem como garantir a resistência demandada pela edificação. Porém, conforme exposto pelo profissional que acompanhou a obra e analisou o projeto da mesma, não forem previstas as conexões de painéis em concordância com as normativas vigentes.

Nas Fotografias 22 e 23 a seguir, é possível observar os erros de montagem referentes ao encontro de painéis:

Fotografia 22 - Encontro de painéis



Fonte: Soares (2018b, p. 9).

Fotografia 23 - Encontro de painéis



Fonte: Soares (2018b, p. 10).

- Ligações

Ademais, outra manifestação patológica encontrada nesse estudo de caso se refere às ligações parafusadas (Fotografias 24, 25, 26 e 27) e também, à chumbeação mecânica dos painéis à fundação (Fotografia 28). Considerando que, além da visita in loco houve também acesso ao projeto, pelo engenheiro contratado para realizar vistoria, se pode constatar a ocorrência de parafusos cisalhados, além de pontos furados, porém sem a colocação dos respectivos parafusos.

Ainda, quanto à fixação de painéis à fundação, se verificou na vistoria que não foi realizado conforme especificado em projeto, estando a furação em locais diferentes dos solicitados e se utilizando de ligações simples.

Fotografia 24 - Parafuso colapsado



Fonte: Soares (2018b, p. 19).

Fotografia 25 - Parafuso cislhado



Fonte: Soares (2018b, p. 21).

Fotografia 26 - Cabeças de parafusos colapsados



Fonte: Soares (2018b, p. 20).

Fotografia 27 - Cabeça de parafuso lentilha cisalhada



Fonte: Soares (2018b, p. 20).

Fotografia 28 - Fixação mecânica dos painéis na fundação

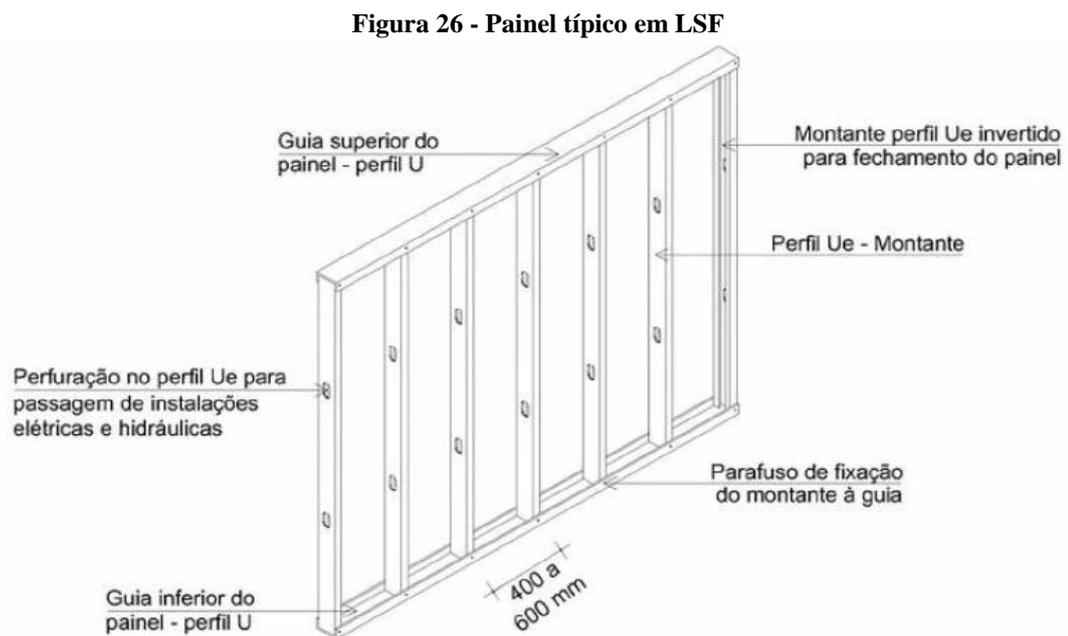


Fonte: Soares (2018b, p. 23).

