



ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS: CONTRIBUTO PARA A CERTIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS

ELDA DORA BAHAMONDE DE SERPA PINTO FERRAZ

julho de 2019

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS: CONTRIBUTO PARA A CERTIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Elda Dora Bahamonde de Serpa Pinto Ferraz

1151253

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS: CONTRIBUTO PARA A CERTIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Elda Dora Bahamonde de Serpa Pinto Ferraz
1151253

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação da Professora Nídia de Sá Caetano e coorientação da Doutora Teresa Margarida Correia de Poço Mata. Relatório de estágio realizado na empresa SOPSEC – Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil, S.A. sob a supervisão do Eng.º Rui Calejo e a cossupervisão do Eng.º André Cordeiro.

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Professor Carlos Felgueiras

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Professora Nídia de Sá Caetano

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutora Teresa Margarida Correia de Poço Mata

Investigador Auxiliar do LEPABE/FEUP

Supervisor

Professor Rui Calejo

Administrador, SOPSEC, S.A – Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil

Cossupervisor

Eng.º André Cordeiro

Engº do Ambiente, SOPSEC, S.A – Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil

Arguente

Professora Maria Isabel da Silva Nunes

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

“If all the insects were to disappear from the Earth, within 50 years all life on Earth would end. If all human beings disappeared from the face of the Earth, in 50 years all forms of life would flourish”

Jonas E. Saulk (1914 – 1995) médico, virologista e epidemiologista norte-americano, inventou a primeira vacina poliomielite (pólio)

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Rui Calejo e ao Engenheiro André Cordeiro, por todo o apoio que forneceram e às pessoas que trabalharam diretamente comigo na SOPSEC, a Engenheira Daniela Maio, o Engenheiro Rui Dias, o Desenhador Pedro Ribeiro, o Engenheiro Mário Calejo e a todos os que trabalham na empresa.

A todos os que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a concretização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Aos meus Amigos que sempre acreditaram em mim e me incentivaram nos momentos de menor ânimo.

Ao meu Tio Pedro e Tia Odete pelo apoio dado nesta fase final dos meus estudos, pela forma como me fizeram sentir em casa durante os dois últimos anos e por todas as conversas motivantes.

Quero agradecer de uma forma muito especial, aos meus Pais e Irmãos por toda a ajuda, paciência e pela forma como sempre me apoiaram, ajudando-me vezes sem conta a superar as sucessivas dificuldades.

AGRADECIMENTOS INSTITUCIONAIS

A Professora Nídia de Sá Caetano, orientadora desta dissertação, e a Doutora Teresa Margarida Correia de Poço Mata, coorientadora desta dissertação, são membros integrados do LEPABE – Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado pela Unidade de Investigação UID/EQU/00511/2019 – Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia – LEPABE – financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

PALAVRAS-CHAVE

Avaliação do Ciclo de Vida, Carbono Incorporado, Construção Sustentável, Energia Incorporada, Potencial de Aquecimento Global

RESUMO

A crescente preocupação sobre as questões ambientais a nível mundial, conduziu à criação de metodologias de avaliação dos impactos ambientais provocados por produtos e sistemas. Como o sector da construção é responsável por grande parte desses impactos, é evidente a necessidade de aplicar medidas que visam mitigar ou, no mínimo, reduzir até valores aceitáveis, essas agressões ao meio ambiente. Esta situação conduziu à aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ao sector da construção. Este relatório de estágio, foca-se principalmente na vertente ambiental da ACV, particularmente nos indicadores energia incorporada, carbono incorporado e potencial de aquecimento global (*GWP*), para comparar diferentes tipologias de edifícios. Para tal, desenvolveu-se um ferramenta de cálculo em *MS Excel (LCA4Building)* que, mediante a introdução do tipo e quantidades dos materiais de construção de um determinado projeto, calcula os valores da energia incorporada, carbono incorporado e potencial de aquecimento global, permitindo fazer uma comparação do desempenho do projeto no que respeita a estes indicadores, para as várias tipologias de construção ou materiais alternativos. A *LCA4Building* permitiu analisar cinco edifícios de diferentes tipologias. Os resultados mostram que o Edifício de Serviços Municipais apresenta um desempenho muito fraco, em relação ao *GWP* com o valor de 1193,68 kgCO₂eq/m², enquanto que a Habitação Unifamiliar revelou ter um desempenho excelente naquele indicador, com o valor de 186,82 kgCO₂eq/m², o qual representa apenas 15,6 % do pior valor obtido para o Edifício de Serviços Municipais. A ferramenta permitiu avaliar o

efeito da substituição de alguns materiais por outros que, tendo idêntico desempenho estrutural/funcional, permitiram reduzir os impactos analisados, e aproximar o seu desempenho de edificações mais sustentáveis. Assim, com algumas alterações simples nos materiais construtivos, foi possível reduzir o valor do GWP associado ao Edifício de Serviços Municipais para 986,64 kgCO₂eq/m², representando uma redução de 17,4 %. No caso da Habitação Unifamiliar o valor do GWP passou a 164,44 kgCO₂eq/m², uma redução de cerca de 12 % de um valor que já era muito baixo. A ferramenta desenvolvida, revela-se assim uma mais valia para a empresa (SOPSEC), permitindo-lhe fazer uma avaliação simplificada do desempenho das soluções projetadas e, desse modo otimizá-las. No entanto, outras fases do ciclo de vida deveriam também ser contabilizadas, antes de se poder fazer uma avaliação global dos impactos da edificação.

KEYWORDS

Sustainable Construction, Embedded Carbon; Embodied Energy, Global Warming Potential, Life Cycle Assessment

ABSTRACT

Growing concerns about environmental issues worldwide has led to the development of methodologies for assessing the environmental impacts of products and systems. As the construction sector is responsible for a large part of these impacts, there is a clear need to apply measures that aim to mitigate or, at least, to reduce to acceptable values such aggressions to the environment. This led to the application of the LCA methodology in the construction sector. This dissertation focuses mainly on the environmental aspects of the LCA, that is, on the embodied energy, embedded carbon and global warming potential (GWP), to compare different types of buildings. For that, a spreadsheet tool (*LCA4Building*) was developed in MS Excel, that allows one to calculate the values of the impact categories of a certain project, once the building materials are introduced in the *LCA4Building* tool. Thus it is possible calculate the values of these indicators, to compare the performance of a project for the various building typologies or alternative materials. The *LCA4Building* tool allowed to analyze five buildings of different typologies. Results show that the Warehouse has very poor performance concerning the GWP, with the value of 1193.68 kgCO₂eq/m², while the Single Family Housing has an excellent performance of 186.82 kgCO₂eq/m². The tool also allowed to analyze the effect of replacing some materials by others, with the same structural/functional performance, allowing the redution of the impact categories analyzed and thus, making their performance closer to that of sustainable buildings. Thus, with a few simple changes in the construction materials, it was possible to reduce the value of the GWP associated with the Municipal Services building the GWP was reduced to 986.64 kgCO₂eq/m² (a

reduction of 17.4 %). In the case of single family housing the GWP value reduced to 164.44 kgCO₂eq/m², representing a reduction of about 12 % of a value that was already very low. The tool developed in this project, is thus an asset to the company, allowing them to make a simplified assessment of the performance of the solutions designed and to optimize them. However, other phases of the life cycle should also be accounted for before being able to make an overall assessment of the building impacts.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BEES	<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i>
CI	Carbono Incorporado
EI	Energia Incorporada
GWP	<i>Global Warming Potencial</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i>
LCIA	<i>Life Cycle Inventory Analyse</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
PAG	Potencial de Aquecimento Global
SOPSEC	Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil. SA.
USGBC	<i>U.S. Green Building Council</i>

Lista de Unidades

kg	Quilograma – unidade de peso
kgCO ₂	Quilograma de Dióxido de Carbono
kgCO ₂ eq	Quilograma de Dióxido de Carbono equivalente
m ²	Metro quadrado – unidade de área
MJ	Mega Joule – unidade de energia

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – OS TRÊS PILARES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	5
FIGURA 2 – ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO E PEGADA ECOLÓGICA EM 2014 [3]	8
FIGURA 3 – OBJETIVOS DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL [2]	9
FIGURA 4 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO CICLO DE VIDA DA CONSTRUÇÃO	10
FIGURA 5 – IMPACTOS DO CICLO DE VIDA DA CONSTRUÇÃO [4]	11
FIGURA 6 – FASES DO CICLO DE VIDA ENGOBADAS EM CADA VARIANTE DE LCA	13
FIGURA 7 – ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SEGUNDO A ISO 14040	14
FIGURA 8 – O CARÁCTER ITERATIVO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA [9]	15
FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DA ENERGIA INCORPORADA VS ENERGIA OPERACIONAL DOS EDIFÍCIOS.....	21
FIGURA 10 – PROCESSO DE AVALIAÇÃO E EMISSÃO DO CERTIFICADO DE SUSTENTABILIDADE SBTOOL ^{PT} [10]	23
FIGURA 11 – VERTENTES DO LÍDERA [17]	26
FIGURA 12 – NÍVEIS DE DESEMPENHO DO LÍDERA [17]	26
FIGURA 13 – FASES DO EMPREENDIMENTO E APLICAÇÃO DA ABORDAGEM AO LÍDERA [17]	27
FIGURA 14 – CATEGORIAS DE CRÉDITOS DO LEED [19]	28
FIGURA 15 – NÍVEIS DE CERTIFICAÇÃO DO LEED [20]	29
FIGURA 16 – PONDERAÇÃO DAS ÁREAS DE AVALIAÇÃO DO BREEAM [21]	30
FIGURA 17 – A CLASSIFICAÇÃO DO BREEAM POR ESTRELAS DE 1 A 6 ESTRELAS [23]	32
FIGURA 18 – DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO DA FERRAMENTA EM MS LCA4BUILDING.....	33
FIGURA 19 – ÂMBITO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING.....	34
FIGURA 20 – LAYOUT DA FOLHA FUNCIONAMENTO DO LCA4BUILDING.....	36
FIGURA 21 – LAYOUT DA FOLHA "DATA" DO LCA4BUILDING	37
FIGURA 22 – USERFORM "INSERIR NOVO MATERIAL" DO BOTÃO "INSERIR NOVO MATERIAL" DO LCA4BUILDING	38
FIGURA 23 – USERFORM "EDITAR MATERIAL " DO BOTÃO "EDITAR MATERIAL " DO LCA4BUILDING.....	39
FIGURA 24 – LAYOUT DA FOLHA "CALCULOS" DO LCA4BUILDING	41
FIGURA 25 – LAYOUT DA FOLHA "RELATORIO" DO LCA4BUILDING.....	42
FIGURA 26 – "LAYOUT" DO FICHEIRO MS WORD "RELATÓRIO LCA4BUILDING"	43
FIGURA 27 – PLANTA DO CASO DE ESTUDO DE TESTE – LOTA	46
FIGURA 28 – GRÁFICO EI E CI POR TIPO DE MATERIAL PARA O CASO DE TESTE - LOTA	47
FIGURA 29 – PLANTA DO CASO DE ESTUDO 1 – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR – REMODELAÇÃO.....	48
FIGURA 30 – EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE – CASO DE ESTUDO 1 – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	49
FIGURA 31 – EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO – CASO DE ESTUDO 1 – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	49
FIGURA 32 – EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO – CASO DE ESTUDO 1 – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR ...	50
FIGURA 33 – PLANTA DO CASO DE ESTUDO 2 – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/COMÉRCIO	51

FIGURA 34 – EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE – CASO DE ESTUDO 2 – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/COMÉRCIO	52
FIGURA 35 –EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO – CASO DE ESTUDO 2 – EDIFÍCIO SERVIÇOS/COMÉRCIO	53
FIGURA 36 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO – CASO DE ESTUDO 2 – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/COMÉRCIO	53
FIGURA 37 – PLANTA DO CASO DE ESTUDO 3 – ARMAZÉM – ZONA INTERVENCIÓNADA	54
FIGURA 38 –EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE – CASO DE ESTUDO 3 – ARMAZÉM.....	55
FIGURA 39 –EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO – CASO DE ESTUDO 3 – ARMAZÉM.....	56
FIGURA 40 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO – CASO DE ESTUDO 3 – ARMAZÉM.....	56
FIGURA 41 – PLANTA DO CASO DE ESTUDO 4 – HOTEL.....	57
FIGURA 42 –EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE – CASO DE ESTUDO 4 – HOTEL	58
FIGURA 43 –EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO – CASO DE ESTUDO 4 – HOTEL	59
FIGURA 44 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO – CASO DE ESTUDO 4 – HOTEL	59
FIGURA 45 – PLANTA DO CASO DE ESTUDO 5 – INFRAESTRUTURA DESPORTIVA, COM IDENTIFICAÇÃO DOS VÁRIOS CORPOS .	60
FIGURA 46 –EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE – CASO DE ESTUDO 5 – INFRAESTRUTURA DESPORTIVA.....	61
FIGURA 47 –EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO – CASO DE ESTUDO 5 – ACADEMIA	62
FIGURA 48 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO – CASO DE ESTUDO 5 – ACADEMIA.....	62
FIGURA 49 –EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE, DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 1.....	66
FIGURA 50 –EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 1	67
FIGURA 51 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 1	67
FIGURA 52 –EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 2	69
FIGURA 53 –EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 2	69
FIGURA 54 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 2	70
FIGURA 55 –EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 3	71
FIGURA 56 –EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 3	72
FIGURA 57 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 3	72
FIGURA 58 –EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 4.....	74
FIGURA 59 –EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 4	74
FIGURA 60 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 4	75
FIGURA 61 –EI, CI E GWP POR ESPECIALIDADE DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 5	76
FIGURA 62 –DE EI, CI E GWP POR TIPO DE ELEMENTO CONSTRUTIVO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 5	77
FIGURA 63 –EI, CI E GWP POR TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES – CASO DE ESTUDO 5	77
FIGURA 64 - COMPARAÇÃO DOS VALORES DA EI DOS CASOS DE ESTUDO VS OS DE BUCHANAN	80
FIGURA 65 - COMPARAÇÃO DOS VALORES DA CI DOS CASOS DE ESTUDO VS OS DE BUCHANAN	80
FIGURA 66 – FLUXOGRAMA DE APERFEIÇOAMENTO DOS DADOS DO ICE	- 4 -

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – RESUMO DOS EVENTOS SOBRE O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL [2], [4]	6
TABELA 2 – DIFERENÇAS ENTRE OS VÁRIOS TIPOS DE CONSTRUÇÃO [5]	9
TABELA 3 – EXEMPLOS CATEGORIAS DE IMPACTO DA ACV	17
TABELA 4 – INFORMAÇÃO PRESENTE NAS <i>DROPBOXES</i> DA JANELA "INSERIR NOVO MATERIAL"	39
TABELA 5 – RESULTADOS DE EI & GWP DA LOTA	46
TABELA 6 – RESULTADOS EI, CI E GWP TOTAL E POR M ² DE ÁREA DE CONSTRUÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO 1 – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	48
TABELA 7 – RESULTADOS EI, CI E GWP TOTAL E POR M ² DE ÁREA DE CONSTRUÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO 2 – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/COMÉRCIO	52
TABELA 8 – RESULTADOS EI, CI E GWP TOTAL E POR M ² DE ÁREA DE CONSTRUÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO 3 – ARMAZÉM	54
TABELA 9 – RESULTADOS EI, CI E GWP TOTAL E POR M ² DE ÁREA DE CONSTRUÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO 4 – HOTEL ...	57
TABELA 10 – RESULTADOS EI, CI E GWP TOTAL E POR M ² DE ÁREA DE CONSTRUÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO 5 – INFRAESTRUTURA DESPORTIVA	60
TABELA 11 – RESULTADOS DOS CASOS DE ESTUDO	63
TABELA 12 – RESULTADOS DE EI, CI E GWP POR M ² DEPOIS DAS ALTERAÇÕES PROPOSTAS PARA O CASO DE ESTUDO 1 ..	65
TABELA 13 – RESULTADOS EI, CI E GWP POR M ² DEPOIS DAS ALTERAÇÕES PARA O CASO DE ESTUDO 2	68
TABELA 14 – RESULTADOS DE EI, CI E GWP POR M ² DEPOIS DAS ALTERAÇÕES PARA O CASO DE ESTUDO 3	70
TABELA 15 – RESULTADOS DE EI, CI E GWP POR M ² DEPOIS DAS ALTERAÇÕES PARA O CASO DE ESTUDO 4	73
TABELA 16 – RESULTADOS DE EI, CI E GWP POR M ² DEPOIS DAS ALTERAÇÕES PARA O CASO DE ESTUDO 5	75
TABELA 17 - RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO DEPOIS DAS ALTERAÇÕES	78
TABELA 18 - VARIAÇÃO DA PERCENTAGEM DE CADA UM DOS INDICADORES DEPOIS DAS ALTERAÇÕES NOS PROJETOS INICIAIS	79
TABELA 19 - VALORES DE EI E CI PARA A NOVA ZELÂNDIA SEGUNDO BUCHANAN[26]	79

