



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

O sistema construtivo com estrutura leve em aço

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
na Especialidade de Construções

Autor

Marta Sofia Martinho Ferreira

Orientador

Professor Doutor Paulo Fernando Antunes dos Santos

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Janeiro, 2014

AGRADECIMENTOS

Neste pequeno espaço, em que expresso os meus agradecimentos, deixo apenas algumas palavras, poucas, mas de sentido profundo, a todas as pessoas que, ao longo da minha formação em Mestra de Engenharia Civil me acompanharam e motivaram. Que, de uma forma direta ou indireta, me ajudaram a cumprir os meus objetivos e concretizar esta etapa da minha vida.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Doutor Paulo Fernando Antunes dos Santos, meu orientador, pelo precioso conhecimento transmitido, incentivo e disponibilidade concedida durante a elaboração deste trabalho.

Um especial agradecimento aos meus pais, que veem assim o último rebento concluir o seu percurso académico. Por todo o carinho, apoio e disponibilidade, um muito obrigado aos meus queridos pais e irmãos. O que sou hoje, devo-o a vocês!

Agradeço ainda a todos os amigos, professores e restantes familiares que, de uma maneira ou outra, me ajudaram a crescer e a tornar-me na pessoa que hoje sou, não especificamente ao longo da concretização deste trabalho, mas ao longo de toda a minha vida. Um muito obrigado.

Por fim, quero agradecer ao Stef, por toda a paciência que teve comigo durante a realização desta dissertação. Obrigado pela confiança e por acreditares em mim.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A atividade de construção civil é considerada uma das atividades mais conservadoras com características muito próprias, mantendo os seus padrões e origens. Entre os edifícios construídos em Portugal, nomeadamente os residenciais, domina a construção com estrutura em betão e alvenaria de tijolo.

Tal como todos os setores de atividade se preocupam em melhorar a qualidade final do seu produto, torna-se necessário recorrer a novas técnicas e soluções. Dada a estagnação e a crise em que se encontra a indústria da construção no país, é ainda mais urgente apresentar novas soluções com vantagens competitivas, relativamente às soluções construtivas tradicionais. Além disso, a sustentabilidade na construção ocupa, cada vez mais, um lugar de peso, não estando apenas relacionada com a eficiência energética (energia operacional), mas também com os materiais usados e os impactos que eles causam (energia incorporada).

Uma solução construtiva que está a dar os primeiros passos no setor da construção em Portugal, nomeadamente em edifícios de baixa altura, é o sistema construtivo em “aço leve” – “*Lightweight Steel Framing*” (LSF). O aço é um material com inúmeras vantagens. De entre elas, a elevada taxa de reciclagem (100%) e a liberdade que oferece na execução de projetos.

O presente trabalho tem por objetivo a revisão do estado da arte sobre o método construtivo com estrutura leve em aço. Pretende-se descrever o processo construtivo bem como identificar as vantagens e desvantagens do sistema, do ponto de vista de pré-fabricação, controlo de qualidade, transporte, execução/montagem, estruturais, funcionais, custos, ambientais, entre outros, fazendo deste trabalho um meio de divulgação do sistema construtivo.

ABSTRACT

The construction activity is considered one of the most conservative activities with its own characteristics, keeping your standards and origins. The buildings constructed in Portugal, namely residential, dominates construction with concrete structure and brick masonry.

As with all sectors of activity are concerned to improve the final quality of your product it is necessary to use new techniques and solutions. Given the stagnation and the crisis in which it is the construction industry in the country it is even more urgent introduce new solutions with competitive advantages over traditional construction solutions. Furthermore, the sustainability in building occupies a place of weight not being only related to energy efficiency (operational energy) but also with the materials used and the impacts they cause (embodied energy).

The solution which is to take the first steps in the construction sector in Portugal particularly in low-rise buildings is "mild steel" - "*Lightweight Steel Framing*" (LSF). Steel is a material with countless advantages with high recycling rate (100%) and offers great freedom in executing projects.

This work has for objective to review the state of the art on the constructive method with lightweight steel frame. It is intended to describe the construction process and identify the advantages and disadvantages of the system from the point of view of manufacturing, quality control, transportation, implementation/installation, structural, functional, cost, environmental, among others, making this work a means of dissemination of this construction system.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Motivação e Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	2
2. O SETOR DA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL	4
2.1 O Setor da Construção Metálica.....	6
2.2 A Construção Metálica como Solução Sustentável.....	7
3. O SISTEMA CONSTRUTIVO EM “LIGHTWEIGHT STEEL FRAMING”	9
3.1 Definição de “ <i>Lightweight Steel Framing</i> ”	9
3.2 Origem do sistema “ <i>Lightweight Steel Framing</i> ”	9
3.3 Métodos de construção em “ <i>Lightweight Steel Framing</i> ”	12
3.3.1 Construção “ <i>stick-build</i> ”	12
3.3.2 Construção por painéis	13
3.3.3 Construção modular.....	14
3.4 O Aço Galvanizado como elemento estrutural.....	15
4. PROCEDIMENTOS CONSTRUTIVOS.....	18
4.1 Planeamento	18
4.2 Fundações	19
4.3 Fixação.....	20
4.3.1 Parafusos.....	20
4.3.2 Pregos	22
4.3.3 “ <i>Clinching</i> ”	22
4.3.4 Rebites	23
4.3.5 Soldadura.....	23
4.3.6 Cavilhas	23
4.3.7 Sistemas de cliques.....	24

4.3.8 Colagem.....	24
4.4 Paredes.....	24
4.5 Pavimento.....	28
4.6 Cobertura.....	29
4.7 Revestimento.....	30
4.7.1 Revestimento estrutural.....	31
4.7.2 Revestimento exterior: ETICS.....	32
4.7.3 Revestimento não estrutural.....	34
4.7.4 Isolamento térmico e acústico: Lã de rocha.....	35
4.8 Instalações técnicas e recomendações.....	36
4.9 Caso de estudo ilustrativo.....	37
5. VANTAGENS E INCONVENIENTES DO SISTEMA CONSTRUTIVO.....	40
5.1 Vantagens.....	40
5.1.1 Pré-fabricação e controlo de qualidade.....	40
5.1.2 Transporte e execução.....	41
5.1.3 Comportamento acústico.....	42
5.1.4 Comportamento térmico.....	47
5.1.5 Comportamento ao fogo.....	52
5.1.6 Comportamento sísmico.....	55
5.1.7 Custos.....	57
5.1.8 Sustentabilidade.....	58
5.1.9 Durabilidade.....	60
5.1.10 Reabilitação.....	62
5.1.11 Pannelização e construção em altura.....	64
5.2 Desvantagens.....	65
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
6.1 Conclusões.....	66
6.2 Trabalhos Futuros.....	68
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução do número de alojamentos familiares e número de alojamentos vagos, de 1970 a 2011 (INE, 2012).	5
Figura 3.1 – Métodos construtivos em LSF: (a) construção por perfis “ <i>stick-build</i> ”; (b) construção por painéis; (c) construção modular (Grubb <i>et al.</i> , 2001).....	12
Figura 3.2 – Pormenores construtivos de construção por perfis em LSF: (a) “ <i>Platform Framing</i> ”; (b) “ <i>Ballon Framing</i> ” (Grubb <i>et al.</i> , 2001).....	13
Figura 3.3 – Estrutura para construção modular em aço “leve” (Lawson e Ogden, 2008)	14
Figura 3.4 – Secções transversais de perfis estruturais de aço enformados a frio (LSK, 2005)	16
Figura 4.1 – Cronograma das fases de construção de um edifício em LSF (Silvestre <i>et al.</i> , 2013).....	18
Figura 4.2 – Tipos de fundações associadas ao sistema construtivo: (a) sapata contínua; (b) ensoleiramento geral (Tecnobra, 2012).....	19
Figura 4.3 – Diversidade de parafusos usados em LSF para: (a) ancoragem; (b) perfis metálicos; (c) placas OSB; (d) placas de gesso; (e) vigas metálicas.....	20
Figura 4.4 – Diversidade de cabeças de parafusos (LSK, 2005)	21
Figura 4.5 – Processo de fixação pelo método de “ <i>Clinching</i> ” (LSK, 2005)	22
Figura 4.6 – Esquema de transmissão de cargas ao longo de uma parede com função estrutural (Pinto, 2010).....	25
Figura 4.7 – Elementos constituintes das paredes de uma estrutura em LSF (NASFA, 2000)	26
Figura 4.8 – Esquema de uma verga em LSF (NASFA, 2000).....	26
Figura 4.9 – Pormenor construtivo de cintas e bloqueios para contraventamento (NASFA, 2000).....	27
Figura 4.10 – Soluções construtivas para pavimentos em LSF (Santos <i>et al.</i> , 2012).....	28
Figura 4.11 – Pormenores construtivos das lajes: (a) reforços com cantoneira em L ; (b) contraventamento em X (NASFA, 2000).....	29
Figura 4.12 – Detalhes de cobertura inclinada por painéis em LSF (NASFA, 2000)	30
Figura 4.13 – Revestimento estrutural de moradia com recurso a painéis de OSB (Futureng, 2013).....	32
Figura 4.14 – Acabamentos exteriores com recurso a: a) pedras de granito; b) decks de madeira (Silvestre <i>et al.</i> , 2013).....	33

Figura 4.15 – Isolamento acústico/térmico com lã de rocha num teto (Futureng, 2013).....	35
Figura 4.16 – Instalações técnicas em edifícios com construção em LSF (Futureng, 2013)....	36
Figura 4.17 – Pormenores construtivos da moradia T2 (caso de estudo).....	38
Figura 4.18 – Pormenores construtivos da moradia T2 (caso de estudo).....	39
Figura 5.1 – Perfis metálicos acústicos, com dobras (LSK, 2005).....	43
Figura 5.2 – Transmissão de ruídos de impacto sobre um pavimento em LSF (LSK,	45
Figura 5.3 – Esquema de transmissão de sons provenientes de equipamentos sanitários (LSK, 2005).....	46
Figura 5.4 – Espessuras de paredes com o mesmo nível de isolamento térmico (Silvestre <i>et al.</i> , 2013).....	47
Figura 5.5 – Diferentes disposições do material de isolamento (Santos <i>et al.</i> , 2012).....	49
Figura 5.6 – Geometria de perfis metálicos para redução de transmissão térmica: a) perfis com ranhuras; b) dobras nos banzos dos perfis metálicos (Silvestre <i>et al.</i> , 2013)	51
Figura 5.7 – Sistemas de contraventamento testados, sobre ação de cargas cíclicas (Moghimi e Ronagh, 2009).....	56
Figura 5.8 – Evolução do estado dos edifícios ao longo do tempo (Silva, 2012)	62
Figura 5.9 – a) Fixação de canal de aço; b) colocação de vigas sobre o canal de bordadura (Silvestre <i>et al.</i> , 2013)	63
Figura 5.10 – Pannelização vertical em edifícios (Silvestre <i>et al.</i> , 2013).....	64

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Classe de aços estruturais usados em LSF.....	15
Quadro 4.1 – Diâmetro dos parafusos usados em LSF (LSK, 2005).....	21
Quadro 4.2 – Valores característicos dos painéis OSB (BS EN 12369-1, 2001).....	32
Quadro 5.1 – Comparação de tempos de construção para vários níveis de pré-fabricação (Lawson, 2009).....	42
Quadro 5.2 – Caminhos de propagação do som em edifícios com estrutura LSF (LSK, 2005).....	43
Quadro 5.3 – Soluções construtivas de paredes e respetivo índice de isolamento sonoro (Grubb <i>et al.</i> , 2001).....	44

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A indústria da construção enfrenta atualmente a necessidade de incorporar novas técnicas e materiais, para cativar o cliente, dada a crise que está a atravessar. Neste momento, em Portugal, uma construção de raiz será por ventura desnecessária, dado a oferta que existe no mercado imobiliário, devido à construção insustentável e desmedida dos últimos anos. No entanto, novas alternativas à construção tradicional podem incentivar o cliente a optar por um novo conceito de construção.

Neste contexto, a construção com estrutura leve em aço (LSF – “*Lightweight Steel Framing*”) pode contribuir para beneficiar a industrialização do setor, nomeadamente da habitação residencial. Embora pouco divulgada no país, esta poderá ser uma resposta para a crise, dadas as vantagens que o aço oferece. Além disso, uma vez que é necessário repensar as estratégias e formas de produção para que haja uma internacionalização dos produtos, o facto de o aço utilizado neste sistema construtivo apresentar uma espessura muito reduzida e por isso se tornar mais leve e mais fácil de transportar, esta poderá ser uma solução a adotar noutros mercados emergentes em resposta à crescente procura de habitação, como nos países asiáticos, Brasil e Angola.

Uma vez que estas soluções em LSF são maioritariamente pré-fabricadas, as condições de fabricação são mais controladas, proporcionando maior rapidez de execução e uma maior flexibilidade para a conceção e projeto, dada a versatilidade do material. Além disso, este sistema construtivo pode ser aliado ao processo de reabilitação do parque edificado ou apenas para adaptar o espaço a novas funções, criando novos espaços e divisões. Estas são algumas das vantagens que este sistema construtivo em aço apresenta, associadas ao poder de reciclagem e abundância na natureza do material.

O sistema construtivo conhecido internacionalmente por “LSF - *Lightweight Steel Framing*”, com estrutura leve em aço enformado a frio, utiliza como principal material resistente o aço galvanizado e está orientado para a construção de edifícios de pequeno porte (até dois ou três pisos), incluindo a execução de paredes exteriores, paredes interiores, lajes e coberturas.

Neste tipo de sistema construtivo, ao contrário do tradicional, o betão apenas é empregue habitualmente para realizar os muros de contenção em caves e fundações, podendo também ser utilizado nos pavimentos como camada de regularização ou lajeta de assentamento do acabamento (ex. mosaicos). Além destas aplicações, é também usual a utilização do sistema LSF em obras de reabilitação e remodelação.

1.2 Motivação e Objetivos

De uma forma geral, os objetivos desta dissertação são o estudo das características do sistema construtivo com estrutura leve em aço “*Lightweight Steel Framing*”, que se apresenta como uma solução para o mercado do setor da construção. O aço é um material que resiste a todos os tipos de esforços (compressão, tração, flexão, corte) e permite uma grande variedade de soluções estruturais.

Além da revisão das origens e evolução deste sistema construtivo, pretende-se fazer um breve ponto da situação sobre o setor da construção em Portugal, nomeadamente o setor da construção tradicional e o setor da construção metálica. Como solução construtiva que envolve todo um conjunto de etapas, serão descritos os processos desde a execução do projeto à construção no terreno, integrando pormenores construtivos, materiais, instalações e revestimentos. Sendo o aço galvanizado o principal elemento deste sistema, ser-lhe-á dado uma maior atenção.

O LSF como sistema construtivo tem as suas potencialidades e limitações. Será também realizado um levantamento destas propriedades no que respeita à pré-fabricação, controlo de qualidade, transporte, execução, estrutura, funcionalidade, custos e ambiente.

1.3 Estrutura da dissertação

O presente trabalho divide-se em 7 capítulos, fazendo-se uma pequena exposição nesta secção do conteúdo tratado em cada um.

Este primeiro capítulo, de carácter introdutório, menciona os motivos que levaram à concretização desta tese de dissertação, elucidando os principais objetivos da mesma e a sua forma de organização.

O Capítulo 2 faz um enquadramento global ao setor da construção no país, remetendo a construção metálica para uma solução sustentável e opção de futuro, dadas as suas vantagens.

O Capítulo 3 introduz o sistema construtivo em aço “leve” – “*Lightweight Steel Framing*”, com a narração da sua origem. São apresentadas as várias vertentes de construção com recurso ao aço galvanizado, bem como as características deste elemento primordial.

O processo construtivo das fundações, processos de fixação, paredes, pavimento e coberturas, são descritos no Capítulo 4. São ainda relatados os materiais constituintes do revestimento da estrutura, quer interior, quer exterior.

De forma a apresentar algumas destas fases do processo construtivo deste sistema, é ainda ilustrado um caso de estudo, referente à construção de um conjunto de habitações para turismo rural.

O Capítulo 5 é um dos principais capítulos desta dissertação, expondo de forma global as vantagens e inconvenientes que o sistema construtivo com estrutura leve em aço apresenta, desde o desempenho estrutural e funcional, passando pela sustentabilidade e custos da solução.

O Capítulo 6 sintetiza as principais conclusões a reter do estudo do sistema construtivo, realizado ao longo do trabalho. São ainda sugeridos alguns tópicos para possíveis trabalhos futuros.

Por fim, o Capítulo 7 faz referência à bibliografia consultada para a realização desta dissertação.

2. O SETOR DA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL

O setor da construção em Portugal, tal como em muitos países, tem uma importância considerável no setor da economia. A partir da adesão do nosso país à Comunidade Económica Europeia (CEE), em 1986, e com os financiamentos provenientes da União Europeia (UE), verificou-se um crescimento considerável no setor da construção. Com a liberdade de transição entre os países da CEE, as empresas portuguesas expandiram-se, tanto a nível nacional, como internacional, tendo-se adaptado às novas políticas de mercado. Muitas empresas, para contornarem esta necessidade, optaram por diminuir o número de pessoas no quadro e contratar outras empresas de menor dimensão para realizarem trabalhos de subemprego. As pequenas empresas começaram a crescer consideravelmente, pelo facto de as grandes empresas lhes adjudicarem as suas obras.

Como já referido acima, esta é uma atividade com grande peso na economia nacional, não só pelo número de pessoas que a ela estão ligadas, mas também pelo volume considerável de atividades que lhe estão associadas. Contudo, com a redução dos financiamentos vindos da UE, o setor da construção ameaça ressentir-se. A contenção de despesas anunciadas veio por fim à expansão do setor que até então se verificava. Assim, uma forma de as empresas regressarem à execução dos seus trabalhos passará, não só, por reduzir o número de funcionários, mas também, optar por soluções tecnologicamente mais evoluídas e modernas, com o objetivo último de garantir a qualidade dos seus produtos (Baganha, 2002).

Nos últimos anos, o país tem hospedado uma construção sobredimensionada e insustentável. Entre os anos de 1991 e 2011 construiu-se, em termos irónicos, uma cidade maior que Coimbra, por ano! O país recebeu, neste período de tempo, 1,6 milhões de alojamentos. De acordo com os Censos 2011, houve um crescimento de 16,3% na construção residencial, relativamente aos Censos de 2001. Existem, em Portugal, aproximadamente 1,9 milhões de habitações sem ocupação permanente (Cóias, 2012).

De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE), os Censos de 2011 revelaram o maior excedente de alojamentos de sempre em Portugal. Assim, no ano de 2011, o número de alojamentos ultrapassou em 45% o número de famílias, o que se traduz em mais de 1,8 milhões de alojamentos do que famílias. Da totalidade de habitações, cerca de 32% eram

habitações secundárias ou estavam desocupadas (INE, 2012). A Figura 2.1 ilustra a evolução do número de alojamentos familiares, deste 1970, em comparação com o número de alojamentos vagos.

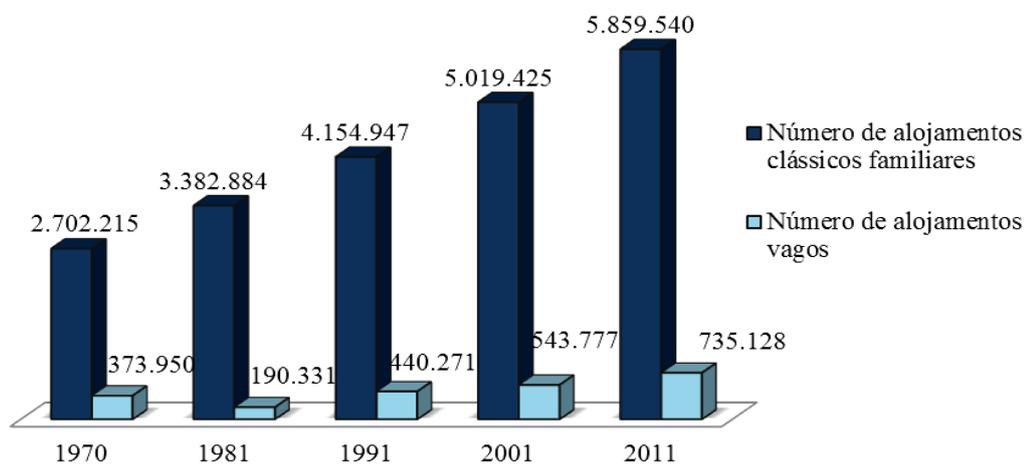


Figura 2.1 – Evolução do número de alojamentos familiares e número de alojamentos vagos, de 1970 a 2011 (INE, 2012).

Segundo dados da Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas (FPICOP), o Instituto Nacional de Estatísticas, no que respeita à construção de edifícios residenciais, aponta para uma quebra de 37,5% nos cinco primeiros meses do ano de 2013. No mesmo período de tempo, a construção de edifícios não residenciais teve uma redução de 18%. No que respeita a trabalhos de reabilitação, esta também sofreu uma redução de 24%.

Segundo a mesma instituição, prevê-se para o futuro do setor da construção, uma necessidade de investir na qualificação. Esta qualificação passará por intervenções no campo na reabilitação, trabalhar no já edificado. Para tal, é necessário investir com mais rigor na sua concretização e, por isso, é necessário uma maior qualificação, quer dos profissionais, quer das empresas, que ainda não estão totalmente familiarizadas com este tipo de construção.

Com esta qualificação, o setor só terá vantagens. Será, acima de tudo, um estímulo para o aumento da economia do país e o maior profissionalismo implicará intervenções de maior qualidade, eficácia de serviços prestados e cumprimento de prazos.