4.3.1 Das medidas de recuperação e correção

Segundo pesquisa realizada em laudo técnico da edificação em estudo, além da vistoria e acompanhamento da execução da obra na fase de montagem, houve também acesso aos projetos. Por esse motivo, é possível constatar que ocorreram erros relacionados à concepção do projeto, carência nos detalhamentos necessários para a correta execução e montagem do sistema, mão de obra desprovida de conhecimentos técnicos suficientes e possível defeito nos parafusos utilizados.

Quanto ao processo de fabricação e montagem dos painéis, é sugerido que se forneça orientação às equipes para que os serviços sejam executados da forma correta. Conforme Rodrigues e Caldas (2016), um painel típico em *Light Steel Frame* possui guias em perfis U e montantes em perfis Ue, os quais são encaixados na horizontal pelas guias e na vertical pelos montantes, todos seguindo sempre o mesmo sentido mantendo o conceito de estrutura alinhada (Figura 26):

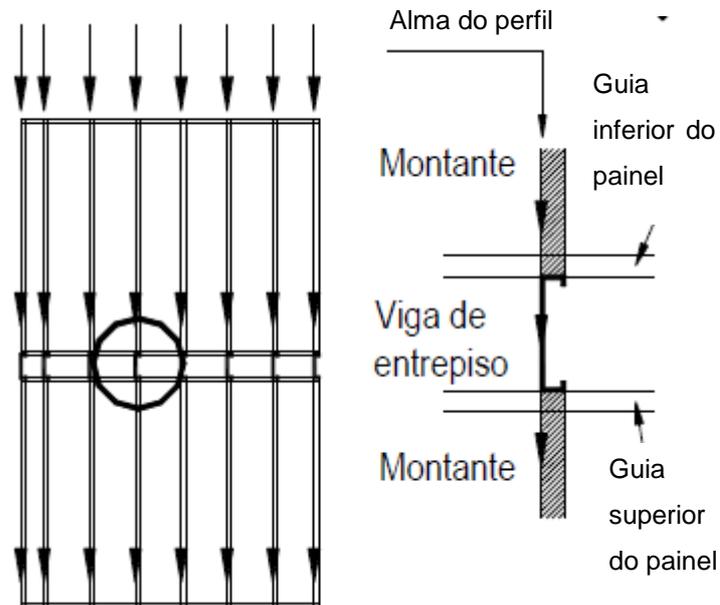


Fonte: Rodrigues e Caldas (2016, p. 29).

Ainda, em referência aos problemas relacionados ao alinhamento dos perfis e carregamentos fora dos nós na viga de piso treliçada, reforçamos que os problemas estão provavelmente relacionados aos erros da mão de obra na interpretação de montagem e, salientamos aqui a importância da correta execução para o desempenho apropriado da estrutura.

Seguindo o método *in line framing*, de acordo com o descrito na normativa AISI S240-15 (2015), a vantagem desse método (Figura 27) é a possibilidade de transferir as cargas verticais por contato direto através das vigas e montantes. Porém, quando o alinhamento não é possível, uma viga deverá ser colocada sob o painel, para distribuir uniformemente as cargas excêntricas.