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ACOLHEDORA DO ESTÁGIO CURRICULAR: SOPSEC, S.A.	1
1.3	OBJETIVOS	2
1.4	ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO	3
2	ESTADO DA ARTE	5
2.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	5
2.2	CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	8
2.3	IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS	10
2.4	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	11
2.4.1	VERTENTES DA ACV	13
2.4.2	ETAPAS DA ACV	14
2.4.3	DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E ÂMBITO	15
2.4.4	INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA	16
2.4.5	AVALIAÇÃO DOS IMPACTES DO CICLO DE VIDA	16
2.4.6	INTERPRETAÇÃO	17
2.5	FERRAMENTAS INFORMÁTICAS DE APOIO À ACV	18
2.5.1	SIMAPRO	18
2.5.2	BUILDING FOR ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY (BEES)	19
2.5.3	ATHENA	19
2.5.4	GaBI	20
2.6	ENERGIA E CARBONO INCORPORADOS	21
2.7	SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS	22

2.7.1	SISTEMA <i>SBTOOL</i> ^{PT}	22
2.7.2	SISTEMA <i>LIDERA</i>	25
2.7.3	SISTEMA <i>LEED</i>	27
2.7.4	SISTEMA <i>BREEAM</i>	30
3	FERRAMENTA DESENVOLVIDA – LCA4BUILDING	33
3.1	OBJETIVO	33
3.1.1	UNIDADE FUNCIONAL	34
3.1.2	ÂMBITO	34
3.2	ANÁLISE DE INVENTÁRIO	35
3.3	MODO DE FUNCIONAMENTO	35
4	CASOS DE ESTUDO	45
4.1	FASE INICIAL DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ACV – LOTA	45
4.2	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	47
4.3	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/COMÉRCIO 50	
4.4	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – ARMAZÉM	54
4.5	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – HOTEL	57
4.6	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – INFRAESTRUTURA DESPORTIVA	59
4.7	CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO	62
5	SELEÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS	65
5.1	ALTERAÇÕES À HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	65
5.2	ALTERAÇÕES AO EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/COMÉRCIO	67

5.3	ALTERAÇÕES AO ARMAZÉM	70
5.4	ALTERAÇÕES AO HOTEL.....	72
5.5	ALTERAÇÕES AO EDIFÍCIO DA ACADEMIA.....	75
5.6	CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO DEPOIS DE APLICAR AS ALTERAÇÕES....	77
5.7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	79
6	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	83
6.1	CONCLUSÕES.....	83
6.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	84
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS		- 1 -
A.	SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA.....	- 1 -
B.	BASE DE DADOS – <i>ICE – INVENTORY OF CARBON AND ENERGY</i>	- 3 -
C.	RANGE NAMES DO FICHEIRO <i>LCA4Building</i>	- 21 -
D.	CÓDIGO DO FICHEIRO EXCEL.....	- 25 -
E.	MAPA DE CÁLCULO DO IMPACTO AMBIENTAL DA LOTA	- 35 -
F.	SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DO ONE CLICK LCA [25]	- 39 -

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DE REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO CURRICULAR: SOPSEC, S.A.

1.3 OBJETIVOS

1.4 ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria da construção é um dos maiores e mais activos sectores no Mundo. Consome mais matérias-primas do que qualquer outra actividade económica, e também consome elevadas quantidades de energia, gerando resíduos de construção e demolição que representam a grande maioria dos resíduos produzidos em toda a Europa, os quais em grande parte têm a vantagem de poder ser reciclados. Assim, o sector da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objectivos globais do desenvolvimento sustentável.

Os desafios para o sector da construção são diversos, porém, em síntese, consistem na redução e otimização do consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído.

Além disso, a construção e a gestão do ambiente construído devem ser encarados dentro da perspectiva de ciclo de vida, o que levou ao desenvolvimento desta dissertação.

1.2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ACOLHEDORA DO ESTÁGIO CURRICULAR: SOPSEC, S.A.

A SOPSEC, Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil, S.A. fundada em 1988, desde então a sociedade presta vários serviços no domínio da consultoria, elaboração de projetos e gestão de obras, quer em contexto nacional como internacional, com cerca de 100 colaboradores, actualmente.

Empresa com capacidade de adaptar-se às evoluções ocorridas nas atividades relacionadas com o seu âmbito, mas também às de carácter mais geral. A SOPSEC, está

atenta e acompanha as evoluções do nosso tempo, participando das interrogações das sociedades contemporâneas. Pelo qual, nos seus projetos, considera a especialização de aspetos de natureza ambiental e económica, num quadro de diálogo permanente e concretizador com os seus clientes, visando obter ganhos em qualidade de vida.

A SOPSEC tem experiência nas áreas tradicionais de projetos de Engenharia, em Edifícios e Obras de Engenharia Civil, designadamente fundações e obras geotécnicas, estruturas, hidráulica, acústica, segurança contra incêndios e vias de comunicação. Para além das componentes técnicas da Engenharia, tem forte vertente na Construção Sustentável. Os principais serviços com ligação à Sustentabilidade são na gestão de água nos edifícios, gestão de resíduos, eficiência e certificação energética de edifícios, engenharia de Fachadas – performance térmica e acústica dos edifícios, análise do Ciclo de Vida e avaliação de custos de utilização e manutenção, estudos ambientais em fase de programa base; ecoeficiência dos materiais, qualidade do ar e sistemas de certificação ambiental do ambiente construído.

A experiência da SOPSEC é relevante em obra nova, bem como em reabilitação de edifícios, monumentos e espaços urbanos [1].

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar os impactos ambientais potenciais associados aos materiais de construção, com base na metodologia de análise de ciclo de vida (ACV), focando na quantidade de energia e de carbono incorporados, de modo a propor materiais alternativos, com menor impate ambiental.

Para atingir este objetivo, pretende-se desenvolver uma ferramenta Excel, na qual, ao introduzir os dados dos elementos construtivos de uma determinada obra, se obtém os valores de energia e de carbono equivalente incorporados.

Para realizar o cálculo destes indicadores, utilizou-se a base de dados *ICE – Inventory of Carbon and Energy*, da Universidade de Bath.

A ferramenta desenvolvida foi aplicada a diferentes tipologias de edifícios (a) edifícios habitacionais, b) de serviços, e c) a um armazém) para, finalmente, realizar-se uma análise comparativa entre os vários tipos de construção existentes, usando como

referência a quantidade de energia e de carbono incorporados por metro quadrado de área construída.

1.4 ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

O relatório de estágio está organizada segundo a seguinte estrutura:

No Capítulo 1 é feita uma breve contextualização sobre a temática da construção sustentável. Segue-se a apresentação da empresa onde foi realizado o estágio curricular, e, finalmente, são apresentados os objetivos do presente trabalho e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 descreve-se o estado da arte em que se encontra o tema da sustentabilidade das construções, apresentando um panorama geral da situação. É dado particular realce aos sistemas de certificação energética e à sua importância na construção sustentável. Adicionalmente, introduz-se o conceito de Avaliação do Ciclo de Vida e as normas internacionais a si associadas, ISO 14040 e 14044. Por último, faz-se a apresentação dos vários *softwares* associados à avaliação do ciclo de vida na área da construção.

No Capítulo 3 faz-se a apresentação e descrição da ferramenta MS Excel, *LCA4Building*, desenvolvida neste trabalho para o cálculo do carbono e energia incorporados, usando a informação presente no mapa de quantidades, dos projetos objeto de estudo.

No Capítulo 4 apresentam-se os objetos de estudo, os cinco projetos aos quais foi aplicada a ferramenta *LCA4Building*, fazendo uma caracterização geral dos mesmos. Apresenta-se e comparam-se os resultados obtidos no cálculo da energia incorporada, bem como do carbono incorporado, para os vários tipos de edifício em estudo.

No Capítulo 5 apresentam-se soluções alternativas de materiais com valores mais reduzidos de energia e carbono equivalente incorporado. Apresentam-se as alterações necessárias aos projetos, para efetuar a substituição de certos materiais de modo a baixar o valor de Energia e Carbono incorporados.

No Capítulo 6 apresentam-se as conclusões do trabalho realizado, bem como oportunidades futuras de desenvolvimento na área.

ESTADO DA ARTE

- 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
- 2.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL
- 2.3 IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS
- 2.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA
- 2.5 FERRAMENTAS INFORMÁTICAS DE APOIO À ACV
- 2.6 ENERGIA E CARBONO INCORPORADOS
- 2.7 SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS

2 ESTADO DA ARTE

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de *Desenvolvimento Sustentável*, bem presente hoje em dia, é relativamente recente. Apenas ganhou mediatismo a nível mundial em 1987, após ser definido no relatório “*Our Common Future*”, o conhecido relatório Brundtland, como aquele que “permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de gerações futuras satisfazerem as suas”[2]. A Tabela 1 resume os principais eventos em que foram discutidos o conceito e objetivos do desenvolvimento sustentável.

O objetivo principal para um desenvolvimento mais sustentável, é chegar a um equilíbrio entre os três pilares da sustentabilidade: Social, Económico e Ambiental, conforme representado na Figura 1. É essencial que a sociedade progrida, tornando-se mais justa e combatendo a desigualdade de oportunidades, que a economia cresça para que haja elevadas taxas de empregabilidade e, por último, que o ambiente seja preservado, permitindo que as atividades humanas se possam desenvolver, sem prejuízo para a qualidade e quantidade dos recursos naturais.

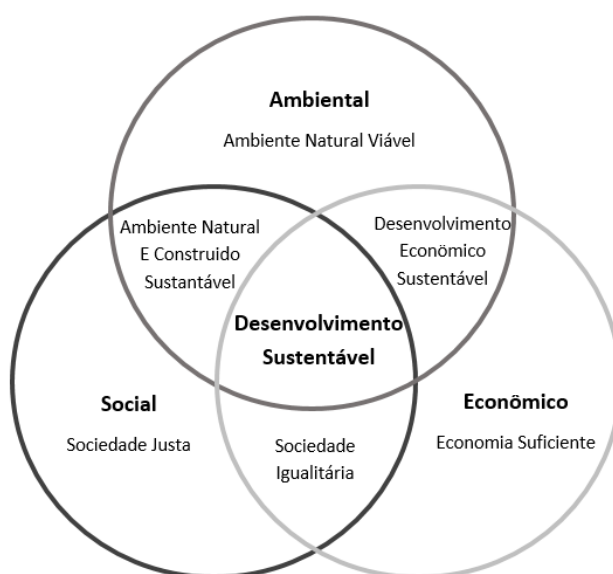


Figura 1 – Os três pilares do desenvolvimento sustentável

Mas a realidade está ainda bastante distante dos ideais defendidos pelo princípio do Desenvolvimento Sustentável. Segundo várias previsões, mantendo o cenário atual, em 2050 haverá um consumo equivalente aos recursos ambientais de 2,3 planetas. O consumo em 2014 foi de 1,69 planetas, o que significa que o planeta demora 1 ano e 8 meses a regenerar aquilo que é consumido num ano (Figura 2). Seguindo o modelo atual de gestão das sociedades, a Humanidade caminha para uma realidade totalmente insustentável, pelo que é urgente assumir compromissos mundiais que permitam alterar radicalmente o rumo do planeta. Este é o desafio que as sociedades enfrentam, de modo a conseguirem um elevado nível de bem-estar e desenvolvimento humano, garantindo ao mesmo tempo um consumo regrado dos recursos que assegure a sua disponibilidade a longo-prazo (objetivo esse que claramente não é cumprido por inúmeras nações) [3].

Tabela 1 – Resumo dos Eventos sobre o Desenvolvimento Sustentável [2], [4]

Ano	Evento	Objetivo	Resultados
1972	Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento - Estocolmo	- Discutir as mudanças climáticas; - Discutir a qualidade da água; - Debater soluções para reduzir os desastres naturais; - Reduzir e encontrar soluções para a modificação da paisagem; - Discutir as bases do desenvolvimento sustentável; - Limitar a utilização de pesticidas na agricultura; - Reduzir a quantidade de metais pesados lançados na natureza	- Definição de Desenvolvimento Sustentável
1975	Colóquio sobre a Educação Ambiental - Belgrado	Formular os princípios e linhas diretrizes da Educação Ambiental, para todo o mundo	- Carta de Belgrado
1977	Conferência de Tbilisi - Geórgia	Centrada na Carta de Belgrado e na Educação Ambiental	- Programa Internacional de Educação Ambiental
1992	Rio – 92 – Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – Rio de Janeiro	- Ambiente como componente importante do desenvolvimento sustentável - Princípio “Pensar globalmente e agir localmente” - Prevenção da poluição em vez no seu controlo - Legislação: Princípio do poluidor-pagador	- Agenda XXI - Declaração do Rio - Declaração de Princípios sobre o Uso das Florestas - Convenção Quadro das Alterações Climáticas
1997	Conferência de Quioto	- Reduzir 5,2%, das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) até 2012, relativamente ao nível de emissões do ano base de 1990.	- Protocolo de Quioto

Ano	Evento	Objetivo	Resultados
2002	Rio + 10 – Joanesburgo	- Reavaliar e implementar as conclusões e diretrizes da conferência Rio – 92 - Aprovação de diretrizes sobre as mudanças climáticas e o crescimento da pobreza de forma a reduzir as enormes diferenças entre os padrões de vida das populações	- Estratégia para alcançar um desenvolvimento sustentável.
2009	Conferência de Copenhaga	- Redução das emissões, mas sem ultrapassar o padrão de 1990-2007	- Sem acordo
2012	Conferência Rio+20 – Rio de Janeiro	- Reafirma compromissos anteriores - Política de proteção dos oceanos - Definição de objetivos globais para a sustentabilidade - Reforço do financiamento aos países em desenvolvimento	- Balanço Negativo - “O Futuro que Queremos”
2015	COP 21 - Paris	- Acordo Universal: definiu medidas para reduzir os efeitos das mudanças climáticas - Limitar o aquecimento global a menos de 2 graus Celsius até 2100	- Acordo de Paris
2016	COP 22 - Marraquexe	- Reiterar os compromissos assumidos pelos países como o Acordo de Paris e buscar caminhos para o financiamento climático	- Reforço do Acordo de Paris
2017	COP 23 – Bonn, na Alemanha	- Negociar os principais detalhes do Acordo que começa a funcionar partir de 2020 - Saída dos EUA do Acordo de Paris	- Reforço do Acordo de Paris
2018	COP 24 – Katowice, Polônia	- Acordo: sobre as seguintes três questões-chave: a ambição de cada nação, o financiamento para atingir as metas de diminuição de emissões de gases com efeito de estufa e a diferenciação do contributo de cada país para esses objetivos.	- Projecto para Colocar o Acordo de Paris em prática

A pegada ecológica representa a área de território necessária para suprir os recursos consumidos (neste caso per capita) e absorver os resíduos gerados por ano [4].

A biocapacidade varia anualmente, de acordo com a gestão dos ecossistemas (e também com a sua degradação), as práticas agrícolas, as alterações do clima e ainda com as variações da densidade populacional [3].

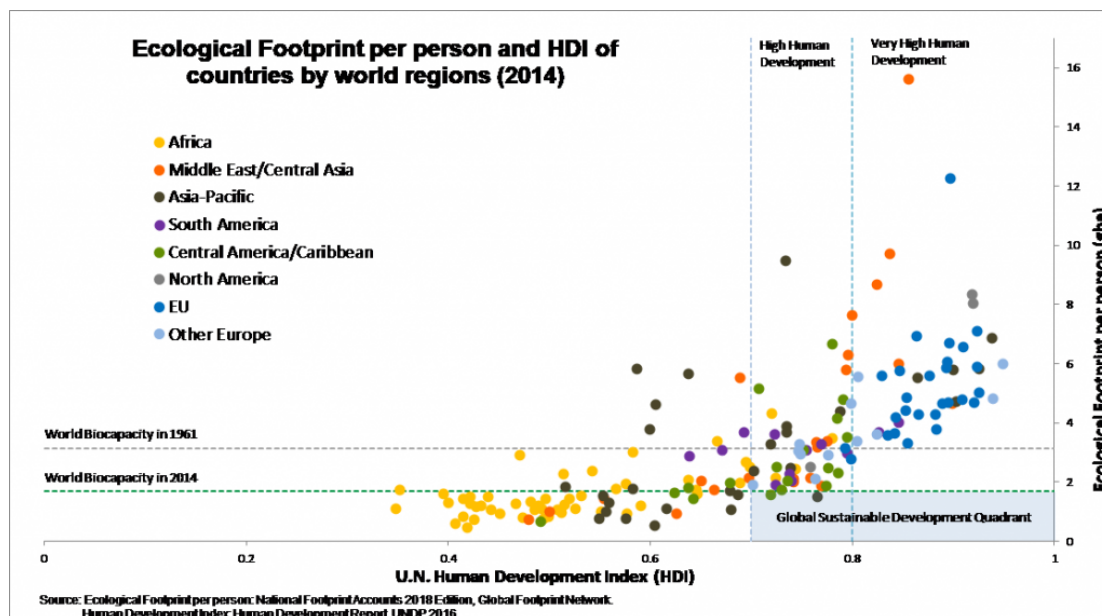


Figura 2 – Índice de desenvolvimento e Pegada Ecológica em 2014 [3]

2.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A indústria da construção, devido à grande quantidade de recursos que consome, resíduos que gera, e à sua importância na economia dos países, não ficou fora dos objetivos e metas que regem o desenvolvimento sustentável [5].