No entanto, a reestruturação do setor da construção, poderá passar, não só pela reabilitação, mas também pela inclusão de outros sistemas de construção, como é o caso da construção metálica (FEPICOP, 2013). É de salientar que, a construção com estrutura em aço enformado

a frio tem um grande potencial, não só para a reabilitação de edifícios, mas também para a configuração de espaços e divisórias dentro de edifícios pré-existentes.

2.1 O Setor da Construção Metálica

O setor da construção metálica em Portugal tem verificado um crescimento, mesmo perante o cenário de retração do setor em geral. Desta forma, o crescimento e o desenvolvimento económico do país poderão em parte, depender da implementação de um conceito de construção, para além do tradicional (betão e alvenaria), que promova o crescimento de produção e financeiro, a construção metálica.

O aço, como principal liga metálica, é o mais versátil e importante material da engenharia e do mundo; é um material que resiste bem a qualquer tipo de esforços, permitindo a conceção de elementos estruturais bastante esbeltos.

Perante a construção tradicional, são inúmeras as vantagens da sua aplicação (Mascarenhas, 2006):

- Permite a conceção de estruturas com menos impactes ambientais:
 - Os perfis metálicos podem ser reaproveitados ou o aço reciclado para outros fins;
 - A produção de resíduos em obra é mínima (eventuais resíduos podem ser reciclados);
 - Dada a possibilidade de reconversão, pode ser aplicado em construções provisórias.
- Permite soluções estruturais arrojadas e com grande valor estético:
 - Algumas estruturas só podem ser executadas em aço como é o caso dos arranha-céus ou as coberturas de grandes estádios;
 - A grande variedade de perfis permite criar estruturas de elevado grau de complexidade.
- Rapidez de execução:
 - Permite um retorno do investimento mais rápido;
 - Soluciona soluções de acidente.
- Controlo de fabrico elevado:
 - Maior controlo de qualidade;
 - Permite que as secções da estrutura sejam menores, aproveitando-se melhor o espaço no interior dos edifícios.
- Vantagens no local da obra, em comparação com as tradicionais estruturas de betão:
 - Não são necessários tantos materiais (areia, brita, cimento);
 - São necessários menos equipamentos;

- Não são necessárias cofragens, armaduras ou escoras;
- Local da obra mais limpo e mais espaçoso.
- As tarefas de construção dependem menos das condições atmosféricas;
- Permite, posteriormente, alterar a estrutura mais facilmente, dado a versatilidade na conversão;
- A estrutura é mais leve;
- Permite a construção de vãos maiores.

Atualmente, já se observam alguns edifícios de habitação residencial executados em Portugal, que recorrem ao sistema construtivo com estrutura leve em aço, que é o objetivo fulcral deste trabalho. Já é comum a utilização deste sistema construtivo como solução para execução de compartimentações leves em edifícios. Além disso, é ainda usado como solução de reforço no isolamento acústico, em paredes e tetos falsos.

2.2 A Construção Metálica como Solução Sustentável

O conjunto dos edifícios, infraestruturas e o meio ambiente são estritamente ligados entre si: os recursos e matérias-primas extraídos a partir do meio ambiente são consumidos para a composição dos edifícios e infraestruturas, fazendo estes depois parte integrante do meio. Uma vez que a sustentabilidade é cada vez mais tema de interesse no quotidiano, é essencial considerar a importância que a construção tem sobre a sociedade e no consumo de recursos.

A maioria dos sistemas construtivos em Portugal estão intimamente ligados ao consumo de cimento. A produção deste material requer elevados gastos energéticos, no que respeita a consumo de combustíveis. Além do impacto causado na atmosfera e do consumo de combustíveis fósseis, os resíduos da construção e posterior demolição geram grandes quantidades de desperdícios. Estes desperdícios são encaminhados para aterros, construindo depósitos de resíduos uma vez que não apresentam potencialidades para serem reciclados (a não ser que sejam empregues em processos complexos e dispendiosos, que vão contra o conceito de sustentabilidade) (Kopke, 2008).

Dada a existência de vários sistemas construtivos, é de interesse estudar outras opções para o setor da construção, que originem menos impactes sobre o ambiente. Desta forma, devem ser tomadas medidas que preferenciem novos materiais e tecnologias, como é o caso da inclusão de aço “leve” na construção de habitações residenciais.

A construção metálica com estrutura leve em aço constitui uma solução que vai ao encontro do que é a construção sustentável. Por se tratar de uma estrutura leve, aponta para que o consumo de matérias-primas seja diminuto e as principais vantagens predem-se com o facto de poder ser reutilizado ou reciclado.

A construção metálica prevalece sobre a construção em alvenaria tradicional no que respeita a sustentabilidade: é caracterizada por um nível de industrialização superior à construção em alvenaria uma vez que grande parte dos elementos são produzidos em fábrica, sob condições controladas, reduzindo o tempo de construção, mão-de-obra e principalmente desperdícios no estaleiro, aumentando a segurança.

Como se verá no Capítulo 5, referente às vantagens e inconvenientes do sistema construtivo com estrutura leve em aço, a sustentabilidade constitui uma das principais vantagens que este processo construtivo apresenta.

3. O SISTEMA CONSTRUTIVO EM “LIGHTWEIGHT STEEL FRAMING”

O sistema construtivo “*Lightweigh Steel Framing*” é um sistema que, como o próprio nome indica, utiliza aço enformado a frio (de reduzida espessura e conseqüentemente leve) como principal constituinte. Anteriormente à descrição do sistema, é de interesse definir a sua terminologia e contextualizar a sua origem.

3.1 Definição de “*Lightweight Steel Framing*”

A designação “*Lightweight Steel Framing*” refere-se a um sistema construtivo com estrutura leve, em aço galvanizado, enformado a frio.

A inclusão da palavra *Lightweight*, ou peso leve, indica que os elementos são de baixo peso, sendo produzidos a partir de chapa de aço com espessura reduzida; a palavra *Steel* indica a matéria-prima usada, o aço; *Framing* é usada para definir o esqueleto estrutural, composto por inúmeros elementos individuais ligados entre si.

O sistema “*Lightweight Steel Framing*” está direcionado para a construção de edifícios de pouca altura, até três pisos (Kopke, 2008). Daqui em diante, para simplificação, o sistema construtivo “*Lightweight Steel Framing*” será denominado pela sua abreviatura, LSF.

3.2 Origem do sistema “*Lightweight Steel Framing*”

O princípio do sistema construtivo com estrutura leve em aço remonta ao século XIX, nos Estados Unidos. A partir de 1801 verificou-se um crescimento muito rápido e acentuado da população, tornando-se o espaço demasiado pequeno para albergar a população que até então se multiplicara por dez. Para construir novas habitações recorreu-se aos materiais disponíveis no local e optaram-se por métodos construtivos práticos e rápidos, utilizando como principal elemento estrutural, a madeira (Futureng, 2013).

Até então, a construção em madeira nos EUA era o sistema construtivo mais tradicional. No entanto, com a Segunda Guerra Mundial, em 1945, a construção em aço tornou-se num

sistema construtivo útil para os EUA na edificação de bases militares que eram implementadas fora do seu território. Esta era vista como uma solução rápida e eficiente, uma vez que o aço era visto como um material relativamente leve para ser transportado por via aérea, e, porque o processo de montagem das estruturas era simples e se baseava em cortar e aparafusar perfis, tornando-se num processo constante (Silvestre *et al.*, 2013).

Ainda no contexto da guerra, a grande difusão do aço como material para a construção residencial ocorreu no final dos anos 40, início dos anos 50, no Japão. Com os estragos causados nas habitações e o elevado preço da madeira para a construção de novas, houve a necessidade de incluir o aço na reparação dos danos originados pela guerra. Neste contexto, a construção de habitações de pequeno porte com estrutura leve em aço verificou um elevado crescimento.

Deste modo, a grande experiência na utilização do aço conduziu-o para outras aplicações. Começou por ser utilizado na construção de paredes divisórias, em grandes edifícios com estrutura metálica e, mais tarde, quando enformado a frio, passou a ser usado em divisórias de edifícios de habitação residencial. Acreditava-se que a estrutura em aço poderia substituir por inteiro, a estrutura tradicional de madeira, usada até então nas habitações.

Por volta dos anos 80, as florestas mais antigas foram vedadas à indústria da madeira para fins habitacionais. A partir desta altura, verificou-se uma quebra na qualidade da madeira usada na construção e grandes flutuações no seu preço. Com a subida do preço da madeira em 80%, o aço, como solução para a construção, teve um novo incentivo, uma vez que os construtores optaram radicalmente pelo aço como elemento estrutural das construções residenciais, afastando-se do uso da madeira (Futureng, 2013).

Na década de 90, a quebra do uso da madeira e o crescimento da economia Asiática e do Médio Oriente, que provocou valores mínimos no preço do aço, proporcionaram um enorme crescimento no mercado da construção em “aço leve”, tanto nos EUA como na Austrália (Silvestre *et al.*, 2013).

Sendo os EUA um país fortemente fustigado por catástrofes naturais, uma das primeiras medidas para impulsionar o aço como alternativa à construção tradicional ocorreu em 1992. Com a passagem de um furacão pelo território, milhares de habitações foram destruídas e eram necessárias alternativas para a sua restituição. Assim, nos dois anos seguintes foram elaborados relatórios sobre materiais alternativos à madeira a serem utilizados em construção residencial. As estruturas em “*Lightweight Steel Framing*” foram identificadas como sendo a melhor opção, apresentando um menor risco de colapso e menores custos associados à edificação.

Uma vez que até à data não existia legislação específica e sólida sobre o dimensionamento de estruturas em “*Lightweight Steel Framing*”, a Associação Nacional de Construção Habitacional (NAHB – Nacional Association of Home Builders) em conjunto com o Instituto Norte-Americano do Ferro e do Aço (AISI – American Iron and Steel Institute), desenvolveram um processo construtivo em “*Lightweight Steel Framing*”, de acordo com os regulamentos estruturais existentes. O “método prescritivo” assim desenvolvido com base na união de regras e procedimentos de execução estrutural veio assim facilitar a construção de habitações com estrutura leve em aço, contribuindo para a aceitação, promoção e desenvolvimento do sistema construtivo (Silvestre *et al.*, 2013).

Com a entrada de um sistema construtivo novo e inovador no mercado, criaram-se associações de técnicos e construtores. A partir daqui, o sistema “*Lightweight Steel Framing*” passou a ser visto como um sistema profissional e não um sistema mal estruturado (Futureng, 2013).

Hoje, os EUA são considerados os líderes mundiais na construção em “aço leve”. No caso da Europa, são o Reino Unido, a Dinamarca e Suécia que se destacam com este processo construtivo (Silvestre *et al.*, 2013). No caso de Portugal, a construção em aço com estrutura leve teve início no ano de 1993, e desde aí que a procura por residências com este sistema construtivo tem sido constante (Futureng, 2013). No entanto, existe ainda um problema de aceitação por parte dos donos de obra, muitas vezes devido ao desconhecimento das vantagens deste processo construtivo (Silvestre *et al.*, 2013).

Por muito vantajoso que este sistema construtivo seja, a construção em betão e alvenaria é demasiado sólida no setor da construção do país, o que levará alguns anos até que seja realmente aceite como um sistema proficiente, para a maioria dos donos de obra. Ainda assim, com o aumento da consciência da população em relação aos sistemas de construção, é de esperar uma procura por novos sistemas e tecnologias, em relação à construção tradicional de alvenaria.

O aumento do número de fabricantes e empresas verificado nos últimos anos faz prever que esta seja uma solução para o futuro, quer em “concorrência” à tradicional alvenaria de tijolo, quer como solução para posterior exportação. Embora a crise pela qual o país atravessa dificulte o desenvolvimento do sistema construtivo, os países emergentes como Angola, Moçambique e Cabo Verde, ponderam a construção em aço como uma solução muito proveitosa, uma vez que este sistema de construção não envolve meios específicos de transporte e manuseamento dos elementos. Também o Brasil, na procura por habitações de

melhor qualidade, vê na construção em “*Lightweight Steel Framing*” uma boa aposta, tendo já algumas empresas portuguesas a trabalhar no terreno (Silvestre *et al.*, 2013).

3.3 Métodos de construção em “*Lightweight Steel Framing*”

Os elementos básicos da construção em LSF são perfis enformados a frio que são pré-fabricados, podendo originar três tipos distintos de métodos de construção: construção por elementos no local da obra - “*stick-build*”, construção por painéis e construção por módulos. Na Figura 3.1 são esquematizados estes métodos.

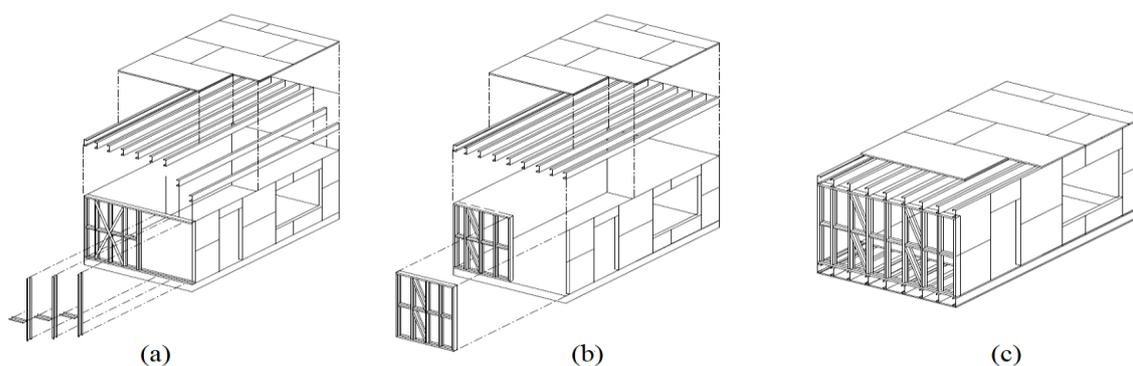


Figura 3.1 – Métodos construtivos em LSF: (a) construção por perfis “*stick-build*”; (b) construção por painéis; (c) construção modular (Grubb *et al.*, 2001)

3.3.1 Construção “*stick-build*”

A construção por perfis, designada de “*stick-build*” em inglês, consiste na montagem dos elementos no local do edifício, formando um esqueleto estrutural capaz de receber o revestimento, onde os perfis são geralmente cortados à medida e unidos com elementos de fixação específicos (Grubb *et al.*, 2001).

Este tipo de construção por perfis subdivide-se em dois processos distintos (Grubb *et al.*, 2001):

- “*Platform Framing*” – Na estrutura em plataforma os pisos e as paredes são construídos sequencialmente, sendo que as paredes não são estruturas contínuas. Perante a construção em “*Balloon Framing*”, outro tipo de construção dependente da construção por perfis, a vantagem está no facto da construção em plataforma usar o pavimento concluído como plataforma de trabalho para a montagem do piso seguinte. Este é o processo mais comum de construção em LSF (Futureng, 2013). Neste sistema

de construção, as cargas das paredes superiores são transferidas para as paredes inferiores através das vigas de pavimento;

- “*Balloon Framing*” – Neste método construtivo a estrutura de um piso é fixa na lateral dos elementos verticais de suporte de carga, podendo estes elementos verticais, abranger até dois pisos de um edifício, como demonstra a Figura 3.2 (b) (LSK, 2005). No entanto, os painéis de parede são mais difíceis de construir, uma vez que tem de ser temporariamente apoiados até que os pavimentos sejam montados. A grande vantagem deste processo é que as cargas provenientes dos pisos superiores são transmitidas diretamente para as paredes do piso inferior.

Na Figura 3.2 ilustram-se os dois processos de construção associados à construção por perfis “*stick-build*”, através dos métodos (a) “*Platform Framing*” e (b) “*Ballon Framing*”.

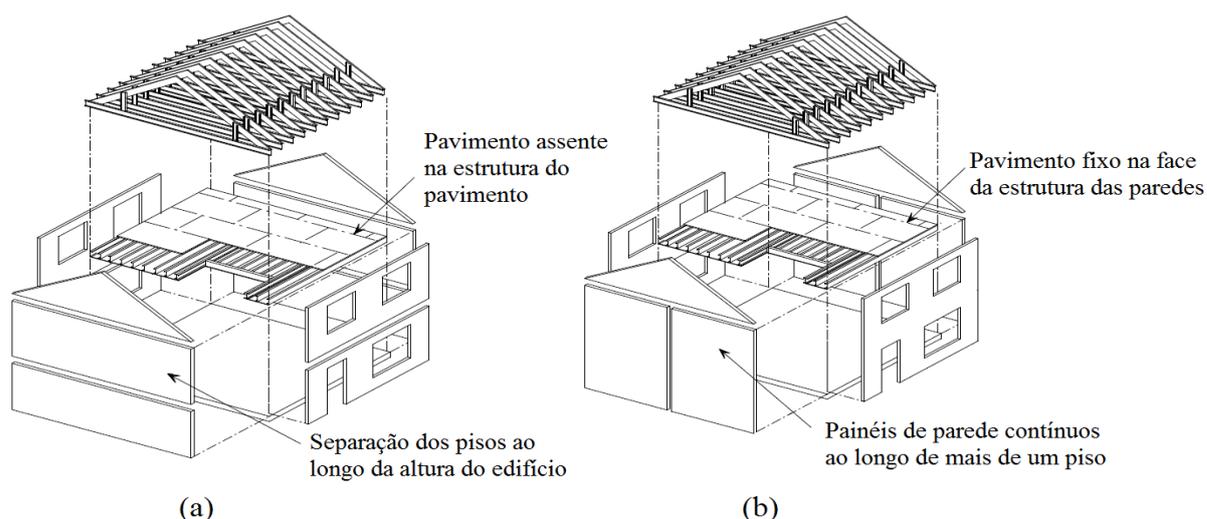


Figura 3.2 – Pormenores construtivos de construção por perfis em LSF: (a) “*Platform Framing*”; (b) “*Balloon Framing*” (Grubb *et al.*, 2001)

3.3.2 Construção por painéis

A construção por painéis consiste na montagem dos elementos em condições de pré-fabricação, em duas dimensões, constituindo painéis para paredes, pavimentos e treliças de coberturas, sendo depois montados no local da obra. Estes painéis, além dos elementos metálicos, podem já incluir os revestimentos finais e o material de isolamento, tornando o trabalho em obra mais rápido. Os processos de montagem consistem em técnicas convencionais, recorrendo a parafusos auto-perfurantes como elementos de fixação.

Tem por vantagens a rapidez de elevação no local da obra, melhor controlo de qualidade de produção e redução dos custos no local da obra. Em comparação com a construção por perfis, este processo é melhor, uma vez que os painéis são fabricados em ambiente fabril (Grubb *et al.*, 2001).

3.3.3 Construção modular

A construção modular é, como o próprio nome diz, um tipo de construção efetuado por módulos, em três dimensões, com unidades completamente pré-fabricadas em fábrica. A diversidade da disposição dos módulos permite criar uma construção personalizada e diversificada, com a possibilidade de facilmente acrescentar ou retirar partes do edifício. Este sistema construtivo é fabricado a partir de painéis em duas dimensões (descritos acima), sendo montados em “caixa” e depois transportados para obra. As limitações deste sistema recaem principalmente sobre a produção e o transporte, pois são requeridos muitos equipamentos e elementos de transporte com larguras especiais (Lawson e Ogden, 2008).

Este tipo de construção é muito eficaz se considerarmos a multiplicidade das possíveis configurações de uma simples unidade básica modular (Grubb *et al.*, 2001). A Figura 3.3 ilustra uma estrutura em construção modular.



Figura 3.3 – Estrutura para construção modular em aço “leve” (Lawson e Ogden, 2008)

Adicionalmente, a construção “híbrida” apresenta-se como variante da construção modular. Este tipo de construção tira partido dos elementos em 2D e 3D, de forma a otimizar os espaços e custos de fabricação. É importante lembrar que um sistema modular deve permitir uma maior flexibilidade de planeamento do espaço interno, mantendo os principais benefícios como tal como a rapidez de execução e a otimização da qualidade do espaço (Lawson e Ogden, 2008).

3.4 O Aço Galvanizado como elemento estrutural

Uma estrutura de construção em LSF é composta por perfis de aço galvanizado, enformados a frio. O aço é um dos materiais construtivos que apresenta melhor relação resistência/peso, sendo possível utilizar elementos estruturais de menor secção para vencer os mesmos vãos (do que em construção de betão e alvenaria), diminuindo a quantidade de matéria-prima utilizada (Kopke, 2008).

Para garantir proteção contra a corrosão, as chapas de aço são sujeitas a um revestimento com zinco, ou seja, passam por um processo de galvanização por imersão a quente. Este processo é uma forma de garantir a durabilidade do sistema construtivo, durante todos os processos de construção. Assim, a estrutura mantém a função para a qual foi desenvolvida durante toda a vida útil, praticamente em todos os ambientes.

O aço utilizado nos perfis deve ser estrutural (S), ou seja, com baixo teor de carbono, o que confere maior ductilidade ao material. Depois de sofrer o processo de galvanização, adquire uma nova especificação, GD, que significa que o revestimento foi efetuado de forma contínua por imersão a quente. No Quadro 3.1 estão indicadas as propriedades dos aços usados em estruturas LSF, segundo a Norma Europeia EN10147 (Silvestre *et al.*, 2013).

Quadro 3.1 – Classe de aços estruturais usados em LSF

<i>Classe de aço</i>	<i>Tensão de cedência, f_{yb}</i>	<i>Tensão última, f_u</i>
S220GD	220 MPa	300 MPa
S250GD	250 MPa	320 MPa
S280GD	280 MPa	360 MPa
S320GD	320 MPa	390 MPa

As classes de aço intermédias são as mais indicadas, sendo contudo considerada como ideal o aço S320GD. De forma a conceber durabilidade ao aço, este é revestido por uma camada de zinco Z275, que consiste numa espessura nominal do revestimento de 275g de zinco por m² de superfície. O projeto, o dimensionamento e a verificação da segurança das estruturas metálicas são fundamentados pelo Eurocódigo 3.