Figura 27 - Distribuição de cargas verticais

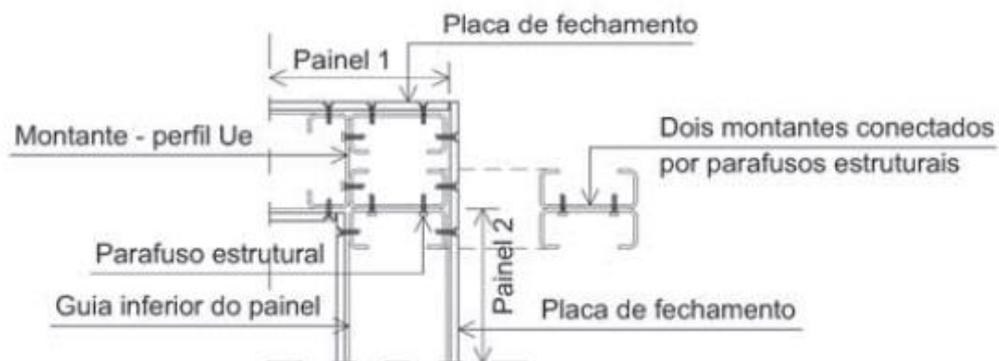


Fonte: ConsulSteel (2002, p. 59).

Assim, como sugerido no laudo técnico de inspeção, será necessário corrigir a posição dos perfis para que os painéis fiquem alinhados e possam manter a estrutura estável.

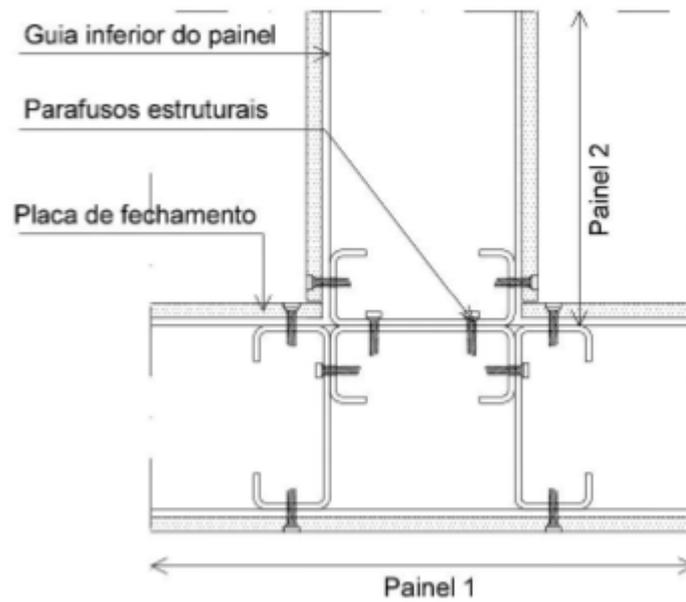
Ademais, os encontros dos painéis também precisam seguir os padrões exigidos em normas e manuais técnicos que basicamente, acontece pela conexão de montantes unidos entre si através de parafusos estruturais (sextavados). Conforme pode ser verificado nas figuras a seguir, há várias soluções construtivas disponíveis que garantem a rigidez do sistema, a resistência dos esforços, bem como a economia de materiais e uma superfície estável para a correta fixação das placas de fechamento interno e externo (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