O conceito de construção sustentável não é recente, existem indícios que remontam à Antiguidade Clássica. O arquiteto e engenheiro romano Vitrúvio aborda recomendações de temas como a localização, orientação e iluminação natural dos edifícios [5].

Só na conferência Rio-92 é que o conceito de “construção sustentável” ganhou ênfase novamente. Esta visou aumentar as oportunidades das gerações futuras, com uma nova estratégia ambiental direcionada à produção de construções adaptadas ao meio ambiente e à exigência dos seus utilizadores.

O termo “construção sustentável” foi proposto por Kibbert, em 1994, para descrever as responsabilidades da indústria da construção, no que respeita ao conceito e aos objetivos da sustentabilidade. O Conselho Internacional da Construção – CIB, definiu o conceito como *“a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos”* [5].

O conceito de construção eco eficiente ou “verde” visa construir com impacto ambiental mínimo e, se possível, construir edifícios com efeitos menos negativos sobre o meio

ambiente. Na Tabela 2 são apresentadas as características principais dos vários tipos de construção. Pelo que é possível apresentar uma lista de prioridades, que são definidas como os pilares da construção sustentável, como se mostra na Figura 5.

Tabela 2 – Diferenças entre os vários Tipos de Construção [5]

Aspetos	Tipo de Construção		
	Convencional	Bioclimática	Eco eficiente
Configuração do edifício	Outras influências	Influenciada pelo clima	Influenciada pelo meio ambiente
Orientação do edifício	Pouco Importante	Crucial	Crucial
Fachadas e Janelas	Outras influências	Dependente do clima	Dependente do meio ambiente
Fonte de Energia	Gerada	Gerada/ambiente	Gerada/ambiente/ local
Controlo do Ambiente Interno	Eletromecânico (artificial)	Eletromecânico/ natural	Eletromecânico/ natural
Consumo de Energia	Geralmente elevado	Reduzido	Reduzido
Fontes de Matéria-prima	Pouco importante	Pouco importante	Reduzido Impacte Ambiental
Tipo de Materiais	Pouco importante	Pouco importante	Reutilizáveis/ recicláveis/ reciclados



Figura 3 – Objetivos da Construção Sustentável [2]

2.3 IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS

As atividades associadas à construção do edificado, bem como os seus efeitos ambientais, variam consoante a sua tipologia e ao longo da vida da construção. "A forma como as estruturas construídas são obtidas e erigidas, usadas e operadas, mantidas e reparadas, modernizadas e reabilitadas, e finalmente desmanteladas (e reutilizadas) ou demolidas (e recicladas), constituem o ciclo de vida completo das atividades construtivas sustentáveis" [2,3].

O ciclo de vida das construções inicia-se na conceção e vai até à desativação (Figura 4). Assim, envolve todo o ciclo de vida da construção, embora a sua maior expressão, em termos construtivos, ocorra na fase de construção propriamente dita e na fase de demolição.

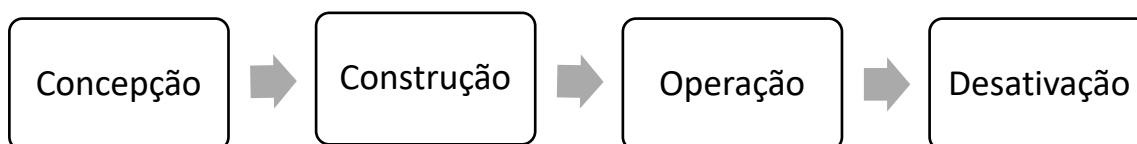


Figura 4 – Esquema representativo do Ciclo de Vida da Construção

Quando se abordam os efeitos da construção, muitas vezes centra-se na análise de uma parte importante dos efeitos negativos e incomodidades associados à obra em si mesma, isto é, à fase de construção, quando grande parte dos benefícios se associam à fase de operação, o que leva a uma abordagem reducionista [2], [4].

Existem vários tipos de impactes ambientais, diretos ou indiretos e mais ou menos críticos, associados aos edifícios ao longo do seu ciclo de vida. Desde a extração dos recursos naturais (pelo seu elevado consumo), até ao transporte nas várias fases do ciclo de vida dos materiais consumidos; como na produção dos vários produtos de construção ou das suas emissões poluentes durante a sua utilização, são várias as fontes poluidoras em causa (Figura 5) [2], [4].

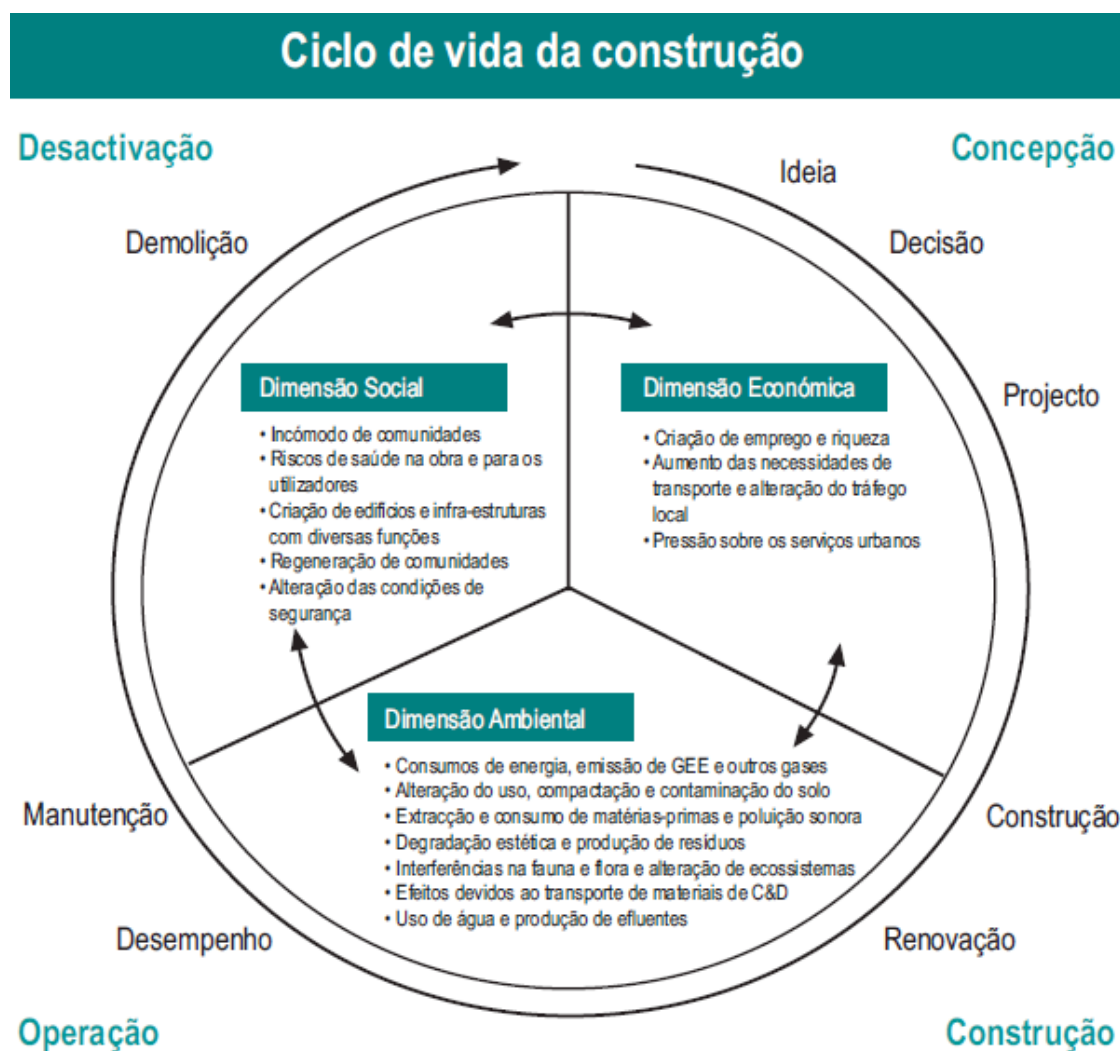


Figura 5 – Impactos do Ciclo de Vida da Construção [4]

Assim, devem-se considerar quatro fases bem distintas, identificando os impactes principais em cada uma delas. Sendo estas as seguintes: Concepção/Projeto, Construção, Utilização/Operação e Desativação/Demolição.

2.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Entre 1990 e 2000 o SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – começou a investigar a avaliação do ciclo de vida, bem como o desenvolvimento de normalização que permitisse uniformizar o processo ACV levando assim, à publicação das normas ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000. No entanto, essas normas foram posteriormente agrupadas em dois documentos, a ISO 14040:2006 – *Gestão Ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Princípios e Enquadramento*

– e a ISO 14044:2006 – *Gestão Ambiental. Avaliação do Ciclo de Vida. Requisitos e linhas de orientação* [6].

Inicialmente, a ACV foi utilizada como forma de avaliar os potenciais impactes ambientais de determinado produto ou serviço. Ou seja, permite avaliar os impactos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo de todo o seu ciclo de vida, através da identificação e quantificação dos consumos de energia e materiais, assim como das emissões e resíduos libertados para o ambiente.

A ISO 14040:2006 afirma que a ACV é um método que junta e avalia as entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de um sistema, permitindo a análise dos potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto [7]. Embora seja uma abordagem tradicional, esta apresenta vantagens na aplicação da ACV, como por exemplo:

- Identificação do peso e oportunidades de melhorar, a nível ambiental, as várias fases que constituem o ciclo de vida do produto;
- Apoio a decisões, em áreas tão distintas como a indústria, organizações governamentais, entre outros, levando à escolha de produtos ecologicamente mais eficientes;
- E podendo ser um instrumento de marketing para produtos com bom desempenho ambiental [7].

Tal metodologia reforça a ideia de uma única vertente, a ambiental, desta abordagem. A ACV analisa a complexa interação de um sistema, que pode ser um produto, um material, um processo ou um conjunto de processos, com o ambiente ao longo de todo o seu ciclo de vida. Esta assume que todas as fases do ciclo de vida de um produto, produzem um impacto ambiental que deve ser analisado, de acordo com a sua profundidade e abrangência. Assim, a quantificação de todos estes impactos pode tornar-se complexa, cara e muito extensa, tornando-se na principal limitação para aplicação da metodologia na sua forma mais pura [8].

No sector da construção, a ACV é uma ferramenta essencial, uma vez que é um dos sectores com maiores impactos ambientais em todo o mundo, devido à grande quantidade de recursos que consome e resíduos que produz.

2.4.1 VERTENTES DA ACV

Existem vários tipos de combinações diferentes para a fronteira do sistema a ser analisado. No caso da construção, a modelação apresentada na Figura 6 é a mais comum entre os especialistas de AVC. É possível observar na Figura 6 a existência de quatro distintas fronteiras possíveis de análise, em função das fases do ciclo de vida que englobam. A Avaliação do Ciclo de Vida, usualmente, incide sobre três dos quatro tipos: *cradle-to-gate* (“do berço ao portão”), *cradle-to-site* (“do berço ao local”), *cradle-to-cradle* (“do berço ao berço”) e *cradle-to-grave* (“do berço ao túmulo”) [8].

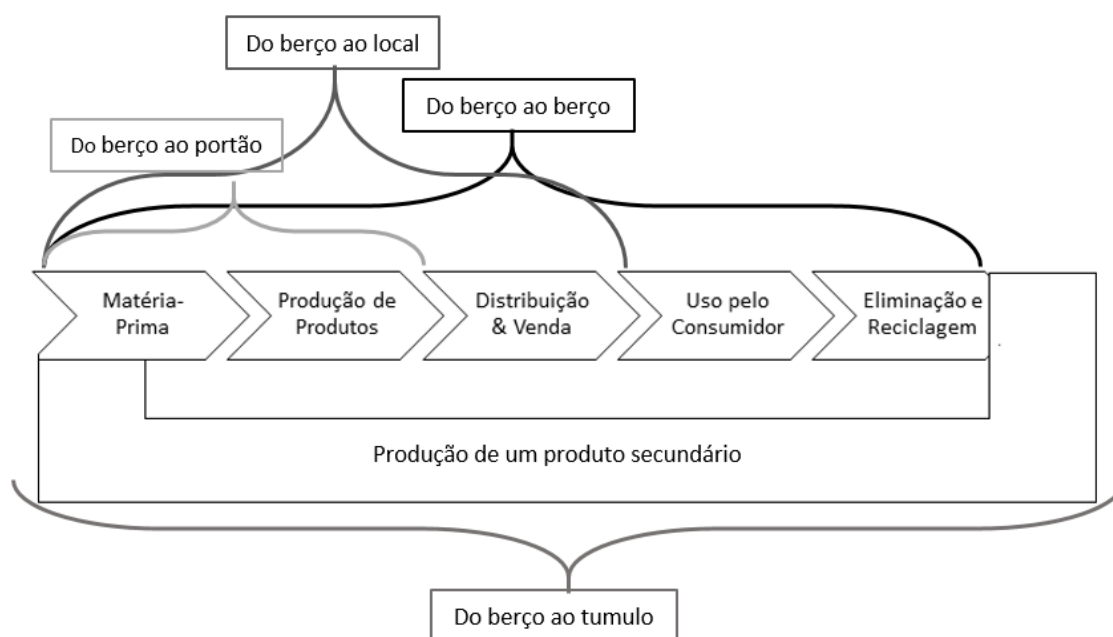


Figura 6 – Fases do ciclo de vida englobadas em cada variante de LCA

A análise *cradle-to-gate* (“do berço ao portão”) contempla todos os processos e fases do ciclo de vida desde a extração das matérias-primas até ao portão da fábrica; assim, o transporte até ao consumidor final já não é incluído nesta análise. Esta análise é frequentemente empregada nas Declarações Ambientais de Produto. A análise *cradle-to-site* (“do berço ao local”) é igual à análise *cradle-to-gate* mais o transporte até ao consumidor final. A análise *cradle-to-grave* (“do berço ao túmulo”) analisa todo o ciclo de vida do produto ou sistema, desde a extração de matérias-primas até à deposição final. Por último, a análise *cradle-to-cradle* (“do berço ao berço”) é semelhante à análise *cradle-to-grave*, englobando todos os processos do ciclo de vida, apenas considerando a mais a fase do fim de vida, como um processo de reciclagem.

2.4.2 ETAPAS DA ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida é normalizada segundo as normas da série ISO 14040. Segundo essa série de normas, a aplicação da metodologia de ACV divide-se em quatro fases:

1. Definição do objetivo e âmbito;
2. Inventário do ciclo de vida (ICV);
3. Avaliação dos impactos ambientais;
4. Interpretação.

Na Figura 7 é apresentada a estrutura ou metodologia segundo a qual se deve desenvolver o estudo de ACV, de acordo com a ISO 14040. É ainda perceptível que se trata de um processo iterativo.



Figura 7 – Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida segundo a ISO 14040

Esse facto é apresentado de uma forma ainda mais clara e detalhada na Figura 8. O processo de uma ACV é quase sempre iterativo, começando pela definição do objetivo e o âmbito iniciais, que orientarão os passos seguintes. Posteriormente, o processo desenvolver-se-á em ciclos, com a garantia de que, à passagem de cada ciclo, a

quantidade e qualidade da informação recolhida vai aumentando, tornando o resultado final cada vez mais aproximado à realidade. Cada ciclo compreende o ajuste ao objetivo e âmbito, a recolha de mais informação para o LCI, a avaliação dos impactes e a análise dos progressos conseguidos, que permitirá fazer o ajuste seguinte. Este processo continua até se atingir a precisão pretendida para o modelo do sistema, e até se obter a garantia da integridade e plenitude dos dados constituintes do LCI. Obviamente, é necessário algum bom senso pois, a partir de um certo ponto, o esforço necessário para agregar mais informação poderá não se traduzir em melhorias significativas do resultado final [9].