Os elementos em aço enformado a frio dividem-se em duas grandes categorias: os perfis e as chapas (painéis de chapa e chapas perfiladas). Os perfis, peças de eixo reto e secção uniforme, são obtidos a partir de chapas de aço com espessuras que variam normalmente entre 1,5 mm e 4 mm, no entanto, para casos específicos, esta espessura pode ser reduzida para 0,6 mm, quando os perfis não têm qualquer função estrutural (LSK, 2005). Contudo,

estes valores de espessuras podem variar, dependendo do fabricante e de requisitos específicos para a sua aplicação. Quanto à geometria, as formas mais frequentes em que se apresentam os perfis referem-se a secções em *C*, *U* e *Z*, sendo estas esquematizadas na Figura 3.4 (Silvestre e Camotim, 2006).



Figura 3.4 – Secções transversais de perfis estruturais de aço enformados a frio (LSK, 2005)

Uma das características mais importantes das secções em aço enformadas a frio consiste no facto de as zonas mais esbeltas da secção, ao serem submetidas a esforços de compressão, incorporarem outros esforços que “enrijecem” as zonas mais flexíveis da secção, contrariando a sua deformação (Silvestre e Camotim, 2006).

Para produzir um elemento em aço enformado a frio é necessário ter em consideração a forma da secção pretendida, a espessura da chapa e a ductilidade do aço. São essencialmente dois os processos de fabrico destes elementos (Silvestre e Camotim, 2006):

- Laminagem a frio ou “*Cold Rolling*” – Método utilizado para produção em grande escala, com a produção de secções a partir de rolos de chapa, através de uma série de rolos compressores que deformam a chapa, consoante esta é puxada. Os perfis podem ter um comprimento até 12 m. O custo de fabrico é relativamente baixo, o que faz que este seja um processo adequado à produção de perfis mais complexos e finos;
- Quinagem ou “*Press Braking*” – Método utilizado para produções a pequena escala. O mecanismo consiste em comprimir a chapa entre dois quadros de fixação, em que a folha da chapa é forçada dentro de um molde em forma de V, imprimindo uma forma côncava ao perfil. Com este processo são produzidos elementos com configurações simples.

Preferencialmente, os perfis devem ser laminados a frio e não quinados, uma vez que este processo induz deformações excessivas nas zonas das dobras, o que diminui a resistência do aço (Silvestre *et al.*, 2013).

As estruturas metálicas que são executadas em aço enformado a frio apresentam vantagens em comparação às de aço laminado a quente. Uma destas vantagens é a eficiência estrutural,

dado a elevada resistência da estrutura em comparação com o seu peso. Por outro lado, há uma significativa otimização da estrutura, uma vez que há a possibilidade de utilizar uma grande variedade de secções transversais e por isso de menores dimensões.

Uma vez que os perfis são processados à temperatura ambiente, estes exibem menores tensões residuais que os perfis laminados a quente. Por outro lado, estes perfis podem ser fabricados com menores dimensões que as mínimas padronizadas.

Algumas secções permitem o encaixe entre si, melhorando o aproveitamento do espaço. Por se tratar de um elemento mais leve, permite uma elevada economia de armazenamento, transporte e manuseamento. Por outro lado, e aproveitando o facto da leveza do material, é possível a montagem dos elementos em obra num reduzido espaço de tempo, vez que há uma grande atividade de pré-fabricação de subestruturas.

Por fim, é também na reabilitação de edifícios que a utilização de perfis enformados a frio é vantajosa. Comparando com outras soluções, permitem uma rápida execução e uma grande versatilidade (Silvestre e Camotim, 2006).

Os perfis de aço galvanizado, enformados a frio, constituem o esqueleto de uma estrutura em LSF. Em Portugal, ao contrário dos países em que este sistema construtivo está mais desenvolvido, existe uma menor oferta de perfis e secções, limitando-se apenas a secções em C e secções em U.

Os montantes constituem os elementos verticais de uma construção em LSF. Estes elementos recebem e transmitem cargas provenientes das coberturas e pavimentos superiores, vencendo todo o pé-direito. São normalmente com secção em forma de C, com uma alma e duas abas e encontram-se espaçados de 40 cm a 60 cm, consoante as exigências de utilização. As vigas são os elementos estruturais que transmitem às paredes as cargas aplicadas ao pavimento, fazendo parte integrante destes. Tal como os perfis montantes, são também de secção em forma de C. Por fim, os canais, são perfis em forma de U, colocados em ambas as extremidades dos perfis montantes. Este é um perfil orientado para suportar cargas transversais (provenientes das vigas) (Silvestre *et al.*, 2013). Ao longo deste trabalho serão ainda identificados outros elementos metálicos integrantes da construção em LSF, tais como cantoneiras, elementos de contraventamento, fitas metálicas, entre outros.

4. PROCEDIMENTOS CONSTRUTIVOS

4.1 Planeamento

De entre as vantagens que o aço apresenta para a construção de edifícios residenciais, destaca-se a rapidez de execução dos mesmos. No entanto, esta rapidez só é conseguida mediante um bom planeamento da mesma. A partir de um correto faseamento das etapas de construção, facilmente se cumprem os prazos definidos (Silvestre *et al.*, 2013). Segue-se a Figura 4.1 que ilustra um cronograma em que se expõem as atividades a laborar numa construção em LSF.

	Semanas																	
Fases do processo construtivo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Laje térrea e ancoragem	1	2																
Estrutura metálica			1	2	3	4	5	6										
Revestimento exterior - OSB							1	2	3	4	5							
Revestimento interior - lã										1	2	3						
Instalações elétricas											1	2			3	4		
Canalizações											1	2			3	4	5	
Cobertura												1	2					
Revestimento exterior												1	2	3	4			
Gesso cartonado												1	2	3	4			
Janelas												1	2	3	4	5		
Acabamentos interiores														1	2	3	4	5
Número de fases em simultâneo	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	4	7	4	4	6	4	2	1

Figura 4.1 – Cronograma das fases de construção de um edifício em LSF (Silvestre *et al.*, 2013)

O cronograma ilustrado refere-se à construção de um edifício com uma área de implantação de 150 m², com apenas um piso. Como se verifica, em apenas dezoito semanas toda a estrutura é executada, bem como todos os acabamentos, estando a maioria dos trabalhos dependentes da conclusão da estrutura metálica. Depois de concluída, facilmente ocorre a sobreposição de trabalhos, chegando mesmo a laborar sete atividades ao mesmo tempo (Silvestre *et al.*, 2013).

4.2 Fundações

As fundações constituem o vínculo de ligação da estrutura ao solo. Por se tratar de uma construção com estrutura leve, as fundações construídas em betão não precisam de ser tão elaboradas quanto as de uma construção em alvenaria tradicional, uma vez que as tensões transmitidas não são tão elevadas. No entanto, uma vez que a estrutura distribui a sua carga ao longo de todo o seu perímetro, a fundação deve ser contínua (Kopke, 2008).

Dependendo das características do solo, existem fundamentalmente dois tipos de fundações: a sapata contínua e o ensoleiramento geral, como ilustra a Figura 4.2.

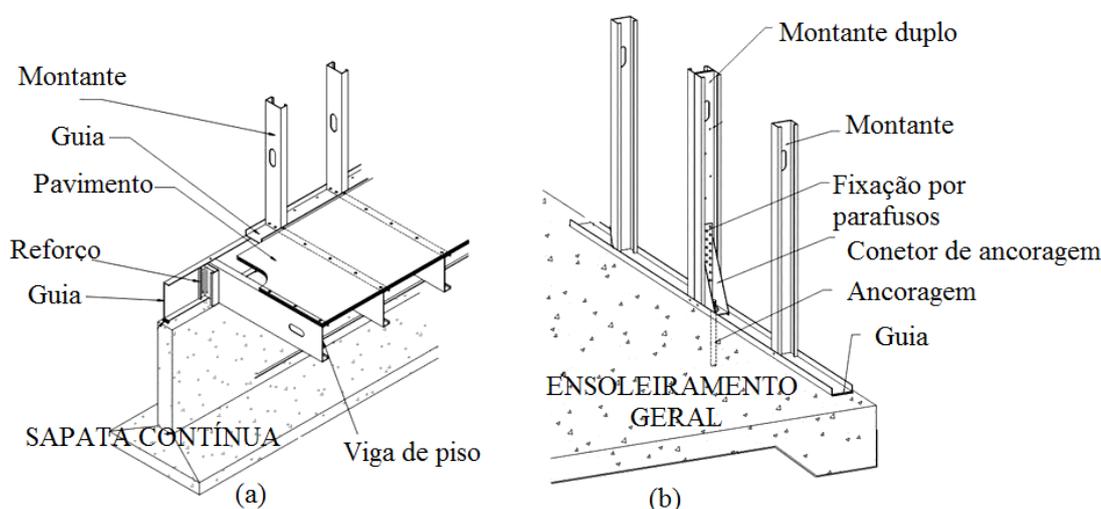


Figura 4.2 – Tipos de fundações associadas ao sistema construtivo: (a) sapata contínua; (b) ensoleiramento geral (Tecnobra, 2012)

Um dos principais problemas a que este tipo de construção está sujeito relaciona-se com a sua estabilidade quando sujeito à ação do vento. É por isso necessário existir um vínculo adequado entre a fundação e a estrutura das paredes para evitar que esta tenha movimentos de translação ou tombe com a ação do vento (Moreira, 2012). Além da ancoragem com buchas

químicas, deve prever-se uma fixação mecânica, espaçada de 120 cm com varão roscado de 16 mm de diâmetro mínimo. Deve ainda ser garantida a mesma cota em qualquer ponto da superfície da fundação, de modo a que todos os elementos verticais assentem corretamente (Silvestre *et al.*, 2013).

4.3 Fixação

A fixação constitui um dos fatores que mais influência tem nas construções em aço. Quanto mais fácil e eficaz for a ligação, mais económica se torna a construção e, por conseguinte, mais procura terá.

Existem muitos tipos de ligações, sendo que a sua escolha depende de vários fatores, tais como: condição de carga, tipo e espessura dos materiais conectados, força necessária para a ligação, configuração do material, disponibilidade de ferramentas e elementos de fixação, local de fixação (em obra ou fábrica), custos, experiência dos construtores e requisitos de durabilidade (LSK, 2005).

O processo de fixação dos elementos constituintes de uma estrutura em LSF inclui duas etapas: disposição dos elementos e fixação dos mesmos. Os elementos de fixação mais comuns são essencialmente os parafusos auto-perfurantes e auto-roscantes. Para além destes elementos, são também usados pregos, um método designado de “*clenching*”, rebites, soldaduras, cavilhas, cliques e colagens.

4.3.1 Parafusos

Os parafusos são o elemento mais comum na fixação, sendo que os parafusos auto-perfurantes têm maiores vantagens sobre os parafusos auto-roscantes, uma vez que estão em maior disponibilidade, são padronizados e tem custos reduzidos. Por outro lado, quando a sua instalação não for corretamente efetuada, a reparação torna-se fácil, uma vez que os parafusos podem ser retirados. Além destas vantagens, as ligações através de parafusos estão incluídas na maioria dos códigos de construção e padrões da indústria (LSK, 2005). Na Figura 4.3 observam-se alguns tipos de parafusos usados, para fixar diferentes materiais.



Figura 4.3 – Diversidade de parafusos usados em LSF para: (a) ancoragem; (b) perfis metálicos; (c) placas OSB; (d) placas de gesso; (e) vigas metálicas.

Os parafusos podem ter vários comprimentos, diâmetros e formas de cabeça, dependendo da sua aplicação. Os tamanhos variam entre o número 6 e o número 14. A maioria das ligações é efetuada com os números 8 e 10, sendo que, para fixar as placas de gesso cartonado é normalmente usado o número 6. No Quadro 4.1 são apresentados os valores do diâmetro nominal dos parafusos (LSK, 2005).

Quadro 4.1 – Diâmetro dos parafusos usados em LSF (LSK, 2005)

<i>Designação do número do parafuso</i>	<i>Diâmetro nominal (mm)</i>
6	3,5052
7	3,8354
8	4,1656
10	4,8260
12	5,4864
14	6,3500



Existem alguns cuidados a ter aquando da fixação dos elementos. Quando se faz a fixação com recurso a parafusos, é importante ter em consideração que, a ponta da broca deve ser tão longa quanto a espessura do material a perfurar. Os parafusos auto-perfurantes têm a vantagem de perfurar o seu próprio orifício, sendo o parafuso conduzido para o interior do material. Além de serem elementos de única peça, são aplicados apenas de um lado, tendo elevada resistência. Os parafusos auto-roscantes também têm a capacidade de perfurar o material, tendo uma ponta aguda, sendo contudo recomendados para ligações entre materiais que perfaçam uma espessura inferior a 0,84 mm. No que respeita às roscas, estas dependem da espessura dos perfis a fixar. Quanto às cabeças dos parafusos, existe uma grande variedade, como se verifica na Figura 4.4 (LSK, 2005).

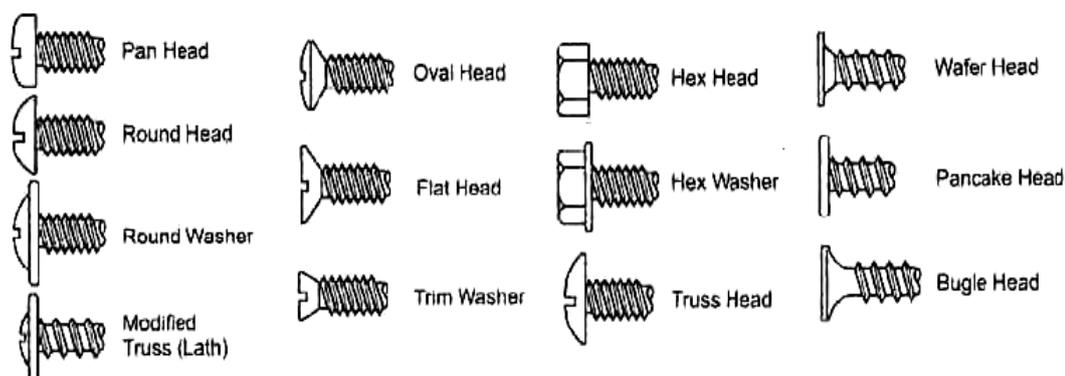


Figura 4.4 – Diversidade de cabeças de parafusos (LSK, 2005)

Na execução das ligações entre perfis metálicos, a distância mínima entre eixos de parafusos é de 13 mm, de modo a que seja sempre possível aparafusar em toda a alma e abas do perfil e nunca no reforço das secções. É importante que os parafusos em contacto com a estrutura metálica e com os painéis de OSB (*“Oriented Strand Board”*) sejam, pelo menos, zincados. A zincagem confere proteção aos elementos de aço, atuando como revestimento contra a corrosão e como proteção catódica. Quanto ao aparafusamento dos painéis de gesso cartonado, estes devem ser de dupla galvanização (Silvestre *et al.*, 2013).

4.3.2 Pregos

O uso de pregos para fixação de estruturas metálicas é semelhante à fixação de estruturas em madeira. De forma a proteger estes elementos da corrosão, tal como os perfis metálicos, também os pregos estão sujeitos a um tratamento mecânico ou electrozincado. O processo de instalação consiste num mecanismo pneumático e pode ser utilizado para fixar painéis de madeira, cimento ou gesso, bem como para fixar coberturas, pavimentos e paredes. Comparativamente com os parafusos, a fixação com recurso a pregos pode ser 10 vezes mais rápida, mas tem a desvantagem do preço ser 5 vezes maior, além da possibilidade de o elemento de fixação sair e soltar-se, tornando a fixação ineficaz (LSK, 2005). Em Portugal este tipo de fixação ainda não é um processo muito divulgado, sendo apenas usado em situações muito específicas.

4.3.3 *“Clinching”*

O *“Clinching”* é um método de fixação que consiste em unir os perfis, sem recorrer a terceiros elementos. O processo consiste em deformar o próprio perfil metálico, através de um *“soco”* hidráulico, que molda o perfil, como se observa na Figura 4.5 (Grubb *et al.*, 2001). Este processo torna-se mais rápido que a fixação com parafusos mas está limitado à pré-fabricação, uma vez que são necessários equipamentos específicos. O facto de não produzir qualquer relevo na superfície constitui outra vantagem deste método, permitindo uma fixação perfeita do revestimento. No entanto, é um processo dispendioso, com recurso a ferramentas volumosas. No caso de uma fixação não ser bem executada, não é fácil removê-la, sendo necessário cortar ou perfurar a ligação (LSK, 2005).

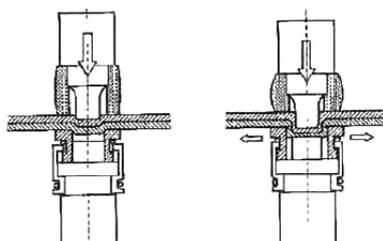


Figura 4.5 – Processo de fixação pelo método de *“Clinching”* (LSK, 2005)

4.3.4 Rebites

Ao contrário dos parafusos que usam a sua rosca para se fixarem, a fixação por rebites consiste na própria deformação do elemento fixador. Dependendo do tipo de rebite, existem dois métodos de fixação: por rebites cegos e por rebites a soco. A fixação através de rebites cegos não implica a necessidade de se aceder à face oposta, mas é necessário a abertura de um furo para a sua inclusão. O mecanismo de fixação consiste em introduzir a cabeça do rebite no furo e, com uma pistola própria, rebitar. O corpo do rebite é descartado, e a cabeça fica como que esmagada em ambos os lados, fixando-os. Por outro lado, a rebitagem a soco não implica a abertura de um furo, mas é necessário aceder a ambos os lados dos elementos a fixar, para poder colocar as ferramentas de rebitagem. A fixação por rebites é uma boa opção, permitindo um bom acabamento quando se pretende obter uma superfície lisa para posteriormente revestir. No entanto não são removíveis. Normalmente são mais usados em ambientes fabris e tem a principal desvantagem de ser necessário a abertura de furos (no caso de rebites cegos), aumentando o tempo de trabalhos, tornando-os pouco económicos (LSK, 2005).

4.3.5 Soldadura

A soldadura constitui um método de fixação direcionado para trabalhos efetuados em fábrica, por razões de economia de recursos em obra, controlo de qualidade e segurança dos trabalhadores. No processo de soldadura, a camada de zinco usada para a proteção dos perfis metálicos torna-se volátil, provocando a libertação de fumos, sendo difícil uma ventilação no local da obra. Daí ser mais vocacionado para ambiente fabril, uma vez que aí existem condições especiais para evacuação dos fumos. Além disso, devido ao facto da camada de galvanização ser destruída, os elementos ficam mais suscetíveis a danos por corrosão. Este método de fixação pode ser efetuado por pontos ou de forma contínua (LSK, 2005). No entanto, este tipo de fixação raramente é utilizado, uma vez que introduz tensões residuais elevadas nos perfis metálicos, podendo comprometer a sua resistência e o seu desempenho (Silvestre *et al.*, 2013). Através da fixação por soldadura, os perfis metálicos são sujeitos a variações de temperatura, verificando conseqüentemente um aumento das suas dimensões. Uma vez que esta variação de temperatura não é constante ao longo de todo o perfil, este não pode contrair ou expandir livremente, desencadeando assim tensões residuais.

4.3.6 Cavilhas

As cavilhas são usadas para a ancoragem de elementos metálicos com grandes espessuras, tais como as fundações, bem como para ancorar outros elementos estruturais em aço. Nas fundações da estrutura são introduzidos chumbadouros em varão roscado. No caso de as fundações já terem o betão curado, são usadas buchas expansivas. Para reforçar a ligação, podem usar-se produtos epóxi. Este tipo de fixação tem a vantagem de ser facilmente

desmontada, sem necessidade de recorrer a ferramentas especiais. Por outro lado requer a existência de três componentes (cavilha, anilha e porca) (LSK, 2005).

4.3.7 Sistemas de cliques

Este método de fixação está apenas vocacionado para elementos que não tenham uma função estrutural ou para ligações temporárias, até que os elementos de fixação definitivos sejam instalados, tais como os parafusos. Consiste em introduzir manualmente os cliques, através de uma torção, em que estes são feitos deslizar ao longo do perfil, entre o topo e a base, através de uma ligeira inclinação, permitindo o seu posicionamento. É um processo rápido e que pode ser facilmente ser desmontado. Os equipamentos necessários são simples, limitando-se a um martelo (LSK, 2005).

4.3.8 Colagem

A colagem, como processo de fixação, é usada como complemento das soluções mecânicas, reduzindo assim o peso da estrutura. Contudo, a sua utilização não pode ser isolada, uma vez que não é possível observar o seu desempenho, depois de aplicada. É frequente no complemento das ligações com cavilhas nos pavimentos. A aplicação de colas pode ser feita quer manualmente, quer através de pistolas pneumáticas. Uma vez que as colas são sensíveis a alterações ambientais, tais como humidade e temperatura, este constitui um dos problemas deste método de fixação (LSK, 2005).

4.4 Paredes

As paredes são concebidas para desempenhar funções de estanquidade, impermeabilização, isolamento e conforto, a partir das diferentes camadas e materiais que as compõem.

Como descrito anteriormente, ao contrário das estruturas em betão e alvenaria tradicional, num sistema em LSF, as forças a que o edifício está sujeito não são distribuídas de forma pontual, mas sim, ao longo de todas as paredes com função estrutural, de forma contínua, até às fundações.

