



**Jorge Miguel Borges Monteiro**

Licenciado em Engenharia Civil

## **Sustentabilidade de Edifícios de Habitação em Construção Metálica**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
Civil

Orientador: Prof. Doutor João Carlos Gomes Rocha de  
Almeida, Professor Associado, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Válder José da Guia Lúcio, FCT-UNL  
Arguente: Prof. Doutor Miguel José das Neves Pires Amado, IST-UL  
Vogal: Prof. Doutor João Carlos Gomes Rocha de Almeida, FCT-UNL



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2016





“Copyright” Jorge Miguel Borges Monteiro, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor



## RESUMO

Para fazer face ao cada vez mais intenso desenvolvimento das sociedades surge a necessidade de proceder à implementação de mecanismos de sustentabilidade, revestindo-se este tema de grande relevância tanto a nível legislativo como de aplicação quotidiana.

Esta necessidade é motivada principalmente pelo impacto potencial decorrente das actividades humanas, assumindo a indústria da construção e as actividades com ela relacionadas, particular importância neste contexto.

O facto de as preocupações ambientais estarem na ordem do dia, inclusivamente nas cimeiras políticas internacionais, levou ao desenvolvimento e enquadramento de normas legislativas ao longo das últimas décadas, tendo surgido também métodos que permitem avaliar e classificar o nível de sustentabilidade de diversos empreendimentos e realizações.

Em Portugal, a adopção destes métodos (por enquanto voluntários) tem sido gradual, sendo vistos pela maioria dos promotores e especialistas com algum cepticismo e reticência.

Esta dissertação pretende explicar a importância das metodologias de avaliação de sustentabilidade da construção de edifícios com estrutura metálica, tanto a nível da sua formulação como da sua aplicação, associando-as a práticas e decisões de projectistas, construtores e utilizadores que intervêm no ciclo de vida de um determinado edifício.

Pretende-se ainda evidenciar vantagens das construções metálicas, que as possam tornar competitivas relativamente às estruturas em betão armado, tradicionalmente adoptados na construção de edifícios em Portugal.

Após uma abordagem geral aos temas da sustentabilidade e das construções metálicas, pretende-se descrever vários métodos de avaliação de sustentabilidade de construções e em particular o sistema LiderA. Apesar de o conceito de sustentabilidade englobar preocupações de natureza ecológica e ambiental, são apresentados argumentos que salientam a vertente económica, a qual geralmente acaba por ser preponderante para os promotores e que pode condicionar a viabilidade construtiva em certos casos.

O sistema LiderA é aplicado a um caso de estudo, permitindo obter resultados quantitativos. Com base nesses resultados, são formuladas conclusões com o objectivo de encorajar a adopção de medidas que contribuam para uma melhoria do sector da construção e que tenham em conta o feedback dos utilizadores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade, Construção Sustentável, Construção Metálica, Metodologias de Avaliação de Sustentabilidade, LiderA.



## ABSTRACT

In order to face the increasingly intense development of societies, there is need for implementing mechanisms of sustainability, assuming this theme great relevance both in legislative and in daily application terms.

This need is mainly due to the potential impact derived from human activities, being the construction industry and all related activities particularly important in this context.

The fact that environmental concerns are on the agenda of international summits led to the development and framework of legislative standards over the past decades, having also contributed to the development of methods for assessing the sustainability of buildings.

In Portugal, the adoption of these voluntary methods has been gradual, and seen by many promoters and experts with some skepticism and reticence.

This work aims to explain the importance of the methodologies for sustainability assessment of buildings with steel structure, both in their formulation and application processes, and their relation to practices and design decisions that builders and users take during the life cycle of a certain building.

It is also intended to highlight the advantages of steel construction, which can become competitive relatively to reinforced concrete constructions, dominant in Portugal.

After a general approach to the topics of sustainability and steel construction, several methods of evaluation of sustainability of buildings are described, and in particular the system LiderA. Although in the concept of sustainability is largely involved with ecological and environmental aspects, special emphasis is given to aspects that take the economic side in consideration, since this point generally turns out to be predominant for the promoters and may affect the viability of a construction.

The system LiderA is applied to a case study providing quantitative results. Based on these results, critical remarks are made with the aim of encouraging measures that may contribute toward a sustainable development and take into account feedback from users.

**KEYWORDS:** Sustainability, Sustainable Construction, Steel Construction, Sustainability Assessment Methodologies, LiderA.

## ÍNDICE DE CONTEÚDOS

RESUMO.....	III
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE QUADROS .....	X
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	XI
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Motivação e Objectivos .....	3
1.3 Organização da Dissertação .....	3
2 SUSTENTABILIDADE DO AÇO NA CONSTRUÇÃO: ASPECTOS GERAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE .....	5
2.1 Desenvolvimento Sustentável .....	5
2.2 Construção Sustentável: Princípios Básicos .....	6
2.3 Material Aço.....	9
2.3.1 Propriedades .....	9
2.3.2 Durabilidade .....	11
2.3.3 Reciclagem.....	11
2.3.4 Construção Metálica.....	12
2.4 Avaliação da Sustentabilidade de Construções com Estrutura em Aço	14
2.4.1 BREEAM .....	15
2.4.2 LEED.....	17
2.4.3 LiderA.....	19

2.4.4 CASBEE .....	20
2.4.5 SBTTool <sup>PT</sup> .....	21
3 MÉTODO PARA ANÁLISE NO CASO DE ESTUDO.....	23
3.1 LiderA.....	23
3.1.1 Integração Local.....	24
3.1.2 Recursos .....	25
3.1.3 Cargas Ambientais .....	26
3.1.4 Conforto Ambiental.....	28
3.1.5 Vivência Socioeconómica.....	29
3.1.6 Uso Sustentável .....	31
4 CASO DE ESTUDO .....	33
4.1 Descrição .....	33
4.2 Avaliação.....	35
4.2.1 Integração Local.....	35
4.2.2 Recursos .....	36
4.2.3 Cargas Ambientais .....	37
4.2.4 Conforto Ambiental.....	38
4.2.5 Vivência Socioeconómica.....	38
4.2.6 Gestão Ambiental e Inovação .....	42
4.2.7 Ficha de Avaliação .....	43
4.3 Resultados.....	43
4.4 Interpretação dos Resultados e Discussão .....	45
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	52
5.1 Conclusões.....	52
5.2 Perspectivas Futuras.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Home Insurance Building ( <a href="Http://Skyscraperpage.Com/Cities/?Buildingid=10370">Http://Skyscraperpage.Com/Cities/?Buildingid=10370</a> )	1
Figura 1-2 Conversor De Bassemer ("Bassemer Convertor" 2016)	2
Figura 1-3 Evolução Da População Mundial (1760-2040) (Worldometers 2016)	2
Figura 2-1 Pilares Essenciais de um Sistema Sustentável	5
Figura 2-2 Telhados Verdes Incorporados nas Construções ( <a href="Http://Blog.Cerbras.Com.Br/Index.Php/Confira-As-Tendencias-Em-Construcao-Sustentavel/">Http://Blog.Cerbras.Com.Br/Index.Php/Confira-As-Tendencias-Em-Construcao-Sustentavel/</a> )	8
Figura 2-3 Gráfico Típico de um Metal Submetido a um Ensaio de Tracção Uniaxial ( <a href="Http://Www.Infoescola.Com/Fisica/Ensaio-De-Tracao/">Http://Www.Infoescola.Com/Fisica/Ensaio-De-Tracao/</a> )	10
Figura 2-4 Reciclagem do Aço	12
Figura 2-5 "Ferro E Carvão" Obra de William Bell Scott Que Ilustra o Período da Revolução Industrial em Inglaterra ( <a href="Http://Paintingdb.Com/S/9679/">Http://Paintingdb.Com/S/9679/</a> )	12
Figura 2-6 Ponte D. Maria Pia – Porto	13
Figura 2-7 Atribuição de Pesos Pelo Método Breeam	16
Figura 2-8 Tabela de Classificação Breeam	17
Figura 2-9 Ponderação dos Diferentes Critérios Aplicando o Lidera	20
Figura 3-1 Esquema de Apresentação do Lidera	23
Figura 4-1: Fachada Principal do Edifício Com Orientação a Poente	34
Figura 4-2: Fachada Principal Virada Para a Rua da Palmeira	34
Figura 4-3: Vista Aérea Sobre a Envolvente do Edifício	35
Figura 4-4 Introdução de Dados Para Obtenção de Resultados no Ameco	41
Fig. 4-5 Potencial de Aquecimento Global em Equivalência De Co2	42
Figura 4-6 Exemplo De Ficha de Avaliação do Lidera (Critério C1)	43
Figura 4-7 - Classificação Atribuída aos Diferentes Critérios	44
Figura 4-8 Posicionamento das Classificações por Critérios (C1 A C6)	46
Figura 4-9 Posicionamento das Classificações por Critérios (C7 A C15)	47
Figura 4-10 Posicionamento das Classificações por Critérios (C16 A C23)	48
Figura 4-11 Posicionamento das Classificações por Critérios (C24 A C27)	49
Figura 4-12 Posicionamento das Classificações por Critérios (C28 A C40)	50
Figura 4-13 Posicionamento das Classificações por Critérios (C41 A C43)	51

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2-1 Os Dez Edifícios com Melhor Classificação Segundo o Leed	18
Quadro 3-1 – Integração Local: Áreas e Critérios Considerados	24
Quadro 3-2 Consumo de Recursos: Áreas e Critérios Considerados	25
Quadro 3-3 Cargas Ambientais: Áreas e Critérios Considerados	27
Quadro 3-4 Conforto Ambiental: Áreas e Critérios Considerados	28
Quadro 3-5 Vivência Socioeconómica: Áreas e Critérios Considerados	29
Quadro 3-6 Uso Sustentável: Áreas e Critérios Considerados	31

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AQS	Águas Quentes Sanitárias
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology</i>
CASBEE	<i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency</i>
CIB	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
E	Módulo de Elasticidade
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
f <sub>y</sub>	Tensão de Cedência
IST	Instituto Superior Técnico
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental</i>
LSF	<i>Light Steel Framing</i>
PDM	Plano Director Municipal
MASC	Método de Avaliação de Sustentabilidade da Construção
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RCESE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RJUE	Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação
UL	Universidade de Lisboa
UN	<i>United Nations</i>
UNL	Universidade Nova de Lisboa
σ <sub>ced</sub>	Tensão de Cedência

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

As primeiras estruturas metálicas de que se tem registo datam do século XVIII, como é o exemplo da *Iron Bridge*, construída na cidade de Coalbrookdale, no centro de Inglaterra, em 1781. É uma ponte composta por elementos de ferro fundido que, estando dispostos sob a forma estrutural de um arco, estão submetidos essencialmente a esforços de compressão (Cossons and Trinder 2002). O primeiro edifício com estrutura metálica, Home Insurance Building, surgiu em Chicago no final do século XIX (Figura 1-1).

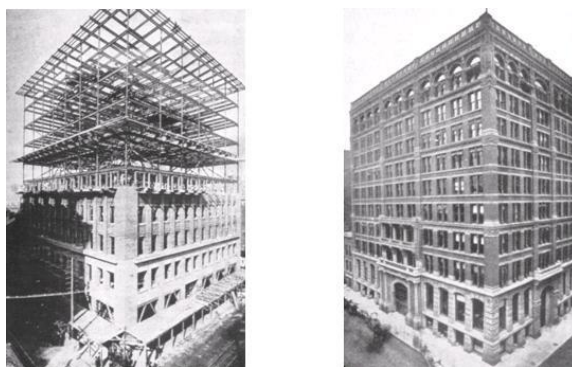


Figura 1-1: Home Insurance Building ( <http://skyscraperpage.com/cities/?buildingID=10370>)

Já depois da revolução industrial, durante a década de 1850, Henry Bessemer desenvolveu e patenteou um processo industrial que viria a ser designado com o seu nome (ver Figura 1-2) e que permitia a produção em massa de aço. Este avanço e ainda o facto do cálculo estrutural se ter desenvolvido de forma significativa também nesse período, terão provavelmente contribuído decisivamente para a ocorrência de um ponto de viragem na história da construção metálica. Estima-se que a Inglaterra tivesse uma produção anual de ferro de cerca de 700 000 toneladas em 1830, valor que terá quadruplicado depois das inovações indicadas acima (Evans and Ridén 2005).

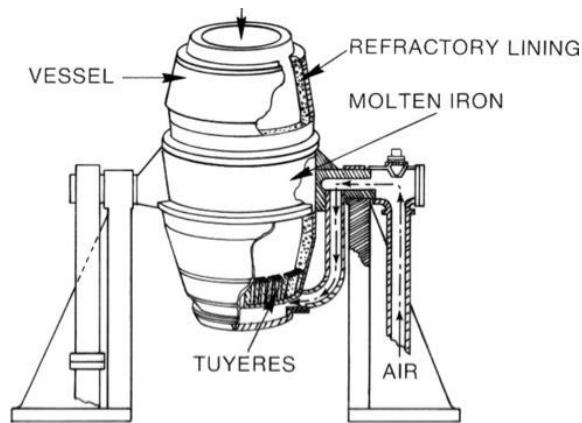


Figura 1-2 Conversor de Bessemer (“Bessemer Converter” 2016)

Durante e após a revolução industrial, a relação entre o Homem e o ambiente sofreu uma enorme alteração, com múltiplas implicações socioeconómicas, tanto a nível do ordenamento urbano como da poluição do meio ambiente.

A alteração dos processos industriais teve também influência, não só na produtividade dos operários, mas também na qualidade de vida da população, o que se reflectiu no próprio número de habitantes na Terra. No que diz respeito à população mundial, estima-se que no início da revolução industrial existissem cerca de 700 milhões de habitantes no mundo, número que quase duplicou durante este período. Desde o início do século XX, a população mundial teve um crescimento exponencial e embora se preveja que este crescimento abrande, estima-se que nos próximos 100 anos, a população aumente mais de 50% (ver Figura 1-3). Este crescimento levou a um crescimento proporcional da procura por recursos e energia; consequentemente os desperdícios de materiais e emissões de gases poluentes também aumentaram.

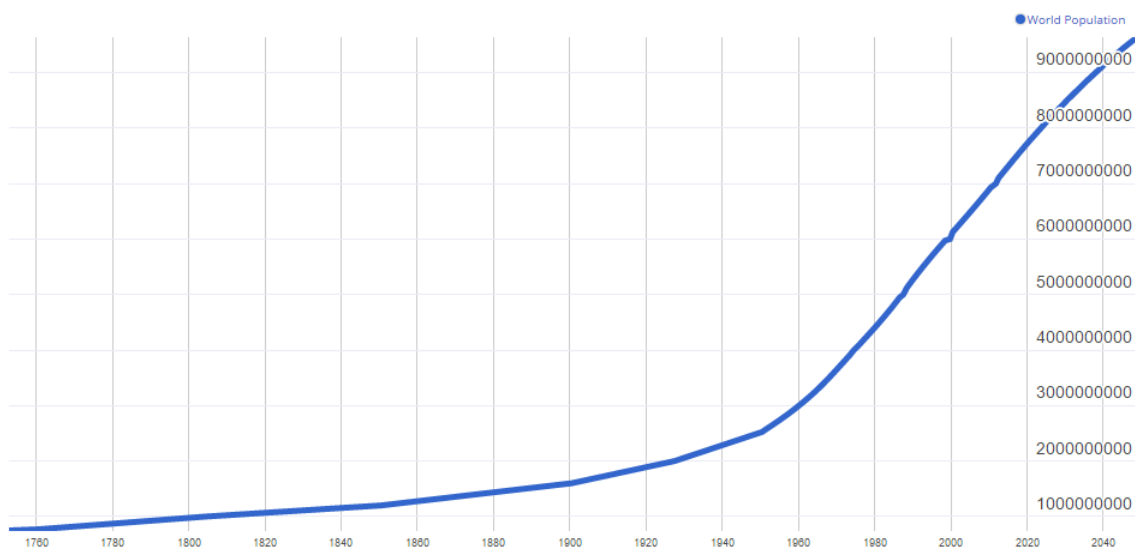


Figura 1-3 Evolução da população mundial (1760-2040) (Worldometers 2016)

Existe, pois, uma grande ameaça para o equilíbrio cíclico regenerativo dos ecossistemas. Estes desequilíbrios eminentes são em geral causados pela acção do Homem, que necessita de ver as suas necessidades supridas através da extracção, processamento e utilização dos recursos naturais disponíveis, o que, conjugado com o aumento da população e desenquadramento dos hábitos de consumo, potencia a exploração de recursos de forma desmesurada e inconsciente. Consequentemente, o ciclo de reposição dos recursos naturais é interrompido, sendo impedida a sua regeneração e levando à escassez dos mesmos. (Fernandes 2013). A sustentabilidade como conceito surge assim como ferramenta para a racionalização do consumo humano e aumento da eficiência da gestão de recursos naturais.