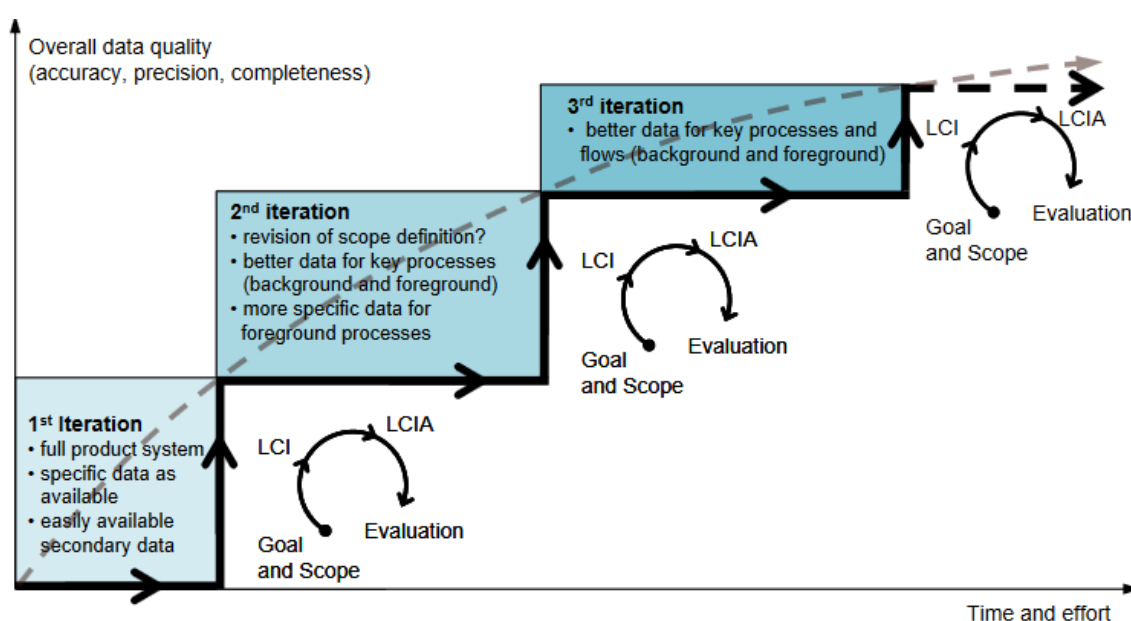


Figura 8 – O carácter iterativo da Análise do Ciclo de Vida [9]

2.4.3 DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E ÂMBITO

Nesta primeira fase do processo de ACV, é formulado e especificado o objetivo e âmbito do estudo sem ambiguidade.

O objetivo de um estudo de ACV deve ser explícito quanto à aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e qual o público-alvo.

Na definição do âmbito do estudo [8] deve dar-se atenção a:

- Unidade funcional – fornecer uma referência em relação à qual os dados de entrada e saída se relacionam, de forma a assegurar a possibilidade de comparação dos resultados da ACV. Esta toma particular relevância quando se estão a avaliar diferentes sistemas.

- Fronteiras do sistema de produto – estabelece quais as unidades de processo que devem ser incluídas no sistema da ACV. Os critérios usados no estabelecimento das fronteiras do sistema devem ser claramente identificados e justificados.
- Qualidade dos dados iniciais – este aspeto depende muito de qual o objetivo do estudo. Indica as características e qual a profundidade dos dados recolhidos para o estudo. Na definição da qualidade dos dados devem ser abordados:
 - Período de tempo coberto;
 - Área geográfica;
 - Cobertura tecnológica;
 - Precisão, representatividade, consistência e reprodutibilidade;
 - Incerteza da informação.

2.4.4 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

A fase de análise do inventário envolve a recolha de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes do sistema em estudo (entradas de recursos e energia; saídas de emissões para a atmosfera, deposição de resíduos sólidos e descargas de efluentes líquidos). O processo de execução de uma análise do inventário é iterativo e pode ser bastante extenso, visto que à medida que se aumenta o conhecimento sobre o sistema podem identificar-se novos requisitos ou limitações para os dados, o que pode significar uma mudança nos procedimentos de recolha dos dados de modo a que os objetivos do estudo sejam alcançados [8], [9].

2.4.5 AVALIAÇÃO DOS IMPACTES DO CICLO DE VIDA

Esta é uma fase fundamental para uma correta estimativa da ACV e divide-se nas seguintes partes:

- Na primeira parte (fase de classificação), cada intervenção ambiental na ACV é associada a uma categoria de impacto ou categorias em que tem um efeito. Os dados do inventário são agregados de modo a quantificar as categorias de impacto ambiental, sendo as mais vulgarmente utilizadas as indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Exemplos Categorias de impacto da ACV

Área de Impacto	Categoria de impacto	Emissões atmosféricas			
		CO ₂	SO ₂	NOx	Poeira
Global	Efeito de estufa	X	X	X	X
Regional	Acidificação	-	X	X	-
	Eutrofização	-	-	X	-
Local	Nevoeiro de Inverno	-	X	-	X

- Na segunda parte (fase de caracterização), os efeitos relativos de todas as intervenções ambientais associadas a cada uma das diferentes categorias de impacto são quantificados por meio de fatores de caracterização;
- Uma terceira parte pode ser considerada, a chamada fase de avaliação, em que as diferentes categorias de impacto são ponderadas. Os valores escolhidos para realizar esta ponderação não resultam de uma ponderação técnica, científica ou objetiva, podendo refletir a opinião de grupos políticos, de investidores, etc.

Conforme se verifica na Tabela 3, as categorias de impacto podem ser alvo de distintos pontos de análise, podendo ser classificadas, de acordo com o impacto criado no meio ambiente, como global, regional ou local, dependendo da sua área geográfica de impacto. Este tipo de classificação visa facilitar uma posterior análise dos resultados e a tomada de decisão, dependendo do alcance do ponto de vista escolhido. Este trabalho vai incidir principalmente sobre a avaliação dos impactes globais, logo irão ser analisadas com maior detalhe apenas as quantidades de CO₂ libertadas [8], [9].

2.4.6 INTERPRETAÇÃO

É desta fase que se retiram as principais conclusões e se sugerem recomendações fundamentadas acerca dos aspetos ambientais mais relevantes contidos nos resultados da análise do inventário do ciclo de vida. Os resultados da interpretação acima mencionada devem ser comunicados de uma forma transparente e compreensível de modo a serem facilmente interpretados pelo responsável da tomada de decisão.

A ISO também possui padrões para relatórios de análise e de crítica. Logo, após os passos acima descritos, a ACV apresentada nos relatórios finais de um produto ou processo é

sujeita a uma análise crítica que verifica a sua validade de acordo com a metodologia, o tipo de dados, interpretação e apresentação de relatório preconizado [8], [9].

2.5 FERRAMENTAS INFORMÁTICAS DE APOIO À ACV

Nesta secção são apresentadas quatro ferramentas de calculo da ACV, que podem ser aplicadas à construção civil. O SimaPro e o GaBi permitem fazer análise do ciclo de vida para todos os tipos de materiais e processos. Por outro lado, os *softwares* BEES e Athena são apenas aplicaveis à construção civil.

2.5.1 SIMAPRO

O *SimaPro* [10] é um *software* de ACV que permite reunir, analisar e monitorizar os dados de desempenho de sustentabilidade de produtos e serviços. Pode ser usado para uma variedade de aplicações, tais como relatórios de sustentabilidade, cálculo da pegada de carbono, cálculo da pegada hídrica, *design* de produto, criação de declarações ambientais de produto e determinação de indicadores-chave de desempenho.

Tem características como a modelação parametrizada e a interatividade na apresentação de resultados que tornam esta ferramenta única, incorporando também uma base de dados exclusiva, a Ecoinvent, bem como vários métodos de avaliação de impactos. Principais características do *SimaPro*:

- Interface de utilizadores
- Utilização parametrizada
- Cumprimento da regulamentação
- Análise múltipla de cenários possíveis
- Utilização fácil aplicando ferramentas
- Análise de incertezas

É uma ferramenta que ajuda a colocar as métricas do desenvolvimento de produtos sustentáveis, estabelecendo diversas metas de sustentabilidade. Baseia-se em indicadores, que ajudam na tomada de decisões sólidas, para mudar positivamente o ciclo de vida do produto em análise. Este é utilizado pela indústria, consultores e institutos de investigação em mais de 80 países, estando disponível como plataforma multiusuário, permitindo que diferentes utilizadores, em diferentes localizações tenham acesso direto e simultâneo. O *SimaPro* é então uma ferramenta profissional para

analisar e monitorizar o desempenho de sustentabilidade de produtos e serviços, facilitando desta forma a análise do ciclo de vida de sistemas complexos de forma transparente, desde a extração de matérias-primas para a fabricação, à distribuição, utilização e eliminação [11].

2.5.2 BUILDING FOR ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY (BEES)

O *software* 'Building for Environmental and Economic Sustainability' (BEES) incorpora uma técnica para a seleção de custo-benefício em produtos de construção. Desenvolvido pelo laboratório americano de engenharia NIST (National Institute of Standards and Technology). Esta é apoiada em padrões de consenso, sendo projetada para ser prática, flexível e transparente, destinada a projetistas, construtores e fabricantes de produtos, incluindo dados reais de desempenho ambiental e económico, para mais de 230 produtos de construção.

O BEES mede o desempenho ambiental de produtos de construção, utilizando a abordagem de avaliação do ciclo de vida especificada na série de normas ISO 14040. Todas as etapas da vida de um produto são analisadas desde a aquisição de matéria-prima, fabricação, transporte, instalação, uso e reciclagem e gestão de resíduos. O desempenho económico é medido pelo método do custo do ciclo de vida padrão de ASTM (American Society for Testing and Materials), que cobre os custos de investimento inicial, de substituição, operação, manutenção e reparação, e eliminação. O desempenho ambiental e económico são combinados numa medida de desempenho global utilizando a norma ASTM para análise de decisão multicritério. Para toda a análise BEES, os produtos de construção são definidos e classificados de acordo com a classificação padrão ASTM para elementos de construção conhecidos [12].

2.5.3 ATHENA

Athena Sustainable Materials Institute é uma instituição de investigação sem fins lucrativos, com o objetivo de fornecer uma avaliação do ciclo de vida dos produtos para o sector da construção de forma transparente e clara.

O objetivo do instituto é fornecer e desenvolver dados ACV de materiais e sistemas, bem como ferramentas de *software* que permitam pegadas menores na produção e consumo de materiais de construção, sendo desta forma uma ponte entre os fabricantes de

produtos e potenciais utilizadores. O método envolve uma perspetiva de ciclo de vida que leva em consideração os valores ambientais, económicos e sociais, com uma visão de longo prazo em todas as suas ações, bem como uma melhor quantificação da construção sustentável [13].

As ferramentas de ACV do *Software Athena*, o Estimador de Impacto *Athena* para Edificações e Rodovias e o *EcoCalculator*, apresentam os resultados de ACV em produtos de construção e os resultados de uma construção ou montagem. Os impactos são apresentados como um todo ou divididos por etapas do ciclo de vida [13]:

- Extração de recursos
- Fabricação de produtos
- A construção do edifício
- Ocupação da Construção e manutenção
- Demolição / desconstrução

2.5.4 *GaBi*

O *software GaBi* tem como finalidade fornecer um sistema para análise do ciclo de vida, para que seja possível tomar as melhores decisões, sobre a produção e o ciclo de vida de qualquer produto. Tem um banco de dados acessível e constantemente atualizado, que contem detalhes referentes aos custos com energia e impacto ambiental, desde a fase de extração da matéria-prima. Além disso, analisa o impacto sobre o meio ambiente e apresenta alternativas para a fabricação, distribuição, reciclagem, poluição e sustentabilidade [14].

O *GaBi* facilita às empresas realizarem as avaliações do Ciclo de Vida, também permite oferecer produtos mais eficientes em termos de custos, de forma a satisfazer as expectativas dos consumidores.

Este *software* tem as seguintes vantagens [14]:

- Possibilidade de orientação intuitiva para os utilizadores novos e com experiência
- Melhor organização tornando a ACV mais rápida e eficiente
- Melhoria da Análise de Cenários
- Melhor painel de instrumentos, de forma a facilitar a análise visual
- Estrutura da biblioteca – com vários modelos pré-formatados para o painel de instrumentos e relatórios
- Melhoria da estética dos relatórios

- Relatórios dinâmicos para utilizadores da ACV
- Ferramentas interativas
- Relatórios personalizáveis

2.6 ENERGIA E CARBONO INCORPORADOS

A indústria da construção civil consome uma grande quantidade de recursos e energia e, devido às atuais tendências de crescimento da população global, esta situação deverá agravar-se no futuro próximo. Os edifícios consomem aproximadamente 40% da energia global do planeta, durante as fases do ciclo de vida de construção, uso e demolição. O uso de energia do ciclo de vida total em um edifício consiste em dois componentes: energia incorporada e operacional. A energia incorporada é gasta nos processos de produção de materiais de construção, entrega ao local, construção, manutenção, renovação e demolição final. A energia operacional é consumida na operação dos edifícios.

Com o avanço tecnológico para os vários sistemas de aquecimento e arrefecimento de um edifício e a entrada em vigor da Diretiva 2018/844 do Parlamento Europeu, relativa ao desempenho energético dos edifícios e eficiência energética, vai ser cada vez mais importante diminuir a energia incorporada dos edifícios, uma vez que a energia operacional está a diminuir significativamente com o aumento da eficiência energética dos vários equipamentos. Na Figura 9, apresenta a evolução da importância da energia incorporada e energia operacional, ou seja, pelo tipo de construção que se quer atingir.

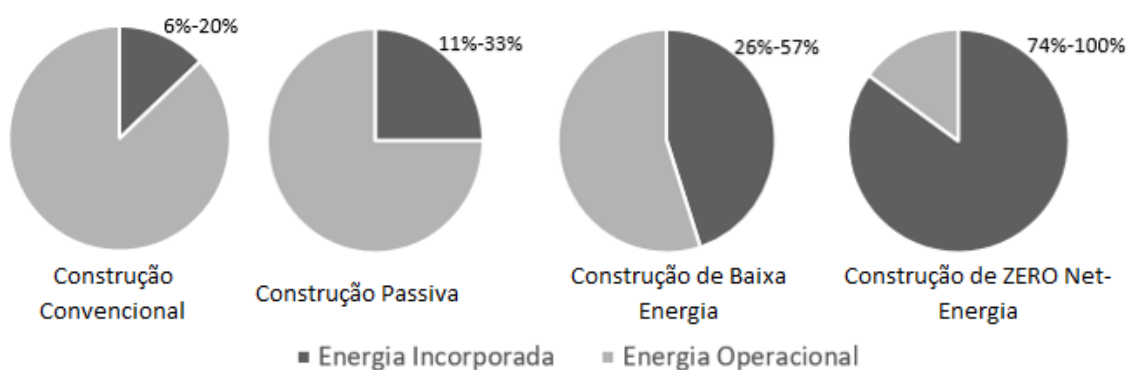


Figura 9 – Evolução da Energia Incorporada vs Energia Operacional dos Edifícios

As interpretações atuais da energia incorporada são bastante incertas e variam muito, e as bases de dados de energia incorporada sofrem com os problemas de variação e incomparabilidade. Os parâmetros de cálculo são diferentes, o que leva a uma variação significativa nos valores de energia incorporada relatados.

Existem dois tipos de emissões de carbono com relação a um edifício: carbono operacional e carbono incorporado.

O carbono operacional é o dióxido de carbono emitido durante a vida de um edifício, a partir das cargas "reguladas" e "não reguladas" associadas ao uso de um edifício, ou seja, no aquecimento, no arrefecimento e iluminação, entre outros.

O carbono incorporado são as emissões de gases de efeito estufa durante o ciclo de vida (expressas como equivalentes de dióxido de carbono - CO_{2eq}) que ocorrem durante a produção e transporte de materiais e componentes de construção, bem como o próprio processo de construção e aspetos de fim de vida do edifício. Uma avaliação da pegada de carbono ou carbono incorporado é um subconjunto da maioria dos estudos de ACV [15]. O carbono incorporado e as emissões de carbono na fase de operação do edifício (carbono operacional) juntos compõem a pegada de carbono do ciclo de vida completo do edifício.

O Potencial de Aquecimento Global – *GWP*, é a medida que converte uma determinada quantidade de um gás do efeito estufa (GEE) que contribui para o aquecimento global, ou seja, é a medida que compara o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono (cujo potencial é definido como 1). É o impacto ecológico que decorre em toda a cadeia de atividades que se desenvolvem, desde a extração das matérias-primas até à montagem do edifício [5].

2.7 SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS

2.7.1 SISTEMA *SBTool*^{PT}

O *SBTool*^{PT} é uma ferramenta que permite a avaliação e a certificação da sustentabilidade de edifícios (Figura 10). A metodologia implementada na ferramenta *SBTool*^{PT} tem por base a estrutura do sistema internacional de avaliação da sustentabilidade *SBTool*, tendo sido desenvolvido pela associação sem fins lucrativos

iiSBE (*international initiative for the Sustainable Built Environment*) e é o resultado da colaboração, em consórcio, de equipas de mais de 20 países (Europa, Ásia e América). O sistema português é resultado da adaptação do *SBTool* internacional à realidade Portuguesa, que foi conduzida pela Associação *iiSBE* Portugal em colaboração com o LFTC-UM (Laboratório de Física e Tecnologia da Construção - Universidade do Minho) e a *Ecochoice*. Através da utilização desta ferramenta é possível avaliar e classificar o desempenho de um edifício, em relação a dois níveis de referência (adaptados ao contexto nacional): melhor prática e prática convencional [10].