Figura 28 - Ligação dupla de montantes



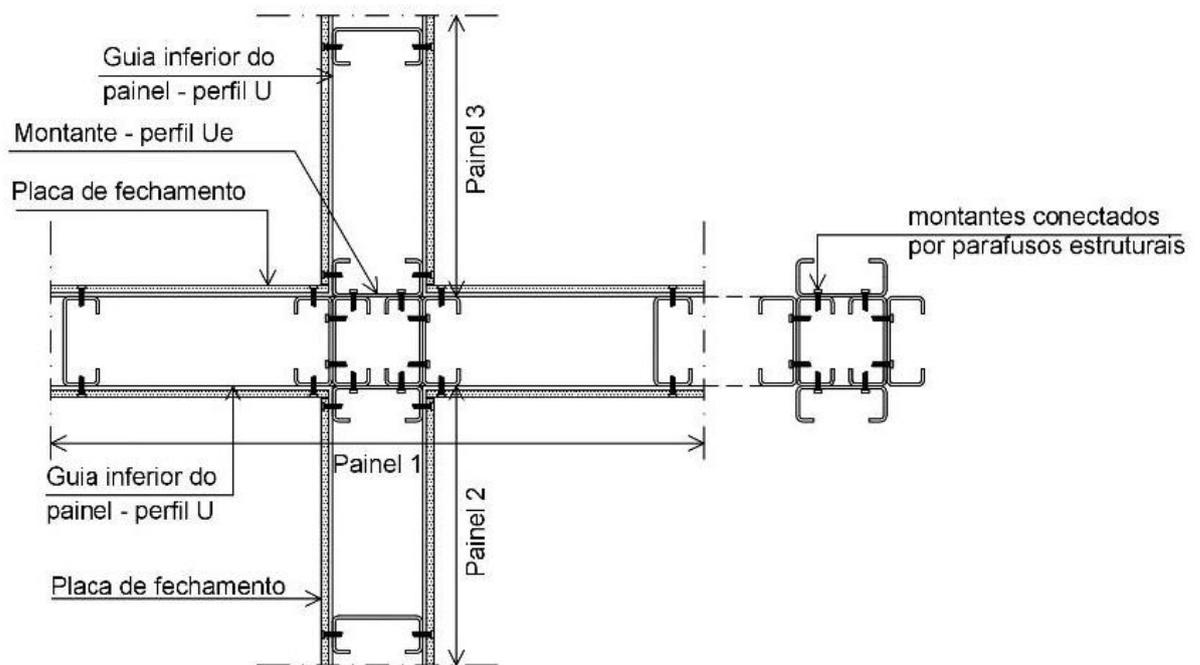
Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 45).

Figura 29 - Ligação tripla de montantes



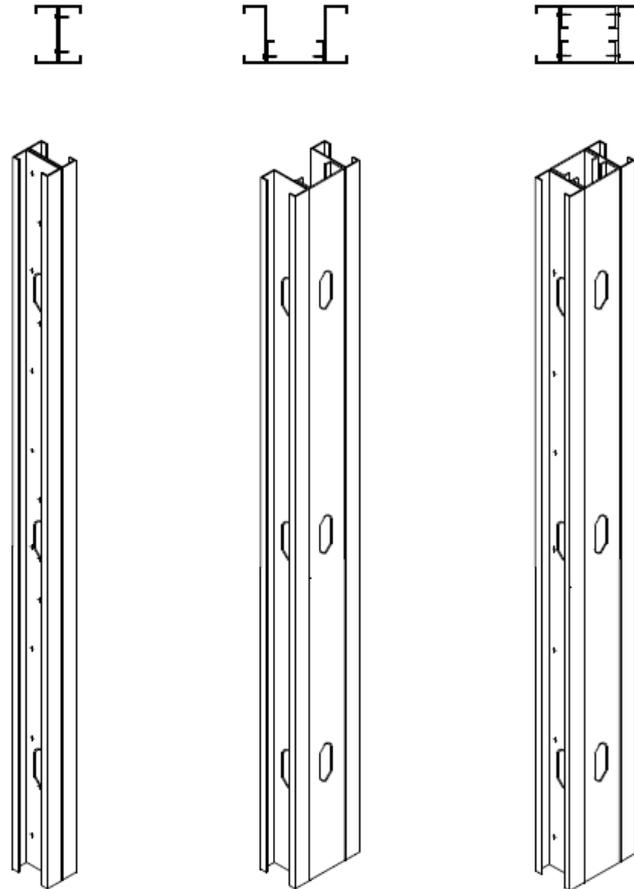
Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012, p. 45).

Figura 30 - Ligação de quatro montantes



Fonte: Soares (2018b, p. 7).

Figura 31 - Encontro de montantes em perspectiva (Duplo – Triplo – Quádruplo)



Fonte: ConsulSteel (2002, p. 63).

Além de tudo, os problemas relacionados às ligações parafusadas são bastante impactantes nesse estudo de caso, pois foi encontrada uma quantidade significativa de cabeças de parafusos do tipo lentilha cisalhadas no chão da obra, conforme já exposto anteriormente nas Fotografias 26 e 27 e também, vários pontos furados sem a colocação das ligações.