Todos estes factores, combinados com vários desastres ecológicos que têm acontecido ao longo da história, fizeram com que grandes empresas e governantes de diversos países passassem a incluir nas suas agendas o tema da sustentabilidade e do desenvolvimento sustentável.

## 1.2 MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS

Tendo em vista a crescente necessidade de otimizar a gestão de recursos, cabe ao sector da engenharia procurar soluções para acautelar o futuro do desenvolvimento. Com efeito, de acordo com o código deontológico de um engenheiro, este, no exercício da sua profissão, deve procurar garantir a segurança, o melhoramento da qualidade de vida da população e a sustentabilidade da sociedade.

Este trabalho pretende apresentar medidas alternativas que conduzam a um desenvolvimento mais sustentável do que as estratégias habitualmente adoptadas por países industrializados, procurando ainda para evitar que os erros cometidos no passado venham a ser repetidos em países em crescimento económico.

Neste contexto, o trabalho que se propõe realizar consiste na elaboração de uma análise do ciclo de vida de um projecto de uma estrutura metálica de um edifício de pequeno porte. Nessa análise, são contabilizados os gastos energéticos inerentes ao processo de produção, bem como os gastos de climatização durante o período de vida útil, considerando-se também a possibilidade de reciclagem dos materiais utilizados.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação incide sobre o tema da sustentabilidade das estruturas metálicas e as suas implicações no contexto da construção civil.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema em questão, fazendo o enquadramento geral do trabalho.

No segundo capítulo, é abordada a sustentabilidade do aço enquanto material de construção, referindo as suas principais propriedades, o modo como se enquadra no contexto geral do desenvolvimento sustentável e os benefícios que pode trazer para a indústria. São ainda apresentadas diversas metodologias para avaliação da sustentabilidade das construções.

O terceiro capítulo consiste no desenvolvimento e exposição detalhada dos métodos de avaliação a utilizar no caso de estudo analisado subseqüentemente.

No quarto capítulo, procede-se à aplicação dos métodos para avaliação da sustentabilidade a um caso de estudo. É feita a descrição do caso analisado, explica-se detalhadamente a modelação realizada, apresentam-se os resultados obtidos e efectua-se a interpretação dos mesmos.

Por fim, no quinto capítulo indicam-se as principais conclusões extraídas do trabalho realizado e sugerem-se perspectivas para futuros desenvolvimentos neste domínio.

## 2 SUSTENTABILIDADE DO AÇO NA CONSTRUÇÃO: ASPECTOS GERAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE

### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Por definição da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, órgão criado pela Organização das Nações Unidas, o desenvolvimento sustentável é aquele que visa satisfazer as necessidades das gerações actuais sem comprometer os recursos e meios para satisfazer as gerações futuras. (UN 1972)

O conceito de sustentabilidade de um sistema implica um equilíbrio lógico e uma garantia de compatibilidade entre aspectos económicos, sociais e ambientais. Assim, a sustentabilidade é muitas vezes encarada como uma concepção abstracta e não mensurável, dada a dificuldade que existe em quantificar os reais impactos associados a cada uma destas componentes. Não obstante, existe hoje a convicção que o desenvolvimento sustentável se traduz em benefícios evidentes para o bem-estar e funcionamento da sociedade e do conjunto dos ecossistemas que com ela interagem.

Uma sociedade suportada por pilares fundamentais de funcionamento como a saúde, a educação e a cultura, precisa, para subsistir e para evoluir, de adoptar um plano de desenvolvimento económico em sintonia e em equilíbrio com as condições sociais e ambientais dos diferentes intervenientes da biosfera, como representado na Figura 2-1.



*Figura 2-1 Pilares essenciais de um sistema sustentável*

O facto de, no início do século XX, o acesso à energia ser relativamente fácil e de baixo custo, implicou que a preocupação com os problemas ambientais fosse diminuta, resultando na frequente utilização indiscriminada de energia e recursos naturais. Assim, o desenvolvimento industrial conduziu a um aumento crítico da poluição dos solos e da atmosfera.

Na segunda metade do século XX, quando se começou a tornar notório o estado de degradação do meio ambiente e o impacto que as acções humanas estavam a ter no planeta Terra, surgiram as primeiras iniciativas para concertar o desenvolvimento económico com políticas sociais e ambientais, tendo-se começado a reconhecer que não seria viável continuar a assentar o desenvolvimento em sistemas de combustíveis energéticos de origem não renovável. Com efeito, para além da diminuição de recursos disponíveis, tem havido uma redução dramática da biodiversidade, tendo a actividade humana levado a uma diminuição de milhares de espécies por ano durante o século passado.

Actualmente, as directivas subjacentes a um programa de desenvolvimento sustentável visam, para além do crescimento económico, a protecção do meio ambiente como garantia da qualidade de vida das gerações presentes e futuras, considerando sempre o bem-estar das pessoas e a sua equidade.

## 2.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: PRINCÍPIOS BÁSICOS

A sustentabilidade na construção é actualmente um assunto de importância indiscutível, tendo-se tornado uma questão vital nas últimas décadas, face a um cenário económico cada vez mais agressivo e a condições ambientais gradualmente mais desfavoráveis (Construction 2016).

O desperdício de materiais associado aos processos de construção representa cerca de meia tonelada por ano per capita. Numa construção nova esse desperdício equivale entre 45 a 90 kg por metro quadrado, enquanto que em acções de reabilitação esse valor varia entre 300 a 900 kg por metro quadrado. Torna-se então necessário que haja uma mudança de paradigma no que diz respeito aos gastos energéticos relacionados com os processos construtivos em edifícios (Kibert 2004).

A construção sustentável não é mais do que a aplicação do conceito de sustentabilidade ao sector da construção, de maneira a que seja estruturada uma indústria que promova alterações conscientes e sustentáveis que garantam a qualidade de vida dos utilizadores imediatos, preservando simultaneamente a qualidade dos utilizadores futuros (Tarré 2010). Para tal, para além de procurar minimizar os impactos ambientais imediatos durante a construção, interessa também fazer a racionalização da energia e recursos naturais que se prevêem utilizar ao longo da vida útil de um determinado edifício. A construção sustentável e nomeadamente os edifícios sustentáveis podem, pois, assumir uma importância relevante em termos económicos, nomeadamente no que diz respeito às emissões de carbono produzidas (Dubina, Ungureanu, and Mutiu 2007).

A construção constitui um dos maiores sectores económicos da Europa, englobando cerca de 7,5% do total da população activa. Os seus impactos ambientais são igualmente

significativos: os edifícios são responsáveis por 50% das emissões de carbono e pela mesma percentagem de consumo de água; na indústria da construção consome-se ainda cerca de 25% do total de materiais utilizados na economia. De acordo com estes números, é evidente que se impõe uma revisão fundamental da forma como os edifícios são desenhados, projectados e construídos, não apenas pelas correspondentes implicações económicas mas também pelas emissões de carbono associadas (Gervásio 2015).

A utilização de recursos de forma desregrada, nomeadamente para efeitos de climatização e iluminação artificial de espaços, contribuíram de forma determinante para que os consumos energéticos atingissem valores excessivos. Este aspecto adquiriu particular relevo na fase de projecto no final do século XX, tendo os arquitectos passado a adoptar novos paradigmas no que diz respeito a ventilação natural, ensombramentos, orientação solar e inércia térmica dos edifícios (Guedes, Pinheiro, and Alves 2009). Um exemplo de intervenção arquitectónica com preocupações de sustentabilidade está representado na Figura 2-2.

Por oposição a outras indústrias que sofreram grandes processos de evolução e se encontram presentemente bastante mecanizadas e optimizadas de maneira a aumentar o rendimento da gestão de recursos, a construção continua em geral a ser uma indústria muito artesanal. Num empreendimento, isto implica a existência de uma quantidade muito acentuada de desperdícios que resultam dos processos de construção durante a fase de obra. Este problema do sector da construção, que mesmo com montagem de pré-fabricados já tem algum significado, assume ainda maior importância quando se trata da produção e construção *in situ* (Vieira 2011).

Em Portugal, existem boas oportunidades para melhorar a sustentabilidade dos edifícios, dada a necessidade de renovação dos edifícios das zonas antigas das cidades, nomeadamente em Lisboa. Por outro lado, Portugal tem uma localização geográfica que favorece a produção energética através de radiação solar e geração eólica; a recolha e a gestão das águas das chuvas podem também ser optimizadas de maneira a aumentar a eficiência dos edifícios numa malha urbana. Há assim condições para Portugal ser um dos países mais avançados da Europa neste domínio (Tirone 2009). Ainda sobre o tema da oportunidade na construção, as construções metálicas enquadram-se bem num cenário de reabilitação/requalificação urbana, no sentido em que facilitam – tanto do ponto de vista de execução como de custos – a alteração e adaptação das características dos espaços, por não terem elementos estruturais de grande dimensão. Estes princípios coincidem com os preconizados pelo *International Council of Monuments and Sites* (associação da Organização das Nações Unidas) relativamente ao princípio da reversibilidade das intervenções em estruturas existentes (Lourenço 2007).



Figura 2-2 Telhados verdes incorporados nas construções (<http://blog.cerbras.com.br/index.php/confir-as-tendencias-em-construcao-sustentavel/>)

Um modelo de construção sustentável deve assentar em três grandes pilares, de forma a suprir as necessidades multidimensionais do desenvolvimento sustentável (Gervásio 2015):

- Sustentabilidade ecológica, que garanta o controlo de emissões poluentes e desperdícios, tirando partido da optimização dos recursos e energia necessários, e ainda a saúde e bem-estar associados à utilização final do edifício em termos de condições térmicas e de salubridade dos espaços interiores

- Sustentabilidade económica, que permita que os custos de construção e manutenção do edifício sejam equilibrados.

- Sustentabilidade social, garantindo a satisfação dos utilizadores dos espaços e a criação de empregos.

Segundo o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB) (Fernandes 2013), uma construção sustentável deve cumprir os seguintes princípios durante todo o seu ciclo de vida:

- Redução do consumo de recursos;
- Reutilização de recursos;
- Utilização de recursos recicláveis;
- Protecção do ambiente;
- Eliminação de produtos tóxicos;
- Análise de custos ao longo do ciclo de vida;
- Preservação da qualidade e do conforto dos espaços interiores.

Com o aumento da consciencialização da sociedade para a problemática da sustentabilidade, os princípios listados acima têm progressivamente vindo a assumir maior importância no que toca à venda de produtos e comercialização de imóveis, pelo que, paralelamente aos benefícios inerentes à sustentabilidade, a satisfação de tais princípios deverá ser encarada também como uma mais-valia e uma oportunidade de mercado (Mateus 2009).

## 2.3 MATERIAL AÇO

### 2.3.1 PROPRIEDADES

A utilização do aço como elemento estrutural na construção civil é de grande interesse, visto que a sua capacidade de suporte de cargas externas em relação ao seu peso próprio é bastante elevada, sendo as secções de aço muito mais eficientes que o betão.

A caracterização do tipo de aço é feita com base na quantidade de carbono que o constitui, sendo que as percentagens nominais de carbono variam entre 0,15% a cerca de 2%. O teor de carbono faz variar significativamente propriedades importantes dos aços como a resistência mecânica, a ductilidade, a dureza ou a facilidade de soldadura. Os aços estruturais usados de forma corrente na construção são aços de baixo teor de carbono que têm na sua composição no máximo 0,3% de carbono.

Para efeitos práticos e de cálculo, a resistência do aço baseia-se em ensaios de tracção, visto que a esbelteza das peças de aço limita bastante a sua resistência à compressão, não por motivos de esmagamento das secções, mas por efeitos de encurvadura.

Um aço corrente tem uma curva típica de tensão/deformação semelhante à representada na Figura 2-3 Gráfico típico de um metal submetido a um ensaio de tracção uniaxial, relativa a um ensaio de tracção uniaxial. Da análise deste tipo de ensaio, podem retirar-se as seguintes relações relativamente às propriedades mecânicas do aço:

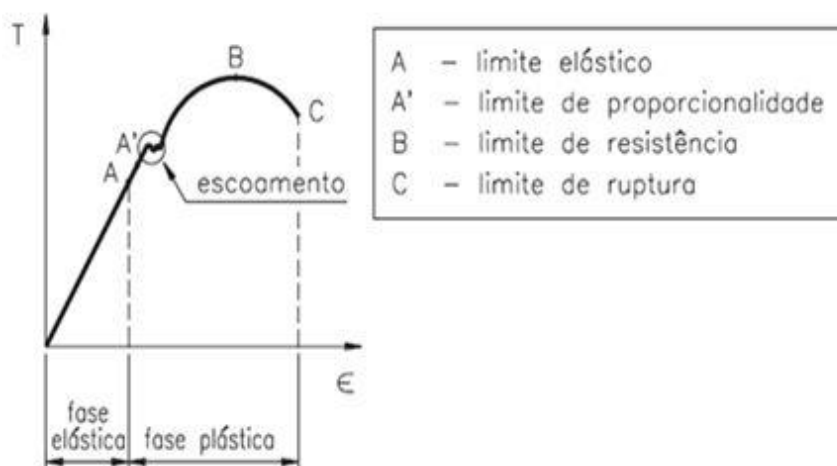


Figura 2-3 Gráfico típico de um metal submetido a um ensaio de tracção uniaxial  
(<http://www.infoescola.com/fisica/ensaio-de-tracao/>)

Numa primeira fase, a curva tem uma variação linear, correspondente à deformação elástica. A elasticidade traduz-se na capacidade do material para recuperar na totalidade a sua forma inicial, caso as cargas actuantes sejam retiradas nesta fase. O declive desta recta, representa o módulo de elasticidade ou módulo de *Young* ( $E$ ). Tipicamente este valor é de cerca de 210 GPa para os aços estruturais, sendo esta a principal medida de rigidez do material. A máxima tensão suportada no regime elástico designa-se por tensão de cedência,  $\sigma_{ced}$  ou  $f_y$ . Este valor é, por norma, difícil de determinar com base na curva tensão/deformação, embora existam diversos métodos para o obter (Colaço 2005).

A área por baixo do gráfico tensão-deformação em regime elástico representa a resiliência, e representa a energia que o material dissipa de forma reversível.

Quando o material esgota a sua capacidade elástica, dá-se a entrada em regime plástico, facilmente distinguível no gráfico por corresponder ao troço da curva de variação não linear. Nesta fase, qualquer incremento de deformação é irreversível, recuperando-se apenas a deformação referente à extensão elástica. Constata-se ainda que, para haver um aumento da deformação plástica, é necessário que a tensão aplicada aumente. A deformação máxima observada corresponde ao início do processo de rotura, que conduz à fractura do provete (Colaço 2005).

A área por baixo do gráfico tensão-deformação na fase plástica representa a energia absorvida pelo material durante o processo e é uma medida da tenacidade do aço (Colaço 2005).

O facto de o aço sofrer deformações consideráveis antes de entrar em rotura, é uma característica importante para o seu desempenho enquanto material estrutural, uma vez que estas deformações podem servir de alerta para uma eventual rotura iminente.

### 2.3.2 DURABILIDADE

O aço normal, sem estar protegido, entra num processo de corrosão quando sujeito a uma humidade relativa do ar superior a cerca de 60%, situação esta que é bastante frequente em Portugal. Esta situação pode ser substancialmente agravada no caso de ambientes marítimos ou industriais (BCSA Ltd. 2003).

Existem, no entanto, mecanismos de protecção adicional dos elementos metálicos, que consistem essencialmente na aplicação ou de uma barreira superficial que previne o contacto com agentes exteriores corrosivos (pintura), ou de uma camada de outro metal que é corroído ao invés do aço que se pretende preservar (galvanização) (Moreira 2012).

O processo de galvanização, utilizado principalmente nos perfis de aço enformados a frio, consiste na imersão dos perfis num banho de zinco a cerca de 450 °C, ficando estes protegidos por uma camada exterior de zinco, onde ocorre o processo de corrosão (Moreira 2012).

Estes processos conferem aos perfis de aço estrutural uma resistência à corrosão satisfatória mesmo em meios expostos a agentes agressivos, o que resulta numa durabilidade elevada das peças de aço (Gomes 2015; Landolfo 2010).

### 2.3.3 RECICLAGEM

Uma das características mais interessantes do aço é o facto de poder ser utilizado inúmeras vezes, passando por vários processos de reciclagem, sem que sejam postas em causa nenhuma das suas propriedades (Gervásio 2015).