Figura 10 – Processo de Avaliação e Emissão do certificado de Sustentabilidade SBTool^{PT} [10]

Como características principais desta ferramenta, destaca-se [10]:

- Os resultados são validados a nível internacional por uma organização independente (*iiSBE*);
- Foi desenvolvida e adaptada ao contexto nacional por uma equipa multidisciplinar com créditos reconhecidos no domínio da construção sustentável;
- A avaliação considera o desempenho dos edifícios ao nível das três dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, social e económica;
- Apresenta uma lista otimizada de indicadores;

- Encontra-se assente num conjunto de parâmetros e critérios de avaliação de objetivos, o que tem como vantagem o facto de gerar resultados iguais quando utilizada por diferentes avaliadores;
- Apresenta um módulo específico para cada tipo de edifícios (habitação, serviços, etc.);
- Encontra-se harmonizada com os trabalhos em curso na CEN/TC 350, que visam a normalização europeia das metodologias de avaliação da sustentabilidade de edifícios;
- Foi desenvolvida de modo a potenciar a sua utilização por parte das equipas de projeto sem grandes conhecimentos neste contexto, e a facilitar a interpretação dos resultados obtidos por parte dos diferentes intervenientes no ciclo de vida dos edifícios.

Os indicadores da sustentabilidade ambiental são um conjunto limitado de desempenho absoluto das medidas que caracterizam as práticas de construção sustentável e que facilitam a comparabilidade internacional. Existem doze indicadores (ESI-i) de sustentabilidade ambiental que são avaliados:

- ESI-1: consumo total líquido de energia incorporada, GJ
- ESI-2: consumo anual líquido de energia incorporada, MJ
- ESI-3: consumo anual líquido de energia primária para as operações de construção, MJ
- ESI-4: consumo anual líquido de energia não renovável para as operações de construção, MJ
- ESI-5: energia primária incorporada anualmente e funcionamento primário anual de energia, MJ
- ESI-6: área útil de solo usada para a construção de obras relacionadas, m²
- ESI-7: consumo anual de água potável para as operações de construção, m³
- ESI-8: uso anual de água cinzenta e água da chuva para as operações de construção, m³
- ESI-9: emissões anuais de gases de efeito de estufa das operações de construção, normalizadas para a área líquida e ocupação, kg. CO_{2eq}
- ESI-10 previsão de vazamento equivalente de CFC-11 por ano, g

- ESI-11: peso total de materiais reutilizados no projeto *on-site* ou *off-site*, kg
- ESI-12: peso total de novos materiais utilizados no projeto do *off-site* utiliza kg.

De entre as vantagens da ferramenta *SBTool*, destaca-se a possibilidade de permitir a avaliação e a certificação da sustentabilidade de edifícios, destacando e promovendo os casos e referência no sector.

2.7.2 SISTEMA *LIDERA*

O sistema *LiderA* - Sistema de Avaliação da Sustentabilidade, é um sistema voluntário de apoio ao desenvolvimento de soluções e avaliação da sustentabilidade da construção, que atribui, em caso de desempenho comprovado, uma certificação.

Este sistema, desenvolvido em Portugal, assenta em seis princípios a adotar, os quais abrangem as seis vertentes consideradas no sistema. Os princípios sugeridos para a procura da sustentabilidade são os seguintes [16], [17]:

1. Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
2. Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
3. Reduzir o impacte das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
4. Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental;
5. Fomentar as vivências socioeconómicas sustentáveis;
6. Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação.

As seis vertentes subdividem-se em vinte e duas áreas, como se pode ver na Figura 11.

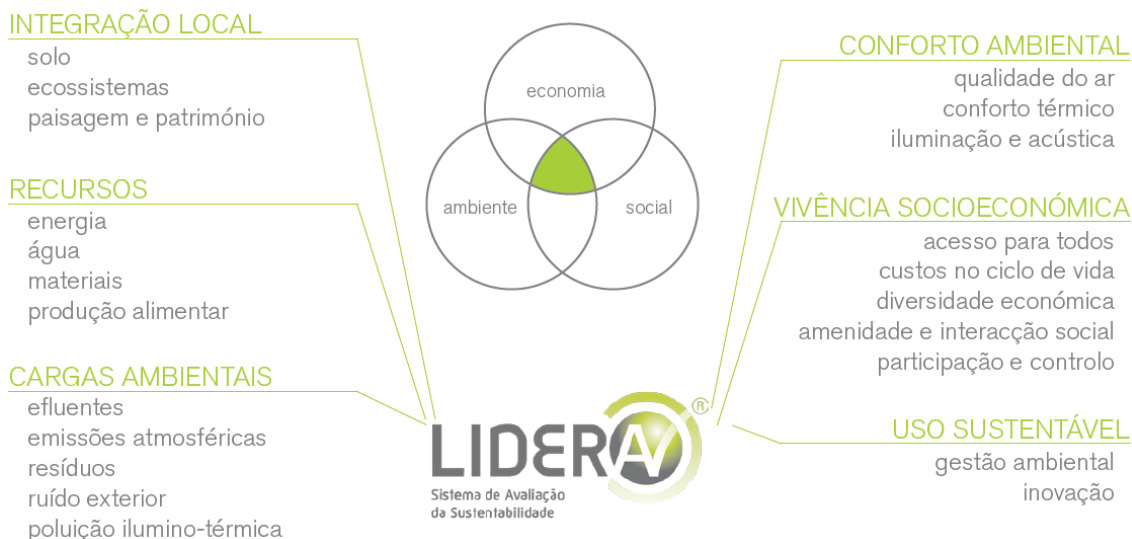


Figura 11 – Vertentes do LíderA [17]

O sistema apresenta um conjunto de critérios que operacionalizam os aspetos a considerar em cada área. Estes critérios dispõem de diferentes níveis de desempenho (1 a 10, ou superior) evoluem com a tecnologia, permitindo assim dispor de soluções ambientalmente mais eficientes. No entanto, os critérios e as orientações apresentadas pretendem ajudar a selecionar, não a melhor solução existente, mas a solução que melhore, preferencialmente de forma significativa, o desempenho existente, também numa perspetiva económica [16], [17].

Para cada tipologia de utilização, e para cada critério, são definidos os níveis de desempenho considerados (ou limiares), que permitem indicar se a solução é ou não sustentável (Figura 12). A parametrização para cada um deles segue, ou a melhoria das práticas existentes, ou a referência aos valores de boas práticas, tal como é usual nos sistemas internacionais. Os níveis de desempenho são numéricos, e do ponto de vista de comunicação são transformados em classes (de G a A++) [16], [17].



Figura 12 – Níveis de desempenho do LíderA [17]

Os limiares são derivados a partir de três pontos de referência. O primeiro assenta no desempenho tecnológico mais utilizado, pelo que a prática construtiva existente é considerada como nível usual (Classe E). No segundo nível o melhor desempenho decorre da melhor prática construtiva viável à data (Classe D, C, B e até A), o terceiro assenta na definição do nível de sustentabilidade elevado (procura de neutralidade) ou regenerativo (Classes A++). Decorrentes desta análise são estabelecidos para cada utilização os níveis de desempenho a serem atingidos [16], [17].

O sistema LiderA pode ser utilizado para desenvolver os planos, projetos e procura de soluções construtivas sustentáveis na fase de obra, sendo particularmente relevante a sua aplicação desde logo na fase de conceção do mesmo (Figura 13).



Figura 13 – Fases do empreendimento e aplicação da abordagem ao LiderA [17]

2.7.3 SISTEMA LEED

Sistema *LEED* foi criado nos EUA (Estados Unidos da América) e tem como finalidade avaliar a sustentabilidade do edifício, estabelecendo metas nas fases de projeto, construção e operação. Está formatado para a maneira de pensar do ser humano, como os edifícios e as populações estão planeadas, construídos, mantidos e utilizados em todo o mundo, é um programa de certificação de edifícios verdes que reconhece estratégias e práticas de *best-in-class* de construção [18].

Para receber a certificação *LEED*, os projetos de construção têm de satisfazer os pré-requisitos e ganhar pontos para alcançar diferentes níveis de certificação. Os pré-requisitos e créditos são diferentes para cada sistema de classificação, e as equipas projetistas devem escolher o mais adequado para o seu projeto. Há cinco sistemas de classificação que abordam vários tipos de projetos:

1. *Building Design and Construction*: Aplica-se a edifícios novos e a reabilitações.

2. *Interior Design and Construction*: Aplica-se a projetos que são um equipamento completo e aos interiores.
3. *Building Operations and Maintenance*: Aplica-se a edifícios existentes que são submetidos a trabalhos de melhoramento.
4. *Neighborhood Development*: Aplica-se a novos projetos de planeamento territorial ou projetos de reabilitação que contêm uso residencial, uso não residencial, ou mistos. Pode-se aplicar em qualquer fase do processo de desenvolvimento.
5. *Homes*: Aplica-se a habitações unifamiliares, multifamiliares de baixo ou médio crescimento.

Cada sistema de classificação é constituído por uma combinação de categorias de crédito (Figura 14).



Figura 14 – Categorias de créditos do LEED [19]

Dentro de cada uma das categorias de crédito existem pré-requisitos específicos que se deve satisfazer para ganhar pontos.

O número de pontos ganhos pelo projeto determina o seu nível de certificação *LEED*. As suas categorias são as seguintes [18]:

- Processo Integrativo
- Localização e Transporte
- Materiais e Recursos
- Eficiência de água
- Energia e atmosfera
- Locais sustentáveis
- Qualidade ambiental interior
- Inovação
- Créditos regionais

Categorias adicionais *LEED* para o desenvolvimento de bairros [18]:

- Inteligência da localização e ligação
- Padrão do Bairro
- Infraestruturas de edifícios verdes

O número de pontos que um projeto ganha determina o nível de certificação *LEED*, existindo quatro níveis de certificação *LEED* que o projeto poderá receber (Figura 15).



Figura 15 – Níveis de certificação do *LEED* [20]

Como é baseado em pontuação, é necessário primeiro verificar se obedece aos requisitos mínimos, pré-requisitos, e se um número mínimo de créditos (somando 40 pontos) são atendidos; para isso, a equipa deve, através duma *checklist*, determinar os créditos que serão atendidos, a fim de dirigir o projeto, estabelecer metas e definir o nível de certificação que se pretende conquistar [18].

Caso a certificação seja viável, a equipa deve elaborar e enviar toda a documentação referente ao empreendimento e aguardar a informação dos créditos que foram contemplados pelo *USGBC* (U.S. Green Building Council). Isso não garante a certificação, que só será emitida após a fase de construção. Depois de finalizada a obra, é necessário enviar outros documentos referentes à comprovação da aplicação dos créditos na

construção (notas fiscais, fotografia etc.). Uma vez aprovados os créditos, será emitido o certificado do empreendimento [18].

2.7.4 SISTEMA BREEAM

O *BREEAM* é o método de avaliação ambiental mais usado no mundo. É um sistema de classificação para certificação de todos os tipos de edifícios, escolas, edifícios de saúde, escritórios, instalações industriais, entre outros (Figura 16).

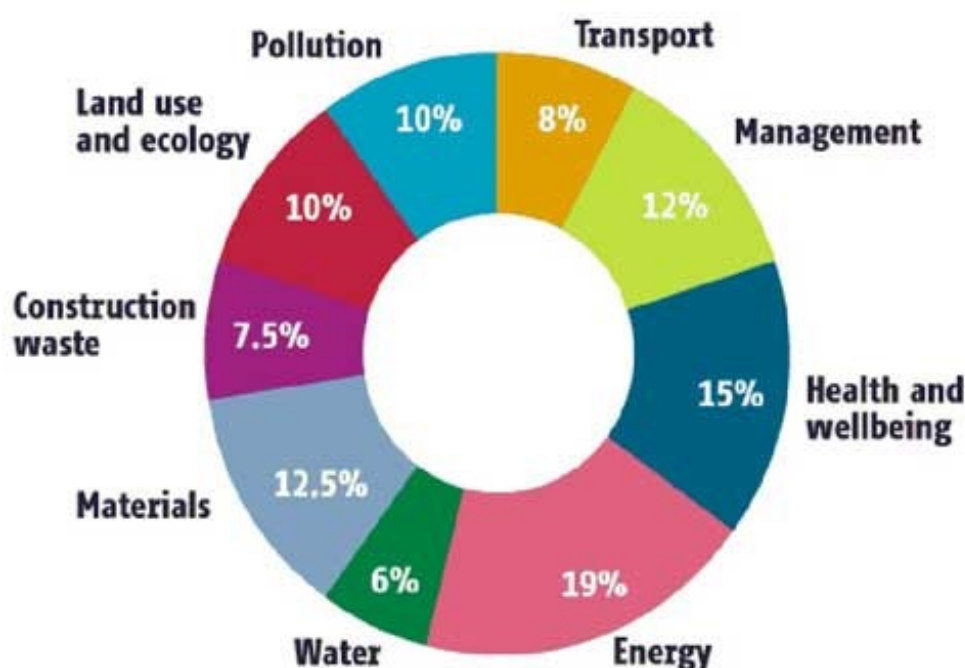


Figura 16 – Ponderação das áreas de avaliação do *BREEAM* [21]

O *BREEAM* define o padrão para as melhores práticas em projetos de construção sustentável, e verifica, nas fases de construção e operação, se foram tomadas as medidas mais abrangentes e amplas do desempenho ambiental de um edifício, analisando as várias fases do ciclo de vida com o objetivo de lidar com o impactos ambientais, melhorando as questões de gestão, reduzindo os custos de funcionamento e melhorando o desempenho ambiental relativamente ao já existente [22].

A avaliação *BREEAM* utiliza medidas reconhecidas de desempenho, que são definidas em relação aos parâmetros estabelecidos, para avaliar as fases de projeto, construção e utilização de um edifício. As medidas utilizadas representam uma ampla gama de categorias e critérios desde a energia até à ecologia, abordando questões ambientais e

de sustentabilidade, permitindo que os projetistas e gestores de edifícios demonstrem as credenciais ambientais dos seus edifícios aos clientes [22].

Utiliza um sistema de pontuação simples, que é transparente, flexível, fácil de entender, com fundamentação científica e baseada em evidências, tem uma influência positiva sobre a concepção, construção e gestão dos edifícios.

O *BREEAM* premeia o desempenho ambiental, conforto e os benefícios para a saúde, atribuindo pontos "créditos", agrupando os impactos ambientais da seguinte forma [22]:

- Energia: energia e dióxido de carbono operacional (CO₂)
- Gestão: política de gestão, comissionamento, gestão do espaço e aquisição
- Saúde e Bem-estar: interior e exterior, questões relacionadas com o ruído, luz, ar, qualidade, etc.)
- Transporte: CO₂ e localização relacionada com transporte, fatores relacionados com consumo de água e eficiência
- Materiais: impactos relacionados com os materiais de construção, incluindo impactos do ciclo de vida, como o dióxido de carbono
- Resíduos: eficiência dos recursos de construção e operacional, gestão de resíduos
- Poluição: poluição do ar e da água
- Uso do solo: tipo de uso e construção
- Ecologia: valor ecológico, conservação e valorização do local

O número total de pontos ou créditos obtidos em cada seção é multiplicado por um fator de ponderação ambiental que leva em conta a importância relativa de cada uma, as pontuações são somadas para produzir uma única pontuação geral. Conhecida a pontuação geral do edifício classifica-se em uma escala [22]:

- | | |
|---|---|
| • <i>Pass</i> (Certificado) – 30% dos créditos | • <i>Excellent</i> (Excelente) – 70% dos créditos |
| • <i>Good</i> (Bom) – 45% dos créditos | • <i>Outstanding</i> (Excepcional) – 85% dos créditos |
| • <i>Very Good</i> (Muito Bom) – 55% dos créditos | |



Figura 17 – A classificação do BREEAM por estrelas de 1 a 6 estrelas [23]

Este sistema de avaliação permite avaliar o desempenho ambiental de vários tipos de construções [22]:

- *EcoHomes* – Habitações
- *Offices* – Edifícios de escritórios
- *Industrial BREEAM* – Unidades industriais
- *Retail BREEAM* – Edifícios de comerciais
- *Bespoke BREEAM* – Sistema aberto, aplicado a várias tipologias de edifícios públicos (escolas, Hospitais e Prisões)

FERRAMENTA *LCA4Building*

3.1 OBJETIVO

3.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO

3.3 MODO DE FUNCIONAMENTO

3 FERRAMENTA DESENVOLVIDA – LCA4Building

3.1 OBJETIVO

Conforme referido nos objetivos no Capítulo 1, pretende-se criar uma ferramenta em MS Excel, com a designação *LCA4Building*, que mediante a introdução da quantidade dos materiais, devolva ao utilizador o valor da energia e carbono incorporados e o potencial de aquecimento global por unidade funcional.