As paredes com função estrutural são aquelas que delimitam o edifício em todo o perímetro, podendo também existir no interior do edifício, caso as cargas a transmitir às fundações sejam elevadas e assim o exijam (Moreira, 2012). As forças a que estas paredes vão estar sujeitas tanto podem ser verticais (provenientes do peso próprio dos elementos e sobrecarga de utilização), como horizontais (causadas pelo vento, embates ou sismos) e a sua transmissão dá-se por contacto direto entre os perfis. O alinhamento dos perfis ao longo dos pisos é fundamental. É assim definido como “alinhamento porticado” em que os elementos

resistentes da construção devem estar, tanto quanto possível, alinhados de modo a transmitir as cargas ao terreno, por compressão pura nesses elementos (Silvestre *et al.*, 2013). Caso este alinhamento não se verifique, deve prover-se uma viga auxiliar por forma a uniformizar a excentricidade das cargas (Pinto, 2010).

Na Figura 4.6 observa-se um esquema de distribuição de cargas verticais, desde um piso superior da estrutura até à fundação, ao longo de um painel estrutural.

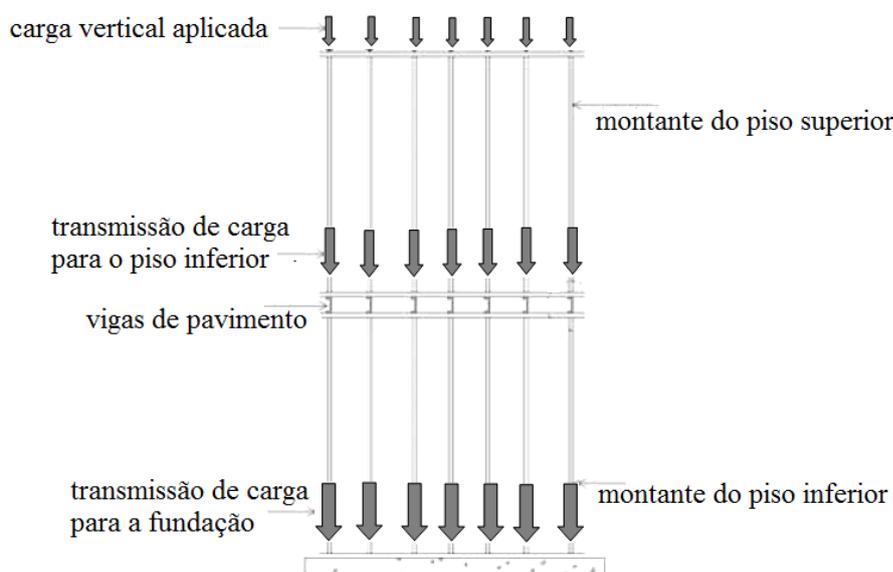


Figura 4.6 – Esquema de transmissão de cargas ao longo de uma parede com função estrutural (Pinto, 2010)

A altura da alma dos perfis constituintes de um painel com função estrutural varia entre 80 mm e os 150 mm e as espessuras estão compreendidas entre 1,2 mm e 2,5 mm (Moreira, 2012). Tal como a espessura e altura da alma dos perfis, também o espaçamento entre os perfis montantes é variável (entre 40 cm e 60 cm) (Silvestre *et al.*, 2013). No entanto, quando os perfis montantes têm secções mais espessas e o revestimento das paredes for mais rígido, o espaçamento pode aumentar, indo até 125 cm. Pelo contrário, se as cargas aplicadas sobre os perfis forem muito elevadas, o espaçamento pode ser reduzido para valores inferiores a 40 cm (LSK, 2005).

No caso das paredes divisórias, uma vez que não têm função estrutural, não é necessário o alinhamento dos perfis ao longo dos pisos, uma vez que não transmitem esforços. Por isso, as espessuras dos perfis e a altura da alma são menores, a partir de 0,4 mm e 35 mm, respetivamente (Moreira, 2012).

Elementos adicionais, tais como contraventamentos, fitas metálicas, lintéis e vergas são incluídos na constituição das paredes, no que respeita à estrutura metálica. A Figura 4.7 ilustra alguns elementos integrantes das paredes.

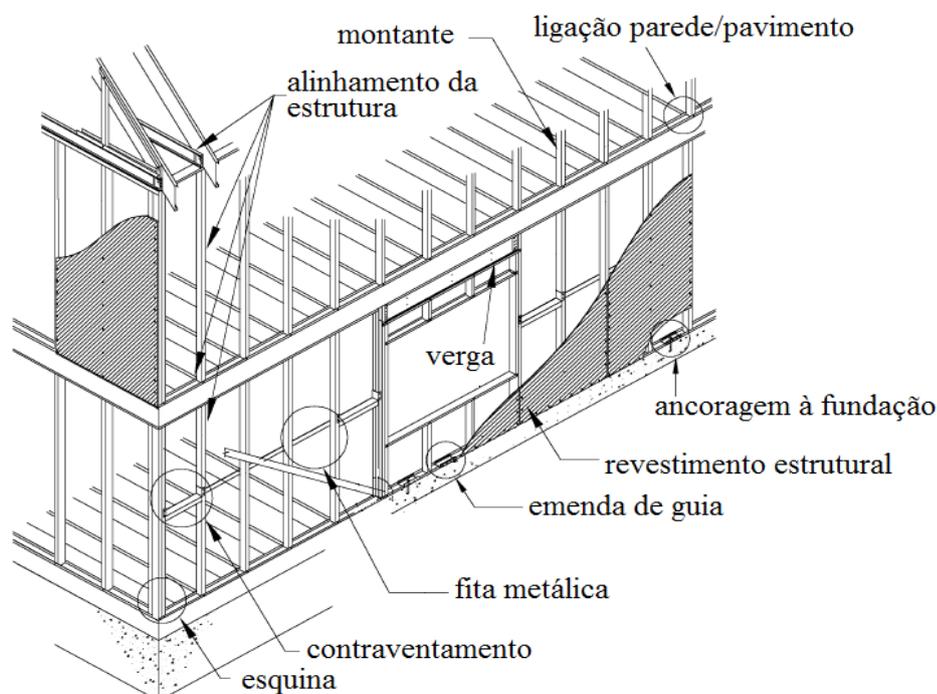


Figura 4.7 – Elementos constituintes das paredes de uma estrutura em LSF (NASFA, 2000)

As vergas têm por função redistribuir os esforços provenientes dos montantes superiores para os montantes que delimitam a abertura. A maioria das vergas é formada por perfis em U e em C, fixados entre si. Os montantes laterais à abertura são designados de ombreiras. A Figura 4.8 esquematiza um canto de uma abertura, ou seja, a estrutura de uma verga.

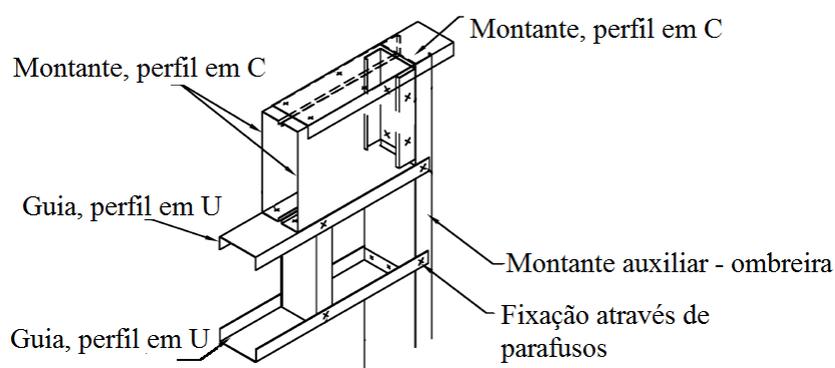


Figura 4.8 – Esquema de uma verga em LSF (NASFA, 2000)

Dependendo do tamanho das aberturas e das cargas a que vão estar sujeitas, existe uma grande variedade de soluções construtivas para as vergas.

De acordo com a Figura 4.7, são ainda inseridos elementos nas paredes de forma a reforçar a estrutura. O contraventamento dos painéis metálicos é o método mais comum para estabilizar estruturas no que respeita a forças horizontais. A sua função consiste em absorver os esforços e transmiti-los às fundações. São normalmente compostos por fitas metálicas que tomam a forma de *X* ou *K*, dependendo das aberturas existentes na parede. Além deste contraventamento, são ainda inseridas cintas horizontais entre montantes com o objetivo de aumentar a resistência do painel, prevenindo a sua rotação, quando estes são sujeitos a cargas verticais de compressão (Pinto, 2010). A Figura 4.9 ilustra este pormenor construtivo.

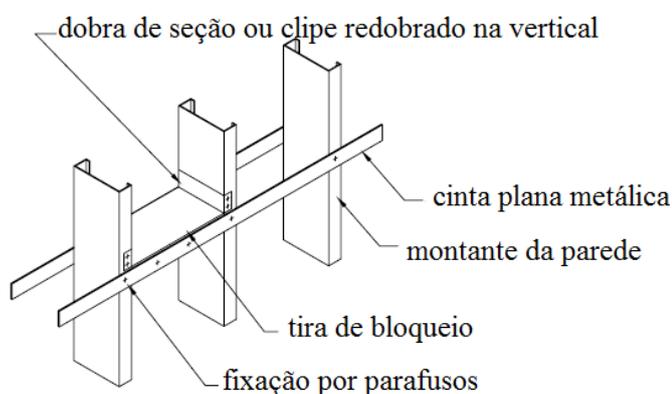


Figura 4.9 – Pormenor construtivo de cintas e bloqueios para contraventamento (NASFA, 2000)

Depois de concluída a estrutura metálica das paredes com função estrutural, estas são revestidas por painéis de OSB (*Oriented Strand Board*) que lhes conferem rigidez e estabilidade. Quando os painéis de parede são pré-fabricados, já incorporam numa das faces o revestimento por painéis de OSB, facilitando a montagem, conferindo à pré-fabricação uma vantagem para este sistema construtivo.

O revestimento exterior pode ser feito como se de um edifício de alvenaria se tratasse, usando elementos cerâmicos, madeira, ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*) ou outro qualquer acabamento. As paredes divisórias são revestidas por placas de gesso cartonado, em ambos os lados, bem como as paredes com função estrutural, pelo lado interior do edifício, sendo este revestimento fixo diretamente à estrutura metálica.

Os sistemas de revestimento e isolamento usados em construção LSF são apresentados de forma detalhada no subcapítulo 4.7.

4.5 Pavimento

A construção de pavimentos baseia-se no mesmo princípio construtivo das paredes, usando neste caso vigas de pavimento, cujas dimensões e espaçamento dependem das cargas a que a estrutura vai estar sujeita e dos vãos a atingir (normalmente espaçamentos de 60 cm), sendo que a altura mínima da secção dos perfis é 150 mm, podendo atingir os 300 mm. Quanto à espessura dos perfis, varia entre 1,5 mm e 3 mm. Para grandes vãos, as vigas de piso são fixas viga a viga. Para pequenos vãos, o método é igual à construção das paredes, fixando os painéis metálicos (Kopke, 2008).

Distinguem-se na Figura 4.10 três tipos de soluções para pavimentos. Cada uma destas soluções corresponde a diferentes níveis de carga e rigidez. Assim, a seleção do sistema de revestimento deve depender do tipo de estrutura, incorporando elevada resistência ao fogo e desempenho acústico (Santos *et al.*, 2012).

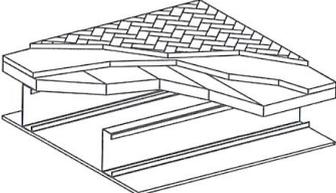
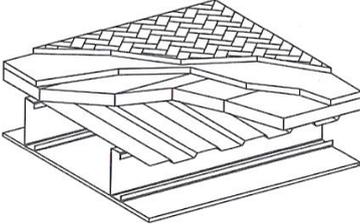
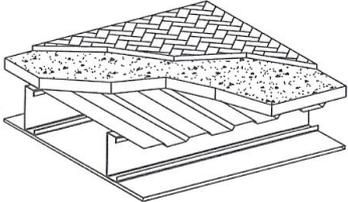
	<p>Parqué em madeira (2,2 cm) Isolamento acústico ISOVER (2,5 cm) Deck de madeira (5,5 cm) Vigas de pavimento C200/2 Placa de gesso cartonado (1,25 cm)</p>
	<p>Parqué em madeira (2,2 cm) Isolamento acústico ISOVER (2,5 cm) Deck de madeira (5,5 cm) Chapa metálica atuando como diafragma (LLP 20/0.5) Vigas de pavimento C200/2 Placa de gesso cartonado (1,25 cm)</p>
	<p>Parqué em madeira (2,2 cm) Laje de betão aligeirada (6 cm) Chapa metálica (LLP 20/0.5) Vigas de pavimento C200/2 Placa de gesso cartonado (1,25 cm)</p>

Figura 4.10 – Soluções construtivas para pavimentos em LSF (Santos *et al.*, 2012)

Tal como nas paredes, são adicionados elementos por forma a aumentar a rigidez e estabilizar a estrutura (Pinto, 2010). A Figura 4.11 ilustra dois pormenores construtivos de pavimentos. O primeiro pormenor diz respeito à inclusão de cantoneiras em forma de *L* nos cantos entre

canais e vigas de piso, reforçando a ligação; o segundo pormenor refere-se ao travamento horizontal de vigas de piso, com o objetivo de reduzir ou eliminar possíveis vibrações.

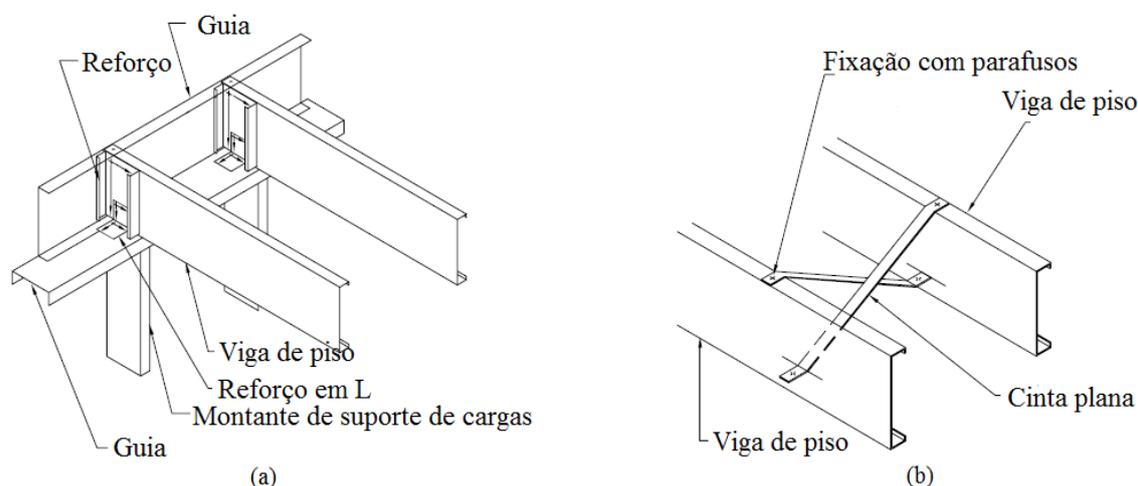


Figura 4.11 – Pormenores construtivos das lajes: (a) reforços com cantoneira em L; (b) contraventamento em X (NASFA, 2000)

4.6 Cobertura

As coberturas de um sistema construtivo em LSF tanto podem ser planas, como inclinadas, sendo que, as coberturas inclinadas podem ser estruturadas quer por vigas, quer por treliças.

No caso de coberturas planas, a metodologia de construção é idêntica aos pavimentos mas, neste caso, é criada uma pendente para o escoamento das águas. Para obter grandes vãos, são utilizadas treliças planas. Estas treliças são também utilizadas nas lajes de piso que suportam grandes cargas e que formam grandes vãos (Pinto, 2010). Este tipo de cobertura é normalmente empregue quando se pretende a conceção de um terraço.

Como a finalidade é a impermeabilização, é aplicada uma barreira pára-vapor sobre os painéis de OSB (ou no caso de laje, sobre o betão), seguida da aplicação do isolamento térmico (normalmente XPS) (Kopke, 2008). O revestimento final é feito através de proteção mecânica, como por exemplo lajetas de betão (caso seja uma cobertura acessível) ou gravilha (no caso de não ser acessível).

Quando se trata de uma cobertura inclinada, a construção é idêntica à de uma cobertura com estrutura de madeira. É por isso necessário incluir elementos de suporte mais resistentes, tais como asnas e viga de cumeeira, sendo que existem várias configurações, dependendo dos

vãos a alcançar, espaçamento dos elementos envolvidos e o próprio peso da estrutura (Kopke, 2008). Dependendo do local de execução da cobertura, existem dois modos de a conceber. No caso de a cobertura ser executada *in situ*, é comum o recurso a painéis inclinados, semelhantes aos utilizados na conceção dos pavimentos. Esta estrutura é apoiada sobre a estrutura das paredes, sendo necessário dispor de contraventamento (Pinto, 2010). A Figura 4.12 ilustra a estrutura de uma cobertura inclinada, por painéis.

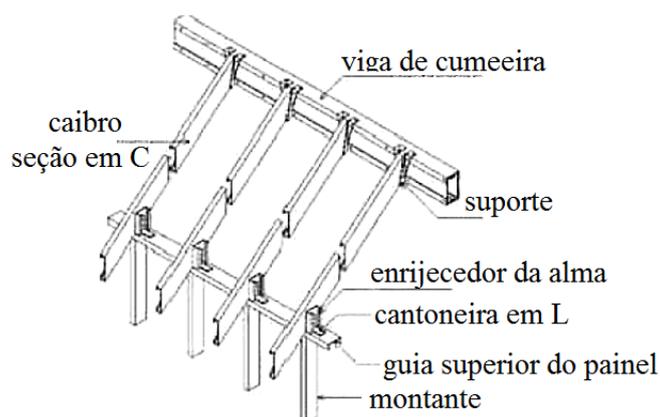


Figura 4.12 – Detalhes de cobertura inclinada por painéis em LSF (NASFA, 2000)

No entanto, para vencer maiores vãos, é frequente o recurso a estruturas treliçadas, tendo a vantagem de serem pré-fabricadas e por isso, permitir maior rapidez na execução da cobertura (Pinto, 2010).

Também para as coberturas inclinadas é usado para isolamento térmico o poliestireno extrudido (Silvestre *et al.*, 2013). Para acabamento final, o revestimento pode ser feito com telhas cerâmicas, metálicas ou asfálticas, painéis sandwich ou outra qualquer solução “ligeira”. No caso das coberturas por telha cerâmica, caso a cobertura apresente um declive pouco acentuado, deve prever-se uma camada de impermeabilização, com recurso a subtelhas asfálticas ou telas específicas (Moreira, 2012).

4.7 Revestimento

A solução mais comum para o revestimento de uma estrutura em LSF consiste no preenchimento dos espaços intercalares entre os montantes de aço galvanizado por lã mineral (pelo interior), sendo depois revestida toda a estrutura metálica por painéis estruturais de OSB. Para revestimento exterior é comum o recurso ao isolamento térmico do tipo ETICS. Os painéis de gesso cartonado finalizam o revestimento das paredes interiores e tetos.

4.7.1 Revestimento estrutural

Após concluída a estrutura metálica, todos os perfis metálicos são revestidos por uma subestrutura que serve de suporte para o revestimento final e que confere uma primeira proteção à estrutura, desempenhando uma função estrutural de contraventamento, solidarizando todo o conjunto e permitindo uma distribuição uniforme das cargas. De entre as várias soluções para esta subestrutura, destacam-se os painéis de partículas de madeira orientadas – OSB, uma vez que permitem um elevado rendimento em relação ao custo para a função em causa (Moreira, 2012). Outras soluções tais como painéis de contraplacado de madeira, painéis compósitos de fibra de madeira e cimento Portland ou chapas metálicas são também aplicadas para revestimento estrutural mas, por não serem tão comuns na construção em LSF não serão aqui abordadas.

4.7.1.1 Painéis de partículas de madeira orientada

Os painéis de OSB (“*Oriented Strand Board*”) são produzidos a partir de partículas de madeira orientadas, finas e longas, consolidadas entre si através de resinas, sendo depois submetidas a temperaturas e pressões elevadas. O típico painel de OSB é formado por três camadas, sendo que as partículas de madeira das camadas externas estão orientadas de forma diferente das partículas da camada interna. O uso de resinas e ceras na composição dos painéis confere-lhes boa resistência à humidade. Além desta característica, uma vez que possuem um baixo coeficiente de transmissão térmica, estes painéis são usados como complemento ao isolamento térmico (Moreira, 2012). Estes painéis têm propriedades semelhantes à madeira sólida, exibindo uma resistência à flexão longitudinal de 18 a 28 MPa e uma resistência à flexão transversal de 9 a 15 MPa (Silvestre *et al.*, 2013).

De acordo com a norma europeia, EN 300, existem quatro categorias para a classificação dos painéis OSB, dependendo das condições higrotérmicas e classe de resistência, permitindo assim diferentes aplicações:

- OSB/1 – painéis para utilização interior e condições secas;
- OSB/2 – painéis para suporte de cargas e utilização em condições secas;
- OSB/3 – painéis para suporte de cargas e utilização em condições húmidas;
- OSB/4 – painéis de elevada resistência para suporte de cargas e utilização em condições húmidas.

Em termos de geometria, para as paredes e coberturas, a espessura mínima dos painéis é de 12 mm, sendo que para os pavimentos a espessura mínima é ligeiramente superior, 18 mm. Quanto às dimensões, a largura dos painéis varia de 1196 mm aos 1250 mm e o comprimento depende do pé-direito, variando entre 2400 mm e 2800 mm (Moreira, 2012).