Segundo diagnóstico exposto pelo profissional que vistoriou a obra e inspecionou os projetos, a causa mais provável relacionada às anomalias com os parafusos seriam cargas excêntricas, geradas devido à problemas quanto à fabricação dos elementos e/ou excesso de torque no momento da montagem. Para ter certeza quanto a real causa dos problemas, seriam necessários ensaios laboratoriais, nos quais poderiam ser calculadas as resistências dos parafusos utilizados em comparação aos esforços à que os mesmos foram submetidos, bem como verificação dos métodos de execução utilizados na obra em estudo.

Assim, como terapêutica para as falhas relacionadas às ligações, foi recomendada a substituição de todos os parafusos da obra, inclusive os íntegros, priorizando produtos de fabricante diferente do anterior e, com bitola maior a fim de proporcionar que o novo parafuso possa ser fixado da forma correta.

Quanto à fixação dos painéis à fundação, a mesma deve ser realizada dependendo das condições de carga e do tipo de fundação. Nesse caso, a orientação era realizar a ancoragem através de fixação mecânica (Figura 32), sempre seguindo as especificações e detalhamentos de projeto, o que não se observa na execução da obra em estudo. Segundo o Manual *Steel Framing* (INCOSE, 2018), o princípio da ancoragem mecânica é a aplicação do torque de instalação adequado para que o mesmo possa gerar expansão dentro do material de base, nesse caso o concreto, causando atrito nas faces internas.

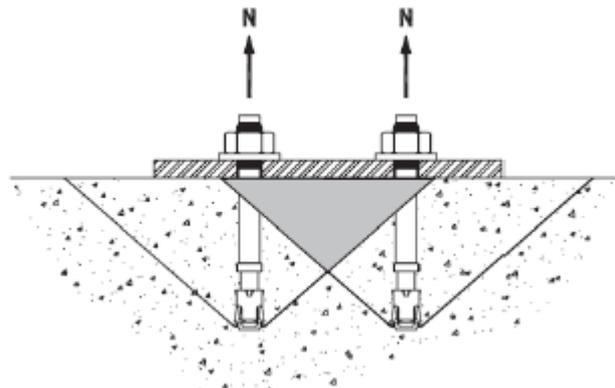
Figura 32 - Fixação mecânica



Fonte: Incose (2018, p. 150).

Ademais, a distância entre as ancoragens (Figuras 33, 34 e 35) também deve ser respeitada a fim de se obter uma fixação mais resistente, pois conforme as amarrações são solicitadas pelos esforços, a área de base afetada é maior, aumentando também a pressão local. Portanto, havendo ancoragens muito próximas, pode ocorrer sobreposição de esforços fazendo com que nessas zonas, a base tenha um carregamento muito maior.

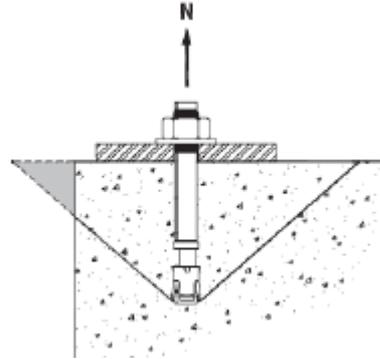
Figura 33 - Distância entre fixadores mecânicos



Fonte: Incose (2018, p. 151).

Além disso, no manual de recomendações técnicas é também falado sobre quando é executada a fixação mecânica perto de uma aresta de concreto, pois a área de base que vai receber a carga que a âncora vai transmitir será reduzida.

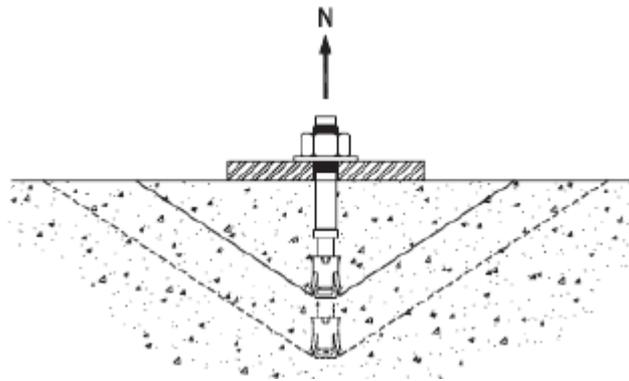
Figura 34 - Distância até a borda



Fonte: Incose (2018, p. 151).