A criação da ferramenta teve como base o diagrama de fluxo, apresentado na Figura 18.

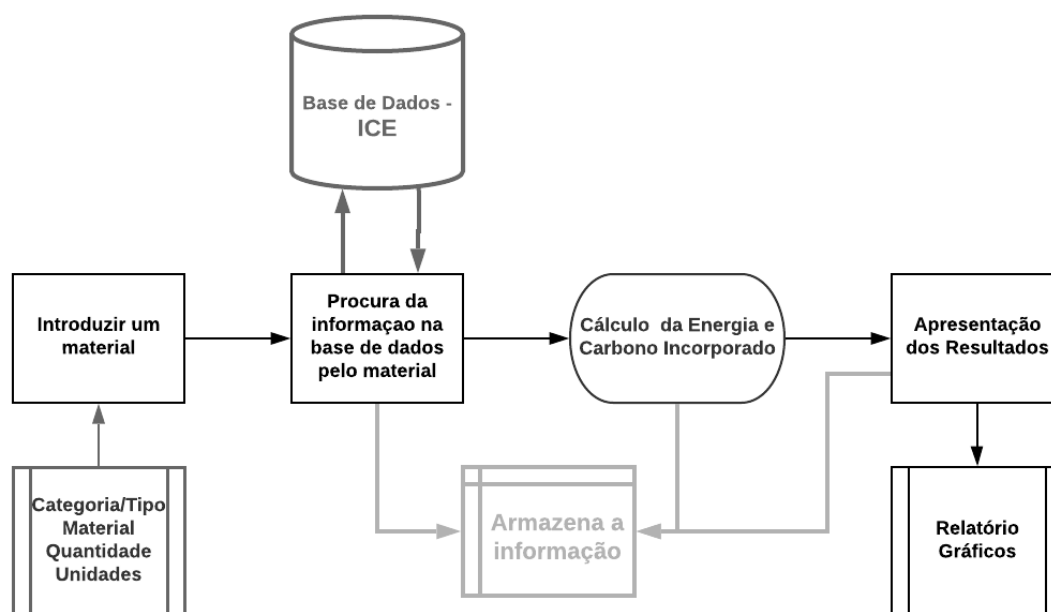


Figura 18 – Diagrama de Funcionamento da Ferramenta em MS *LCA4Building*

Para tal, tem-se como base o mapa de quantidades dos materiais. Neste momento apenas se focou nas especialidades arquitetura e estabilidade, uma vez que estas representam parte significativa dos materiais utilizados em qualquer projeto.

3.1.1 UNIDADE FUNCIONAL

Uma das etapas fundamentais da Avaliação do Ciclo de Vida é a definição da unidade funcional. Neste caso, foi adotada como unidade funcional 1 m² de área construída. Dependendo da tipologia de construção, a área construída corresponde a diferentes quantidades de materiais. Mas a literatura é consensual na adoção desta unidade funcional.

3.1.2 ÂMBITO

Conforme referido no Capítulo 2, a definição do âmbito do estudo de ACV é fundamental, permitindo fazer *benchmarking* em condições idênticas. Neste trabalho, consideraram-se as seguintes etapas do ciclo de vida:

- Extração de matérias-primas
- Transporte das matérias-primas
- Produção de materiais

Fronteira da análise da Base de dados dos Materiais



Fronteira da base de Dados dos Materiais

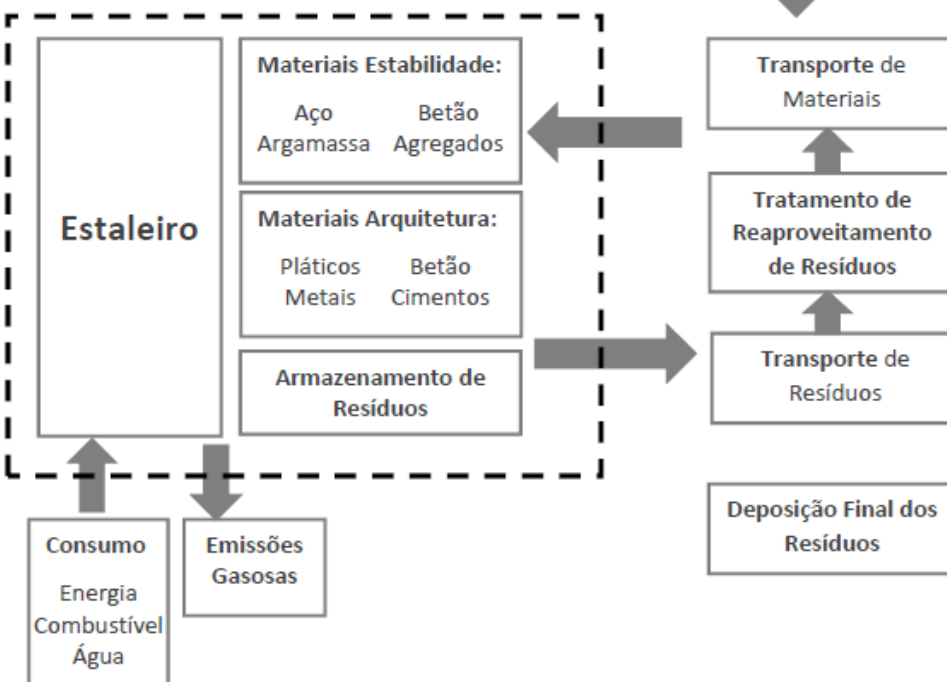


Figura 19 – Âmbito da Ferramenta LCA4Building

3.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO

Os valores da energia e carbono incorporados, bem como o potencial de aquecimento global, são extraídos da base de dados *ICE – Inventory of Carbon and Energy* da Universidade de Bath [24].

O *ICE* é uma base de dados criada pela Universidade de Bath com o objetivo de criar dados viáveis de livre acesso, para os valores de energia e carbono incorporados e *GWP* para os materiais de construção. Esta base define a energia incorporada como a energia primária consumida, direta e indiretamente por processos associados a um produto e serviço com fronteiras *cradle-to-gate*. Ou seja, inclui todas as atividades desde a extração das matérias-primas, produção, transporte e todos os processos necessários para a conclusão e saída do produto da fábrica. Esta base avaliou o carbono e energia incorporados em 1800 amostras de 34 tipos de materiais diferentes.

3.3 MODO DE FUNCIONAMENTO

Nesta secção é apresentado o modo de funcionamento da folha de cálculo desenvolvida, *LCA4Building*.

Na folha inicial do ficheiro, com o nome de “Funcionamento”, Figura 20, são apresentados o objetivo da mesma, bem como os pressupostos dos fatores de conversão e o modo de cálculo da área construída.

É ainda, possível verificar que existem 7 folhas no ficheiro, cada uma com a sua respetiva funcionalidade que vai ser exposta ao longo desta secção.

A folha intitulada de “Data” (Figura 21), é a folha de entrada de dados, onde o utilizador tem a maior parte da interação com o ficheiro.

A interação é feita através da utilização de botões, usando Macros. Existem seis botões, todos com funcionalidades diferentes: “Inserir Novo Material”, “Apagar Última Entrada”, “Editar Material”, “Calcular”, “Relatório” e “Apagar Todas as Entradas”.

Ao clicar no botão “Inserir Novo Material”, aparece o *userform* apresentado na Figura 22, onde é possível adicionar um novo material.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1																				
2		Objetivo									Area Construida									
3		Calcular a quantidade de energia e carbono incorporado (EI & CI) e o potencial de aquecimento global (GWP) de um determinado projeto. Para tal, usa-se o mapa de quantidades do projeto.									A área construida é a área de implementação do edificio de todos os pisos, quer enterrados, R/C e os pisos elevados									
4																				
5																				
6																				
7																				
8		Factores de Conversão																		
9		Os factores de conversão são expressos por kg de material. Pelo que é necessario converter todos os materiais para kg, para tal usa-se a densidade dos materiais.																		
10																				
11		Os fatores de conversão foram obtidos na base de dados ICE - Inventory of Carbon and Energy.																		
12																				
13		Mas, para os seguintes tipos de materiais os fatores de conversão estão expressos em kg/m2:																		
14																				
15		Tijolos_Blocos																		
16		Tintas																		
17		Paineis Sandwich																		
18																				
19																				
20																				
		Funcionamento																		
		Data	Calculos	Relatorio	Lists	Engine	Materiais													

Figura 20 – Layout da Folha Funcionamento do LCA4Building

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
1	Calculo EI, CI e GWP			Inserir Novo Material		Projeto: Academia - Ginasio Área Construída: 2,856.00 m2			EI 13,286.34 MJ/m2 CI 728.22 kgCO2/m2 GWP 811.15 kgCO2eq/m2						
2				Apagar Última Entrada											
3				Editar Material										Calcular	Relatório
4															
5															
6	Ref	Especialidade	Tipo de Elemento Construtivo	Descrição do Elemento	Tipo de Material	Material	Quantidade	Unidades	Apagar Todas as Entradas						
7	1	Estabilidade	Fundações	Betão de Limpeza	Betão	C12/15	39.16	m3							
8	2	Estabilidade	Fundações	Maciço de encabeçamento	Betão	C30/37	93.15	m3							
9	3	Estabilidade	Fundações	Maciço de encabeçamento	Aço	Varão	9,500.00	kg							
10	4	Estabilidade	Fundações	Maciço Caixa do elevador	Betão	C30/37	4.72	m3							
11	5	Estabilidade	Fundações	Maciço Caixa do elevador	Aço	Varão	368.00	kg							
12	6	Estabilidade	Fundações	Vigas Lintel	Betão	C30/37	42.55	m3							
13	7	Estabilidade	Fundações	Vigas Lintel	Aço	Varão	4,255.00	kg							
14	8	Estabilidade	Fundações	Vigas Fundações	Betão	C30/37	81.65	m3							
15	9	Estabilidade	Fundações	Vigas Fundações	Aço	Varão	11,983.00	kg							
16	10	Estabilidade	Fundações	Sapatas/Lintel de arranque escadas	Betão	C30/37	0.93	m3							
17	11	Estabilidade	Fundações	Sapatas/Lintel de arranque escadas	Aço	Varão	56.87	kg							
18	12	Estabilidade	Fundações	Laje de fundo e paredes fosso	Betão	C30/37	35.08	m3							
19	13	Estabilidade	Fundações	Laje de fundo e paredes fosso	Aço	Varão	3,852.50	kg							
20	14	Estabilidade	Fundações	Galeria AVAC	Betão	C30/37	41.75	m3							
21	15	Estabilidade	Fundações	Galeria AVAC	Aço	Varão	5,500.00	kg							
Funcionamento Data Calculos Relatorio Lists Engine Materiais +															

Figura 21 – Layout da Folha "Data" do LCA4Building

Figura 22 – UserForm "Inserir Novo Material" do Botão "Inserir Novo Material" do LCA4Building

Conforme se mostra na Figura 22, existem várias *dropboxes* no *userform*; a informação presente nas mesmas é apresentada na Figura 23. Para a mesma funcionar foi necessário criar *name ranges*, estes estão guardados na folha “Lists”, e são os seguintes:

- Especialidade
 - Arquitetura
 - Estabilidade
- Tipo de Elemento Construtivo

○ Fundações ○ Pavimentos Têrreos ○ Superestrutura ○ Estrutura Metálica ○ Impermeabilização ○ Diversos ○ Paredes	○ Isolamento ○ Impermeabilização ○ Cobertura ○ Tectos ○ Pavimentos ○ Rodápes
---	---
- Tipo de Material Construtivo

• Betão • Aço • Tijolo_Bloco • Argamassa_Reboco • Isolamento • Impermeabilização	• Pedra • Madeira • Acab_Paredes • Chapa_Metálica • Cola_Selante • Cobertura
---	---

Todos os *names ranges* tem uma variedade de informação associada aos mesmos que pode ser consultada no Anexo.

Tabela 4 – Informação presente nas *DropBoxes* da janela "Inserir Novo Material"

Especialidade	Tipo de Elemento	Elemento	Tipo de Material	Material	Quantidade	Unidades
Arquitetura	○ Paredes	Descrição do elemento a estudo	○ Betão	Consoante a escolha do tipo de material, o utilizador tem uma lista de materiais à escolha	O utilizador deve indicar a quantidade de material que tem no Mapa de Quantidades que está a usar de base para o estudo	Deve indicar a unidade em que o material vem em expresso: • kg • m ² • m ³ • uni • ml
	○ Isolamento		○ Aço			
	○ Impermeabilização		○ Tijolo_Bloco			
	○ Cobertura		○ Argamassa_Reboco			
	○ Tectos		○ Isolamento			
	○ Pavimentos		○ Impermeabilização			
	○ Rodápes		○ Pedra			
	○ Diversos		○ Madeira			
Estabilidade	○ Fundações	Descrição do elemento a estudo	○ Acab_Paredes	Consoante a escolha do tipo de material, o utilizador tem uma lista de materiais à escolha	O utilizador deve indicar a quantidade de material que tem no Mapa de Quantidades que está a usar de base para o estudo	Deve indicar a unidade em que o material vem em expresso: • kg • m ² • m ³ • uni • ml
	○ Pavimentos Térreos		○ Chapa_Metálica			
	○ Superestrutura		○ Cola_Selante			
	○ Estrutura Metálica		○ Cobertura			
	○ Impermeabilização					
	○ Diversos					

Só é possível inserir um material de cada vez na folha "Data", pelo *userform*.

O botão "Editar Material" permite editar um material que foi adicionado anteriormente.

Para seleccionar o material a editar, é necessário saber o número de Referência, que permite saber a posição do material e ir buscar a informação relativa ao mesmo, que pode ser editada no *userform* apresentado na Figura 23.

Figura 23 – UserForm "Editar Material" do Botão "Editar Material" do LCA4Building

O botão “Apagar Última Entrada” permite apagar o último material introduzido na folha “Data”. O botão “Limpar Todos os Dados” apaga todos os dados introduzidos na folha “Data” e na folha “Calculos”.

O botão “Calcular” copia os dados inseridos para a folha “Calculos” (Figura 24) e faz a correspondência do material com os materiais existentes na base de dados que está armazenada na folha “ws1”. Antes de analisar os resultados obtidos é necessário fazer o acerto dos fatores de conversão, pois os valores de energia e carbono incorporados estão expressos por kg de material. Para tal existe um botão na folha “Calculos”, que faz o acerto essencial para a obtenção dos valores corretos.

Depois do acerto, é possível saber os valores de energia, carbono incorporado e o potencial de aquecimento global, por m^2 de área construída, que são apresentados na folha “Data”.