Os perfis de aço têm uma taxa de aproveitamento que ronda os 98%. Para além dessa taxa de reaproveitamento elevada, sem redução da qualidade do material, os perfis de aço são de fácil desmontagem e reutilização quando comparados com outras soluções construtivas mais pesadas.

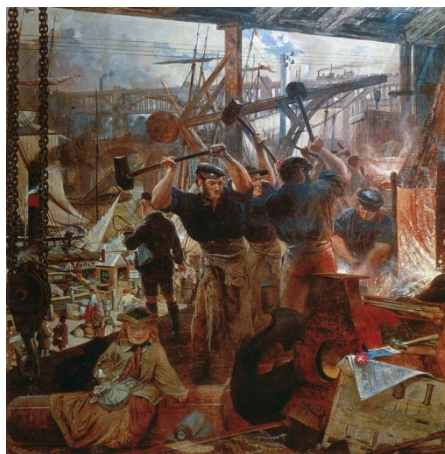


*Figura 2-4 Reciclagem do aço*

A reciclagem do aço é hoje em dia um processo relativamente simples, passando pela trituração dos resíduos provenientes da desmontagem (ver Figura 2-4). Posteriormente, o produto deste processo é derretido e refinado, ficando pronto para constituir a matéria-prima de novos perfis.

#### 2.3.4 CONSTRUÇÃO METÁLICA

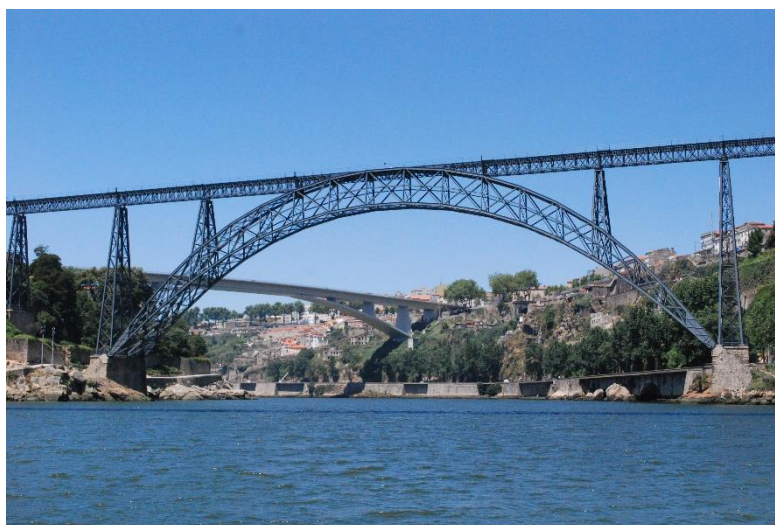
Com a revolução industrial e consequente introdução de máquinas a vapor para fabrico de aço em altos-fornos, a civilização e a interação do homem com as cidades sofreram metamorfoses muito importantes, documentadas em diversas criações artísticas (ver Figura 2-5).



*Figura 2-5 "Ferro e Carvão" Obra de William Bell Scott que ilustra o período da revolução industrial em Inglaterra (<http://paintingdb.com/s/9679/>)*

O sector ferroviário despontou em Inglaterra com a ligação Liverpool-Manchester em 1830, e nos 15 anos subsequentes foram realizados cerca de 10.000 km de ferrovias. Após Inglaterra, a expansão dos caminhos-de-ferro, contagiou os Estados Unidos da América onde, durante a segunda metade do século XIX, se construíram mais de 80.000 km de vias ferroviárias. A importância da construção destas infra-estruturas veio a revelar-se crucial ao nível do transporte de mercadorias e do desenvolvimento económico das populações (Evans and Ridén 2005).

No final do século XIX, a predominância das estruturas metálicas teve como grande marco a construção da Torre Eiffel, em Paris. Construída para celebrar o centenário da Revolução Francesa, o projecto da Eiffel Construction Métallique veio a tornar-se uma das estruturas metálicas mais conhecidas em todo o mundo. Note-se que Gustav Eiffel teve um papel preponderante no desenvolvimento das estruturas metálicas na época, já que esteve envolvido em projectos como a Cúpula do Observatório em Nice, a Ponte D. Maria Pia no Porto (ver Figura 2-6) e ainda colaborou na estrutura interna da Estátua da Liberdade, oferecida pela França aos Estados Unidos da América 100 anos após a Declaração de Independência.



*Figura 2-6 Ponte D. Maria Pia – Porto*

A construção metálica é geralmente associada a projectos de arquitectura singular e ousada ou a edificações de grande porte. Porém, existem outras formas de aplicação deste material na construção, nomeadamente em edifícios de habitação. O conceito do Light Steel Framing (LSF), que consiste em estruturas de perfis de aço leve galvanizado, é um sistema que se pode adequar a empreendimentos de habitação social, dada a sua modularidade e montagem industrializada, sendo os perfis enformados a frio montados de forma sistemática, rápida e praticamente sem gerar resíduos (Geraldés 2013).

Nos países onde este tipo de solução tem vindo a ganhar quota de mercado, as principais vantagens invocadas pelos donos de obra são a rapidez da montagem, o conforto térmico e acústico, a versatilidade dos espaços e a pouca variabilidade do custo final (Liubartas et al. 2015).

## 2.4 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE CONSTRUÇÕES COM ESTRUTURA EM AÇO

Facilmente se consegue compreender que, sendo o conceito de sustentabilidade difícil de ser medido, surge a necessidade de criar padrões e métodos de avaliação para que se possa contabilizar quão sustentável é um projecto de construção e também para que seja possível efectuar comparações objectivas com outras soluções alternativas.

O aumento da importância dada à construção sustentável deu origem à criação de várias ferramentas que servem o propósito de promover e incentivar o desenvolvimento da indústria de construção nesse sentido, chegando as mesmas a fazer parte do enquadramento legislativo de alguns países mais desenvolvidos. Não obstante, para se conseguir a expansão desta prática, terá de se incrementar o desenvolvimento e a divulgação deste tipo de mecanismos.

Existem vários métodos desenvolvidos em todo o mundo, os quais avaliam parâmetros diferentes e procedem a ponderações distintas. Tais diferenças fazem sentido uma vez que, em diferentes zonas do planeta, variam os recursos disponíveis localmente ou as necessidades de um edifício durante o seu ciclo de vida, sendo, pois, natural que se ajustem as formas de cálculo do balanço energético. Assim, nenhuma das metodologias tem uma aceitação abrangente à escala global, devido a diferenças políticas, de desenvolvimento tecnológico, culturais e socioeconómicas. Acresce ainda o facto de o conceito de sustentabilidade ser subjectivo e variar ao longo do tempo, o que também contribui para que haja dificuldade em aplicar o mesmo método em diferentes países e regiões (Mateus 2009).

De qualquer modo, os métodos de avaliação são instrumentos de grande utilidade para a consciencialização de todos aqueles que participam no ciclo de vida de um edifício, nomeadamente os projectistas, que deverão ter em conta a poupança de energia e as condições de conforto interiores nas suas tomadas de decisão.

O “Sustainable Buildings Project” da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (“OECD” 2016) define os seguintes requisitos (Koukkari et al. 2011):

- Optimização de recursos;
- Eficiência energética;
- Redução de emissões;

- Prevenção da poluição;
- Avaliação do impacto ambiental;
- Abordagem integrada e sistemática dos diversos aspectos relacionados com o desenvolvimento sustentável.

A maioria dos pontos acima coincide perfeitamente com os critérios adoptados pelos métodos de avaliação de sustentabilidade existentes.

A construção de edifícios com estrutura em aço leve é bastante interessante em termos de sustentabilidade, apresentando por norma custos de construção baixos, não só por ter menor intervenção de mão-de-obra (apesar desta ter de ser especializada), mas também pela reduzida percentagem de desperdício de materiais. Estruturas em LSF têm elevada resistência e boa durabilidade; o seu tempo de construção é cerca de um terço comparativamente à construção convencional; permitem ainda um elevado índice de isolamento térmico, o que implica maior conforto do espaço interior e ainda uma poupança energética significativa em termos dos sistemas de climatização e por consequência menos emissões de gases poluentes.

Finalmente, refira-se que um dos principais desafios para a implementação do paradigma da construção sustentável é o estabelecimento de uma metodologia sistemática e versátil que facilite a concepção de edifícios e permita encontrar o melhor equilíbrio entre os vários factores subjacentes ao conceito de sustentabilidade.

#### 2.4.1 BREEAM

A metodologia BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology* - surgiu em Inglaterra em 1990, com o objectivo de introduzir um método de avaliação de sustentabilidade para projectos, infra-estruturas e edifícios, tendo sido a primeira grande agência concebida com este propósito.

A metodologia BREEAM foi a primeira referência dentro dos métodos de avaliação da sustentabilidade na construção e é actualmente a mais utilizada a nível mundial.

Segundo esta metodologia, o processo de avaliação tem em conta as fases de concepção, construção, operação e manutenção do edifício, e tem como base os seguintes parâmetros, sujeitos à aplicação de pesos ponderados:

- Eficiência energética das soluções construtivas, bem como dos equipamentos utilizados durante o processo de manutenção e da climatização interior;
- Conforto e segurança no interior, de modo a garantir um ambiente agradável e salubre;

- Utilização do espaço, encorajando a protecção dos habitats naturais e a preservação da biodiversidade nos espaços envolventes;
- Materiais utilizados durante a construção, manutenção e reparação, bem como meios envolvidos na obtenção, fabrico e reciclagem desses materiais;
- Gestão de recursos e das actividades inerentes à utilização do edifício;
- Poluição do ar, sonora, das águas ou dos solos;
- Mobilidade, procurando disponibilizar facilidades de acesso aos utilizadores e alternativas às deslocações em carros individuais (aspecto particularmente importante em grandes centros urbanos);
- Produção de resíduos;
- Inovação, procurando valorizar medidas inovadoras que se apresentem como vantajosas do ponto de vista da sustentabilidade.

Os pesos correspondentes a cada um dos parâmetros assinalados acima encontram-se indicados na Figura 2-7.

Environmental section	Weighting
Management	12%
Health & Wellbeing	15%
Energy	19%
Transport	8%
Water	6%
Materials	12.5%
Waste	7.5%
Land Use & Ecology	10%
Pollution	10%
Total	100%
Innovation (additional)	10%

*Figura 2-7 Atribuição de pesos pelo método BREEAM*

Da aplicação destes critérios, resulta uma avaliação final inserida numa escala de Aceitável, Bom, Muito Bom, Excelente ou Excepcional, consoante o valor do índice BREEAM obtido (ver Figura 2-8). É de referir ainda que os critérios utilizados se adaptam ao local do edifício, às respectivas condições climáticas e ao tipo de construção, nova ou a reabilitar. As estatísticas mostram que apenas 1% dos edifícios submetidos a esta avaliação obtêm uma classificação de Excepcional. Tais edifícios estão, pois, numa situação de exclusividade que pode ser aproveitada como uma mais-valia em termos comerciais.

BREEAM Rating	% score
OUTSTANDING	≥ 85
EXCELLENT	≥ 70
VERY GOOD	≥ 55
GOOD	≥ 45
PASS	≥ 30
UNCLASSIFIED	< 30

Figura 2-8 Tabela de classificação BREEAM

O objectivo da classificação BREEAM passa por alertar as entidades envolvidas em todo o ciclo de vida dos edifícios (donos de obra, projectistas, empreiteiros e utilizadores finais) para a importância e necessidades de controlo de custos, tendo em vista uma gestão otimizada dos recursos de construção e manutenção.

Actualmente, segundo a plataforma oficial, o BREEAM encontra-se implantado em mais de 70 países, tendo cerca de 2 milhões de edifícios registados e tendo atribuído 550 mil certificados de sustentabilidade.

## 2.4.2 LEED

A *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) foi criada por uma organização não-governamental norte-americana no final da década de 90 do século XX.

Existem no mercado várias versões da metodologia LEED consoante a sua aplicabilidade, estando esta preparada para construções novas, para manutenção de edifícios existentes, espaços comerciais interiores, habitações e desenvolvimento da envolvente de edifícios.

A metodologia LEED apresenta elevados índices de aceitação no mercado, estando este sistema de avaliação presente em 135 países em todo o mundo. Os principais benefícios promovidos por este tipo de certificação são:

- Redução de custos de operacionalidade;
- Redução de resíduos produzidos no durante o ciclo de vida;
- Controlo de gastos energéticos;
- Salubridade dos espaços;
- Redução de emissão de gases tóxicos para a atmosfera.

O LEED tem como princípio básico a contabilização dos impactos ambientais utilizando métodos de modelação energética, análise de ciclos de vida e consumos energéticos relacionados com o transporte (Fernandes 2013). O sistema define vários critérios para cada categoria de avaliação, sendo a pontuação final da avaliação a soma de todas as categorias abordadas. (“LEED 2012” 2012) O LEED é um sistema altamente flexível e desta forma contempla subsistemas de avaliação que permitem variar as características físicas e de utilização do edifício.

O sistema de pontuação tem pré-requisitos mínimos, levando o seu não cumprimento à inviabilização da certificação LEED.

Os resultados da avaliação resultam numa classificação que vai de um mínimo de “Certificado” até à classificação de “Platina” (no caso de o edifício ser avaliado com a pontuação máxima), passando pelas categorias de “Prata” e “Ouro”.

O programa LEED disponibiliza uma lista dos dez edifícios que, em todo o mundo, obtiveram melhor classificação a nível global, os quais são apresentados no quadro seguinte.

Robert Redford Building	Califórnia (EUA)
Bank of America Tower	Nova Iorque (EUA)
Clinton Presidential Library	Arkansas (EUA)
Sohrabji Godrej Green Business Centre	Hyderabad (Índia)
Queens Botanical Garden Visitor and Administration Center	Nova Iorque (EUA)
Centre for Interactive Research on Sustainability	Vancouver (EUA)
La Maison du Développement Durable	Quebec (Canadá)
Alberici Corporate Headquarters	Missouri (EUA)
Residence Antilla	Mumbai (Índia)
Crystal Island	Moscovo (Rússia)

*Quadro 2-1 Os dez edifícios com melhor classificação segundo o LEED*

Este tipo de ranking poderá trazer para a indústria da construção uma competitividade saudável a nível internacional, que se traduza numa maior preocupação com o cumprimento dos tratados e princípios ambientais.

### 2.4.3 LIDERA

LiderA (“LiderA – Sistema de Avaliação da Sustentabilidade” 2016), o primeiro método Português para avaliação da sustentabilidade na construção foi criado em 2005 e visa certificar a sustentabilidade de edifícios com base em critérios económicos, ambientais e sociais. Actualmente começa a ser integrado no mercado com alguma aceitação, em edifícios de cariz habitacional, de comércio e outros serviços (Fernandes 2013).

As ideias fundamentais são partilhadas com o sistema LEED, visto que foi nele que se inspirou o LiderA. Este sistema de avaliação tenta promover princípios como:

- Medidas de planeamento e concepção que incentivem a sustentabilidade;
- Valorização das construções e introdução de um factor de diferenciação em termos de competitividade;
- Preservação da envolvente;
- Gestão de recursos equilibrada;
- Garantia de qualidade e de salubridade dos espaços;

Os critérios que constituem a análise (ver Figura 2-9) são avaliados e cada um deles tem como resultado 10 níveis possíveis de G a A<sup>+++</sup>, por ordem crescente de desempenho. A classificação final resulta da ponderação da avaliação dos vários critérios de análise e tem como resultados possíveis os mesmos referidos anteriormente. No entanto a classificação ambiental LiderA é exclusivamente atribuída a edifícios que obtenham resultados acima de C.