Contudo, em construções de LSF são apenas utilizados dois tipos de painéis: OSB/3 e OSB/4, sendo apresentadas as suas características no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Valores característicos dos painéis OSB (BS EN 12369-1, 2001)

	OSB/3	OSB/4
Densidade	550 kg/m ³	
Módulo de elasticidade à flexão* em N/mm ²	4930	6780
Módulo de elasticidade à tração* em N/mm ²	3800	4300
Módulo de elasticidade à compressão* em N/mm ²	3800	4300
Módulo de rigidez* em N/mm ²	1080	1090
*para uma espessura de 11-18mm e segundo a direção do eixo principal do painel		

A Figura 4.13 ilustra o revestimento estrutural de uma moradia com painéis OSB.



Figura 4.13 – Revestimento estrutural de moradia com recurso a painéis de OSB (Futureng, 2013)

De forma a garantir um bom resultado final, é essencial garantir uma boa fixação entre os painéis de OSB e os perfis metálicos. Uma vez que as placas de OSB interagem com o aço e entre si, é importante que estejam simetricamente desencontradas e com uma folga de cerca de 3 mm entre si, funcionando como junta de dilatação térmica (Silvestre *et al.*, 2013).

4.7.2 Revestimento exterior: ETICS

Depois de concluído o revestimento exterior com painéis de OSB, é comum utilizar ETICS, Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior, sendo também o revestimento mais eficiente para conferir estanquidade, impermeabilidade e isolamento térmico. As duas funções essenciais deste tipo de revestimento consistem em proteger o edifício, garantindo a sua estética e, favorecer o conforto interno da habitação, minimizando as pontes térmicas.

Este revestimento é em tudo semelhante ao de um edifício em alvenaria tradicional ou betão, uma vez que ambos os acabamentos finais se restringem a uma pintura impermeável. No entanto é fundamental que sejam cumpridos os princípios de construção do sistema ETICS, no que respeita à uniformidade das superfícies, à aplicação das camadas do revestimento e à limpeza da superfície. É, não menos importante, conhecer os fatores de exposição ao vento, chuva ou choques, pois este sistema está condicionado sobre estas situações, devido à sua fragilidade perante este tipo de solicitação (Futureng, 2013).

Para além deste revestimento, outras soluções podem ser usadas. Sobre os painéis de OSB podem ser fixas placas de cimento providas de barreira de vapor. Diretamente à estrutura metálica podem ser aparafusadas placas de cimento com 12 mm, também com barreira pára-vapor. As fachadas ventiladas são outra solução de revestimento comum, apto para receber como revestimento final todas as soluções disponíveis no mercado, tais como painéis fenólicos, pedra e elementos cerâmicos (Silvestre *et al.*, 2013).

Distinguem-se dois tipos de fachadas ventiladas. O primeiro, designado de “escoagem e ventilação integral” consiste na ventilação integral da cavidade, tendo esta uma espessura adequada de forma a permitir a secagem dos elementos de proteção. Outro método de conceção consiste no equilíbrio da pressão do ar entre o exterior e o ar contido na cavidade. A proteção exterior da parede tem por função evitar a penetração de água, enquanto a cavidade interior é dimensionada de forma a não existir um diferencial de pressão entre os meios, de modo a que a água não seja “sugada” para o interior da cavidade (Moreira, 2012).

Para finalizar, no que respeita a acabamentos exteriores, é referido por Silvestre *et al.* que não existem limites na utilização de acabamentos nos edifícios em LSF. Os mais comuns neste tipo de construção são as pedras de granito coladas nas fachadas e varandas revestidas por decks de madeira (Silvestre *et al.*, 2013).



Figura 4.14 – Acabamentos exteriores com recurso a: a) pedras de granito; b) decks de madeira (Silvestre *et al.*, 2013)

No caso das coberturas, é comum o uso de telas e subtelhas para revestimento. Estes revestimentos são normalmente aplicados em conjunto com o isolamento térmico, como é o caso de placas de XPS, adequadas para coberturas.

4.7.3 Revestimento não estrutural

O revestimento das paredes pelo interior do edifício bem como dos tetos é feito à base de painéis de gesso cartonado. Para o revestimento interior de um paramento exterior, é comum a sobreposição de placas de gesso, de forma a aumentar a resistência da superfície. Além dos painéis de gesso, existem outros materiais possíveis de aplicar para a constituição das paredes mas, é sempre aconselhado a aplicação de pelo menos um revestimento de placas de gesso (Moreira, 2012).

4.7.3.1 Painéis de Gesso Cartonado

Os painéis de gesso cartonado consistem em placas cujos principais constituintes são o gesso, água e celulose, sendo revestidos por um papel do tipo “kraft” em cada face. Dependendo da sua especificidade, existem vários tipos de placas, dependendo do teor de humidade dos compartimentos. Além disso, estas placas têm também a função de proporcionar maior resistência ao fogo.

As placas de gesso cartonado apresentam um baixo coeficiente de condutibilidade térmica, conduzindo a um isolamento muito superior ao do tijolo e do betão (Silvestre *et al.*, 2013).

No que respeita às dimensões dos painéis de gesso, a amplitude de espessuras varia entre 12,5 mm e 15 mm. Como referido anteriormente, estes painéis podem ser sobrepostos, para combater problemas térmicos e acústicos. Por apresentarem uma espessura tão reduzida, a espessura final das paredes interiores é também muito pequena, sendo na ordem dos 120 mm (90 mm para perfis metálicos; 15 mm para placas de gesso, sendo uma em cada face; 40 mm isolamento na cavidade dos perfis metálicos), quando comparada com a espessura das paredes de alvenaria de tijolo (aproximadamente 150 mm, sem qualquer isolamento) (Futureng, 2013).

A constituição das paredes em painéis de gesso tem uma enorme vantagem em termos de regulação do teor de humidade interior do espaço. Uma vez que é um material poroso, tem a capacidade de absorver o excesso de humidade, devolvendo-a depois ao ambiente quando este estiver mais seco, controlando assim as condensações. Por fim, e uma vez que as placas não tem resistência suficiente para suportar equipamentos pesados como as mobílias, é fundamental que estes sejam fixos diretamente aos perfis estruturais, proporcionando um

suporte adequado. Objetos mais pequenos podem ser fixos às placas, desde que se usem buchas expansíveis (Kopke, 2008).

4.7.4 Isolamento térmico e acústico: Lã de rocha

Numa construção em LSF, uma das vantagens reside no facto do isolamento térmico/acústico estar inserido na cavidade entre os perfis metálicos constituintes da estrutura, reduzindo assim a espessura das paredes e consequentemente, aumentando a área útil do edifício. O isolante mais comum é a lã de rocha que, devido às suas propriedades, dificulta a condução térmica e atenua o som gerado a partir das instalações técnicas, entre compartimentos e pisos. Devido à porosidade do isolante, a energia sonora que atravessa o material é convertida em energia térmica, sendo depois dissipada por este. A Figura 4.15 ilustra a disposição de manta de lã de rocha para isolamento de um teto.



Figura 4.15 – Isolamento acústico/térmico com lã de rocha num teto (Futureng, 2013)

A lã de rocha é obtida a partir de depósitos de rochas vulcânicas que, depois de aquecidas a cerca de 1600°C, fundem tornando-se em filamentos após um processo de centrifugação. Estes filamentos são depois aglomerados com resinas orgânicas e óleos impermeabilizantes, obtendo-se uma massa idêntica à lã. Esta massa é depois moldada em mantas ou painéis e, consoante a finalidade, é submetida a tratamentos específicos alterando as suas propriedades físicas tornando-os rígidos ou flexíveis. A sua adaptabilidade à construção em LSF resulta no preenchimento das cavidades dos perfis constituintes da estrutura, das coberturas, pavimentos e paredes interiores. É fundamental a correta colocação do material isolante. No caso de paredes, se a escolha do isolamento for em forma de mantas, poderá acontecer que estas desçam ao longo da parede, dado a pouca consistência que têm, criando espaços vazios e irregularidades no isolante, deixando este de cumprir a sua função (Futureng, 2013).

4.8 Instalações técnicas e recomendações

Ao contrário do que acontece na construção tradicional, o processo de abertura de roços para a passagem de instalações técnicas é simplificado pela existência de orifícios pré-definidos nos perfis metálicos constituintes da estrutura, evitando assim a produção de resíduos. A Figura 4.16 ilustra um exemplo de instalações técnicas num edifício em LSF.

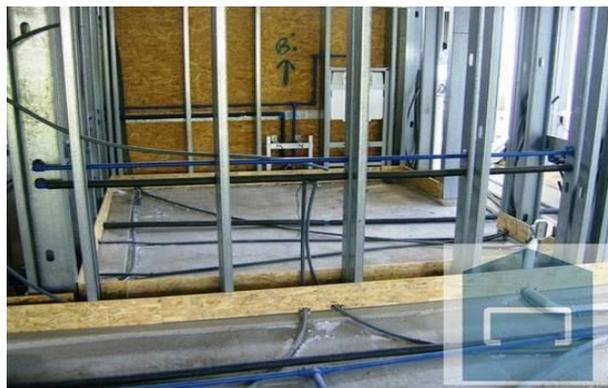


Figura 4.16 – Instalações técnicas em edifícios com construção em LSF (Futureng, 2013)

Como se pode observar, as instalações podem facilmente ser inseridas no interior das paredes, antes do seu revestimento. Contudo, há critérios a ter em consideração aquando da integração das instalações (Moreira, 2012):

- Em zonas de grande concentração de instalações deve ser prevista a sua integração em ductos com isolamento acústico adequado;
- As paredes que partilham instalações elétricas e hidráulicas devem ser alvo de uma pormenorização cuidada para que não haja qualquer intromissão entre os dois sistemas;
- Nos pavimentos, a passagem de tubagens deve ser executada de forma a evitar o contacto das instalações com os elementos de apoio;
- Deve ser evitada a introdução de condutas e instalações que atravessem totalmente a direção normal às paredes;
- Evitar a concordância de caixas de equipamentos elétricos nas faces opostas da mesma parede.

Tal como na construção em alvenaria, podem ser usados para canalização materiais como PEX, PEAD e PVC. No entanto, no caso de canalizações metálicas, devem ser tidos em conta alguns cuidados, de modo que as estruturas não estejam em contacto, uma vez que os materiais podem não ser compatíveis entre si.

As instalações elétricas devem ser introduzidas em tubos plásticos, servindo de proteção. No que respeita à instalação de objetos pesados, como o quadro elétrico, este deve ser fixo diretamente aos perfis metálicos, para não subcarregar os painéis de gesso (Silvestre *et al.*, 2013).

4.9 Caso de estudo ilustrativo

Tendo em consideração a minimização de impactos ambientais e a preservação da natureza, na zona de Castanheira de Pera, Poço da Corga, estão a ser construídos alguns edifícios em LSF, na zona do parque de campismo, com o objetivo de promover o turismo rural da região. As potencialidades da construção em aço “leve” vão muito para além do que é uma construção “amiga do ambiente” e esta foi vista como uma solução com reduzidos prazos de execução, com possibilidades de arquitetura arrojada e, com um preço admissível quando comparado com a qualidade final do projeto. A principal preocupação deste projeto foi a sua inserção no local, tendo sempre em consideração os alinhamentos dominantes e a procura correta da orientação solar dos compartimentos, de modo a proporcionar as necessidades solares e a ventilação dos compartimentos.

De entre os edifícios, encontra-se uma moradia de tipologia T2, construída apenas com rés-do-chão, cuja área bruta de construção é 61 m² e um preço previsto de 459 €/m² (no que respeita à estrutura metálica, cobertura e revestimento). O prazo de execução previsto para esta moradia é de 8 meses, desde a construção das fundações até aos acabamentos finais. As figuras 4.17 e 4.18 apresentam um conjunto de fotografias, ilustrando a execução da obra em questão, representado alguns pormenores construtivos da mesma, desde as fundações até à execução do revestimento exterior, por ETICS.

Esta obra apresenta fundações com sapatas isoladas (Figura 4.17a), sobre as quais assenta uma laje em betão armado (Figura 4.17b). Todas as paredes que perfazem o perímetro do edifício são consideradas estruturais, bem como a parede existente no interior do espaço (Figura 4.17f). No entanto, as paredes sem função estrutural ainda não estão edificadas, uma vez que não fazem parte do suporte de cargas do edifício. De entre os métodos de conceção em LSF, a construção por elementos (“*stick-build*”) foi o método escolhido, sendo os elementos cortados e montados no local. A fixação da estrutura metálica à fundação foi efetuada através de varão roscado e buchas químicas (Figura 4.17b) e a estrutura metálica entre si através de parafusos auto-perfurantes e pregos. Para contraventamento da estrutura recorreu-se a fitas metálicas (Figura 4.17d). O revestimento da estrutura metálica foi efetuado com painéis de OSB (Figura 4.18a), sendo também fixos com parafusos auto-perfurantes.

No que respeita ao revestimento exterior, este será com ETICS (Figura 4.18d e Figura 4.18e) e posteriormente o acabamento será com régua de madeira maciça, com o propósito de formar uma parede ventilada. Quanto à cobertura, será não acessível e plana, com pendente para o interior (Figura 4.18b), isolada com poliestireno extrudado (Figura 4.18f) e finalizada por painéis sandwich. Embora ainda em execução, está previsto para revestimento interior placas de gesso cartonado e para isolamento térmico e acústico a lã de vidro.



a) Adaptação da fundação da estrutura ao relevo do terreno



b) Fixação da estrutura metálica à laje, com varão roscado



c) Esqueleto estrutural em aço enformado a frio



d) Contraventamento com fitas metálicas



e) Delimitação de abertura – verga



f) Parede interior com função estrutural

Figura 4.17 – Pormenores construtivos da moradia T2 (caso de estudo)



a) Revestimento estrutural com painéis de OSB



b) Revestimento estrutural da cobertura com painéis de OSB



c) Exemplo de abertura e alinhamento dos perfis



d) Revestimento exterior com poliestireno expandido, ETICS



e) Revestimento exterior por ETICS



f) Isolamento da cobertura com poliestireno extrudido

Figura 4.18 – Pormenores construtivos da moradia T2 (caso de estudo)

5. VANTAGENS E INCONVENIENTES DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Dogmaticamente, o sistema construtivo em aço “leve” apresenta grandes vantagens em comparação com os sistemas construtivos tradicionais. Perante a situação do setor da construção no país, esta pode ser uma contribuição alternativa para reverter a situação atual e estimular novamente a construção residencial, uma vez que é um sistema recente no país e apresenta grandes potencialidades.

5.1 Vantagens

Este subcapítulo é dedicado à descrição das potencialidades do sistema construtivo em “*Lightweight Steel Framing*”. Serão abordados os seguintes pontos:

- Pré-fabricação e controlo de qualidade;
- Transporte e execução;
- Comportamento acústico;
- Comportamento térmico;
- Comportamento ao fogo;
- Comportamento sísmico;
- Custos;
- Sustentabilidade;
- Durabilidade;
- Reabilitação;
- Painelização.

5.1.1 Pré-fabricação e controlo de qualidade

Grande parte dos elementos metálicos constituintes de uma estrutura em LSF são unidades pré-fabricadas, produzidos industrialmente, sob condições de montagem controladas, ou seja, são processados de acordo com padrões definidos.

A pré-fabricação confere à construção de edifícios com estrutura leve em aço uma enorme vantagem: a rapidez de execução no local da obra. Assim, em condições fabris, os perfis metálicos são processados e montados, formando painéis estruturais, muitas vezes já com todos os equipamentos inseridos (desde canalizações a revestimentos e acabamentos finais).

Além disso, os elevados níveis de pré-fabricação aumentam a segurança nos estaleiros de obra, uma vez que não existe armazenamento de materiais neste espaço (Grubb *et al.*, 2001). O facto de os perfis serem montados em fábrica permite que sejam apenas transportados para obra no momento de montagem da estrutura, evitando assim que sejam expostos a condições de humidade e sujidade. Ao contrário da construção tradicional em alvenaria, a pré-fabricação incita a redução de resíduos e desperdícios, uma vez que as peças são concebidas nas medidas certas.

Aliado ao controlo de qualidade, é importante que todos os materiais disponham de marcação CE, isto é, que se encontram conforme as diretivas comunitárias que lhes são aplicáveis (FUTURENG, 2013). Além disto, é necessária a rotulagem dos perfis metálicos, a cada 1,20 m. A identificação do fabricante, a espessura mínima da chapa sem revestimento, a classe mínima de galvanização e a tensão de cedência mínima devem fazer parte da informação contida nos rótulos (Silvestre *et al.*, 2013).

5.1.2 Transporte e execução

De uma forma geral, a pré-fabricação está interligada com o transporte dos perfis metálicos. Por um lado, quanto maior o nível de pré-fabricação dos componentes (por exemplo, construção modular ou grandes painéis estruturais), mais específicos tem de ser os meios de transporte requeridos para transportar as estruturas. Por outro lado, a própria pré-fabricação dos perfis metálicos faz com que o comprimento dos perfis metálicos não exceda os 12 m (Silvestre e Camotim, 2006), ou seja, o comprimento normal de um camião de transporte destes materiais.

A execução de estruturas em LSF é relativamente fácil e simplificada, uma vez que não são necessárias cofragens e escoramentos, bem como esperas pela cura do betão, como nas construções tradicionais, que se prolongam numa grande parte do tempo da obra. Além disso, não são necessários equipamentos específicos de montagem como guas, pois os materiais são relativamente leves e o número de pisos para o qual estas estruturas são projetadas é relativamente baixo (até 3 pisos) (Silvestre *et al.*, 2013).

Quanto mais rápido o processo de construção, maior será a satisfação do cliente e maior será o potencial de economia. É desta forma que o tempo influencia a utilização do aço na construção de habitações (Lawson, 2009). Demonstra-se no Quadro 5.1 a comparação dos tempos de construção para os vários níveis de pré-fabricação. São apresentadas as várias soluções construtivas decorrentes da construção em aço (painéis pré-fabricados, híbrida e módulos pré-fabricados), em comparação com as soluções tradicionais de alvenaria de tijolo.

Quadro 5.1 – Comparação de tempos de construção para vários níveis de pré-fabricação (Lawson, 2009)

<i>Crítérios</i>	<i>Construção tradicional</i>	<i>Construção por painéis pré-fabricados (2D)</i>	<i>Construção híbrida e modular</i>	<i>Construção totalmente modular</i>
Período total de construção	100%	75%	70%	40%
Tempo para criar estrutura protegida	100%	55%	50%	20%
Trabalhos requeridos no local da obra	100%	80%	70%	25%

Assim se verifica que, a construção modular é a solução ótima na redução de prazos de execução. Todos os tipos de construção em aço incluem elementos pré-fabricados, sendo por isso rapidamente instalados no local, conseguindo assim menores tempos de edificação e por isso um retorno mais rápido sobre o investimento.

Ainda comparativamente à construção tradicional, somam-se as vantagens de os sistemas de fixação serem mecânicos, as argamassas usadas para rebocos exteriores serem de secagem rápida e existir uma enorme simplicidade da colocação de tubagens. Considerando uma moradia de dois pisos + cave, com uma área de 200 m², ao contrário dos 10 a 12 meses necessários para a edificar segundo o sistema construtivo tradicional, em LSF este tempo é reduzido para apenas 4 meses (Silvestre *et al.*, 2013).

5.1.3 Comportamento acústico

Os edifícios em LSF podem apresentar excelentes resultados em termos de isolamento acústico. As propriedades acústicas de um compartimento dependem de todo o sistema envolvente, desde os perfis metálicos usados e a sua disposição geométrica, passando pelos processos de fixação e montagem da estrutura, até à própria constituição das placas de revestimento, a sua elasticidade e espaçamento. No entanto, e mais importante ainda, é a escolha do material isolante a inserir na cavidade interna entre os perfis metálicos constituintes da estrutura (LSK, 2005). Os principais caminhos de propagação do som estão enunciados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Caminhos de propagação do som em edifícios com estrutura LSF (LSK, 2005)

Transmissão através de divisórias	Através de aberturas livres ou frinchas (ex. equipamentos sanitários) Pontos fracos nas paredes (ex. rodapés)
Transmissão ao longo de uma parede divisória	Através dos elementos da parede Através de juntas de conexão Através de aberturas Ao longo de uma camada contínua de isolamento térmico
Transmissão pelo teto/pavimento	Vigas contínuas Tetos leves (blocos ocós) Ao longo de uma cobertura contínua ou de um teto suspenso Através da cavidade no teto/pavimento (entre vigas de piso)
Transmissão ao longo dos componentes estruturais	Equipamentos sanitários Sistema de aquecimento Condutas

Entre os vários perfis metálicos usados no sistema construtivo em LSF é de realçar a existência de perfis específicos, cujas secções contém dobras, de modo a reduzir as transmissões sonoras. Na Figura 5.1 observam-se três exemplos destes perfis.

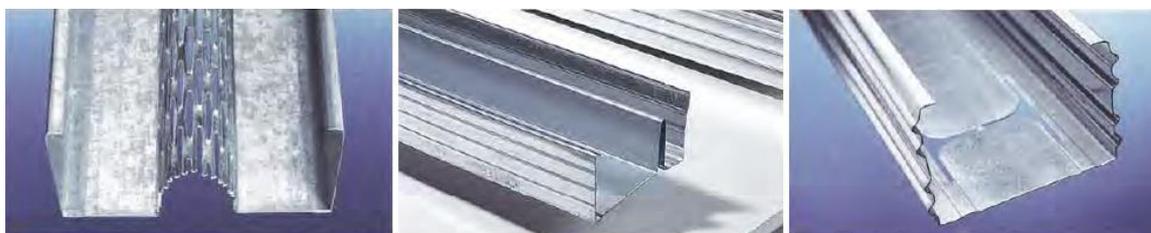


Figura 5.1 – Perfis metálicos acústicos, com dobras (LSK, 2005)

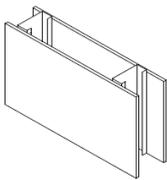
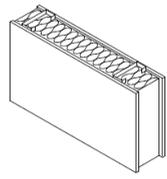
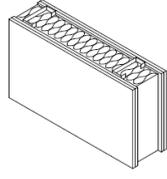
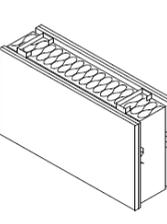
Outras formas de reduzir a amplificação do som gerada no interior dos elementos constituintes da estrutura consiste no aumento do espaço entre os perfis e, conseqüente aumento do espaço entre placas de lados opostos, na fixação das placas com recurso a tiras de isolamento, secções resilientes ou molas e, por fim, a construção de paredes com suportes duplos, de modo a separar a ligação entre duas placas opostas (LSK, 2005).