Na folha “Relatório” são apresentadas diversas tabelas com as percentagens de energia, carbono incorporados e potencial de aquecimento global por tipo de especialidade, por tipo de elemento construtivo e por tipo de material de construção (Figura 25).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S		
1		Acerto																EI	37,945.77		
2																		CI	2,079.73		
3	R	Especialid	po de Elemento Const	Descrição do Elemento	Tipo de Materi	Materis	Quantidac	Unidad	Factor de Coave	EI	MJ	kgCO2	P	kgCO2	PESO	EI MJ	CI kgCO2	GWP kgCO2	Color	GWP	2,316.63
4	1	Estabilidade	Fundações	Betao de Limpeza	Betão	C12/15	39.16	m3	2,400.00	0.71	0.10	0.10			33,984.00	66,557.75	3,192.65	3,832.09			
5	2	Estabilidade	Fundações	Maciço de encabeçamento	Betão	C30/37	93.15	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			223,560.00	217,917.29	31,929.37	34,072.86			
6	3	Estabilidade	Fundações	Maciço de encabeçamento	Aço	Varão	9,500.00	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			3,500.00	165,300.00	12,445.00	13,300.00			
7	4	Estabilidade	Fundações	Maciço Caixa do elevador	Betão	C30/37	4.72	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			11,328.00	11,042.08	1,617.89	1,726.50			
8	5	Estabilidade	Fundações	Maciço Caixa do elevador	Aço	Varão	368.00	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			368.00	6,403.20	482.08	515.20			
9	6	Estabilidade	Fundações	Vigas Lintel	Betão	C30/37	42.55	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			102,120.00	99,542.47	14,585.02	15,564.15			
10	7	Estabilidade	Fundações	Vigas Lintel	Aço	Varão	4,255.00	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			4,255.00	74,037.00	5,574.05	5,957.00			
11	8	Estabilidade	Fundações	Vigas Fundações	Betão	C30/37	81.65	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			195,960.00	191,013.92	27,987.47	29,866.34			
12	9	Estabilidade	Fundações	Vigas Fundações	Aço	Varão	11,983.00	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			11,983.00	208,504.20	15,697.73	16,776.20			
13	10	Estabilidade	Fundações	sapatas/lintel de arranque	Betão	C30/37	0.93	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			2,232.00	2,175.66	318.78	340.18			
14	11	Estabilidade	Fundações	sapatas/lintel de arranque	Aço	Varão	56.87	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			56.87	989.54	74.50	79.62			
15	12	Estabilidade	Fundações	Laje de fundação e paredes	Betão	C30/37	35.08	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			84,192.00	82,066.97	12,024.50	12,831.73			
16	13	Estabilidade	Fundações	Laje de fundação e paredes	Aço	Varão	3,852.50	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			3,852.50	67,033.50	5,046.78	5,393.50			
17	14	Estabilidade	Fundações	Galeria AVAC	Betão	C30/37	41.75	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			100,200.00	97,670.93	14,310.80	15,271.52			
18	15	Estabilidade	Fundações	Galeria AVAC	Aço	Varão	5,500.00	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			5,500.00	95,700.00	7,205.00	7,700.00			
19	16	Estabilidade	Fundações	Canelete da Galeria	Betão	C30/37	5.29	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			12,696.00	12,375.55	1,813.27	1,935.00			
20	17	Estabilidade	Fundações	Canelete da Galeria	Aço	Varão	460.00	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			460.00	8,004.00	602.60	644.00			
21	18	Estabilidade	Fundações	Sapatas Muros	Betão	C30/37	15.70	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			37,680.00	36,728.95	5,381.55	5,742.82			
22	19	Estabilidade	Fundações	Sapatas Muros	Aço	Varão	1,667.50	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			1,667.50	29,014.50	2,184.43	2,334.50			
23	20	Estabilidade	Fundações	Cabeçotes	Betão	C30/37	4.03	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			9,672.00	9,427.88	1,381.38	1,474.11			
24	21	Estabilidade	Fundações	Cabeçotes	Aço	Varão	1,173.00	kg	1.00	17.40	1.31	1.40			1,173.00	20,410.20	1,536.63	1,642.20			
25	22	Estabilidade	Fundações	Estacas	Betão	C30/37	975.50	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			2,341,200.00	2,282,107.57	334,375.73	356,823.16			
26	23	Estabilidade	Pavimentos Térrcos	Geotêxtil [A=1906.85m2] e=4mm	Impermeabilizaçã o	Polipropileno, filme	7.63	m3	946.00	39.20	2.97	3.43			7,215.52	715,779.62	21,430.10	24,749.23			
27	24	Estabilidade	Pavimentos Térrcos	Base Granulometria 10/50 [A=1906.85m2] e=0.20	Pedra	Godo ou agregado	381.37	m3	1,800.00	0.08	0.00	0.01			686,466.00	56,976.68	3,295.04	3,569.62			
28	25	Estabilidade	Pavimentos Térrcos	MASSANTE [A=1141.85m2] e=5cm	Betão	C12/15	57.09	m3	2,400.00	0.71	0.10	0.10			137,022.00	97,036.47	13,402.24	14,334.49			
29	26	Estabilidade	Pavimentos Térrcos	Laje [A=1141.85m2] e=15 cm	Betão	C30/37	171.28	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			411,066.00	400,690.60	58,709.42	62,650.72			
30	27	Estabilidade	Pavimentos Térrcos	MASSANTE [A=430.00m2] e=5 cm	Betão	C12/15	24.50	m3	2,400.00	0.71	0.10	0.10			58,800.00	41,641.08	5,751.28	6,151.33			
31	28	Estabilidade	Pavimentos Térrcos	Laje [A=430.00m2] e=15 cm	Betão	C30/37	73.50	m3	2,400.00	0.97	0.14	0.15			176,400.00	171,947.62	25,193.87	26,885.19			
		Funcionamento	Data	Calculos	Relatorio	Lists	Engine	Materiais													

Figura 24 – Layout da Folha "Calculos" do LCA4Building

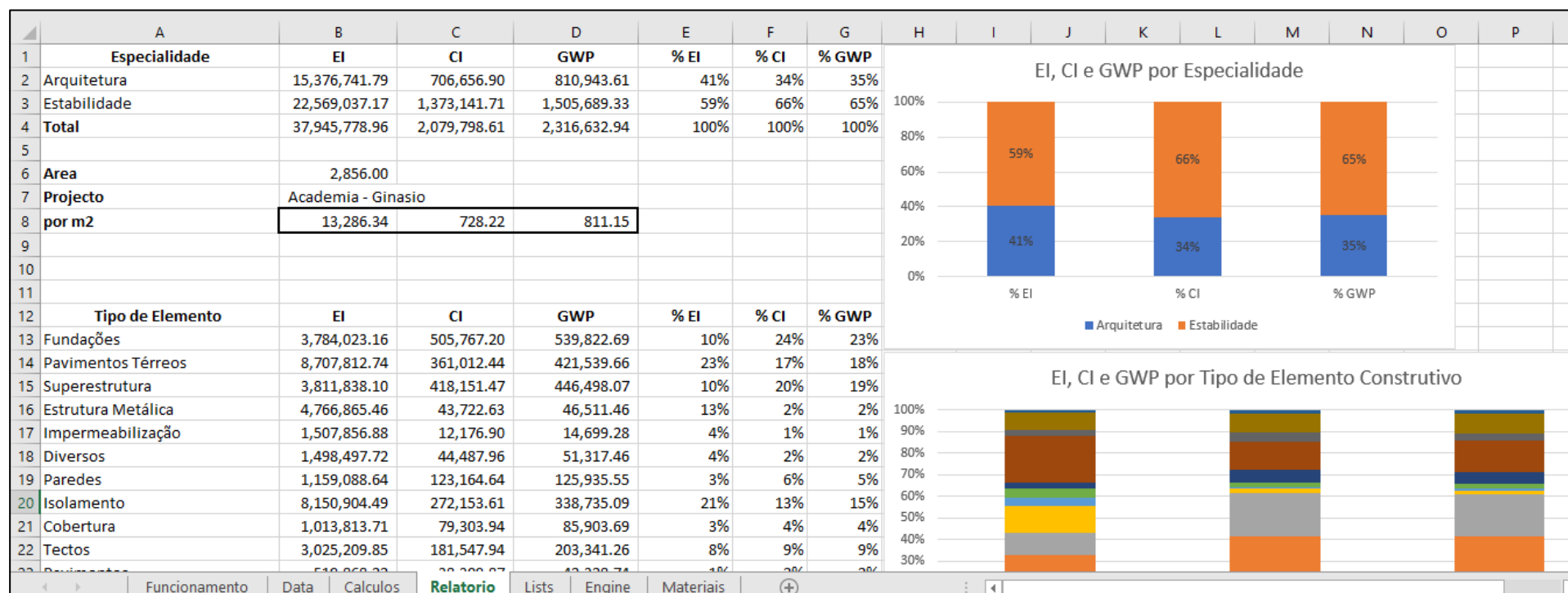


Figura 25 – Layout da Folha "Relatorio" do LCA4Building

Os valores e gráficos obtidos na Folha “Relatório” são transferidos e copiados para um ficheiro MS Word, usando a macro no botão Relatório e bookmarks no ficheiro Word para colocar a informação do respectivo lugar, com o nome “Relatório LCA4Building”, com o layout apresentado na Figura 26.

Relatório LCA4Building

Projeto:

Área Construída: m2

Energia Incorporada		MJ
Carbono Incorporado		kgCO2
GWP		kgCO2eq

Energia Incorporada		MJ/m2
Carbono Incorporado		kgCO2/m2
GWP		kgCO2eq/m2

Por tipo de Elemento Construtivo

Elemento Construtivo	EI (MJ)	CI (kgCO2)	GWP (kgCO2eq)
Fundações			
Pavimentos Têrreos			
Superestrutura			
Estrutura Metálica			
Diversos			
Impermeabilização			
Paredes			
Isolamento e Impermeabilização			
Proteção Pesada de Coberturas			
Pinturas			
Tetos			
Pavimentos			
Rodapés			

Por tipo de Material

Tipo de Material	EI (MJ)	CI (kgCO2)	GWP (kgCO2eq)
Betão			
Aço			
Tijolo e Bloco			
Argamassa e Reboco			
Isolamento			
Impermeabilização			
Pedras			
Madeiras			
Acab. Paredes			
Chapas Metálicas			
Colas e Selantes			
Coberturas			

Figura 26 – “Layout” do ficheiro MS Word “Relatório LCA4Building”

CASOS DE ESTUDO

4.1 FASE INICIAL DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ACV – LOTA

4.2 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

**4.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/
COMÉRCIO**

4.4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – ARMAZÉM

4.5 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – HOTEL

4.6 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – ACADEMIA

4.7 CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

4 CASOS DE ESTUDO

Numa fase inicial, para se verificar a aplicabilidade dos objetivos propostos, selecionou-se um caso de estudo bastante simples. Desenvolveu-se a ferramenta *LCA4Building* com base na experiência obtida no cálculo manual do caso de estudo inicial. Depois do desenvolvimento da mesma, esta foi aplicada a outros 5 casos, correspondentes a tipologias distintas de edifícios, portanto com diferentes graus de complexidade. Os projectos selecionados foram retirados da base de dados da empresa, consuante as tipologias que se pretende estudar. Os resultados obtidos são apresentados nas secções seguintes.

4.1 FASE INICIAL DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ACV – LOTA

O caso de estudo inicial consiste no projeto de execução de um novo edifício de Lota e Armazém, com o principal objetivo de promover e facilitar o quotidiano da atividade piscatória e o escoamento do seu produto para o mercado, através de um novo edifício para o funcionamento da Lota, estando projetado de acordo com as atuais condições de higiene e organização em vigor.

O edifício tem dois corpos distintos, um funciona como Lota e o outro é um espaço de armazém com casas de banho (Figura 27). Desenvolve-se apenas num piso, num total de 397,95 m² acima do solo, dividindo-se em dois volumes unidos entre si pela cobertura. O edifício da Lota ocupa 303,00 m² e o do Armazém ocupa 94,95 m².



Figura 27 – Planta do Caso de Estudo de Teste – Lota

Através do mapa de quantidades associado ao projeto, retirou-se a lista dos materiais das especialidades de arquitetura e de estabilidade estrutural, onde foi possível verificar que representam cerca de 60% dos materiais do projeto.

Utilizando a base de dados ICE – *Inventory of Carbon and Energy* da Universidade de Bath, calculou-se a energia e carbono incorporados. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de EI & GWP da Lota

	Energia Incorporada	GWP
Total	5 815 973,17 MJ	405 299,97 kgCO ₂ eq
Total por m ² de Área Construída	14 687,91 MJ/m ²	1 064,71 kgCO ₂ eq/m ²

O mapa detalhado do cálculo encontra-se no Anexo E.

Na Figura 28 são representadas as percentagens de energia incorporada e carbono incorporado por categoria de material para o projeto em estudo.

É possível verificar que, no que diz respeito a energia incorporada, a categoria com maior impacto é a dos revestimentos e tintas. Mas esta categoria inclui uma grande variedade de materiais como tintas, gesso cartonado e tijoleiras. Por outro lado, a categoria do betão é mais relevante pois é apenas constituída por um único material, cuja utilização é significativa.

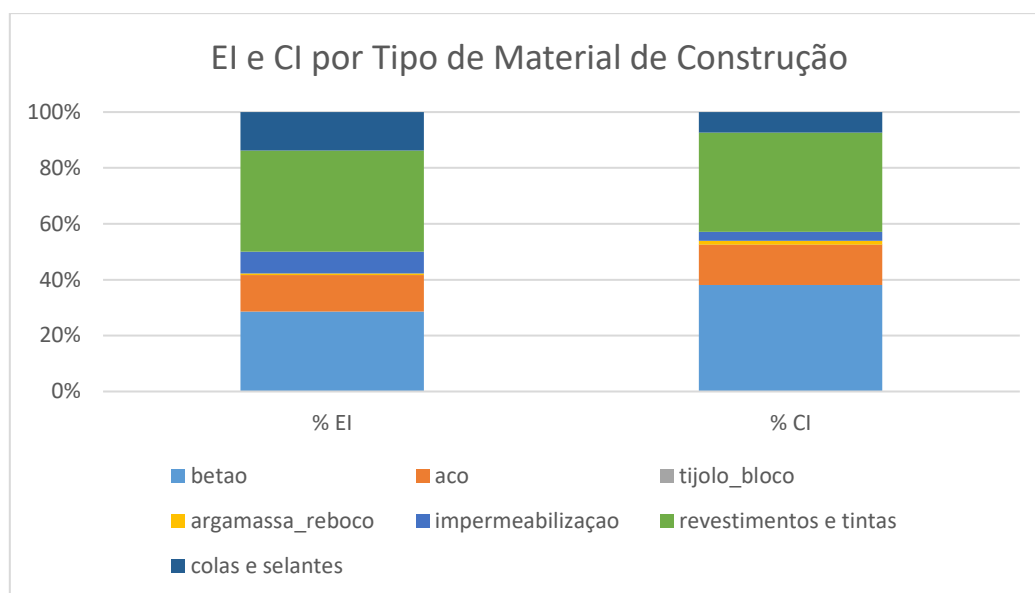


Figura 28 – Gráfico EI e CI por Tipo de Material para o caso de Teste - Lota

No que respeita ao potencial de aquecimento global (GWP), é possível verificar que a categoria com maior impacto é a do betão, seguida pela dos revestimentos e tintas.

4.2 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

O primeiro caso de estudo consiste no projeto de execução da remodelação de uma moradia. Esta apresenta uma área total de cerca de 583,00 m², inserida numa propriedade com 800,00 m² e é composta por 4 pisos, ou seja uma área construída de 1 749,00 m² (Figura 29).

A moradia existente foi licenciada em 1979, o projecto a estudo tem como objetivo a realização de obras de remodelação. Estas incluem a instalação de um elevador que permite maior mobilidade entre os vários pisos. O piso térreo destina-se a estacionamento de automóveis e arrumos (lavandaria, instalações sanitárias). No piso 1, encontram-se as áreas sociais da habitação, designadamente a cozinha, sala de jantar, salas de estar, instalação sanitária e vestíbulo para receção de visitas. No piso 2 encontra-se a zona de quartos de dormir, composta por três suites, das quais uma inclui um quarto de vestir. No piso 3 (vão do telhado) encontra-se um arrumo. O acesso entre os pisos da habitação será realizado por intermédio de escadas interiores e elevador. As coberturas existentes são inclinadas e as novas coberturas são planas com a exceção da

cobertura do vão do telhado que será igual à existente. A estrutura do edifício existente é em pórticos de betão armado e lajes aligeiradas de vigotas.

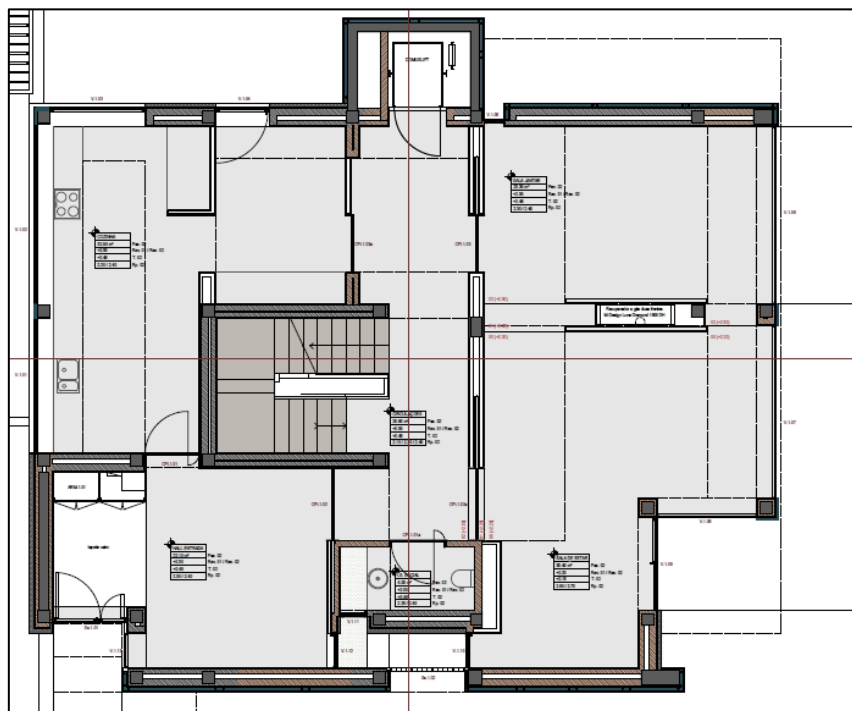


Figura 29 – Planta do Caso de Estudo 1 – Habitação Unifamiliar – Remodelação

Através do mapa de quantidades associado ao projeto, retirou-se a lista dos materiais das especialidades de arquitetura e de estabilidade estrutural, que representam cerca de 80 % dos materiais do projeto.