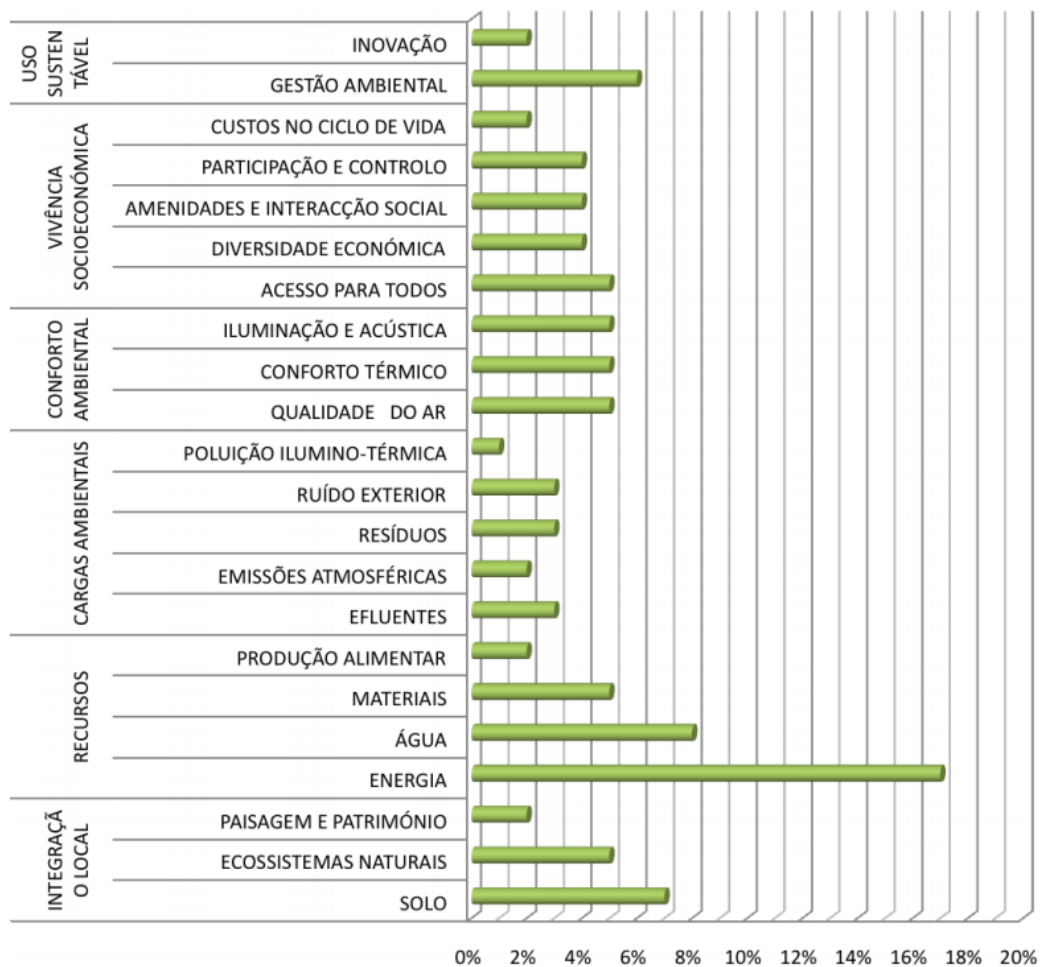


Figura 2-9 Ponderação dos diferentes critérios aplicando o LiderA

#### 2.4.4 CASBEE

O *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency* (CASBEE), foi criado e desenvolvido no Japão e tem dois grandes focos: um direccionado para a construção nova e outra para o edificado existente. Este sistema visa premiar edifícios que respeitem políticas de desenvolvimento sustentável, promovendo para tal, incentivos junto dos projectistas e construtores.

Embora tenha sido concebido com o propósito de ser de simples aplicação para mercado asiático e em particular para o Japão, o CASBEE é bastante versátil na medida em que pode ser aplicado a uma vasta gama de edifícios, independentemente da sua funcionalidade, dimensão ou estrutura. (“CASBEE” 2016)

#### 2.4.5 SBTOOL<sup>PT</sup>

O *Sustainable Building Tool*<sup>PT</sup> (“SBTool PT” 2016) teve como origem o sistema internacional SBTool (“SBTool | *International Initiative for a Sustainable Built Environment*” 2016), que por sua vez derivou de uma das primeiras iniciativas que surgiram no final do século passado para promover a avaliação da sustentabilidade das construções, a *Green Building Tool* (“*Green Building Tool*”).

Este sistema conta com a participação de cerca de 20 países e tem como grande princípio a adaptação às características de cada país, permitindo que os parâmetros se ajustem aos factores ambientais, sociais e económicos locais.

O SBTool foi inicialmente desenvolvido por uma agência sem fins lucrativos, *international initiative for the Sustainable Built Environment* (iiSBE) e a sua adaptação para a versão portuguesa foi feita em colaboração desta associação com o Laboratório de Física e Tecnologia da Universidade do Minho.

O campo de aplicação do SBTool<sup>PT</sup> abrange a avaliação da sustentabilidade de edifícios existentes bem como os processos de construção nova e de reabilitação. O método consiste na determinação do desempenho dos parâmetros definidores do edifício e posterior comparação com valores de referência. O sistema visa (Fernandes 2013):

- A aplicação de uma metodologia global em conformidade com as normas ISO e que tenha ao mesmo tempo características que possam ser adaptadas ao local;
- Avaliar a sustentabilidade social, ambiental e económica no âmbito da construção;
- Aumentar a objectividade dos critérios de avaliação;
- Facilitar a compreensão da informação de forma transversal a todos os intervenientes do processo de construção.

Os resultados da apreciação e avaliação do método SBTool<sup>PT</sup> resultam numa classificação qualitativa que vai do nível A - mais sustentável - até ao nível E – menos sustentável.



## 3 MÉTODO PARA ANÁLISE NO CASO DE ESTUDO

### 3.1 LIDERA

O LiderA foi o sistema escolhido para aplicação ao caso de estudo em questão, não só por ser um sistema local adaptado às necessidades específicas da realidade portuguesa, mas também pelo facto de o autor pretender valorizar o conhecimento desenvolvido nas instituições de ensino em Portugal. O sistema visa avaliar o impacto ambiental associado a um determinado edifício.

Este sistema surgiu no âmbito de uma investigação levada a cabo pelo professor Manuel Pinheiro no Instituto Superior Técnico e cujo objectivo foi criar uma marca ao nível do desempenho energético e sustentabilidade para aplicação nos Países de Língua Oficial Portuguesa. Na Figura 3-1, encontram-se esquematizadas as diversas vertentes sobre as quais incide o LiderA.

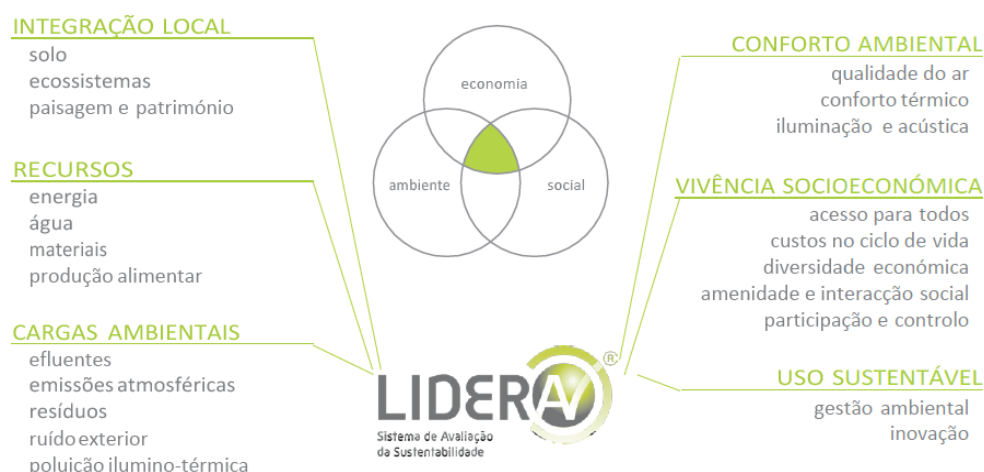


Figura 3-1 Esquema de apresentação do LiderA

O sistema LiderA pretende definir critérios assentes numa lógica de eficiência energética, abrangendo técnicas que não se limitem ao cumprimento da legislação estabelecida. Por outro lado, pode funcionar como referência no sentido de permitir evidenciar em que medida os edifícios se podem tornar mais sustentáveis (Barbosa 2008).

Esta metodologia apresenta a seu favor um ponto bastante interessante, que é o facto de ser possível avaliar e comparar soluções ou desempenhos em cada critério. Os critérios a aplicar estão separados segundo várias vertentes a seguir detalhadas.

### 3.1.1 INTEGRAÇÃO LOCAL

Depende essencialmente da localização, alterações ecológicas introduzidas, valorização da paisagem e do património e integração com os habitats. No Quadro 3.1 é possível consultar os critérios e os pesos correspondentes, de acordo com a sua importância na avaliação global.

vertentes	área	wi	critérios	nº crit.
integração local	solo	7%	valorização territorial	C1
			optimização ambiental da implantação	C2
	ecossistemas naturais	5%	valorização ecológica	C3
			interligação de habitats	C4
6 critérios	paisagem e património	2%	integração paisagística	C5
14%			protecção e valorização do património	C6

Quadro 3-1 – Integração local: áreas e critérios considerados

**(C1) Valorização territorial** – Consiste na avaliação de construção de modo a que assegure a menor ocorrência de impactos para os solos. A possibilidade de determinado empreendimento valorizar um local, um bairro ou uma área específica é valorizado neste critério. Do ponto de vista da avaliação deve ser analisado o estado e uso do solo a intervir e averiguar as restrições do Plano Director Municipal (PDM) em vigor.

**(C2) Optimização ambiental da implantação** – Tem em conta os limites da cêrcea do edifício; por outro lado, é avaliada a forma como é adequada a área de implantação e dos espaços construídos, de acordo com a sensibilidade ambiental dos espaços.

**(C3) Valorização ecológica** – Por norma, uma construção reduz o valor ecológico de um local; contudo este fenómeno pode ser revertido, ou pelo menos atenuado, pela intervenção humana direccionada para o aumento da biodiversidade local, de capacidade de suporte das actividades ecológicas, nomeadamente o ciclo da água.

**(C4) Interligação de habitats** – O edificado deve integrar as zonas naturais existentes, minimizando os impactos sobre as mesmas e salvaguardando o ecossistema e as interacções da biodiversidade, evitando que esta seja afectada pela construção.

**(C5) Integração paisagística** – A importância da arquitectura não deve ser esquecida, uma vez que sem esta não é possível assegurar uma ligação integrada entre a

paisagem natural na envolvente de um edifício e o próprio edifício. Devem para isto ser respeitadas as dinâmicas urbanísticas integradas.

**(C6) Protecção e valorização do património** – É importante preservar e proteger o património existente. Com o património tem uma importância muito relevante e inclusivamente confere uma identidade local própria, pelo que, deverá ser preservado e valorizado através de meios arquitectónicos adequados.

### 3.1.2 RECURSOS

Os recursos energéticos, a água e os materiais consumidos no enquadramento da sustentabilidade são preponderantes na medida em que garantem o equilíbrio ambiental. No Quadro 3.2, apresentam-se os critérios e os pesos associados a esta vertente.

vertentes	área	wi	critérios	nº crit.
recursos	energia	17%	eficiência nos consumos e certificação energética	C7
			desenho passivo	C8
			intensidade em carbono	C9
	água	8%	consumo de água potável	C10
			gestão das águas locais	C11
	materiais	5%	durabilidade	C12
			materiais locais	C13
			materiais de baixo impacte	C14
	9 critérios			
32%	produção alimentar	2%	produção local de alimentos	C15

Quadro 3-1 Consumo de recursos: áreas e critérios considerados

**(C7) Eficiência nos consumos e certificação energética** – Está directamente relacionada com o consumo de energia associado ao edificado, e conseqüentemente com a sua eficiência e necessidades energéticas que satisfaçam os padrões de conforto como a climatização interior.

**(C8) Desenho passivo** – Medidas pensadas em fase de projecto e adoptadas na fase de construção que possam ter influência na eficiência energética e por consequência levem a uma redução, por vezes substancial, das necessidades de consumo.

**(C9) Intensidade em carbono** – Estabelece o rácio do carbono emitido, considerada a utilização de fontes de energia renováveis e energias não renováveis. Idealmente, pretende-se que toda a utilização energética provenha de fontes renováveis.

**(C10) Consumo de água potável** – A gestão deste recurso tem vindo a ganhar uma importância muito significativa, pelo que uma estratégia de utilização sustentável passe pela redução deste consumo. Esta redução pode passar pela adequação da sua utilização, mas também pela sua eventual reutilização.

**(C11) Gestão das águas locais** – O ciclo natural da água é uma das peças fundamentais para o equilíbrio do ecossistema, pelo que deve ser preservado através da infiltração no solo e drenagem para linhas de água naturais, evitando contaminações.

**(C12) Durabilidade** – A durabilidade dos materiais afecta directamente o consumo, pelo que é necessário garantir uma boa durabilidade, uma vez que esta leva também a uma minimização dos encargos ambientais e económicos ao longo do ciclo de vida do edificado.

**(C13) Materiais locais** – O consumo de materiais está associado aos custos ambientais e económicos do transporte do local de produção até ao local da sua aplicação. Para além de redução de custos de transporte, a utilização de materiais disponíveis no local (até um raio de 100 km) pode ser uma solução bastante interessante do ponto de vista económico, já que é uma forma de apoiar e dinamizar as economias locais.

**(C14) Materiais de baixo impacto** – Visa incentivar a utilização de materiais de reduzido impacto ambiental, tanto na sua produção como durante a sua vida útil. As entidades fornecedoras de materiais devem procurar essencialmente produtos certificados ambientalmente por sistemas de certificação reconhecidos.

É de notar que os materiais utilizados na estrutura têm uma importância fundamental para os critérios C12, C13 e C14. Assim, uma escolha criteriosa e uma aplicação racional de materiais pode traduzir-se em ganhos significativos no resultado final relativamente a outras soluções.

**(C15) Produção local de alimentos** – Embora possa não ter um peso significativo em termos de quantidade de alimentos produzidos para consumo dos utilizadores, principalmente em meios urbanos onde os espaços são reduzidos, pretende-se que este tipo de hábito seja incentivado atendendo à sua importância social, uma vez que poderá levar à interacção das pessoas, como acontece nas hortas sociais.

### 3.1.3 CARGAS AMBIENTAIS

Não só durante a fase de utilização de um edifício, mas também no decorrer da construção, existe uma carga ambiental gerada pelas emissões atmosféricas, desperdício de resíduos e poluição sonora. Esta vertente foca este tipo de aspectos, escrutinando a relação dos edifícios com o exterior. No Quadro 3.3 apresentam-se os critérios e pesos associados a esta vertente.

vertentes	área	wi	critérios	nº crit.
cargas ambientais	efluentes	3%	tratamento das águas residuais	C16
			caudal de reutilização de águas usadas	C17
	emissões atmosféricas	2%	caudal de emissões atmosféricas	C18
			resíduos	3%
	gestão de resíduos perigosos	C20		
	valorização de resíduos	C21		
8 critérios	ruído exterior	3%	fontes de ruído para o exterior	C22
12%	poluição ilumino-térmica	1%	poluição ilumino-térmica	C23

Quadro 3-2 Cargas ambientais: áreas e critérios considerados

**(C16) Tratamento de águas residuais** – Potenciamento de mecanismos de tratamento local, de forma a diminuir a necessidade de recorrer a estações de tratamento de águas, optando por sistemas de tratamento biológicos adequados com baixas necessidades energéticas.

**(C17) Caudal de reutilização de águas usadas** – De forma a incentivar a redução do consumo de água existem vários mecanismos que permitem a reutilização de águas residuais, nomeadamente para utilizações para as quais não seja necessária água potável, como por exemplo autoclismos, irrigação e lavagem de pavimentos exteriores.

**(C18) Caudal de emissões atmosféricas** – Redução das emissões de partículas que originam chuvas ácidas, como os compostos de enxofre e de azoto, originadas em actividades de combustão.

**(C19) Produção de resíduos** – A produção de resíduos ao longo do ciclo de vida de uma estrutura é um dos indicadores mais preocupantes no que toca à componente ambiental numa perspectiva de sustentabilidade. A utilização de soluções que permitam reduzir a produção de resíduos deve ser um compromisso a assumir por todos os intervenientes.

**(C20) Gestão de resíduos perigosos** – Promove a selecção de materiais e resíduos associados, considerando uma diminuição da produção e dos resíduos perigosos e ainda o destino final adequado para os mesmos.

**(C21) Valorização de resíduos** – A reutilização de resíduos e a sua valorização por processos de reciclagem integra grandes benefícios ambientais.

**(C22) Fontes de ruído para o exterior** – Consiste na limitação das necessidades de ruído, promovendo um controlo das fontes de ruído para o exterior e mantendo níveis aceitáveis para o normal decurso das actividades na envolvente. O ruído é um problema

localizado, possivelmente um dos maiores pontos de reclamação da população, com natural foco para áreas residenciais.

**(C23) Poluição ilumino-térmica** – Consiste em dois fenómenos distintos. O primeiro está relacionado com a iluminação por vezes excessiva, essencialmente durante o período da noite, e que pode constituir uma fonte de poluição que poderá ter interferência no ecossistema. O segundo fenómeno está relacionado com a ilha de calor causada pela inércia térmica e correspondente alteração do balanço térmico introduzidos pelo edificado em determinado local.