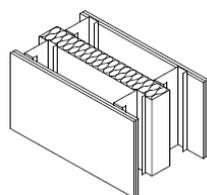
O bom desempenho acústico das construções em LSF deve-se à utilização de diferentes materiais nas camadas constituintes da estrutura. Assim, os painéis de gesso cartonado proporcionam massa à estrutura, ao mesmo tempo que a lã de rocha atua não só como

isolante acústico mas também como material redutivo das ressonâncias acústicas nas placas de gesso (Santos *et al.*, 2012).

A cavidade interna dos perfis metálicos é preenchida por materiais fibrosos como é o caso da lã de rocha, dado o seu poder absorvente do som. Assim, o espaço entre as placas de revestimento e os perfis é preenchido até 80% com este material flexível. De acordo com o Quadro 5.2, a transmissão do som pelas paredes tanto se pode dar através destes elementos, atravessando-os, como ao longo destes. De seguida apresenta-se no Quadro 5.3 cinco soluções construtivas para paredes, com as características proporcionadas para isolamento acústico.

Quadro 5.3 – Soluções construtivas de paredes e respetivo índice de isolamento sonoro (Grubb *et al.*, 2001)

<i>Esquematisação</i>	<i>Descrição</i>	<i>Isolamento Acústico $D_{nT,w}$</i>
	-Placa de gesso cartonado (12,5 mm) -Perfis metálicos -Placa de gesso cartonado (12,5 mm)	35 dB
	-Placa de gesso cartonado (12,5 mm) -Perfis metálicos com lã mineral inserida na cavidade -Placa de gesso cartonado (12,5 mm)	45 dB
	-Dupla camada de placas de gesso cartonado (12,5 mm cada) -Perfis metálicos com lã mineral inserida na cavidade -Dupla camada de placas de gesso cartonado (12,5 mm cada)	50 dB
	-Dupla camada de placas de gesso cartonado (12,5 mm cada) -Barras resilientes -Perfis metálicos com lã mineral inserida na cavidade -Barras resilientes -Dupla camada de placas de gesso cartonado (12,5 mm cada)	58-60 dB



- Dupla camada de placas de gesso cartonado (12,5 mm cada)
 - Perfis metálicos
 - Lã mineral inserida entre os perfis metálicos
 - Perfis metálicos
 - Dupla camada de placas de gesso cartonado (12,5 mm cada)
- 60-65 dB

O isolamento acústico definido no Quadro 5.3 refere-se ao índice de isolamento a sons aéreos e indica a diferença do nível de ruído que existe entre dois meios diferentes, indicando a capacidade de isolamento acústico que o elemento de separação proporciona. Do mesmo quadro, a solução que apresenta uma maior capacidade de isolamento acústico é a parede dupla, com dupla camada de painéis de gesso e o isolamento colocado fora da cavidade dos perfis.

No caso dos pavimentos, estes apresentam um requisito acrescido, uma vez que há a necessidade de atenuar os ruídos de impacto. Como se vê na Figura 5.2, a transmissão de ruído ocorre através de dois meios. Uma forma de prevenir a transmissão direta pelos perfis consiste em criar um meio de separação entre o meio recetor do som e a face superior do pavimento, através colocação de uma camada de separação aquando a fase de construção. Outra forma de controlar esta propagação do som é através da colocação de um pavimento flutuante.

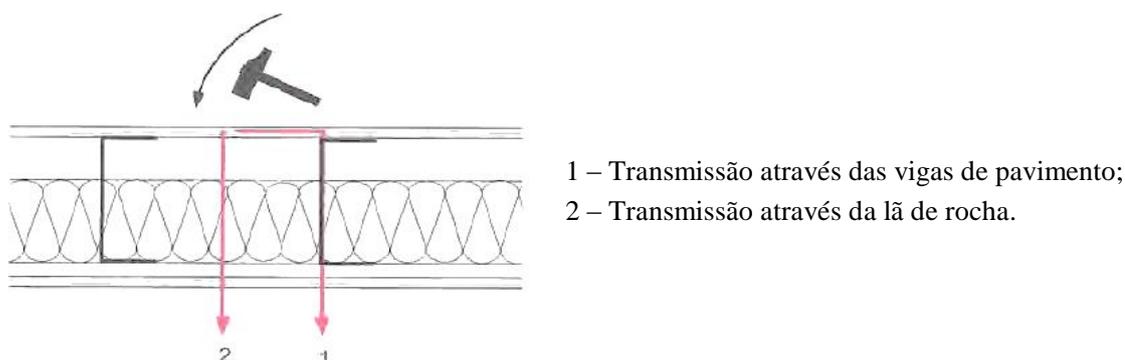


Figura 5.2 – Transmissão de ruídos de impacto sobre um pavimento em LSF (LSK, 2005)

Para além das duas intervenções mencionadas acima, para conseguir um bom isolamento acústico entre pisos, estes devem ser concebidos como duas partes separadas. A solução mais comum consiste em criar um meio de separação entre o teto falso e as vigas principais do pavimento, através de grampos específicos para minimizar as transmissões sonoras ou através

do recurso a perfis acústicos, como os mencionando anteriormente. O “segredo” consiste em usar uma ligação mais fraca entre o teto e o pavimento correspondente, fazendo com que a propagação de som seja mais difícil. Ao usar esta ligação mais fraca entre os elementos, o isolamento aos sons aéreos pode ser melhorado em cerca de 10 dB e o nível de ruído de impacto pode ser melhorado em cerca de 8 dB (Höglund e Burstrand, 1998).

O preenchimento da cavidade interna dos perfis com a lã de rocha é uma forma de travar a propagação do som. Também o próprio modo de fabrico das placas de revestimento condiciona a propagação do som: uma massa mais pesada tem uma ação mais positiva, pois torna-se mais difícil de propagar o som através de duas placas sobrepostas que através de uma única. No entanto, a solução mais eficaz consiste na quebra de ligação entre a superfície de contacto de dois elementos contíguos. Assim, durante o processo de construção deve prever-se a existência de isolamento acústico, de modo a evitar a passagem de ruídos de um compartimento para outro (LSK, 2005).

Os equipamentos sanitários constituem outro meio de geração/propagação de ruídos, devido à circulação de água nas tubagens que, estando em contacto com a estrutura, faz com que os ruídos sejam transmitidos por toda ela. Devem assim ser tomadas medidas de forma a minimizar o impacto causado por estes, procedendo à fixação dos equipamentos sanitários e condutas. Esta fixação constitui um ponto crítico, devendo ser usados elementos de borracha entre os equipamentos e o seu suporte; caso se usem abraçadeiras para fixar as condutas, deve existir um material isolante entre a abraçadeira e a conduta e entre a abraçadeira e a parede; devem evitar-se fixações rígidas, tanto nas paredes como nos pavimentos, podendo em último caso dispor-se de uma laje flutuante para base dos equipamentos. É ainda de evitar a passagem de condutas em espaços mais sensíveis, devem usar-se mangas flexíveis para revestir os tubos e instalar sistemas de silenciamento de descargas de água (LSK, 2005). Na Figura 5.3 ilustra um esquema de transmissão de ruídos gerados pelas instalações sanitárias.

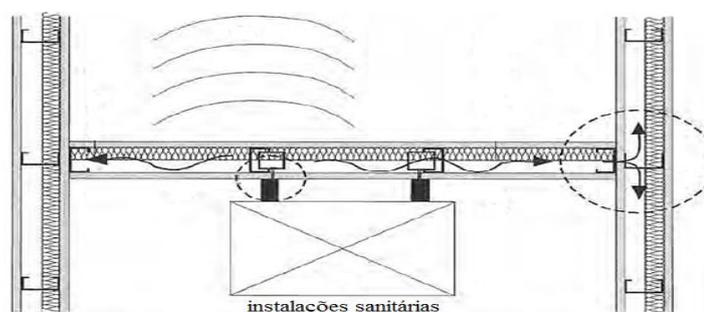


Figura 5.3 – Esquema de transmissão de sons provenientes de equipamentos sanitários (LSK, 2005)

Resumidamente, pode dizer-se que todo o conjunto de materiais integrantes da estrutura, os revestimentos e os isolamentos, atuam coletivamente, proporcionando o amortecimento e atenuação dos ruídos. Comparando com uma construção tradicional, o comportamento acústico de uma construção em LSF é diferente, mas não necessariamente pior (Silvestre *et al.*, 2013).

5.1.4 Comportamento térmico

O isolamento térmico é uma das qualidades mais desejadas numa habitação. O objetivo do isolamento é providenciar um escudo protetor ao edifício, contra as variações de temperatura e humidade sentidas no exterior e, ao mesmo tempo, proporcionar conforto térmico aos ocupantes do edifício (Silvestre *et al.*, 2013).

O facto dos edifícios com estrutura em aço apresentarem paredes pouco espessas, ou seja, com massas relativamente baixas, podem originar-se enormes oscilações térmicas da temperatura interior em zonas climáticas com uma elevada amplitude térmica diária, como é por exemplo o caso de Portugal. Assim, de modo a colmatar esta limitação, os edifícios devem ser concebidos por forma a limitar as perdas de calor na estação de aquecimento e proporcionar ganhos térmicos nessa mesma estação (Moreira, 2012).

Considerando alguns materiais que convencionalmente se usam na construção tradicional, esquematiza-se abaixo, na Figura 5.4, a comparação das espessuras necessárias de cada um dos materiais usados de forma independente, de modo a obter os mesmos níveis de isolamento térmico (Silvestre *et al.*, 2013).

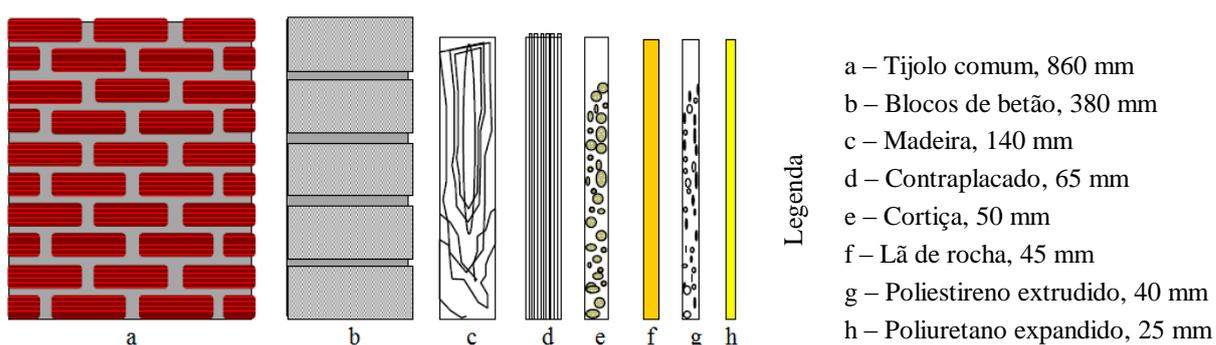


Figura 5.4 – Espessuras de paredes com o mesmo nível de isolamento térmico (Silvestre *et al.*, 2013)

Comparando os diferentes materiais conclui-se que, para obter o mesmo isolamento térmico que o poliestireno proporciona numa construção em LSF, numa construção tradicional seria necessário uma parede de tijolo comum de excessiva espessura. O desempenho térmico de

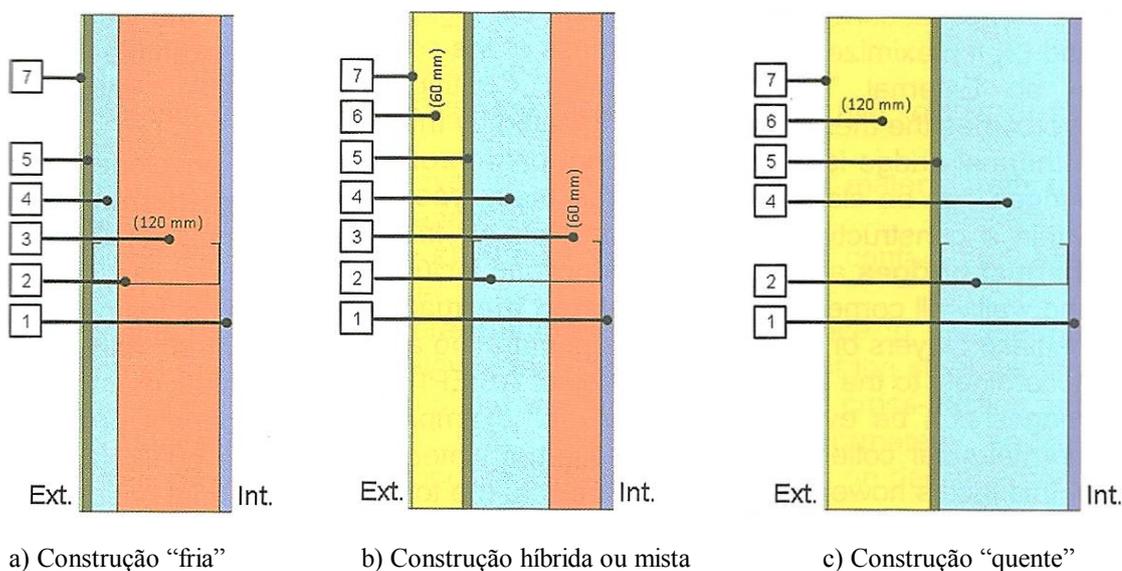
um edifício em LSF é assim uma vantagem, quando comparada com a construção tradicional, uma vez que a área ocupada pelas paredes e respetivo isolamento é inferior, aumentando assim a área útil do edifício.

Os principais elementos de isolamento térmico de uma construção em LSF são o poliestireno expandido e o poliestireno extrudido. O principal componente destes isolamentos é a espuma de poliestireno, sendo que a diferença entre eles está nas diversas transformações químicas a que são sujeitos. Além destes materiais, a lã de rocha ocupa também um papel essencial no isolamento térmico, uma vez que, tal como o poliestireno, tem um índice de condutibilidade térmica baixo, dificultando a condução térmica e é incombustível.

Dependendo da posição do isolamento térmico, os elementos construtivos em LSF podem ser classificados em três tipos (Santos *et al.*, 2012):

- “Frios” – A totalidade do isolamento térmico está inserida na cavidade entre os elementos metálicos, sendo a camada de isolamento inteiramente atravessada pelos elementos de fixação. Há assim maior risco de condensações intersticiais, uma vez que há uma temperatura mais baixa no interior dos elementos da estrutura;
- Híbridos ou mistos – O material de isolamento encontra-se tanto na cavidade dos perfis metálicos como no lado de fora destes, sendo que pelo menos um terço do isolamento deve ser contínuo e colocado no lado exterior aos perfis. Consegue-se assim reduzir as pontes térmicas através do aço. É normalmente necessária a colocação de uma barreira de controlo de vapor interno, o que diminui o risco de condensação intersticial;
- “Quentes” – Todo o material de isolamento é colocado do lado de fora da estrutura metálica. Esta constitui a melhor opção para reduzir as pontes térmicas, pois reduz o risco de condensação intersticial (o aço fica a uma temperatura superior) e maximiza a massa térmica da construção.

A Figura 5.5 esquematiza as disposições do isolamento térmico, para as três classificações definidas acima.



Legenda

- 1 – Placas de gesso cartonado, 15 mm
- 2 – Perfil metálico em aço leve, C150
- 3 – Lã de rocha: a)120 mm, b)60 mm, c)0 mm
- 4 – Espaço de ar, variavel
- 5 – Painéis resistentes de OSB
- 6 – Poliestireno expandido: a)0 mm, b)60 mm, c)120 mm
- 7 – Acabamento final do ETICS, 3 mm

Figura 5.5 – Diferentes disposições do material de isolamento (Santos *et al.*, 2012)

Um dos parâmetros que caracteriza e influencia diretamente o comportamento térmico dos edifícios é o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente (paredes de fachada, pavimentos, coberturas e vãos envidraçados). Este coeficiente (U) está relacionado com a quantidade de calor por unidade de área que atravessa uma espessura unitária de um elemento da envolvente, quando se estabelece uma diferença unitária de temperatura entre os ambientes que ele separa. Assim, quanto menor for este valor, maior será a capacidade do elemento para cumprir a função de isolamento.

Em Portugal, no caso das paredes, o valor de transmissão térmica ronda os $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, o que comparado com os valores para o Norte da Europa, por exemplo o Reino Unido ($0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$), é um valor relativamente elevado. Isto deve-se ao facto de Portugal “desfrutar” de um clima mediterrâneo e, por isso, as necessidades de isolamento térmico serem menores (Santos *et al.*, 2012).

Numa construção em LSF, o aço sendo o principal elemento de construção, encontra-se em todos os elementos, desde paredes, pavimentos até coberturas, não tendo no entanto qualquer propriedade como isolante térmico. No entanto, o aço constituinte das paredes de um edifício deste género está protegido pelo revestimento, limitando intrinsecamente as pontes térmicas. As pontes térmicas são caminhos privilegiados para a passagem de calor e ocorrem quando existe uma interrupção de isolamento térmico, normalmente junto ao pavimento e teto e na direção dos perfis metálicos. O valor de transmissão térmica da zona corrente adjacente é menor, por exemplo, ao longo de uma parede, sendo o efeito das pontes térmicas mais sentido onde se localizam os perfis metálicos, pois estes têm um valor de transmissão térmica muito superior em relação à zona onde está inserido o material isolante (Santos *et al.*, 2012).

Depois de conhecidas as causas/origens das pontes térmicas, é de interesse conhecer as formas de as reduzir. Algumas restrições são (Santos *et al.*, 2012):

- Manter uma geometria simples para as fachadas;
- Evitar interrupções no isolamento térmico;
- Nas intersecções e cantos de paredes, o isolamento térmico deve ser contínuo, recobrimdo todas as juntas;
- Se a interrupção da camada de isolamento for necessária, deve usar-se um material com maior resistência térmica possível;
- As aberturas, portas, janelas e respetiva caixilharia devem ser assentes em contacto com o material de isolamento.

Tal como existem perfis metálicos acústicos, ao nível do isolamento térmico também existem perfis metálicos com geometria específica, de modo a reduzir as pontes térmicas nas paredes como se ilustra na Figura 5.6.

Como demonstra a Figura 5.6 a), estes perfis metálicos são constituídos por pequenas ranhuras com cerca de 70 mm de comprimento por 3 mm de largura, em toda a extensão do perfil. Estas ranhuras têm por função reduzir a transmissão térmica entre as faces opostas, aumentando o caminho para a transmissão de calor. No entanto, ao ser aberta a ranhura, as bordas são dobradas para a cavidade interna do perfil, dificultando a colocação das placas de isolamento térmico que normalmente estão em contacto com a estrutura metálica. Outra desvantagem deste tipo de perfil é a redução da sua resistência mecânica (Höglund e Burstrand, 1998).

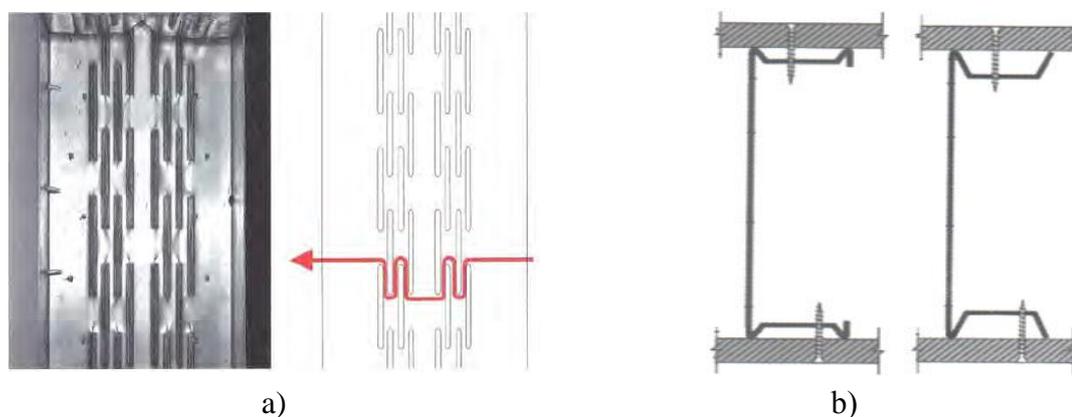


Figura 5.6 – Geometria de perfis metálicos para redução de transmissão térmica: a) perfis com ranhuras; b) dobras nos banzos dos perfis metálicos (Silvestre *et al.*, 2013)

Outra forma de reduzir as perdas de calor consiste em reduzir o contacto entre os perfis metálicos e as placas de revestimento, criando assim uma quebra térmica, aumentando a resistência térmica da parede. Como ilustra a Figura 5.6 b), acima apresentada, os perfis metálicos apresentam uma geometria específica que reduz a área de contacto com o revestimento. Há ainda a possibilidade de aplicação de tiras de material isolante ao longo dos perfis, entre estes e o revestimento, criando também um corte térmico (Santos *et al.*, 2012).