E, no que se refere à profundidade da ancoragem, quanto mais profundo, maior a área de concreto solicitada e maior a resistência à ruptura da fixação.

Figura 35 - Profundidade do fixador



Fonte: Incose (2018, p. 152).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Relembrando o que foi explicado por Silva (2012) acerca das manifestações patológicas da construção, foi possível constatar, através dos estudos de casos do sistema construtivo LSF relatados nesse trabalho de conclusão, as falhas construtivas instauradas nas respectivas edificações, sejam por erros de projeto ou execução, confirmando a inexistência de instrução específica aos envolvidos na realização das obras.

O sistema *Light Steel Frame* ainda pode ser considerado pioneiro no meio da construção civil em nosso país e, apesar de ser apresentado como um método construtivo rápido e eficiente, econômico e com falhas reduzidas, ao longo deste trabalho se compreendeu que, para um resultado fiel à política de método construtivo industrializado e inovador é imprescindível o conhecimento técnico e científico do sistema, tanto para quem está projetando quanto para a equipe que vai executar o trabalho.

Assim, esse trabalho pretendeu, através dos estudos de casos, contribuir com a divulgação e entendimento das manifestações patológicas, bem como explorar os meios de recuperação das mesmas e fomentar a importância de garantir qualidade às estruturas metálicas, haja vista o potencial do sistema LSF. Durante esse processo se observou que, as manifestações patológicas mais recorrentes foram fissuração, deslocamento de revestimento, movimentação horizontal excessiva, fixação incorreta de painéis na fundação e desalinhamento de perfis. Desse modo, as principais causas das manifestações patológicas referentes às edificações estudadas estão relacionadas à projetos inadequados, irregularidades na execução e uso incorreto de material.

Ademais, durante o desenvolvimento desse trabalho de conclusão, foi possível verificar a falta de referencial bibliográfico sobre manifestações patológicas relacionadas ao método *Light Steel Frame*. Em vista disso, se pressupõe a real eficiência do sistema quando executado com competência, ou ainda, se suspeita não existir tranquilidade por parte dos profissionais, em expor falhas relacionadas às suas atividades.

Portanto, é possível entender que ainda é necessário potencializar a busca pelo conhecimento quando se pretende implantar novos métodos de construção, haja vista os problemas relacionados ao desempenho, segurança e conforto, que a falta de domínio acerca do assunto pode causar. Ainda, é importante que aconteça a compreensão dos profissionais que atuam com novos métodos construtivos, em entender a importância de compartilhar também suas experiências insatisfatórias, contribuindo assim para uma divulgação mais

abrangente do assunto e oportunidade em auxiliar nos diagnósticos e terapêuticas, promovendo a conscientização dos profissionais da área.

Daí em diante, considerando os conhecimentos obtidos através do desenvolvimento deste trabalho de conclusão, bem como as dificuldades encontradas em localizar referencial teórico a respeito do assunto aqui estabelecido, ratifica-se a necessidade de ampliar os estudos acerca de novas tecnologias na área da construção civil, assim como das potenciais manifestações patológicas dos novos sistemas construtivos.

A disponibilidade de maior quantidade de material viabilizaria melhor compreensão e ampliação da sabedoria. Portanto, apresento a seguir algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Ensaio de resistência de perfil *Light Steel Frame*;
- Ensaio de modelos expostos à ataques agressivos;
- Desempenho térmico e/ou acústico, considerando as várias opções de preenchimento dos fechamentos verticais;
- Desempenho dos componentes de vedação quanto à estanqueidade;
- Aumento das pesquisas e publicações a respeito de manifestações patológicas no sistema construtivo LSF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). *Manual da construção industrializada: Conceitos e etapas: Volume 1: Estrutura e vedação*. Brasília: ABDI, 2015.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI). *AISI S240-15: North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing*. 2015.