### 3.1.4 CONFORTO AMBIENTAL

De modo a corresponder aos padrões de conforto nos espaços interiores, de forma a minimizar o gasto de energia para efeitos de climatização dos espaços e controlo da qualidade do ar, aumentando a eficiência energética dos equipamentos e da infra-estrutura utilizados para este fim, existe a necessidade de equacionar soluções optimizadas. No Quadro 3.4, apresentam-se os critérios e os pesos associados a esta vertente.

vertentes	área	wi	critérios	nº crit.
conforto ambiental	qualidade do ar	5%	níveis de qualidade do ar	C24
	conforto térmico	5%	conforto térmico	C25
4 critérios 15%	iluminação e acústica	5%	níveis de iluminação	C26
			conforto sonoro	C27

Quadro 3-3 Conforto ambiental: áreas e critérios considerados

**(C24) Níveis de qualidade do ar** – É necessário que seja feita uma avaliação dos elementos que possam influenciar a qualidade do ar nos espaços interiores, recorrendo a uma disposição arquitectónica que permita ventilação natural. Para melhoria da qualidade do ar exterior podem ser considerados elementos de vegetação natural.

**(C25) Conforto térmico** – Este é um dos requisitos mais valorizados pelos intervenientes em fase de utilização. Este critério tem como objectivo avaliar os mecanismos que contribuem de forma passiva para o controlo da temperatura interior e para a renovação do ar adequados à ocupação dos espaços e às actividades que neles se desenvolvem. Adequados sombreamentos exteriores e amplas áreas de vãos envidraçados são exemplos daquilo que se procura obter com este critério.

**(C26) Níveis de iluminação** – Obtém-se melhor classificação havendo um equilíbrio entre a possibilidade de se terem espaços com luz natural que permita um nível de conforto adequado e um estudo luminotécnico que possa conduzir a iluminação artificial para compensar a eventual falta de luz em determinado espaço.

**(C27) Conforto sonoro** – Níveis de ruído adequados às actividades que se desenrolam nos edifícios, sem comprometer o conforto acústico dos espaços.

### 3.1.5 VIVÊNCIA SOCIOECONÓMICA

Faz parte desta vertente a integração da sociedade no meio em que esta se encontra. A acessibilidade e a mobilidade são talvez os factores com mais relevo nesta vertente uma vez que incorporam a facilidade com que as pessoas se deslocam, os custos associados às deslocações e a qualidade de vida acrescentada pelo aumento da mobilidade. No Quadro 3.5, apresentam-se os critérios e pesos associados a esta vertente.

vertentes	área	wi	critérios	nº crit.	
vivência socio-económica	acesso para todos	5%	acesso aos transportes públicos	C28	
			mobilidade de baixo impacto	C29	
			soluções inclusivas	C30	
	diversidade económica	4%	flexibilidade - adaptabilidade aos usos	C31	
			dinâmica económica	C32	
			trabalho local	C33	
	amenidades e interacção social	4%	amenidade locais	C34	
			interacção com a comunidade	C35	
	participação e controlo	4%	capacidade de controlo	C36	
			condições de participação e governância	C37	
			controlo de riscos naturais (safety)	C38	
	13 critérios			controlo das ameaças humanas (security)	C39
	19%	custos no ciclo de vida	3%	custos no ciclo de vida	C40

Quadro 3-4 Vivência socioeconómica: áreas e critérios considerados

**(C28) Acesso aos transportes públicos** – A criação de condições para a utilização preferencial de transportes públicos é um factor cada vez mais determinante, principalmente

nas grandes metrópoles. De facto, um importante desafio para o presente século será garantir a mobilidade dentro das cidades e em particular nos seus centros, que geralmente são antigos.

**(C29) Mobilidade de baixo impacto** – A redução da necessidade de transporte ou a utilização de meios de locomoção como a bicicleta são aspectos a ter em conta. Por consequência, a criação de infra-estruturas como passeios, ciclovias e estacionamentos adequados fazem parte do processo de desenvolvimento urbanístico.

**(C30) Soluções inclusivas** – Consiste na necessidade de eliminar barreiras que por vezes dificultam ou impedem o acesso ao interior dos edifícios por parte de pessoas com mobilidade reduzida, procurando assim integrar soluções inclusivas. Este assunto durante muito tempo não entrou na agenda dos promotores imobiliários, mas o facto de ter sido integrado na agenda legislativa referente à construção de edifícios conduziu a melhorias significativas.

**(C31) – Flexibilidade – Adaptabilidade aos usos** – Este critério premeia a criação de zonas e espaços modulares e ajustáveis às necessidades dos mesmos e que possam sofrer transformações que satisfaçam as actividades que neles se desenrolam.

**(C32) Dinâmica económica** – Tem em conta a existência de comércio, serviços, infra-estruturas e edifícios que tenham actividades económicas a decorrer e estejam enquadrados com o custo de vida local.

**(C33) Trabalho local** – A existência de postos de trabalho nas imediações é preponderante para o sucesso económico a médio e longo prazo de um edifício com um bom desempenho ao nível do desenvolvimento sustentável, até porque acaba por estar indirectamente ligado aos critérios C28 e C29, referidos atrás.

**(C34) Amenidades locais** – A proximidade de um edifício deve ser encarada como uma mais-valia para os ambientes locais, podendo ser criadas relações simbióticas entre as partes intervenientes.

**(C35) Interação com a comunidade** – É valorizado um edificado cuja população beneficiária possa usufruir dos espaços criados para os mesmos, podendo ser criadas e promovidas actividades desportivas e culturais onde intervenham os ocupantes e que potenciem a interação com a comunidade.

**(C36) Capacidade de controlo** – Mecanismos que permitam aos ocupantes do edifício controlar aspectos como climatização, ventilação ou iluminação, de acordo com as suas necessidades.

**(C37) Condições de participação e governança** – Mecanismos que permitam que os utilizadores possam ter poderes de sugestão e participação activa nas tomadas de decisão relacionadas com as condições de conforto, consumos energéticos ou gestão do espaço.

**(C38) Controlo de riscos naturais** – A relação entre a possibilidade de ocorrência de catástrofes naturais e os materiais e métodos construtivos que assegurem a segurança dos utilizadores.

**(C39) Controlo das ameaças humanas** – Medidas destinadas a assegurar níveis de segurança que minimizem os riscos associados a actos de criminalidade e vandalismo.

**(C40) Custos no ciclo de vida** – Este factor tem enorme relevância para a viabilidade de um empreendimento, sendo talvez aquele que mais interessa aos promotores, pois nele são contabilizados os custos que irão ocorrer ao longo do ciclo de vida.

### 3.1.6 USO SUSTENTÁVEL

A correcta utilização de um edifício é a vertente que tem um maior impacto no seu ciclo de vida, uma vez que à partida é a vertente que terá uma maior duração temporal. No Quadro 3.6, apresentam-se os critérios e os pesos associados a esta vertente.

vertentes	área	wi	critérios	nº crit.
uso sustentável	gestão ambiental	6%	condições de utilização ambiental	C41
			3 critérios	sistema de gestão ambiental
8%	inovação	2%	inovações	C43

Quadro 3-5 Uso sustentável: áreas e critérios considerados

**(C41) Condições de utilização ambiental** – Para o bom funcionamento durante o período de utilização e processos de manutenção, é necessário que estejam disponíveis meios que permitam aos operários ou elementos de manutenção trabalhar de acordo com as especificações de segurança recomendadas.

**(C42) Sistema de gestão ambiental** – Um cenário ideal deve contemplar um sistema de gestão ambiental e de manutenção, tanto no interior como na envolvente do edifício.

**(C43) Inovações** – Este critério premeia e incentiva a utilização de soluções inovadoras e projectos criativos que implementem sistemas que promovam a sustentabilidade, melhorem o desempenho ambiental e as interações socioeconómicas.

A folha de cálculo, para além dos campos a preencher, inclui linhas de orientação daquilo que devem ser boas práticas construtivas e de projecto e que valorizem cada critério individualmente. Tem também instruções de como devem ser feitas as medições necessárias

para proceder à avaliação dos critérios. Para além disto é ilustrada visualmente a importância que cada critério tem em função da fase considerada (planeamento, projecto, construção ou operação). A importância de cada critério em determinada fase é classificada nas seguintes categorias: Quase sem Importância, Reduzida, Importante, Muito Importante ou Essencial.

## 4 CASO DE ESTUDO

### 4.1 DESCRIÇÃO

Pretende-se realizar a avaliação da sustentabilidade de um edifício de pequeno porte em estrutura metálica pela aplicação do LiderA. A análise é efectuada seguindo os procedimentos e as instruções correspondentes ao sistema LiderA, apresentada no capítulo 3.

O caso de estudo é um edifício situado em Lisboa, cujo projecto de arquitectura, da autoria da empresa Camarim Arquitectos, foi gentilmente cedido pelo Arquitecto Vasco Correia.

O edifício, representado nas Figuras 4-1 a 4-3, fica situado na Rua da Palmeira, nº 12, em Lisboa. Foi o primeiro edifício construído no sistema *Light Steel Framing* (LSF) na cidade de Lisboa. É constituído por quatro pisos acima da cota de soleira e por uma cave enterrada.

O edifício tem uma área total construída de 205 m<sup>2</sup> num terreno com 50 m<sup>2</sup>. A estrutura da cave é em betão armado e o restante em sistema LSF, sendo apenas contabilizada para efeitos deste estudo a parte em estrutura metálica. O edifício tem do lado da sua fachada de tardoz um pequeno logradouro de cerca de 10 m<sup>2</sup>.

Em termos de arquitectura, o edifício foi concebido de modo a que todos os pisos estejam interligados por um átrio vertical, proporcionando a entrada de luz natural de forma equitativa em todos os pisos. Esta solução possibilita ainda que o átrio funcione como uma chaminé térmica que permite o arrefecimento passivo dos pisos durante a Primavera e o Verão, bem como uma renovação de ar constante ao longo do ano.



*Figura 4-1: Fachada principal do edifício com orientação a poente*



*Figura 4-2: Fachada principal virada para a Rua da Palmeira*



*Figura 4-3: Vista aérea sobre a envolvente do edifício*

## 4.2 AVALIAÇÃO

A modelação consiste na aplicação e ponderação dos 43 critérios atrás referidos, formulados numa folha de cálculo em Excel, que produz os resultados da avaliação.

A avaliação foi efectuada considerando os pisos acima da cota de soleira e os espaços exteriores envolventes ao edifício, tendo sido realizada com certas limitações, visto não ter sido possível o acesso ao edifício por se tratar de uma propriedade privada. Apesar de ter sido facultado o acesso ao projecto de arquitectura, não foram recolhidos todos os dados que permitissem uma avaliação mais rigorosa, havendo em certas áreas de análise falta de dados importantes. A avaliação foi realizada numa perspectiva de fase de projecto e construção. Seguidamente, procede-se à descrição dos diversos passos da análise.

### 4.2.1 INTEGRAÇÃO LOCAL

Solo – Relativamente à localização do edifício, não foi possível consultar o Plano Director Municipal (PDM) a fim de poder avaliar as suas restrições. Todavia, no âmbito do critério de valorização territorial (C1) foram atribuídos 3 créditos por se considerar a zona do Príncipe Real, em Lisboa, uma zona infra-estruturada com redes de águas e esgotos e uma

zona de contributo para o espaço público o que resulta numa classificação final do critério de C. Quanto à optimização ambiental da implantação (C2), tendo o edifício uma área de implantação de cerca de 40 m<sup>2</sup>, que representa aproximadamente 80% da área total do terreno, atribuiu-se uma classificação de F.

Ecosistemas naturais – A valorização ecológica (C3) foi avaliada com a classificação G, o que se justifica por o edifício não ser dotado de áreas verdes, o que é uma consequência directa da construção estar inserida num meio urbano e numa área bastante limitada. A mesma classificação foi assumida para a interligação de habitats (C4).

Paisagem e património – O cuidado com a integração deste edifício reabilitado, de modo a se inserir na envolvente existente foi uma das preocupações dos arquitectos projectistas, tendo sido inclusivamente mantidos traços da estereotomia dos azulejos da fachada principal. Por esta razão, ao critério que avalia a integração paisagística (C5) atribuiu-se a classificação A. A mesma classificação foi assumida para a valorização e preservação do património (C6).

#### 4.2.2 RECURSOS

Energia – O edifício não tem certificação energética que facilite a verificação expedita das conformidades com os valores mínimos estabelecidos nos Regulamentos RCCTE (Diário da República 2006a) e RSECE (Diário da República 2006b). Por outro lado, e apesar das restrições geométricas do desenho urbanístico que impedem o edifício de estar virado a Sul, a equipa de projectistas dotou a estrutura de sistemas de isolamento térmico adequados às necessidades de utilização, vãos envidraçados com vidro duplo e caixilhos com corte térmico. Assim, de um modo geral considera-se que o desempenho energético através de medidas bioclimáticas satisfaz os requisitos dos critérios de conforto de ar interior. Por estas razões atribuíram-se as classificações de G e A aos critérios de certificação energética (C7) e desenho passivo (C8), respectivamente.

Quanto ao critério de eficiência energética (C9), não foi possível aceder ao interior do edifício para contabilizar equipamentos como electrodomésticos ou lâmpadas e a sua classificação de eficiência energética para poder avaliar devidamente este critério. Atribuiu-se, pois, a classificação G a este critério.

Água – Apesar de a estrutura ser dotada de equipamentos eficientes na gestão de água e na diminuição do consumo, não existem sistemas de reaproveitamento, como por exemplo águas pluviais em zonas impermeabilizadas, nem de monitorização do consumo, pelo que se atribuiu a classificação B aos critérios de consumo de água potável (C10) e gestão das águas locais (C11).

Materiais – No que respeita à utilização de materiais, verifica-se que, através de uma arquitectura contemporânea e minimalista, conseguiu-se otimizar e reduzir o consumo de materiais. Os acabamentos e as instalações apresentam-se em boas condições de durabilidade. Relativamente à estrutura, sendo esta constituída maioritariamente por elementos de aço leve e sendo este um material altamente reciclável, entende-se que tipo de solução oferece vantagens. No entanto, por não se ter acesso a referências dos materiais utilizados nos acabamentos do edifício, atribuiu-se aos critérios de durabilidade (C12), materiais locais (C13) e materiais de baixo impacto (C14) a classificação D.

Não se verifica a existência de espaços destinados à produção alimentar local e que potenciem hábitos de permacultura urbana. Assim, classifica-se a produção local de alimentos (C15) com a classificação G.

#### 4.2.3 CARGAS AMBIENTAIS

A componente ambiental foi considerada em fase de projecto do edifício do ponto de vista das emissões de energia, reduzindo os potenciais gastos com climatização. Contudo não existem mecanismos locais de produção energética, como por exemplo produção de energia solar. Quanto à gestão e consumo de águas, não existe também nenhum sistema de tratamento local de águas, não se fazendo o reaproveitamento das mesmas. Por isto, classificam-se os critérios de tratamento de águas residuais (C16) e caudal de reutilização de águas usadas (C17) com a nota G.

No edifício, a existência de equipamentos de combustão é praticamente inexistente. Assim, avaliou-se o caudal de emissões atmosféricas (C18) com a nota A.

Não foi possível recolher dados relativos à quantidade de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) produzidos no edifício. Todavia, tratando-se de um edifício de habitação unifamiliar, foi classificada a produção de resíduos (C19) com a nota C.

No que toca à gestão de resíduos perigosos (C20), não se verifica a existência de locais para depósito de óleos alimentares, pilhas e lâmpadas, entre outros. Assim, nesta categoria é atribuída ao edifício a classificação E, por cumprir apenas os critérios de eliminação de pesticidas ou semelhantes e de eliminação de cloro para as piscinas. Existe, no entanto, uma central de deposição dos resíduos reciclados, locais para a separação dos resíduos a reciclar e existem nas imediações contentores para deposição de resíduos para reciclagem. Portanto, é atribuída a nota A+ ao item reciclagem de resíduos (C21).

Quanto a fontes de ruído para o exterior (C22), apesar de não ser possível aceder a dados quantitativos de um ensaio acústico rigoroso, nota-se que o projecto de arquitectura preconiza um sistema de isolamento acústico no interior das paredes. A aplicação deste tipo de solução é característica das estruturas em LSF. O critério é, pois, classificado com a nota A+.

Tendo sido o edifício sujeito a um projecto técnico de iluminação que visa o estudo dos efeitos luminosos e a aplicação de armaduras de iluminação de forma criteriosa, classifica-se a poluição lumino-térmica (C23) com a nota A.

#### 4.2.4 CONFORTO AMBIENTAL

Relativamente à qualidade do ar interior, foi contemplado no projecto de arquitectura um sistema de chaminé natural sob a forma de mezanino, que permite a renovação natural do ar e que é ajustada às necessidades de utilização do edifício. O sistema é potenciado pela possibilidade de a caixilharia permitir a circulação de ar. Os espaços interiores do edifício estão desenhados para que seja possível uma ventilação cruzada, ou seja, existem janelas em fachadas opostas em espaços da mesma fracção, o que é uma forma de potenciar a ventilação natural dos espaços e facilitar a renovação do ar interior. Assim é atribuída a classificação A++ ao critério associado aos níveis de qualidade do ar (C24).