Além das propriedades geométricas dos perfis metálicos, os restantes elementos da estrutura têm um papel fundamental no desempenho térmico do edifício. O facto de os painéis de OSB, do reboco exterior e das placas de gesso cartonado serem contínuos e, em particular a existência de isolamento térmico pelo exterior, diminui substancialmente as pontes térmicas. Estas podem mesmo ser eliminadas caso se opte pelo conceito de construção “quente”, através da utilização do revestimento ETICS, sendo este de fácil aplicação sobre os painéis estruturais de OSB.

Um outro parâmetro que influencia o comportamento térmico de um edifício é a sua inércia térmica. Este parâmetro caracteriza a capacidade de armazenamento de calor dos espaços, dependendo da massa dos elementos de compartimentação.

Os edifícios com massas internas maiores exibem uma maior inércia térmica, o que não é o caso das construções em LSF. De modo a superar esta desvantagem, uma conceção adequada deste tipo de edifícios é fundamental para que se possa tirar o máximo partido da geometria do edifício e assim a controlar os ganhos solares, principalmente durante a estação quente (Santos *et al.*, 2012).

Os edifícios em LSF apresentam uma grande vantagem quando comparados aos edifícios de alvenaria tradicional no que respeita à climatização do espaço. Uma vez que os materiais constituintes dos elementos construtivos são muito leves, quando se liga, por exemplo, um aquecedor, este faz-se sentir muito mais rápido, uma vez que a absorção do calor pela envolvente dos compartimentos é menor (Silvestre *et al.*, 2013).

Caso seja necessário, a inércia térmica dos edifícios pode ser aumentada, através das seguintes estratégias (Santos *et al.*, 2012):

- Isolamento externo;
- Uso de materiais de construção pesados;
- Fazer uso da massa térmica do solo;
- Uso de PCM's (materiais de mudança de fase).

Pode assim dizer-se que uma habitação em LSF está completamente isolada, através de placas de isolamento térmico (poliestireno expandido e extrudido), painéis de OSB, lã de rocha, gesso cartonado e o próprio acabamento final. Comparando com a construção de alvenaria ou betão, tanto o poliestireno como a lã de rocha conferem aos edifícios em LSF uma elevada proteção térmica, com desempenhos superiores nestes tipos de edifícios (Silvestre *et al.*, 2013).

Com todos estes argumentos, o interior de um edifício com construção em LSF apresenta um ambiente interno controlado, sem grandes variações térmicas. Isto revela uma poupança energética cada vez mais significativa, uma vez que este sistema construtivo pode exibir um baixo consumo energético.

5.1.5 Comportamento ao fogo

O desempenho ao fogo de uma construção em LSF é determinado com base nos seguintes fatores:

- Dimensões dos elementos;
- Processos de construção;
- Carga permitida aos elementos;
- Materiais de construção usados;
- Localização do revestimento de proteção ao fogo.

Além destes fatores, o espaçamento entre as placas de revestimento e o número de camadas, bem como o material isolante e a sua espessura, interferem no desempenho do edifício perante uma situação de incêndio. No entanto, o que determina a duração da resistência ao fogo é a espessura e tipo de revestimento e o material isolante (LSK, 2005).

O aço é um material incombustível mas, quando submetido a temperaturas acima dos 500°C, a sua resistência e ductilidade sofrem uma queda abrupta. Como se verá de seguida, os painéis de gesso promovem uma proteção ao aço quando sujeito a condições de incêndio, atuando como um revestimento térmico a estes elementos. Além dos painéis de gesso, destacam-se outros materiais com função de corta-fogo, como é o caso da fibra de vidro, fibra de gesso e a lã de rocha (LSK, 2005).

As placas de gesso cartonado são habitualmente utilizadas como material de resistência ao fogo. Para além da sua facilidade de fabricação e manuseamento, estas placas possuem propriedades endotérmicas, ou seja, sofrem reações quando estão sujeitas a elevadas temperaturas, absorvendo o calor externo. No caso dos perfis metálicos constituintes das estruturas em LSF, perante uma situação de incêndio, as secções de aço aquecem muito rapidamente, o que se traduz numa rápida redução da sua resistência e rigidez. Assim, as placas de gesso constituem um pequeno escudo protetor dos perfis metálicos, atrasando o aumento da temperatura destes durante algum tempo (Keerthan e Mahendran, 2012).

Perante uma situação de incêndio, é importante saber se os elementos de compartimentação, no caso de paredes, são elementos de suporte de cargas ou não. Isto porque, a colocação do material de isolamento no interior da cavidade dos perfis ou no seu exterior interfere com o desempenho das soluções perante temperaturas elevadas.

Um elemento sem função estrutural e com o material de isolamento colocado na cavidade interna dos perfis metálicos pode melhorar de forma significativa a resistência ao fogo do edifício. Colocando um material de isolamento fibroso (com temperatura de fusão superior a 1000°C) na cavidade interna dos perfis, verifica-se uma redução do calor transmitido à face oposta do elemento de compartimentação. Mais, há um retardamento da propagação do fogo aos compartimentos adjacentes quando o revestimento destes, normalmente em painéis de gesso, é destruído (LSK, 2005).

Gunalan S. *et al.* testaram alguns provetes de paredes de suporte de carga, com diferentes configurações. Deste estudo, uma das primeiras conclusões retiradas diz respeito à temperatura da superfície das placas de revestimento. Do lado do compartimento em que ocorre o incêndio há três fases distintas na evolução da temperatura sobre as placas de gesso (Gunalan *et al.*, 2013):

- Elevação da temperatura muito rapidamente para cerca de 100°C;
- A temperatura atingida na fase anterior mantém-se, devido à energia consumida na conversão da humidade absorvida pelos painéis de gesso em vapor;
- Novo aumento de temperatura, até à combustão do painel.

Concluiu-se assim que, as amostras com isolamento no interior foram incapazes de proporcionar proteção aos perfis em situações de incêndio. Por outro lado, como o material de isolamento tem uma condutibilidade muito inferior à dos perfis metálicos, no caso de ausência de material de isolamento na cavidade entre perfis, grande parte do calor proporcionado pelo incêndio fica retido na estrutura metálica, sendo conduzido para toda, funcionando como dissipador de calor.

No entanto, a existência de material de isolamento nas cavidades entre os perfis não constitui uma “ameaça” à estrutura, perante uma situação de incêndio. No entanto, o material de isolamento quando colocado exteriormente ofereceu uma maior proteção à estrutura metálica. Quanto à prestação dos painéis de gesso, a existência de uma dupla camada fez com que a integridade das soluções que os continham se mantivesse até ao fim. Por último, com o aumento do nível de cargas aplicadas, as temperaturas de falha mantiveram-se ligeiramente inferiores às obtidas com as paredes sujeitas a menores cargas (Gunalan *et al.*, 2013).

No caso dos pavimentos, estes apresentam o mesmo desempenho que as paredes. Contudo, devem ser considerados como um todo e não por compartimentos. As vigas de pavimento são protegidas pela parte inferior por revestimentos à prova de fogo, como é o caso dos tetos falsos, em que os suportes devem ser instalados perpendicularmente às vigas de pavimento. A resistência ao fogo dos pavimentos é assim condicionada pelo seu tipo e espessura, bem como do seu isolamento. (LSK, 2005).

É assim importante prever medidas de segurança contra os incêndios. Algumas destas medidas caracterizam-se por (Silvestre *et al.*, 2013):

- Existência de caminhos para evacuação rápida e segura no caso de incêndios, bem como de áreas com proteção acrescida;
- Utilização de dispositivos específicos para deteção e controlo de incêndios;
- Utilização de portas corta-fogo de modo a impedir propagação do incêndio e de sistemas de desenfumagem;
- Geometria dos compartimentos de forma eficiente;
- Resistência adequada dos elementos de construção por forma a permitir o combate do incêndio, evitando o colapso estrutural.

Resumidamente, a construção em LSF é sensível à ação do fogo, se considerássemos apenas a estrutura em aço. Embora o aço não seja combustível, as espessuras dos perfis metálicos são reduzidas e, ao serem submetidos a temperaturas elevadas intensificam-se os fenómenos de instabilidade, como a encurvadura.

No entanto, os materiais de isolamento e revestimento protegem, até certo ponto, o esqueleto estrutural. Uma dupla camada de painéis de revestimento mostra-se mais resistente perante um incêndio, bem como a colocação de material de isolamento pelo exterior dos perfis metálicos.

5.1.6 Comportamento sísmico

Os sismos constituem uma das forças mais destrutivas da natureza, podendo ter como grande consequência a perda de vida, para além dos danos materiais. Durante um sismo, são geradas forças devido ao movimento do solo, causando danos estruturais aos edifícios, devido ao efeito da inércia. Isto acontece porque o edifício está “em repouso” e, quando sujeito às forças provocadas pelos movimentos da terra, tende a resistir a esse movimento.

Os edifícios devem assim ser projetados de modo a resistir aos esforços provocados por estas forças, absorvendo a sua energia através de diferentes materiais que são usados e, tirando partido da geometria do próprio edifício, de modo que este responda às solicitações, adaptando-se ao solo (Futureng, 2013). No caso dos edifícios com estrutura leve em aço, as paredes desempenham um papel fundamental sobre as cargas horizontais, provenientes de ações dinâmicas, tais como os sismos.

Comparativamente às estruturas de betão, as estruturas metálicas são mais leves e mais dúcteis, não só devido ao comportamento mecânico do aço, mas também devido ao poder dissipativo que as ligações aparafusadas apresentam. Quando submetido a forças significativas, os perfis metálicos constituintes de um edifício em LSF permitem a ocorrência de deformações locais, uma vez que são fabricados a partir de uma chapa metálica de espessura reduzida. Pelo contrário, os perfis laminados a quente, por apresentarem uma espessura superior não apresentam tantas deformações. No entanto, a diferença entre os dois modos de modelagem do aço tem diferentes impactos aquando da ocorrência de um sismo. Os perfis laminados a quente apresentam uma melhor resposta a movimentos vibratórios, sendo os mais indicados para zonas sísmicas. No entanto, apresentam também uma massa superior aos perfis enformados a frio, sendo esta uma desvantagem destes perfis para o sistema construtivo (Silvestre *et al.*, 2013).

Considerando em simultâneo a atuação de um sismo sobre um edifício em LSF, um edifício em aço laminado a quente e um edifício em betão, os impactos a que o edifício em LSF está sujeito, são consideravelmente inferiores aos dos restantes edifícios. Isto deve-se sobretudo à diferença de massa que integra cada uma das soluções. Quanto menor for a massa, melhor será o desempenho do edifício perante um abalo vibratório. Estando a inércia de um edifício inteiramente relacionada com a massa deste, uma vez que estes apresentam menor massa,

possuem menor inércia, ou seja, as forças que se desenvolvem são muito menores em relação às que se desenvolvem nos edifícios de maior massa.

Os edifícios em LSF devem ser tratados de forma independente, uma vez que apresentam frequências próprias distintas dos restantes sistemas construtivos (Silvestre *et al.*, 2013).

Para a contribuição do desempenho dos edifícios em LSF perante sismos, os revestimentos dos perfis metálicos também têm influência. Um contraventamento correto do edifício constitui uma forma de reforço, garantindo maior rigidez às ações horizontais e contribuindo para a dissipação da energia consequente dos sismos.

Considerando várias disposições de elementos de contraventamento em estruturas de LSF, Moghimi e Ronagh concluíram, numa primeira fase, que a ausência de contraventamento faz com que os elementos construtivos, neste caso as paredes, quando sujeitas a movimentos cíclicos, funcionem como um mecanismo, não conseguindo resistir a qualquer força lateral. Os sistemas de contraventamento testados neste estudo são ilustrados na Figura 5.7.

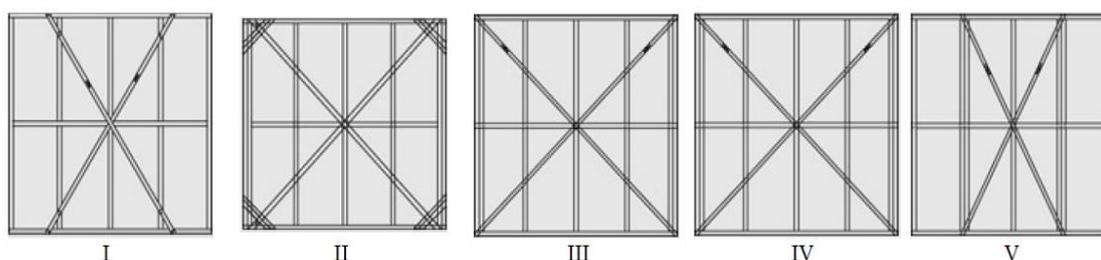


Figura 5.7 – Sistemas de contraventamento testados, sobre ação de cargas cíclicas (Moghimi e Ronagh, 2009)

O sistema de contraventamento I é, segundo o autor, o sistema mais usado, consistindo na fixação do elemento de contraventamento através de parafusos, apenas sobre um dos planos da estrutura e sobre as guias metálicas. O sistema II, já mais elaborado, considera a colocação das cintas de contraventamento em ambos os lados, com reforços nos cantos, onde estes são fixos. O sistema III é análogo ao I, com a diferença de que, em vez de se fixarem os elementos de contraventamento só nas guias, este é fixo na intersecção entre os montantes e as guias. O esquema IV é equivalente ao sistema III, sendo que o contraventamento é feito pelo lado interno da estrutura. Por fim, o sistema V consiste no contraventamento ligado à estrutura a partir da intersecção entre montantes e guias, com recurso a perfis de reforço na vertical e menor amplitude de contraventamento.

Segundo os autores, a principal insuficiência do primeiro tipo de contraventamento deve-se à encurvadura obtida e à possibilidade de desprendimento dos elementos de fixação. A colocação de reforços nos cantos melhorou significativamente o desempenho lateral das paredes, aumentando a resistência lateral dos painéis. A colocação de contraventamento em ambas as faces comprovou que este se tornou praticamente duas vezes mais forte. No entanto, não apresentou vantagens sobre nenhum lado em específico, sendo que, como única vantagem possibilita o atraso a alguns modos de encurvadura, dado a sua simetria. Os painéis em OSB são também uma forma de reforço às estruturas, conferindo rigidez e oferecendo maior resistência às forças horizontais (Moghimi e Ronagh, 2009).

Baran E. e Alica C. realizaram um ensaio em que foram testadas, entre outras propriedades, o desempenho da ligação dos painéis de OSB à estrutura metálica, em paredes, quando submetidas a cargas horizontais. Esta ligação fez-se através de parafusos auto-perfurantes, considerando duas espessuras de painéis e dois espaçamentos para elementos de fixação. Independentemente da espessura dos painéis verificou-se que, para o maior espaçamento entre os parafusos, houve uma redução da capacidade de carga, sem no entanto afetar a rigidez inicial do painel de parede (Baran e Alica, 2012).

Por estas razões, os edifícios com sistema construtivo em LSF são soluções principalmente aconselhadas para zonas onde o risco de sismicidade é elevado. Devido ao rigoroso processo de fabricação dos elementos construtivos, às propriedades do aço e aos métodos usados, esta é uma solução capaz de desempenhar um papel favorável perante um sismo. Assim, são constituídas como vantagens as seguintes considerações, a favor do sistema construtivo em LSF, em comparação com estruturas em madeira e betão (Futureng, 2013):

- Excelente relação peso/resistência;
- Composição estável e consistente;
- Conexões mais eficientes;
- Tecnologia mais avançada;
- Imunidade a ataques biológicos;
- Incombustível;
- Flexibilidade e articulação.

5.1.7 Custos

Os materiais, a mão-de-obra, os equipamentos e a maquinaria influenciam o custo de uma construção. Devido aos elevados níveis de produtividade do sistema construtivo em aço “leve”, o custo de mão-de-obra é reduzido e, devido à elevada pré-fabricação dos elementos,

torna-se rápida a execução de uma estrutura em aço. Este tipo de construção pode levar à redução de custos até 6%, em relação a uma habitação de betão (Lawson, 2009).

O custo de qualquer edifício está diretamente relacionado com o preço dos materiais utilizados e com a mão-de-obra empregue. O preço final de um edifício em LSF depende da procura que o aço tem no mercado, uma vez que o preço deste material é suscetível a oscilações. Atualmente o preço do aço ronda 1,05 €/kg, o que corresponde a uma variação de 550 €/m² a 750 €/m² para o preço de um edifício em LSF, para vãos correntes (4 a 6 metros). Comparativamente às soluções em alvenaria tradicional, o custo do material empregue numa construção em LSF é aproximadamente o dobro, correspondendo a 2/3 do custo total da obra. Mas, para colmatar esta desvantagem, o custo total de mão-de-obra empregue na construção em LSF, embora mais especializada, reduz-se para metade, uma vez que os prazos de execução são muito inferiores (Silvestre *et al.*, 2013).

Concluindo, o custo de um edifício em LSF é sensivelmente semelhante ao aplicado em edifícios de alvenaria ou betão. No entanto, a qualidade tem um preço e os edifícios em LSF empregam materiais tecnologicamente mais eficientes, conduzindo assim a maiores níveis de conforto e segurança.

5.1.8 Sustentabilidade

De uma forma geral, o custo, a qualidade e o tempo de execução de um edifício, estão diretamente relacionados com a sustentabilidade. A sustentabilidade requer que haja uma conjugação entre todas as atividades exercidas pelo ser humano, de modo a dar resposta às necessidades atuais, sem no entanto comprometer as gerações vindouras.

O conceito da sustentabilidade na construção estende-se para além do que é uma construção “amiga do ambiente”. Assim, são fatores de influência para a sustentabilidade os seguintes pontos (Lawson, 2009):

- **Materiais e recursos** – A construção é o setor que mais materiais e recursos utiliza. Uma construção em aço pode reduzir até 30% o uso de materiais em relação a uma construção de alvenaria tradicional. Desta forma, uma estrutura em aço é mais leve que uma construção em madeira e pode ser 20% inferior ao de uma construção em tijolo. Sem esquecer, o aço é reciclável e as estruturas podem facilmente ser desmontadas e reutilizadas de novo;

- **Desperdícios** – Ao contrário dos desperdícios gerados pela alvenaria, a construção em aço gera desperdícios mínimos. Estima-se que no Reino Unido a indústria da construção

produz meia tonelada de resíduos por pessoa, por ano, sendo que uma elevada percentagem vai para aterro. Na construção metálica, todos os desperdícios de aço são reciclados. Mais de 90% do aço proveniente de demolições é reciclado, sendo que 50% da produção europeia de aço é proveniente de fontes recicladas. A pré-fabricação tem um papel fundamental uma vez que minimiza naturalmente a produção de desperdícios;

- Energia – A redução do consumo de energia nos edifícios passa em parte pela conceção de uma geometria eficiente e gestão das instalações. Com a construção em aço pode reduzir-se o consumo de energia até 30%, quando comparado com um edifício de alvenaria tradicional;

- Transporte – Cerca de 40% da energia utilizada na construção tradicional está relacionada com o transporte, quer dos materiais de construção e maquinaria, quer dos trabalhadores. A construção em aço permite reduzir este impacto, uma vez os elementos em aço são transportados no “tempo certo” para o local da obra. Uma vez que requer menos trabalhadores no local da obra, são efetuadas menos viagens para o local, reduzindo os ruídos e consumos de combustíveis. Além disso, as necessárias viagens a aterros são mínimas uma vez que são poucos os desperdícios gerados. Estima-se que o transporte de materiais pode ser reduzido em 85% com a construção em LSF;

- Poluição – Com o recurso a um sistema de construção “seco”, pode considerar-se que os materiais e processos deste sistema têm um impacto insignificante no meio ambiente. Ao serem submetidos à pré-fabricação, os elementos de aço são constantemente sujeitos a controlos de qualidade, sendo produzidos tendo em consideração a poupança de energia e a redução da poluição. São assim diminutos os resíduos no estaleiro de obra, uma vez que os elementos são pré-fabricados em fábrica. Em condições de serviço, o aço não apodrece e não é combustível;

- Desempenho e qualidade – O aço apresenta qualidades que não sofrem alterações ao longo do tempo. Este material, em conjunto com a lã de rocha, proporciona a conceção de estruturas que apresentam excelentes níveis de isolamento, reduzindo custos de climatização. Os custos de manutenção são também reduzidos. O sistema ETICS, por ser de elevada elasticidade restringe a formação de fissuras. Caso seja necessário reparar uma tubagem, basta retirar a placa de gesso, reparar e voltar a colocar uma nova placa. Pelo facto de ser leve, este sistema construtivo é adequado para terrenos “pobres”. Através do processo de galvanização, os elementos metálicos são protegidos, eliminando o aparecimento de ferrugem e oxidação;

- Saúde e bem-estar – Devido à sua versatilidade, o aço permite criar espaços flexíveis, eficientes e funcionais. Uma vez que as pessoas passam, em média, 90% do seu tempo dentro de edifícios, é importante que estes se adaptem às pessoas e não o contrário. As construções com estrutura leve em aço apresentam grandes níveis de isolamento térmico e acústico, conferindo conforto e qualidade ao espaço;

- Questões sociais – Pelo facto do aço permitir a conceção de estruturas mais funcionais e adaptáveis, há uma contribuição para melhorar o ambiente de vida. Por outro lado, é um sistema construtivo cujos impactos são reduzidos, não interferindo com o quotidiano do ambiente local. Por ter uma durabilidade superior a outros materiais, o aço melhora a satisfação das pessoas que recorrem a este material para empregar nas suas casas. Sendo um material reciclável, não existem aterros sanitários deste material, como é comum com os restos de demolições provenientes de edifícios de alvenaria e betão.