ARAÚJO, A.; PAES, J. L. R.; VERÍSSIMO, G. S. Sistemas de vedação em alvenaria para edifícios de estrutura metálica: detalhamento com base na prevenção de manifestações patológicas. *Gestão da Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 27-45, jul./dez. 2013.

ARCELORMITTAL. *Steel buildings in Europe: Single Storey Buildings (SSB): Part 1: Architect's guide*. [2019]. Disponível em: <<https://sections.arcelormittal.com/3594/3541/EN>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações: Requisitos Gerais*. Rio de Janeiro, 2014.

_____. *NBR 15575-1: Edifícios habitacionais – Parte 1: Requisitos Gerais*. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. *NBR 15575-3: Edifícios habitacionais – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos*. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. *NBR 15575-4: Edifícios habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. *NBR 15575-5: Edifícios habitacionais – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas*. Rio de Janeiro, 2013d.

_____. *NBR 16618: Revestimento interno em gesso de paredes e tetos – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIATION D'EXPERTS EUROPÉENS DU BÂTIMENT ET DE LA CONSTRUCTION (AEEBC). Desenvolvido por Sedgefield Web Design. c2019. Apresenta informações sobre o panorama das construções na Europa. Disponível em: <<http://aeebc.org/index.html>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

AVELAR, P. R.; PASSOS, T. M. V.; SOUZA, R. F. Descrição do método construtivo e precauções na sua execução. *Revista Pensar Engenharia*, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 1-18, jan. 2017.

BARROS, Victor Vieira Belafonte. *Estruturas em light steel framing: projeto e dimensionamento em softwares 3D*. 2017. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2017.

BEVILAQUA, Rosane. *Estudo comparativo do desempenho estrutural de prédios estruturados em perfis formados a frio segundo os sistemas aporticado e light steel framing*. 2005. 247 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

BOUVIE, Luiza. *Contribuições ao projeto estrutural de edificações em Steel Frame*. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)–Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas. *DATEc nº 014b: Sistema construtivo a seco Saint-Gobain – Light Steel Frame*. 2018. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=4cc2bba0-8abe-409b-b5df-b7aefd3340be&ext=.pdf&cd=4732>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

_____. *Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos: Diretriz SINAT n.º 003: revisão 2: sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”)*. 2016. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 25 abr. 2019.

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.

CARDOSO, S. S.; BARROS, M. M. B. *Especificação de perfis para Drywall e Light Steel Framing*. ConstruMetal, 2016.

CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. *Patologia dos edifícios em estrutura metálica*. 1999. 204 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

CISER PARAFUSOS E PORCAS. Desenvolvido por Ciser Parafusos e Porcas. c2019. Apresenta informações sobre a empresa. Disponível em: <<http://www.ciser.com.br/>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

CONSULSTEEL. Manual de procedimiento: construcción con acero liviano. [2002]. Disponível em: <<http://consulsteel.com/documentacion-tecnica/>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. *Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing*. 2005. 231 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CRASTO, R. C. M.; FREITAS, A. M. S. *Construções de Light Steel Frame*. 2006. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285545-1.aspx>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

CRUZ, A. F. R.; BARBOSA, M. T. G.; CASTANÕN, J. A. B. Análise do processo de manutenção em diferentes sistemas construtivos no Brasil. *REUCP*, Petrópolis, v. 11, n. 1, p. 33-43, 2017.

DEGANI, Jonathan Albert. *Construção Modular em Light Steel Frame: comparativo com construção em alvenaria convencional*. 2017. Trabalho de conclusão de curso – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

DIVIPLUS. Acoustic Solutions. *Cores das placas de drywall*. [2019]. Disponível em: <<http://diviplus.com.br/cores-placas-drywall/>>. Acesso em: 14 maio 2019.