Quanto ao conforto térmico (C25), a estrutura tem a desvantagem do seu baixo peso implicar uma inércia térmica menor do que aquela que se verifica em estruturas em betão armado. No entanto, os sombreamentos interiores, o isolamento térmico aplicado e a ventilação adequada dos espaços levam à atribuição da nota B para este critério.

Apesar de não ter sido possível (devido às restrições locais) orientar o edifício a Sul, os níveis de iluminação (C26) são privilegiados, existindo um bom aproveitamento da entrada da luz solar. Os acabamentos interiores nomeadamente, paredes brancas e pavimento em madeira clara, permitem um bom índice de reflexão da luz solar. Classifica-se assim este critério com a nota A.

O critério de isolamento acústico / níveis sonoros (C27), que privilegia edifícios com aplicação de isolamento acústico nas paredes internas, caixilharias estanques e com isolante entre o vidro e o caixilho, vãos com vidros duplos, é classificado com a nota A. Outro factor que contribui para esta avaliação é o facto de o edifício se encontrar numa rua quase exclusivamente habitacional e com poucas fontes potenciais de ruído, à excepção da vizinha Praça do Príncipe Real.

#### 4.2.5 VIVÊNCIA SOCIOECONÓMICA

A zona do Jardim do Príncipe Real não é uma zona onde o acesso aos transportes públicos (C28) seja imediato. A única alternativa ao automóvel é o autocarro, o que faz com que a mobilidade tenha quase inevitavelmente um impacto acentuado. É, pois, atribuída a classificação D a este critério.

Quanto à mobilidade de baixo impacto (C29) é classificada com a nota F porque, como já referido, em termos de transporte, para além do autocarro a única forma de transporte é o automóvel.

No que respeita ao desenho inclusivo no âmbito da mobilidade para todos (C30), o edifício não tem elevador ou qualquer tipo de plataforma que facilite o acesso aos pisos superiores a pessoas com mobilidade reduzida. Não existem nas imediações lugares preferenciais de estacionamento para pessoas com dificuldade de locomoção. Assim, a este critério é atribuída a classificação G.

Uma das vantagens de um edifício com estrutura com elementos metálicos é o facto dessa estrutura ser um sistema modular e cujos elementos são facilmente amovíveis, facilitando a alteração da geometria dos espaços interiores. Assim, para o critério flexibilidade / adaptabilidade aos usos (C31) atribui-se a classificação A++.

Quanto ao critério de dinâmica económica (C32), tratando-se de um edifício de habitação unifamiliar, não existe a eventual possibilidade de arredar ou rentabilizar espaços comuns. Por outro lado, o edifício está situado numa rua com acesso directo à Praça do Príncipe Real, zona de actividade económica razoável. Atribui-se então a classificação C. As mesmas considerações aplicam-se ao critério de trabalho local (C33), ao qual se atribui igual classificação.

Em termos de diversidade económica, existe uma grande actividade na zona em questão, nomeadamente serviços bancários, restauração e comércio. Outro aspecto que é interessante considerar reside no facto desta zona histórica da cidade de Lisboa assistir actualmente a uma mistura geracional no sentido em que existem ainda bastantes idosos a residir neste bairro, mas por outro lado verifica-se um fluxo de jovens que vêm viver para o centro da cidade. Esta pode ser uma relação simbiótica que ajude a criar dinâmicas sociais importantes. Por isto, atribuiu-se aos critérios de amenidades locais (C34) e integração com a comunidade (C35) a nota A+.

A capacidade de controlo (C36) visa fazer o rastreamento das possibilidades de ajustamento por parte dos utentes dos níveis de temperatura, humidade, ventilação natural e artificial, sombreamento e iluminação. Atendendo aos equipamentos de climatização instalados, aos sombreamentos nas janelas e aos vãos envidraçados, atribui-se a classificação A a este critério.

Uma vez que não se acompanhou o processo desde a fase inicial do projecto nem durante a construção para perceber qual o tipo de eventuais problemas ou animosidades criadas por parte do dono de obra junto da vizinhança, classificou-se o critério de condições de participação e governança (C37) com a nota G.

Quanto ao controlo de riscos naturais (C38), o edifício foi sujeito a um projecto de estabilidade da estrutura, elaborado por uma equipa de projectistas com experiência neste tipo

de solução e que contemplou na fase de projecto as acções do vento e sismo. Por esta razão, estão à partida asseguradas as condições de segurança estrutural do edifício, pelo que se adopta a classificação A+.

Relativamente ao controlo de ameaças humanas (C39), estando o edifício inserido numa zona histórica da cidade de Lisboa, sem particular registo de índices de criminalidade elevado e com policiamento frequente, é atribuída a nota B.

A contabilização dos custos associados ao ciclo de vida de um edifício permite ter uma visão global sobre o mesmo do ponto de vista financeiro. Pode inclusivamente servir de ferramenta para auxiliar a tomada de decisões na escolha de materiais ou equipamentos. Nesta análise são contabilizados os custos que vão para além dos limites do processo de construção e de utilização (Caldas et al. 2016). Assim, devem ser incluídos os impactos ambientais desde a obtenção da matéria-prima necessária ao fabrico dos materiais, os consumos energéticos associados e também o destino ou reaproveitamento dos resíduos provenientes da utilização do edifício e de um eventual desmantelamento das instalações. A análise do ciclo de vida permite ainda comparar impactos ambientais entre dois sistemas distintos (Júnior 2012).

Para auxiliar à obtenção de uma estimativa, ainda que aproximada, dos custos no ciclo de vida, o edifício foi modelado num *software* simples disponibilizado pela Arcelor Mittal, o AMECO (ArcelorMittal 2016).

Esta ferramenta tem em conta a caracterização geométrica e física do edifício e da sua envolvente, considerando as áreas de fachadas expostas, as áreas de vãos envidraçados e as características dos materiais utilizados. São também contabilizados dados como elementos estruturais e sua composição e ainda dados relativos à utilização e ocupação do edifício como por exemplo sistemas de climatização de Águas Quentes Sanitárias (AQS).

Para o programa fornecer resultados, foi necessário proceder à introdução de dados simples relativos à estrutura, como se pode ver na Figura 4-4.

**Definição do edifício**

**Parâmetros gerais**

Comprimento das fachadas Norte - Sul	8,1	m	
Comprimento das fachadas Este - Oeste	6,4	m	
Altura de cada piso/andar	3	m	
Pé-direito	2,7	m	
Número de pisos intermédios	4		
Área dos pisos intermédios	208,9136	m <sup>2</sup>	
Área total do edifício	261,1	m <sup>2</sup>	
Apenas estrutura?	Não		
Tipo de edifício	Residencial		

**Localização**

País	Portugal
Localização	Lisbon
<input type="button" value="Mostrar"/>	

**Definição da envolvente do edifício**

**Fachada**

Orientação	Norte	Este	Sul	Oeste	
Área da fachada	121,65	96,6	121,65	96,6	m <sup>2</sup>
Área das aberturas (ex:janelas)	0	23	0	1,2	%

**Características da fachada**

Tipo de parede exterior	Parede leve em aço enformado a frio (XPS)	
U das paredes exteriores	0,296	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Tipo de envidraçado	Vidro duplo	
U dos vãos envidraçados	2,9	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Tipo de dispositivo de sombreamento e cor	Cortinas opacas interiores	
Tipo de dispositivo de proteção noturna	Cortinas opacas interiores	

**Definição do piso térreo do edifício**

**Piso térreo**

U do pavimento térreo	0,599		W/(m <sup>2</sup> ·K)
Tipo de piso térreo	Laje suspensa		
Espessura da laje de betão do piso térreo	0,25		m
Peso da armadura de reforço	168		t
Capacidade térmica interna do piso térreo	50000		J/(m <sup>2</sup> ·K)
Capacidade térmica interna dos pisos intermédios	50000		J/(m <sup>2</sup> ·K)
Capacidade térmica interna das paredes interiores	26782		J/(m <sup>2</sup> ·K)

Key:  
 1. Room slab  
 2. Height of floor surface above outside ground level  
 3. Internal resistance of floor construction  
 4. External thermal resistance of ground

**Dados relacionados com a ocupação**

**Requisitos de conforto**

Temperatura de aquecimento	20		°C
Temperatura de arrefecimento	26		°C
Ventilação (Modo de aquecimento)	0,6		ac/h
Ventilação (Modo de arrefecimento)	1		ac/h

Figura 4-4 Introdução de dados para obtenção de resultados no AMECO

Com base nos dados inseridos pelo utilizador, o programa realiza uma estimativa dos impactos que o edifício terá em quantidades de emissões de dióxido de carbono ao longo de toda a sua existência, incluindo a obtenção, transformação e transporte de materiais, passando pela sua construção, exploração e manutenção, bem como uma eventual demolição e reaproveitamento dos materiais. Na Figura 4-5 representam-se os resultados obtidos relativamente à contribuição de potencial para o aquecimento global em toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O módulo A corresponde aos impactos associados aos materiais utilizados, desde a sua obtenção até à sua reciclagem; o módulo B corresponde aos gastos energéticos que advêm das necessidades de AQS e da climatização do ambiente interior.

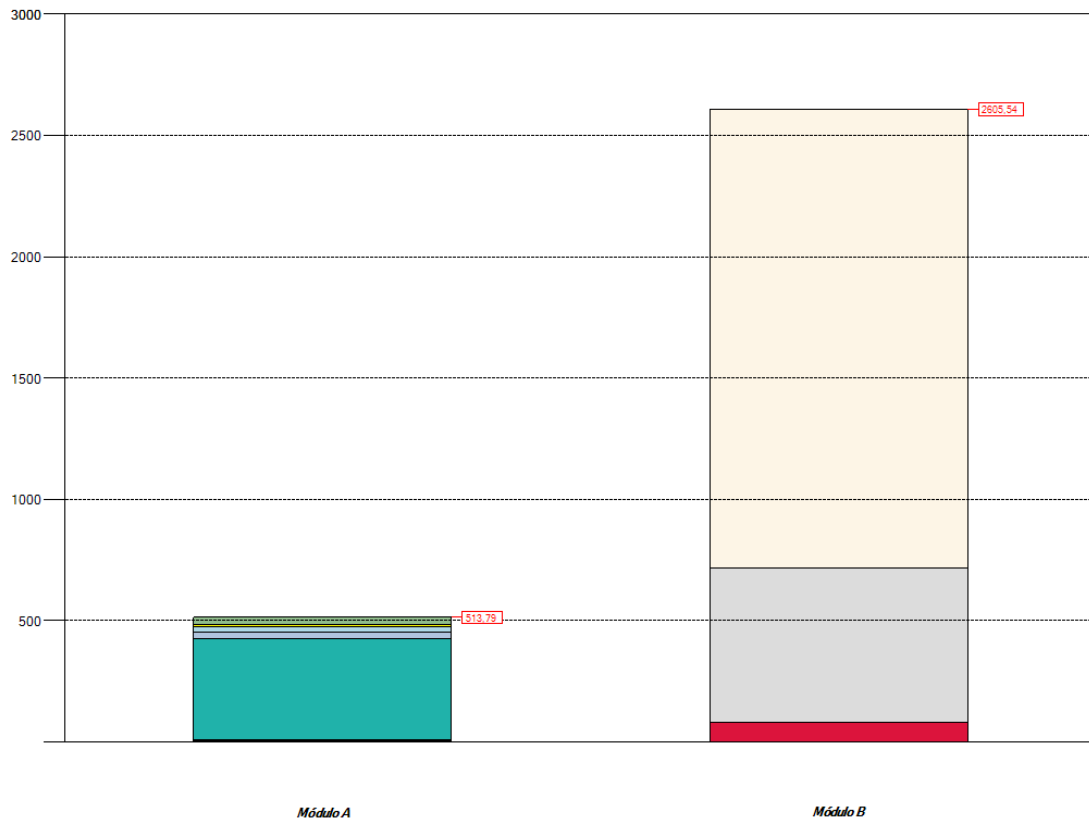


Fig. 4-5 Potencial de aquecimento global em equivalência de CO2

Daqui pode concluir-se que os impactos associados à estrutura propriamente dita são cerca de 5 vezes inferiores aos custos relacionados com a utilização do edifício. Esta informação indica que uma solução em estrutura metálica se pode tornar bastante interessante a médio e longo prazo, atendendo aos seus impactos relativamente reduzidos.

Tendo ainda em conta o elevado potencial de reaproveitamento dos perfis de aço, atribui-se a classificação de A+ ao critério de custos no ciclo de vida (C40).

#### 4.2.6 GESTÃO AMBIENTAL E INOVAÇÃO

Não foi possível contactar os ocupantes do edifício no sentido de fazer o levantamento das informações relativas ao modo de funcionamento e gestão do edifício, pelo que não foi feita a avaliação da informação ambiental (C41) e do sistema de gestão ambiental (C42).

#### 4.2.7 FICHA DE AVALIAÇÃO

A título exemplificativo, apresenta-se na Figura 4-6 uma ficha de avaliação de sustentabilidade relativa a um dos critérios considerados.


				
<b>LiderA - Sistema de Avaliação da Sustentabilidade® - Critérios de Base V 3.0</b>				
<b>FICHA DE AVALIAÇÃO</b>				
<b>Empreendimento:</b>	Modelo de avaliação			
<b>Critério nº:</b>	1	<b>Classificação obtida:</b>	D	
<b>Linhas de boa prática:</b> Analisar o estado e o uso do solo a intervir. Averiguar as restrições do PDM.				
<b>Limiares Base (s):</b>	Construir: 1. Em áreas urbanas com solo contaminado (antigas fábricas, exemplo do Parque das Nações) as quais deverão ser descontaminadas (3 créditos); 2. Nos vazios urbanos, nas zonas degradadas ou abandonadas de quarteirões (2 créditos); 3. Em zonas infra-estruturadas de redes de esgotos e água (1 crédito); 4. Contributo para o espaço público e potenciar a vocação definida no PDM em especial e as áreas sensíveis (PDM) (2 créditos).			

Figura 4-6 Exemplo de Ficha de Avaliação do LiderA (Critério C1)

#### 4.3 RESULTADOS

Na Figura 4-7 é possível observar as classificações atribuídas aos diferentes critérios, as quais conduziram, pela aplicação do sistema LiderA, à classificação global A (terceira classificação mais elevada). O sistema obtém esta classificação global através da ponderação das avaliações individuais com os respectivos pesos associados.

VERTENTES	ÁREA	Wi	CRITÉRIO	NºC	Classe Avaliação
INTEGRAÇÃO LOCAL	SOLO	7%	Valorização Territorial	1	D
			Optimização ambiental da implantação	2	F
	ECOSSISTEMAS NATURAIS	5%	Valorização ecológica	3	G
			Interligação de habitats	4	G
6 Critérios	PAISAGEM E PATRIMÓNIO	2%	Integração Paisagística	5	A
14%			Protecção e Valorização do Património	6	A
RECURSOS	ENERGIA	17%	Certificação Energética	7	G
			Desenho Passivo	8	A
			Intensidade em Carbono (e eficiência energética)	9	E
	ÁGUA	8%	Consumo de água potável	10	B
			Gestão das águas locais	11	B
	MATERIAIS	5%	Durabilidade	12	D
Materiais locais			13	G	
9 Critérios			Materiais de baixo impacte	14	C
32%	ALIMENTARES	2%	Produção local de alimentos	15	G
CARGAS AMBIENTAIS	EFLUENTES	3%	Tratamento das águas residuais	16	G
			Caudal de reutilização de águas usadas	17	G
	EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	2%	Caudal de Emissões Atmosféricas - Partículas e/ou Substâncias com potencial acidificante (Emissão de outros poluentes: SO2 e NOx)	18	A
	RESÍDUOS	3%	Produção de resíduos	19	C
			Gestão de resíduos perigosos	20	F
			Reciclagem de resíduos	21	A+
8 Critérios	RUÍDO EXTERIOR	3%	Fontes de ruído para o exterior	22	A+
12%	POLUIÇÃO ILUMINO-TÉRMICA	1%	Poluição ilumino-térmica	23	A
CONFORTO AMBIENTAL	QUALIDADE DO AR	5%	Níveis de Qualidade do ar	24	A++
CONFORTO AMBIENTAL	CONFORTO TÉRMICO	5%	Conforto térmico	25	B
	4 Critérios	ILUMINAÇÃO E ACÚSTICA	5%	Níveis de iluminação	26
15%			Isolamento acústico/Níveis sonoros	27	A
VIVÊNCIA SÓCIO-ECONÓMICA	ACESSO PARA TODOS	5%	Acesso aos transportes Públicos	28	F
			Mobilidade de baixo impacte	29	F
			Soluções inclusivas	30	G
	DIVERSIDADE ECONÓMICA	4%	Flexibilidade - Adaptabilidade aos usos	31	A++
			Dinâmica Económica	32	A
			Trabalho Local	33	A
	AMENIDADES E INTERACÇÃO SOCIAL	4%	Amenidades locais	34	A+
			Interação com a comunidade	35	A+
	PARTICIPAÇÃO E CONTROLO	4%	Capacidade de Controlo	36	A
			Condições de participação e governância	37	B
Controlo dos riscos naturais - (Safety)			38	A	
Controlo das ameaças humanas - (Security)			39	C	
13 Critérios			Baixos custos no ciclo de vida	40	A+
19%	CUSTOS NO CICLO DE VIDA	2%			
GESTÃO AMBIENTAL E INOVAÇÃO	GESTÃO AMBIENTAL	6%	Informação ambiental	41	G
			Sistema de gestão ambiental	42	G
	3 Critérios				
8%	INOVAÇÃO	2%	Inovações	43	G
<b>Classe obtida na avaliação:</b>					<b>A</b>

Figura 4-7 - Classificação Atribuída aos Diferentes Critérios

Uma ferramenta interessante que o sistema LiderA apresenta na análise de resultados e que serve essencialmente para efeitos de projecto e concepção, consiste na possibilidade de simular potenciais melhorias que determinada alteração poderá implicar. Por exemplo, no momento da decisão do esquema de isolamento térmico, é possível comparar duas soluções diferentes, tornando possível ao projectista fazer um balanço quantitativo entre as diferenças de custos e as melhorias para o edifício do ponto do conforto ou da sustentabilidade.