5.1.9 Durabilidade

Quando se adquire um edifício, principalmente para habitação, pretende-se que este cumpra a suas obrigações, especialmente do no que diz respeito ao conforto interior. Contudo, esquecemo-nos que este conforto todo advém, em parte, da durabilidade dos materiais que o compõe. Não se compra uma habitação nova todos os dias e, quando se adquire uma, prevê-se que seja única. É por isso que a durabilidade dos edifícios se torna tao importante, não só porque em si os edifícios têm algum peso económico, mas também porque passamos quase a vida toda dentro delas.

A durabilidade das soluções construtivas com estrutura leve em aço está estritamente relacionada com as propriedades dos materiais constituintes, nomeadamente com o revestimento que as partes metálicas sofrem, para evitar a corrosão.

A corrosão dos metais consiste numa transformação que o metal sofre em reação com o oxigénio e dióxido de carbono, resultando a formação de produtos de corrosão (ferrugem) e libertação de energia.

A galvanização é vista como o caminho para controlar a corrosão dos elementos metálicos. Esta proteção à corrosão consiste na imersão contínua dos rolos das fitas metálicas a partir dos quais são formadas as secções dos perfis, em zinco quente, como se de um pré-revestimento se tratasse (LSK, 2005). Esta imersão é feita com G275, o que corresponde a 275g de zinco/m² ou seja, uma espessura de zinco de 0.02 mm em cada face. O zinco em reação com o aço forma uma série de camadas de ligas zinco-ferro que, depois de solidificadas, funcionam como um todo.

Quando se fala em durabilidade das secções galvanizadas, é necessário considerar dois critérios que interferem diretamente com este fator: o tempo de exposição a humidade e as condições atmosféricas a que estão sujeitas as secções metálicas. Com o tempo, a camada de zinco começa a perder espessura, e conseqüente proteção ao aço. Devido aos poluentes existentes na atmosfera, principalmente o dióxido de enxofre (SO₂), o processo de degradação da camada de revestimento de zinco pode chegar a 0.2g de zinco/m² por ano. No entanto, a taxa de perda da camada de zinco é diferente, dependendo do meio, sendo 10% menor no meio mais seco e protegido, que em espaços abertos (Popo-Ola *et al.*, 2000).

Ainda dependendo do meio em que está integrado o edifício, deve ter-se um cuidado especial nos ambientes húmidos, uma vez que estes constituem meios onde o processo de corrosão aumenta. Devem assim adotar-se proteções adicionais à galvanização, como é o caso de tintas específicas. Esta aplicação de dois materiais constitui o “sistema duplo” em que as tintas protegem o revestimento de zinco da erosão passiva e, a camada de zinco protege os perfis metálicos (LSK, 2005).

Existem duas formas principais de proteção contra a corrosão (Popo-Ola *et al.*, 2000):

- Encapsulamento – Consiste na colocação de uma barreira protetora sobre os elementos, para eliminar os organismos corrosivos da superfície;
- Proteção catódica – Consiste no recurso a outro metal, mais nobre que o aço que, na presença de agentes corrosivos, se “sacrifica” sendo corroído, em proteção ao aço.

O uso de zinco metálico, como protetor contra a corrosão, é usado de variadíssimas formas, seja através de galvanização, pulverização, placas ou proteção catódica, recorrendo aos processos acima descritos.

Em obra, a colocação dos perfis deve ser feita de modo que as secções abertas fiquem voltadas para baixo, de modo a impedir acumulação de água. Mais, os elementos de fixação devem ser compatíveis de modo a evitar reações químicas entre metais diferentes. Quando os perfis são cortados em obra ou é necessário efetuar aberturas nestes, por exemplo para passagem de instalações, as secções cortadas não ficam “desprotegidas” da corrosão. O zinco desencadeia reações catódicas contra os “agentes agressores” do aço, gerando substâncias que desvalorizam a ação dos agentes contaminantes (LSK, 2005).

Contudo, a durabilidade dos edifícios em LSF não depende apenas do desempenho dos perfis metálicos. De forma a promover a longevidade destes edifícios, devem ser tidas em conta as boas práticas construtivas, em particular, o controlo das condensações, do controlo da penetração de água e o isolamento térmico. Se as condições de humidade forem controladas e

as áreas bem ventiladas, estes edifícios apresentam uma longevidade que vai para além dos 200 anos (Popo-Ola *et al.*, 2000).

5.1.10 Reabilitação

De uma forma genérica, a reabilitação enquadra três tipos de trabalhos: manutenção, reabilitação e beneficiação ou requalificação, como ilustra a seguinte figura.

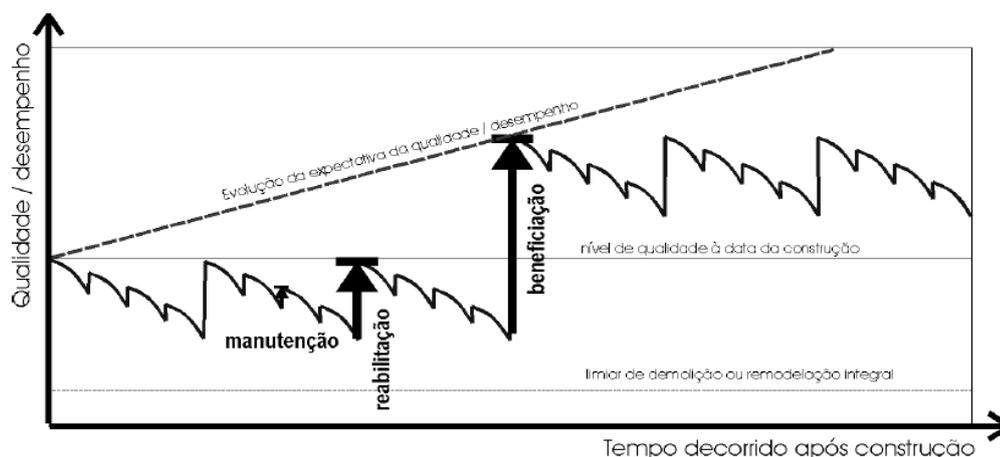


Figura 5.8 – Evolução do estado dos edifícios ao longo do tempo (Silva, 2012)

De acordo com a Figura 5.8, a reabilitação é vista como uma intervenção que vai para além da correção de pequenas deficiências, como é o caso da manutenção. Assim, esta operação visa repor o nível de qualidade inicial das instalações, envolvendo por isso uma maior ponderação técnica e económica. Por outro lado, com o decorrer do tempo, é normal o desajuste dos espaços às atividades nele desenvolvidas e a perda da sua qualidade. Deste modo a requalificação e a beneficiação visam implementar níveis de desempenho superiores aos que o edifício tinha, à data da construção (Silva, 2012).

Como descrito no capítulo introdutório, no futuro, a construção em Portugal passará em parte pela reabilitação de edifícios. Ao invés de utilizar as técnicas tradicionais em alvenaria, esta reabilitação poderá passar pelo recurso ao sistema em LSF. Como qualquer obra de reabilitação, é necessário efetuar o levantamento exaustivo da estrutura existente, identificando os elementos sobre os quais é necessário intervir. Normalmente, os pisos e as coberturas são os mais degradados. A intervenção de reabilitação em edifícios consiste em eliminar estes elementos estruturais, consolidando os elementos verticais existentes com o apoio de lintéis armados de “coroamento” e/ou “viga-cinta”. A Figura 5.9 ilustra a fixação de um canal de aço para posterior fixação das vigas de aço. Sobre este elemento é desenvolvido

o esqueleto estrutural que permite a criação de novos espaços e a consolidação com a estrutura antiga (Silvestre *et al.*, 2013).



Figura 5.9 – a) Fixação de canal de aço; b) colocação de vigas sobre o canal de bordadura (Silvestre *et al.*, 2013)

Os perfis metálicos enformados a frio constituem assim soluções interessantes para a reabilitação estrutural de edifícios. Esta reabilitação incide sobre o esqueleto estrutural do edifício a reabilitar, de modo a que os esforços a que este estava sujeito sejam transferidos para outros elementos, mais fortes e resistentes, neste caso os perfis de aço. O facto de o aço ser um material leve e de extrema versatilidade, torna possível edificar novas estruturas nos edifícios a reabilitar, mantendo sempre a geometria inicial do espaço. A reabilitação com recurso ao sistema construtivo em LSF apresenta grandes vantagens sobre os métodos tradicionais, embora a madeira seja considerada o método mais tradicional para obras de reabilitação (Moreira, 2012).

Quando o edifício carente de uma intervenção apresenta uma estrutura em madeira, o sistema construtivo em LSF é uma excelente alternativa, uma vez que o esquema de transmissão de cargas de ambos é feito de forma distribuída e não pontual. Assim, os perfis de aço tanto podem ser usados para substituir os elementos em madeira, como apenas para os reforçar. Além disso, uso de perfis de aço não está sujeito a fenómenos de apodrecimento ou infestação por térmitas e apresenta melhor desempenho ao fogo (Silvestre *et al.*, 2013).

Contudo, existem limitações à utilização do sistema LSF em obras de reabilitação. Em situações de retenção de fachadas de alvenaria e execução de fundações ou muros de suporte este sistema não deve ser aplicado, dando preferência a soluções de betão ou aço laminado a quente (Silvestre *et al.*, 2013).

Assim, as principais aplicações dos perfis enformados a frio em obras de reabilitação são:

- Compartimentação de interiores e compartimentação vertical (caso haja pé-direito que permita);
- Construção de subestruturas sobrepostas a paredes pré-existentes, como suporte ao revestimento de fachada;
- Ampliação vertical e horizontal de edifícios;
- Sobreposição ou substituição de coberturas.

5.1.11 Painelização e construção em altura

Esta é talvez a maior vantagem deste sistema construtivo em termos de custos e tempos de execução. A painelização consiste na montagem de painéis, em fábrica, quer para elementos verticais quer horizontais que, sob condições controladas, evitam defeitos e imperfeições nestas estruturas. Ora, a construção em série destes elementos torna-se muito vantajosa, uma vez que não é necessária muita mão-de-obra em obra. Além disso, uma vez que se torna num trabalho sistemático, não são necessários conhecimentos adicionais aos solicitados para montar o primeiro painel da série.

Para a construção de edifícios com vários pisos, este método é ainda mais vantajoso, uma vez que permite a montagem na vertical, ou seja, de piso para piso. Adicionalmente, este método será tanto mais eficiente, quanto mais se repetirem os mesmos elementos (Silvestre *et al.*, 2013). A Figura 5.10 ilustra a construção em série de edifícios em LSF, com três pisos de altura.



Figura 5.10 – Painelização vertical em edifícios (Silvestre *et al.*, 2013)

5.2 Desvantagens

É claro que não existem sistemas construtivos perfeitos e um dos primeiros inconvenientes que qualquer sistema inovador apresenta no início é a sua integração no mercado. O sistema construtivo em LSF não é exceção. Assim, perante uma construção convencional e tradicional, este sistema apresenta-se para muitos como instável e incapaz de dar resposta ao que é desejado a um edifício de habitação.

Do ponto de vista da estrutura metálica, existem essencialmente duas condicionantes. A primeira está relacionada com o número de pisos que o edifício pode ter, quando limitado a construção residencial unifamiliar (até 3 pisos). Outra condicionante relaciona-se com a abertura de vãos. Ao contrário da construção em betão e alvenaria, a distribuição de cargas é contínua ao longo de todo o perímetro do edifício. A abertura de grandes vãos influencia a transmissão de cargas, podendo condicionar o desempenho do edifício perante um sismo.

Entre as três classificações possíveis para edifícios relativamente à inércia térmica (fraca, média e forte), definidas pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), os edifícios em LSF foram classificados de fraca inércia térmica, ou seja, tem pouca capacidade para reter calor nos elementos envolventes. No entanto, embora estes apresentem uma massa pequena, a energia necessária para climatização é menor, uma vez que o coeficiente de transmissão térmica dos materiais é inferior, em comparação com os coeficientes dos materiais usados em alvenaria tradicional. As grandes preocupações destes edifícios devem-se aos ganhos solares exagerados no Verão, sendo por isso necessário investir em vidros de qualidade e em bons dispositivos de proteção solar, como portadas ou estores (Futureng, 2013).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

A presente dissertação teve, como objetivo global, divulgar o sistema construtivo com estrutura leve em aço, conhecido internacionalmente como “*Lightweight Steel Framing*”, através de uma revisão do estado da arte sobre o referido sistema construtivo.

O aço apresenta inúmeras qualidades, entre elas a capacidade de poder ser reciclado infinitas vezes, sem perder as suas características. E uma vez que a sustentabilidade é cada vez mais motivo de interesse na sociedade, esta é uma boa solução para contribuir para a redução dos impactes ambientais e favorecer o desenvolvimento económico do país.

Estando o setor da construção a passar por uma crise devido à construção insustentável dos últimos anos, as alternativas à construção poderão passar pela reabilitação dos edifícios existentes e pela exportação deste sistema construtivo para outros países, como Brasil e Angola que, ao contrário de Portugal, carecem de habitações. A construção em LSF é maioritariamente produzida a partir de elementos pré-fabricados e, devido à falta qualificação de mão-de-obra nestes países e à carência de materiais, uma solução poderá passar pela exportação deste sistema construtivo, limitando-se apenas à sua montagem nos países de destino.

O sistema construtivo em LSF teve origem nos Estados Unidos por volta de 1801, mas só em 1993 se deu início à construção de habitações com este sistema construtivo em Portugal. Embora hoje esteja mais divulgado, por ser um sistema fora do convencional, é ainda visto como inseguro.

De um modo geral, efetuou-se a descrição do processo de construção deste sistema construtivo. Tendo por base um correto planeamento, uma construção em LSF pode ver os prazos de execução reduzidos a poucas semanas, quando comparados com a tradicional construção em alvenaria de tijolo ou betão, devido aos elevados níveis de pré-fabricação. Por ser uma construção de baixo peso, é apta para qualquer tipo de solo, tendo por fundações usuais o ensoleiramento geral ou as sapatas contínuas. Após a conclusão do esqueleto

estrutural em aço enformado a frio, procede-se ao seu revestimento. Às paredes com função estrutural, como é o caso das paredes de fachada, são fixos painéis de OSB, de modo a aumentar a resistência aos esforços induzidos por cargas horizontais, por exemplo pelo vento. Os painéis de gesso cartonado são utilizados como revestimento do espaço interior, quer para as paredes, quer para tetos. No que respeita ao isolamento, existem dois elementos constituintes essenciais: a lã de rocha e o sistema de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS. A lã de rocha apresenta boas propriedades de isolamento acústico e térmico, sendo inserida na cavidade interna entre os perfis metálicos, quer de pavimentos, quer de paredes. O ETICS é a solução mais eficiente para revestimento exterior neste tipo de soluções, pois minimiza a formação de pontes térmicas, originadas por exemplo pelos perfis metálicos da estrutura.

Após a apresentação do conceito de construção residencial em aço “leve”, procedeu-se à exposição das suas potencialidades e limitações. Embora não muito relevantes, a construção de edifícios residenciais em aço enformado a frio tem também alguns inconvenientes, como é o caso da fraca inércia térmica, devido à reduzida massa dos elementos e a limitação da abertura de vãos. Além disso, o facto de serem empregues materiais muito mais leves que os usados na construção tradicional, provoca algum receio no que respeita à sua resistência, dificultando a aceitação desde sistema construtivo como viável.

No entanto, as potencialidades são muito superiores aos inconvenientes:

- Baixo peso;
- Elevada resistência dos elementos constituintes;
- Construção amiga do ambiente;
- Redução dos prazos de execução;
- Elevada durabilidade e elevado controlo de qualidade;
- Alto desempenho térmico e acústico;
- Bom desempenho ao fogo e ao sismo;
- Simplicidade na conjugação com outras especialidades;
- Menos manutenção;
- Custo acessível em relação à qualidade;
- Boa opção para reabilitação estrutural;
- Facilidade de montagem;
- Etc.

Conclusivamente, esta solução apresenta-se uma solução construtiva de elevado desempenho, cujo investimento inicial se torna numa mais-valia a longo prazo, devido à qualidade que os elementos construtivos apresentam, traduzindo-se no conforto proporcionado e na redução de consumos energéticos para climatização.

6.2 Trabalhos Futuros

Dentro dos objetivos desta dissertação, e com o intuito de divulgar e melhorar o sistema construtivo em LSF, apresentam-se os seguintes tópicos para trabalhos futuros:

- Uma vez que este sistema construtivo apresenta alguns “pontos fracos”, seria uma boa opção o estudo de soluções alternativas no que respeita à baixa inércia térmica destes edifícios, como por exemplo a colocação de uma camada de regularização em betão ou argamassa, nos pavimentos;
- As pontes térmicas constituem outro problema associada à construção. É assim de interesse estudar o desempenho destes edifícios perante outras soluções de materiais para revestimento bem como estratégias de colocação do material de isolamento, de modo a minimizar as pontes térmicas;
- Para colmatar o problema da abertura de grandes vãos e melhorar a distribuição das cargas provenientes de pisos superiores, seria também interessante estudar a viabilidade da combinação do sistema em LSF com elementos em betão armado ou em perfis de aço laminado a quente, em determinados pontos estratégicos;
- Por fim, sendo este sistema construtivo aplicado a edifícios até três pisos de altura, será uma boa opção estudar até que ponto este tipo de construção é viável para edifícios com mais de três pisos de altura, no que respeita à ação sísmica e vento, uma vez que nem todas as regiões estão suscetíveis às mesmas solicitações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baganha M., Marques J. e Góis P., (2002). *O sector da Construção Civil e Obras Públicas em Portugal:1990-2000*.
- Baran E., Alica C., (2012). *Behavior of cold –formed steel wall panels under monotonic horizontal loading*, Journal of Constructional Steel Research, Volume **79**: 1-8.
- BS EN 12369-1:2001 *Wood-based panels - Characteristic values for structural design; Part 1: OSB, particleboards and fibreboards*.
- Cóias V., (2012). *Construção: os excessos e o futuro*, FuturoEuroconstruct'12, Lisboa.
- Davis M. J., (2006). *Light gauge steel cassette wall construction – theory and practice*, Journal of Construction Steel Research, Volume **62**: 1077-1086.
- Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas (FEPICOP), (2013). *Crise da construção acentua-se, embora com quebras menos pronunciada*, publicação nº70, Lisboa.
- Futureng@ (2013). <http://www.futureng.pt/>. *Light steel framing*, engenharia e projeto. Consultado em 21/10/2013
- Grubb P., Gergolewski M., Lawson R., (2001). *Building Design using Cold Formed Steel Sections – Light Steel Framing in Residential Construction*, The Steel Construction Institute, Publicação nº SCI P301, ISBN 1-85942-121-0.
- Gunalan S., Kolarkar P. e Mahendran M., (2013). *Experimental study of load bearing cold-formed steel wall systems under fire conditions*, Thin-Walled Structures, Volume **65**: 72-92.
- Höglund T., Burstrand H., (1998). *Slotted steel studs to reduce thermal bridges in insulated walls*, Thin-Walled Structures, Volume **32**: 81-109.

- INE – Instituto Nacional de Estatística, (2012), *Parque Habitacional em Portugal: Evolução na última década 2001-2011*.
- Keerthan P., Mahendran M., (2012). *Numerical studies of gypsum plasterboard panels under standard fire conditions*, Fire Safety Journal, Volume **53**: 105-119.
- Kopke I., (2008). *Construção Leve com Estrutura em Aço Galvanizado, “Light Steel Framing”*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Construção, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Lawson R., (2009). *Sustainability of steel in housing and residential buildings*, The Steel Construction Institute, Publicação nº SCI P370 (versão digital).
- Lawson R., Ogden R., (2008). *‘Hybrid’ light steel panel and modular systems*, Thin-Walled Structures, Volume **60**: 720-730.
- LSK, (2005). *European Lightweight Steel-framed Construction*. Arcelor.
- Mascarenhas J., (2006). *Sistemas de Construção - Volume VIII*. 1ª Edição. Lisboa: Livros Horizonte, ISBN 972-24-1481-4.
- Moghimi H., Ronagh H., (2009). *Performance of light-gauge cold-formed-steel strap-braced stud walls subjected to cyclic loading*, Engineering Structures, Volume **31**: 69-83.
- Moreira M., (2012). *Utilização de perfis enformados a frio em obras de reabilitação*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Construção e Reabilitação, Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- North American Steel Framing Alliance (NASFA), (2000). *Low-Rise Residential Construction – Details*, Publication NT6-00, Washington DC.
- Pinto V., (2010). *Soluções de paredes leves incorporando placas de aglomerado madeira/cimento para edifícios de pequeno porte*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Construções, Universidade do Porto. Porto.

- Popo-Ola S., Biddle A. e Lawson R., (2000). *Building Design using Cold Formed Steel Sections – Durability of Light Steel Framing in Residential Building*, The Steel Construction Institute, Publicação nº SCI P262, ISBN 1-85942-111-3.
- Santos P., Silva L. S., Ungureanu V., (2012). *Energy Efficiency of Light-Weight Steel - Framed Buildings*. Nº129, 1ª Edição, ECCS – European Convention of Constructional Steelwork, ISBN 978-92-9147-105-8.
- Silva, R. M. da, (2012). *Obras de manutenção, reabilitação e beneficiação*, texto de motivação à disciplina de Técnicas de reabilitação de patologias não estruturais, FCTUC, Coimbra.
- Silvestre N., Camotim D., (2006). *Análise e dimensionamento de estruturas de aço enformado a frio*. Apontamentos de apoio à disciplina de Análise e Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço enformados a frio, Aço-Inox e Alumínio, 1º curso de Mestre em construção Metálica e Mista, Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Silvestre N., Pires J. e Santos, A., (2013). *Manual de Conceção de Estruturas e Edifícios em LSF – Light Steel Framing*. Editora: CMM. ISBN 978-989-95605-8-1.
- Tecnobra@ (2013). <http://www.tecnobra.com.br/sitemacont-fundacao.html>. Tecnologia em construção a seco. Consultado em 21/10/2013.