DRY CENTER GESSO. *Um novo conceito em construção*. [2019]. Disponível em: <<https://www.drycentergesso.com/produto/parafuso-com-asas/165/>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

FARIA, Renato. *Industrialização econômica: sistemas construtivos industrializados ganham força com expansão do segmento residencial econômico*. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/136/artigo286523-1.aspx>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

FONSÊCA, Cleonice Pereira. *Patologias em obras públicas em sistema construtivo drywall*. 2018. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

FUTURENG. *Light steel framing*. [2019]. Disponível em: <<http://www.futureng.pt>>. Acesso em: 09 abr. 2019.

HOFMANN, Giane Alfenas Antunes. *Tratamento de juntas invisíveis em placas cimentícia no fechamento de sistemas Light Steel Framing*. 2015. 105 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

INCOSE. *Manual de recomendaciones técnicas para la construccion com estructuras de perfiles de acero galvanizado liviano conformados em frio (steel framing) – verson corregida y ampliada*. 2018.

INFIBRA. *Placas cimentíceas NTF*. Leme: Infibra, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *ISO 6241: Performance standards in buildings: principles for their preparation and factors to be considered*, 1984.

LIMA, Rondinely Francisco de. *Técnicas, métodos e processos de projeto e construção do sistema construtivo Light Steel Frame*. 2013. 157 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LIRA, V.; LORDSLEEM JR.; A. C. *Manifestações patológicas em inovações tecnológicas das vedações verticais de edificações habitacionais*. In: CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 6., 2018, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: PATORREB, 2018. p. 1-10.

LOPES, C. R. et al. *Tecnologia de edificações III: Steel framing*. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

LOTURCO, Bruno. *Chapas cimentícias são alternativa rápida para uso interno ou externo*. 2013. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/79/artigo285285-1.aspx>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. A ONU e o meio ambiente. [2019]. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

REGO, Diogo José Martins. *Estruturas de edifícios em light steel framing*. 2012. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

RODRIGUES, Francisco Carlos. *Steel framing: engenharia*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

RODRIGUES, Francisco Carlos. CALDAS, Rodrigo Barreto. *Steel framing: engenharia*. Rio de Janeiro: Aço Brasil/CBCA, 2016.

SACCHI, C.; SOUZA, A. S. C. Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, Goiânia, v. 13, n. 1, p. 20-34, ago. 2016.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. *Steel framing: arquitetura*. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2012.

SANTOS, T. S.; FIORITI, C. F.; TSUTSUMOTO, N. Y. Avaliação de manifestações patológicas em edificações com estruturas de aço. *Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística*, v. 6, n. 2, p. 178-190, nov. 2016.

SILVA, Alexander Herbert Salles. *Patologias nas interfaces: aço estrutural e sistema de vedação*. 2017. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G. *Painéis de vedação: Manual de Construção em Aço*. Rio de Janeiro: Aço Brasil, 2004.

SILVA, Raphael. Manifestações patológicas em sistemas construtivos de aço – algumas medidas preventivas. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA, 5., 2012, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABCEM, 2012. p. 1-13.

SOARES, Eduardo Rayher. *Laudo técnico de inspeção em fachada estruturada em perfis formados a frio*. Sapiroanga: [s.n.], 2018a.

_____. *Laudo técnico de inspeção em estrutura Light Steel Frame*. Sapiroanga: [s.n.], 2018b.

TESTOLINO, P. L. SAURO NETO, J.; MORENO JUNIOR, A. L. *Sistema construtivo em steel framing: o problema da fissura nas juntas entre placas cimentícias de fechamento*. 2011. Disponível em: <<https://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xixcongresso/paineis/094300.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2019

WATT, David S. *Building pathology: principles and practice*. 2nd. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2007.