#### 4.4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

O edifício obteve a classificação global A, podendo afirmar-se que este é um resultado bastante satisfatório, inserindo-se na média de edifícios correntes avaliados (“LiderA – Sistema de Avaliação da Sustentabilidade” 2016).

A estrutura metálica do edifício contribuiu definitivamente de forma positiva para a classificação obtida. Este facto pode ser evidenciado pelas melhorias significativas impostas pelas vantagens construtivas e de utilização inerentes à construção metálica, patentes nomeadamente nos seguintes critérios: Desenho Passivo (C8), Produção de Resíduos (C19) e Flexibilidade (C31).

Os sistemas LSF, sendo versáteis e estando associados a sistemas de isolamento térmico e acústico no interior das paredes externas e internas, ajudam a potenciar este tipo de avaliação principalmente no que toca a gastos de energia, aspecto que representa 17% do peso da avaliação global. Contudo, é sempre necessário tomar especial atenção à disposição dos espaços e aos processos construtivos, nomeadamente diminuição das pontes térmicas, de modo a se conseguir um bom desempenho na área da eficiência energética.

Pode ainda verificar-se que as técnicas e soluções de arquitectura bioclimática adoptadas contribuem bastante para que o edifício obtenha esta classificação de sustentabilidade.

Constata-se também que, de facto, o método atribuiu bastante importância à vertente ambiental, já que, por exemplo, o peso dos critérios relacionados com as áreas da água e energia é de 25% da classificação global. Todavia, não é imediata a dissociação dos critérios relacionados com a vertente ambiental daqueles que incidem sobre factores socioeconómicos.

Nas Figuras 4-7 a 4-13, representa-se graficamente a classificação obtida por cada critério. No âmbito deste método de avaliação da sustentabilidade na construção, pode ser adicionada nos mesmos gráficos uma coluna com as eventuais melhorias que podem ser introduzidas no respectivo critério. Assim, nos gráficos, o índice p indica o resultado de acordo

com o que foi projectado ou previsto para o edifício em condições ideais e normalizadas. Já o índice u corresponde ao ajuste do valor decorrente da forma efectiva de aplicação, que poderá estar relacionada com a qualidade dos métodos construtivos ou com práticas de utilização do edifício aquando do período de operação.

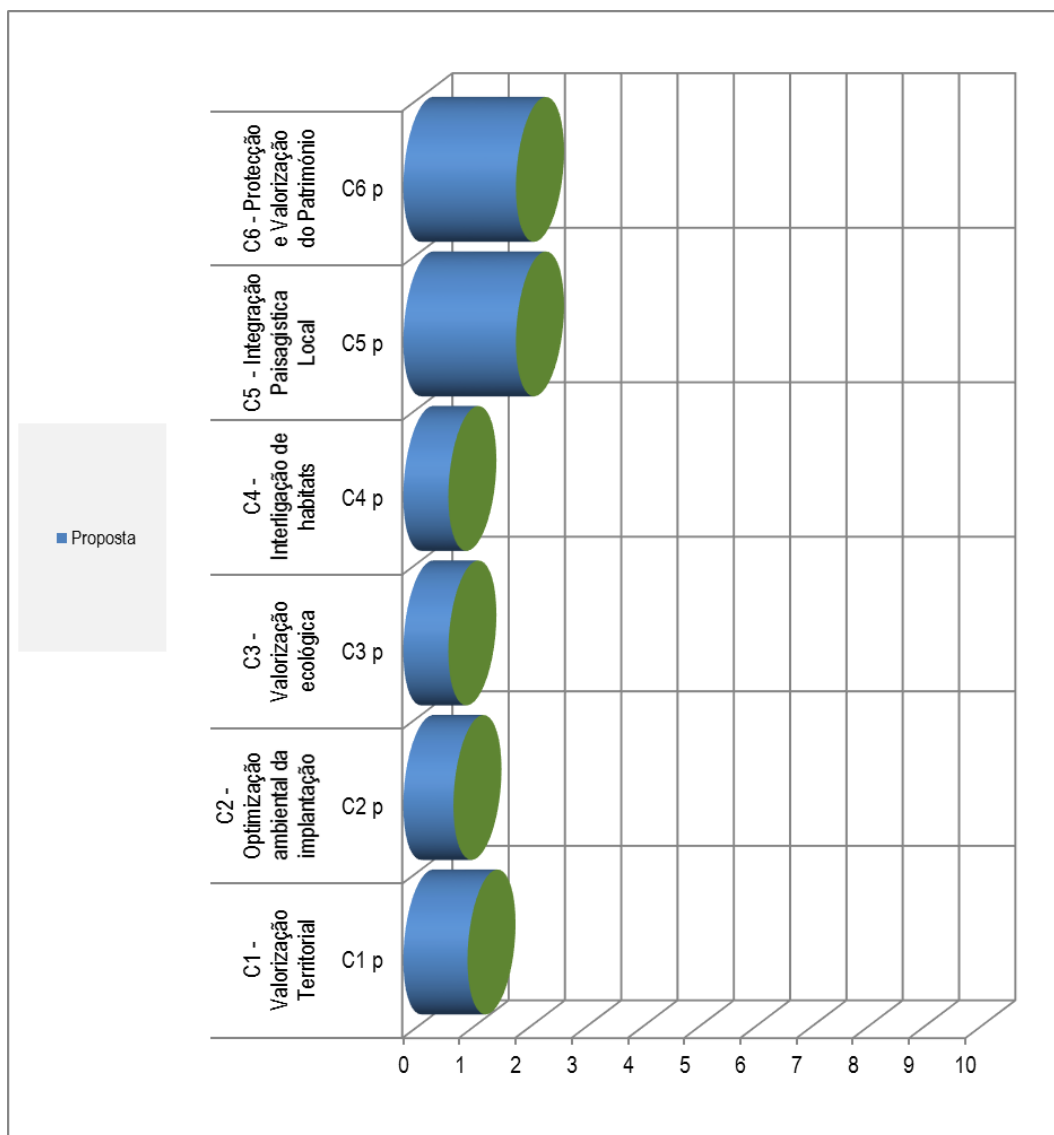


Figura 4-8 Posicionamento das classificações por critérios (C1 a C6)

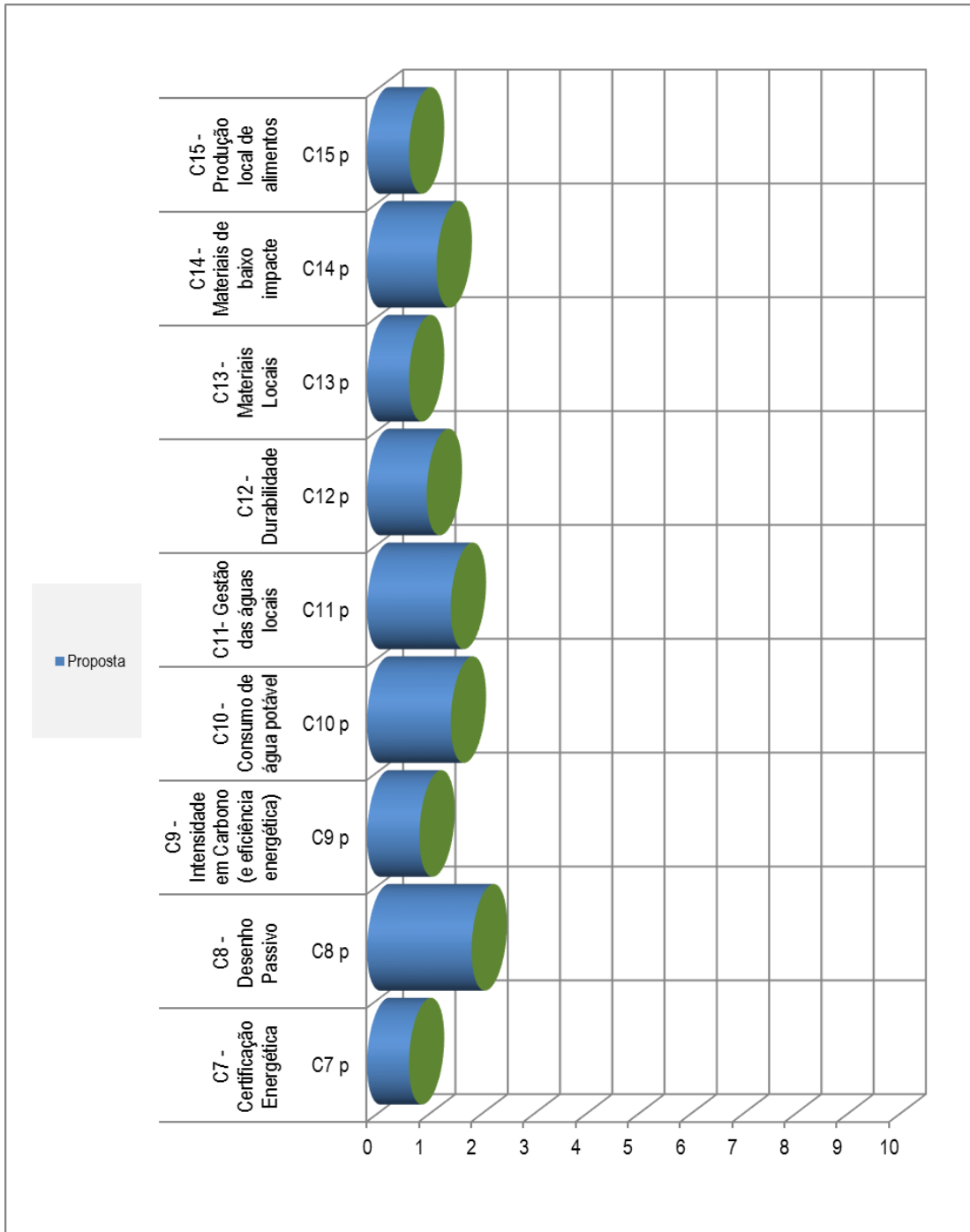


Figura 4-9 Posicionamento das classificações por critérios (C7 a C15)

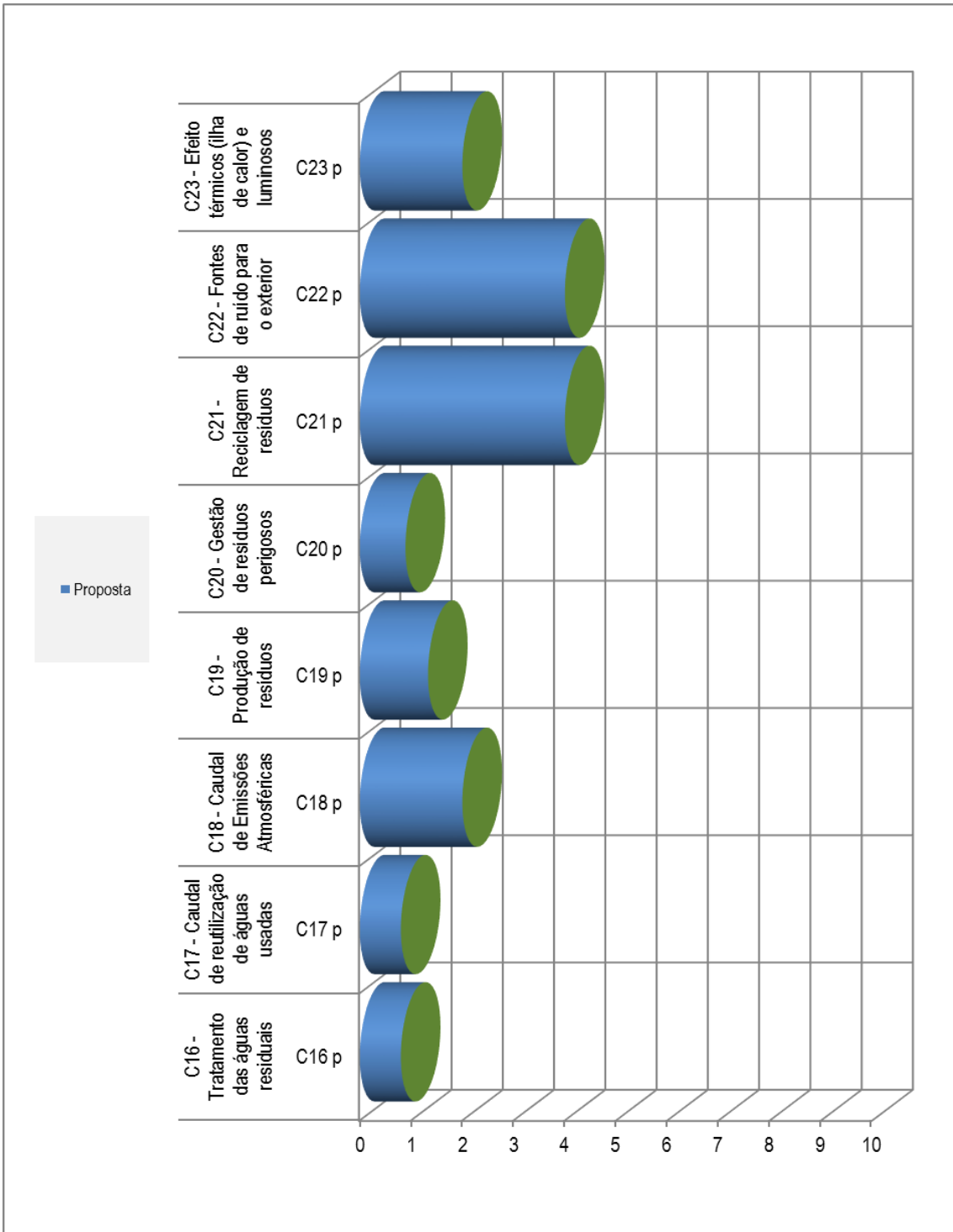


Figura 4-10 Posicionamento das classificações por critérios (C16 a C23)

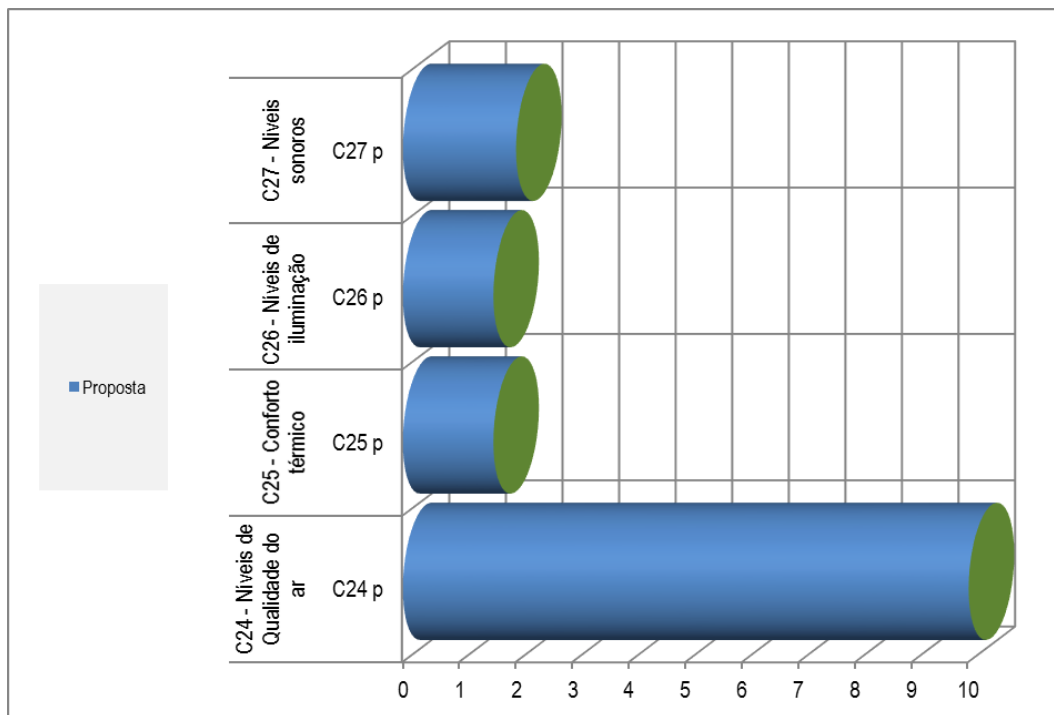


Figura 4-11 Posicionamento das classificações por critérios (C24 a C27)

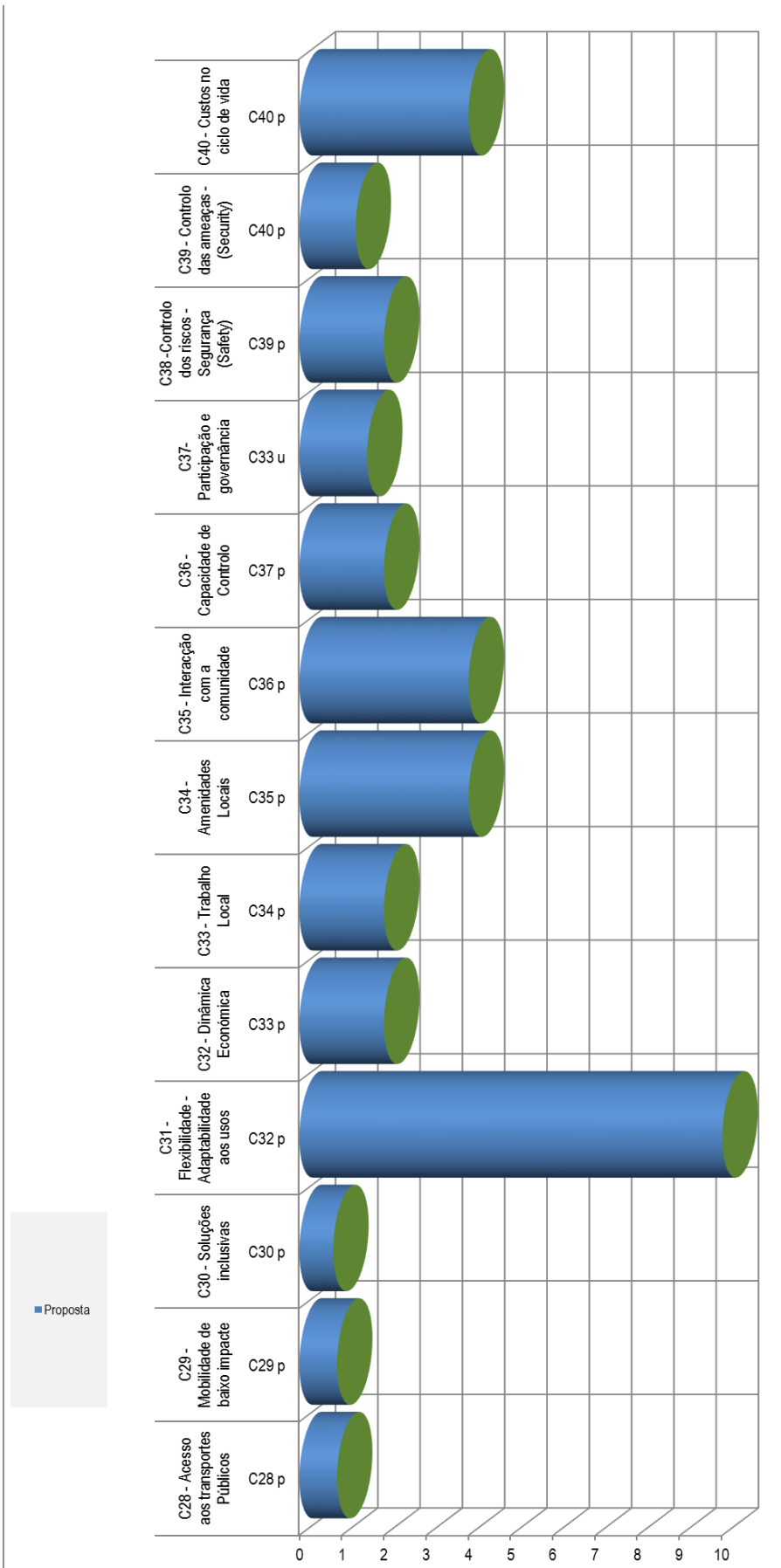


Figura 4-12 Posicionamento das classificações por critérios (C28 a C40)

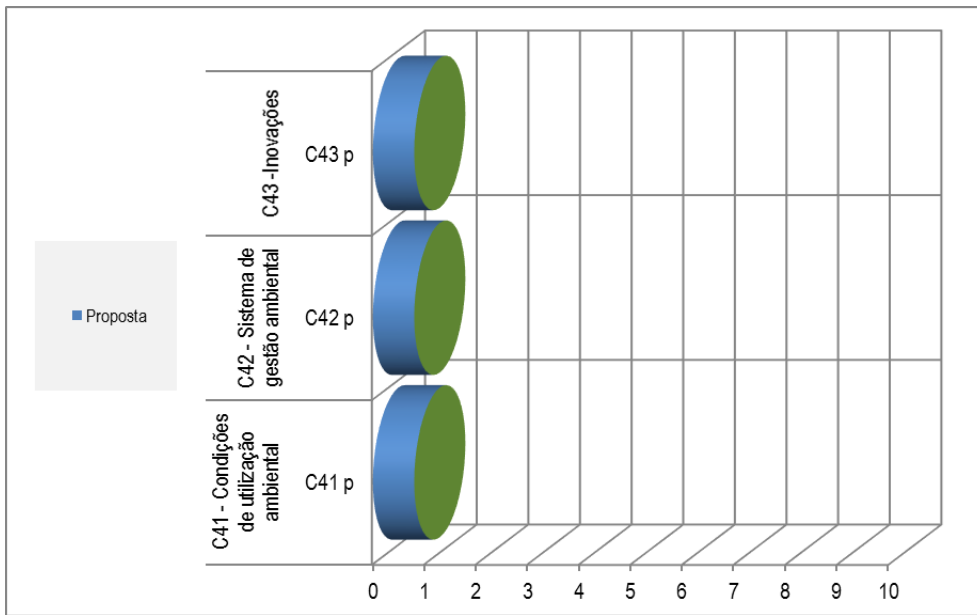


Figura 4-13 Posicionamento das classificações por critérios (C41 a C43)

## 5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

### 5.1 CONCLUSÕES

Os principais objectivos na construção do ponto de vista da sustentabilidade, nomeadamente, a economia de energia, a gestão eficaz de água, a garantia e salubridade dos edifícios, a utilização de materiais energeticamente certificados, a minimização da produção de resíduos e a viabilidade económica são passíveis de serem atingidos com recurso a estruturas metálicas.

Efectivamente, as estruturas metálicas apresentam argumentos bastante sólidos para responder as exigências de uma indústria da construção mais limpa e que responda satisfatoriamente às necessidades socioeconómicas do meio onde se insere.

A fiabilidade dos materiais e a durabilidade de uma estrutura metálica poderá ser assegurada através do acompanhamento rigoroso dos projectos de execução, pois embora este tipo de solução seja do tipo modular e por isso mais simples e rápida de montar, exige uma mão-de-obra mais sensível ao pormenor e às necessidades que este tipo de montagem implica. Essa importância é enfatizada no próprio projecto de estrutura, uma vez que geralmente a escala utilizada para as estruturas metálicas é o milímetro, ao invés das estruturas tradicionais em betão cuja escala é o centímetro.

A situação financeira que o país atravessa e o panorama em que se encontra a indústria da construção obrigam à procura de soluções cada vez mais eficientes e que satisfaçam índices de conforto e de segurança. Neste sentido, a estrutura metálica poderá posicionar-se de forma estratégica neste mercado de forma a suprir esta necessidade.

O método de avaliação da sustentabilidade da construção LiderA que foi utilizado revelou-se bastante interessante na medida em que apresenta um guia de boas práticas que poderão auxiliar os projectistas, promotores, construtores e utilizadores a tomar decisões favoráveis no aspecto de melhorar o desempenho de um edifício. Embora em geral as metodologias MASC sejam equilibradas e abranjam todos os componentes da sustentabilidade, existe uma notória tendência para que a avaliação se baseie essencialmente em factores ambientais e ecológicos. No entanto, estas metodologias estão em constante evolução, uma vez que os critérios e os pesos associados são por norma actualizados periodicamente (por exemplo a cada cinco anos), sendo, pois, expectável que num futuro próximo surjam aperfeiçoamentos significativos.

Uma avaliação deste tipo poderá apresentar-se como uma vantagem para promotores que a utilizem como elemento de diferenciação numa estratégia de marketing que possa cativar potenciais compradores. Do ponto de vista dos compradores, pode também ser

interessante, mediante contabilização financeira, efectuar um investimento inicial mais elevado, mas que possa ser liquidado a curto ou médio prazo. Esta decisão terá obviamente também influência na qualidade de vida dos ocupantes e pode ser um factor determinante na sua escolha.

Uma vez que, relativamente a soluções inovadoras, existe por norma alguma inércia na sua aceitação, caberá às entidades governamentais, autarquias e outros interessados promover a construção metálica numa perspectiva de sustentabilidade e de optimização do ciclo de vida dos edifícios.

## 5.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

No âmbito deste trabalho, procuraram-se identificar as vantagens da construção em estrutura metálica e de que forma é que esta solução poderá ser considerada como mais sustentável. Obviamente, o estudo aqui apresentado poderá ser aprofundado de diversas maneiras, nomeadamente através de uma análise do ciclo de vida de uma estrutura metálica e eventualmente comparando os seus impactos com os provocados por uma estrutura tradicional em betão armado.

A publicação de manuais de montagem e desmontagem de elementos metálicos pode também ter utilidade para a formação de profissionais competentes e capazes de adquirir a sensibilidade suficiente de que estes procedimentos carecem, uma vez que em Portugal existe falta de especialização nesta área, tanto em termos de projecto como de construção.

Em todo o caso, os desenvolvimentos futuros neste domínio deverão ser feitos com o apoio de empresas ligadas ao sector das estruturas metálicas que estejam actualmente instaladas no mercado e que estejam interessadas de algum modo em contribuir para o desenvolvimento do sector.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ArcelorMittal. 2016. "AMECO." Accessed July 20, 2016. <http://sections.arcelormittal.com/download-center/design-software/sustainability.html>.
- Barbosa, Inês Silva. 2008. "Aplicação de Programas de Cálculo ao Estudo da Sustentabilidade de Edifícios de Habitação." Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP.
- "Bessemer Convertor." 2016. Accessed January 16, 2016. [http://www.steeltalk.com/bessemer\\_convertor.php](http://www.steeltalk.com/bessemer_convertor.php).
- BCSA Ltd. 2003. "Steel Buildings." [www.bot.uk.com](http://www.bot.uk.com).
- Caldas, Lucas Rosse, Rosa Maria Sposto, Alexandre Mendonça Souto Lopes, and Werner Castro Tavares. 2016. "Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) e do Desempenho Térmico de Uma Habitação de Light Steel Framing com o Uso de Diferentes Tipos de Isolantes Térmicos." *REEC* 11 (2). <http://revistas.ufg.emnuvens.com.br/reec/article/view/37863>.
- "CASBEE." 2016. <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm>.
- Colaço, Rogério. 2005. "Materiais de Construção - Aços." *Engenharia e Vida - Volume. 3*: 52-69.
- Construction, Steel. 2016. "Sustainability." Accessed January 18, 2016. <http://www.steelconstruction.info/Sustainability>.
- Cossons, Neil, and Barrie Stuart Trinder. 2002. *The Iron Bridge: Symbol of the Industrial Revolution*. Phillimore.
- Diário da República. 2006a. "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei N.º 80/2006." *Diário da República - I Série - A - N.º 67*.
- Diário da República. 2006b. "Decreto-Lei N.º 79/2006, de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)." *Diário da República N.º 67, I Série-A*.
- Dubina, D, V Ungureanu, and M Mutiu. University of Timisoara 2007. *Sustainable Building Structures for Housing*.
- Evans, Chris, and Goran Ridén. 2005. *The Industrial Revolution in Iron: The Impact of British Coal Technology in Nineteenth-Century Europe*. Ashgate.
- Fernandes, Álvaro Manuel Vaz. 2013. "Métodos de Avaliação da Sustentabilidade das Construções." Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP
- Geraldes, Inês Pinto Baltazar. 2013. "Sustentabilidade da Construção de Habitação Social com

- Recurso a Liga Metálica Leve.” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCT-UNL.
- Gervásio, Helena. 2015. “A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas.” Em *Utilização de Produtos em Aço Enformados A Frio na Construção*, Porto, 2006
- Gomes, Tiago. 2015. “Análise e Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço Inoxidável.” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCT-UNL.
- “Green Building Tool.” <http://www.iisbe.org/gbc98cnf/sponsors/gbtool.htm>. Accessed September 9, 2016
- Guedes, Manuel Correia, Manuel Duarte Pinheiro, and Luis Manuel Alves. Instituto Superior Técnico 2009. “Sustainable Architecture and Urban Design in Portugal.”
- Júnior, Riberto Carminatti. 2012. “Análise do Ciclo de Vida Energético de Projecto de Habitação de Interesse Social Concebido em Light Steel Framing.” Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos.
- Kibert, Charles J., *Journal of Land Use & Environmental Law* 2004 "Green Buildings: An Overview of Progress" Vol. 2: 491-502
- Koukkari, Heli, Ewa Zukowska, Jose Chica, Peru Elguezabal, Sandra Meno, Veiorel Ungureanu, Adrian Ciutina, et al. 2011. “Sustainable Building Project in Steel.” In ,1–8.
- Landolfo, Raffaele. 2010. “Durability Design of Metal Structures.” *COST Action C25, International Symposium, Malta*.
- “LEED 2012.” 2012. <http://www.usgbc.org/leed>.
- “LiderA – Sistema de Avaliação da Sustentabilidade.” 2016. <http://www.lidera.info/>.
- Liubartas, Déborag, Edson Assis Santos de Barros e Silva, Eutália Alves Martins dos Santos, José Edilson da Silva, and Alexandre Formigoni. 2015. “A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas.” *Journal of Engineering and Technology Innovation*.
- Lourenço, Paulo B. 2007. “As Recomendações do ISCARSAH / ICOMOS.” Em *Metodologia para conservação de estruturas históricas*. Universidade de Coimbra 2007.
- Mateus, Ricardo Filipe Mesquita da Silva. 2009. “Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios Mais Sustentáveis.” Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade do Minho.
- Moreira, Hugo Miguel da Costa Dias Marino. 2012. “Utilização de Perfis Enformados a Frio em Obras de Reabilitação.” Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação, IST.
- “OECD.” 2016. <http://www.oecd.org/>. Accessed September 9, 2016
- “SBTool | International Initiative for a Sustainable Built Environment.” 2016. <http://www.iisbe.org/sbmethod>.

“SBTool PT.” 2016. <http://www.ecochoice.pt/pt/iad/sbtoolpt-stpu>.

Tarré, Gonçalo Teles de Abreu. 2010. “Poderá a Reabilitação Incorporar a Procura da Sustentabilidade ?” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST.

Tirone, Livia. 2009. “Soluções para uma Prosperidade Renovável.” Em *Construção Sustentável* Braga 2012.

UN. 1972. “Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment , Stockholm 1972.” *United Nations Environment Programme*. <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503>

Vieira, Alexandra Rueff. 2011. “A Lean Construction e a Sustentabilidade – Paradigmas Complementares Implementação de Um Modelo de Optimização.” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCT-UNL.

Worldometers. 2016. “World Population.” Accessed February 2, 2016. <http://www.worldometers.info/world-population/>.