Aplicando a ferramenta LCA4Building, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados EI, CI e GWP total e por m² de área de construção para o Caso de Estudo 1 – Habitação Unifamiliar

	Energia Incorporada [MJ]	Carbono Incorporado [kgCO ₂]	GWP [kgCO ₂ eq]
Total	4 492 150,95	305 156,69	326 742,24
Total por m² de Área Construída	2 568,41	174,47	186,82

Pela análise da Figura 30 é possível concluir que, em termos da energia incorporada, a especialidade que mais contribui neste caso são os materiais associados à Arquitetura,

mas em relação ao carbono incorporado ou potencial de aquecimento global é a Estabilidade o maior contribuinte.

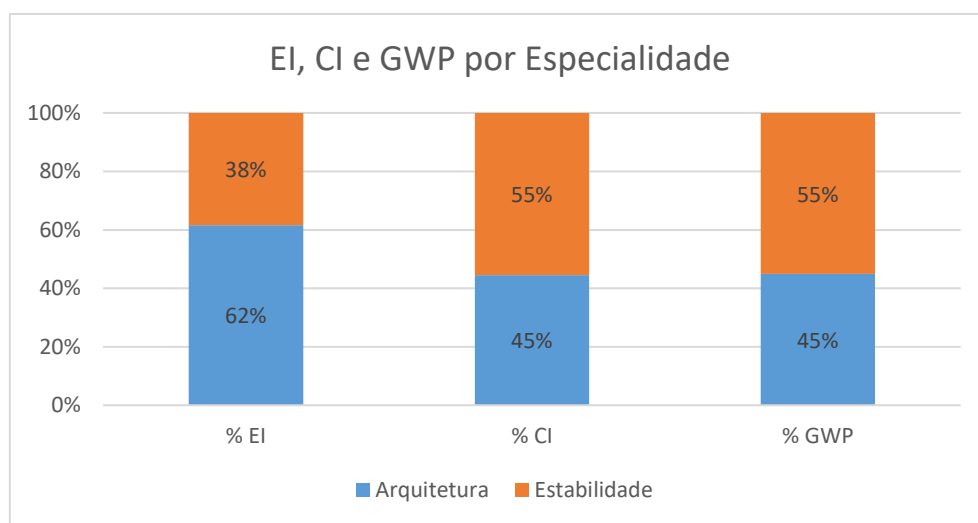


Figura 30 – EI, CI e GWP por Especialidade – Caso de Estudo 1 – Habitação Unifamiliar

Os elementos construtivos com maior impacto para a EI são os pavimentos térreos (15 %), a superestrutura¹ (14 %), impermeabilização (14 %), paredes (14 %) e pavimentos (18 %) (Figura 31), o que faz com que os materiais que mais contribuem para a energia incorporada sejam o betão (12 %), o aço (27 %), os materiais impermeabilizantes (19 %) e os acabamentos em pedra e cerâmicos (19 %), (Figura 31).

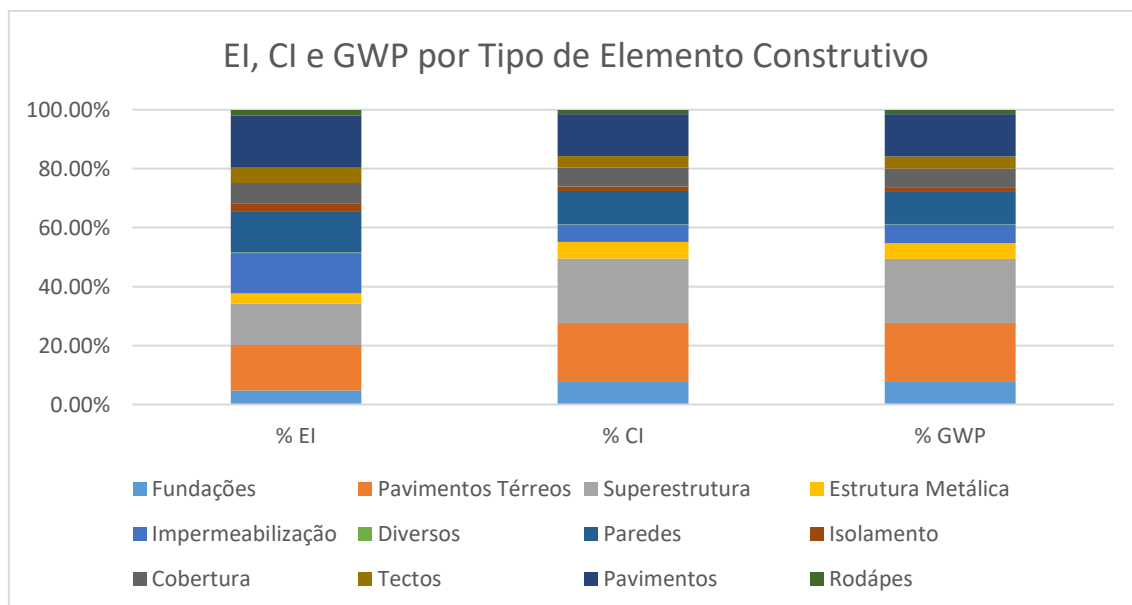


Figura 31 – EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo – Caso de Estudo 1 – Habitação Unifamiliar

¹A Superestrututa consiste dos seguintes elementos construtivos: pilares; vigas; lajes

O mesmo acontece para o CI e GWP; os elementos construtivos com maior impacto são os pavimentos térreos (20 %), a superestrutura (22 %), paredes (11 %) e pavimentos (14%) (Figura 31). Consequentemente, os materiais com maior impacto no CI e GWP são o betão (26 %), o aço (31 %) e os acabamentos em pedra e cerâmicos (19%) (Figura 32). Ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem quer para a energia incorporada quer para o carbono incorporado e potencial de aquecimento global.

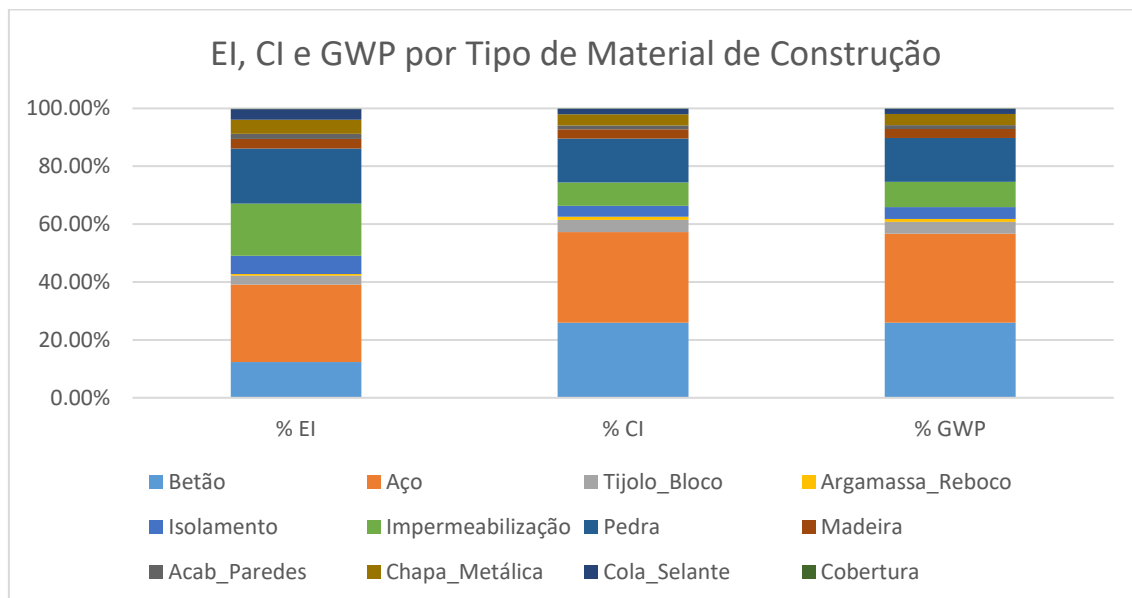


Figura 32 – EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção – Caso de Estudo 1 – Habitação Unifamiliar

4.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/COMÉRCIO

O segundo caso de estudo é o de um projeto de remodelação/ampliação de um edifício de apoio ao edifício municipal. O edifício existente pode ser dividido em 2 partes, nomeadamente, o edifício administrativo com acesso independente e a nave central, delimitada por paredes em betão e por uma cobertura de altura variável. O edifício apresentado pelo projeto tem 2 253,06 m² de área útil com um pé direito médio de 2,28 m (Figura 33). Com a intervenção a efetuar, pretende-se reabilitar o edifício, prevendo a existência de diversas áreas, designadamente: serviços administrativos e técnicos do município; atravessamento pedonal, entre uma estação de metro e uma Praça;

construção de um novo edifício; espaços de cafeteria e animação, de acesso público. Prevê-se que no edifício administrativo, voltado para a praça, seja instalada uma divisão das Finanças, no 2º piso, e um gabinete Jurídico, no 3º piso. O 4º piso compreende uma sala de exposições, uma cafeteria e um espaço de serviços sociais de apoio aos funcionários. Além disso, prevê-se a existência de duas zonas de terraços acessíveis.

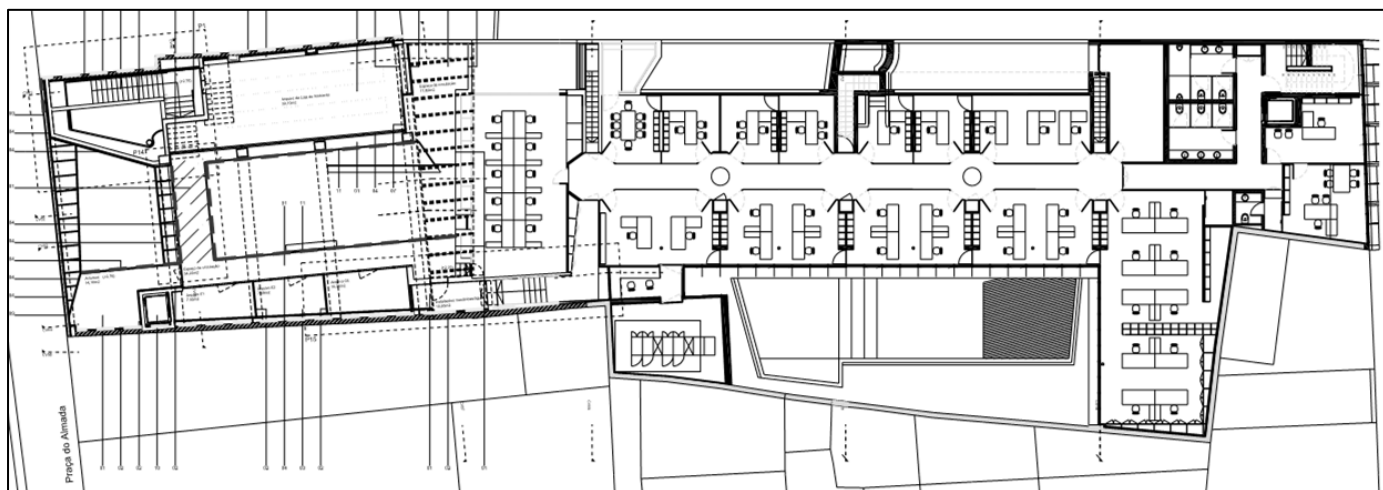


Figura 33 – Planta do Caso de Estudo 2 – Edifício de Serviços/Comércio

O edifício intermédio irá estabelecer a ligação entre os edifícios dispostos na extremidade do espaço correspondente à nave central existente. Este edifício será constituído, essencialmente, por dois pisos (1 e 2). O piso 1 será constituído, na zona central, por um percurso pedonal, para ligação entre a estação de metro e a praça, e por espaços de atendimento, de cafeteria e de instalações sanitárias, dispostos paralelamente ao percurso pedonal. O piso 2 será constituído, fundamentalmente, por gabinetes técnicos; o seu prolongamento para o lado sul interligará com o novo edifício a criar. Será construído um novo edifício que estabelecerá uma relação de continuidade formal e visual com a estação de metro e funcionará como prolongamento dos gabinetes e serviços existentes nos pisos superiores. O rés-do-chão (1º piso) servirá de acesso a todas as áreas da edificação. Nos pisos superiores está prevista a construção de gabinetes de apoio, de instalações sanitárias e de serviços técnicos.

Através do mapa de quantidades associado ao projeto, retirou-se a lista dos materiais das especialidades de arquitetura e de estabilidade estrutural. Assim, ao aplicar a LCA4Building, Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados EI, CI e GWP total e por m² de área de construção para o Caso de Estudo 2 – Edifício de Serviços/Comércio

	Energia Incorporada [MJ]	Carbono Incorporado [kgCO ₂]	GWP [kgCO ₂ eq]
Total	34 911 964,18	2 464 402,06	2 689 491,65
Total por m² de Área Construída	15 495,08	1 093,78	1 193,68

Pela Figura 34, verifica-se que, em termos da energia incorporada, a especialidade que mais contribui neste caso, são os materiais associados à Estabilidade (mais de 50 % do total), e o mesmo acontece em relação ao carbono incorporado (mais de 70 % do total) ou ao potencial de aquecimento global (69 % do total).

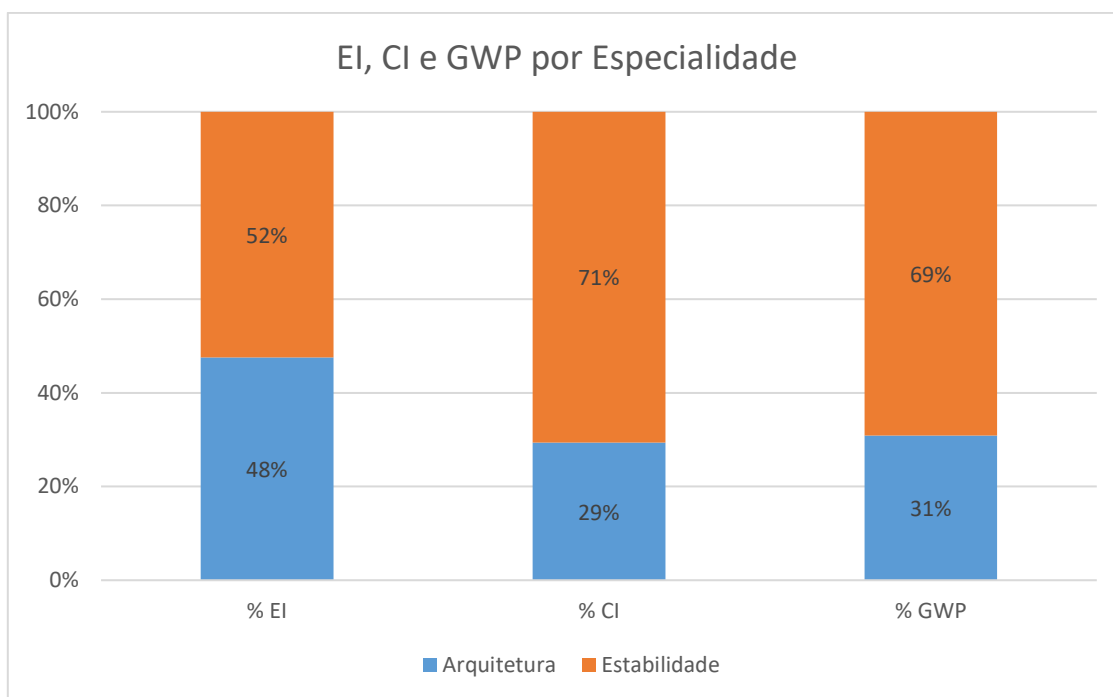


Figura 34 – EI, CI e GWP por Especialidade – Caso de Estudo 2 – Edifício de Serviços/Comércio

Os tipos de elementos construtivos com maior impacto na EI são os pavimentos térreos (21 %), a superestrutura (22 %), elementos de isolamento (12 %) e cobertura (20 %) (Figura 35), o que leva a que os materiais que mais contribuem para a energia incorporada sejam o betão (22 %), o aço (24 %) e os materiais isolantes (33 %) (Figura 36). Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são as fundações (10 %), os pavimentos térreos (29 %), a superestrutura (32 %) e cobertura (11 %).

%) (Figura 35), mas as fundações (8 %) também podem ser consideradas relevantes. Deste modo, os materiais com maior impacto no CI e GWP são o betão (44 %), o aço (24 %) e o material de isolamento (33 %) (Figura 36), ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem quer para a energia incorporada, com cerca de 46 %, quer para o carbono incorporado e potencial de aquecimento global, com 66 %. Se juntamos o isolamento termico aos valores referidos anteriormente, estes representam cerca de 79 % da EI e cerca de 86 % para o CI e GWP.

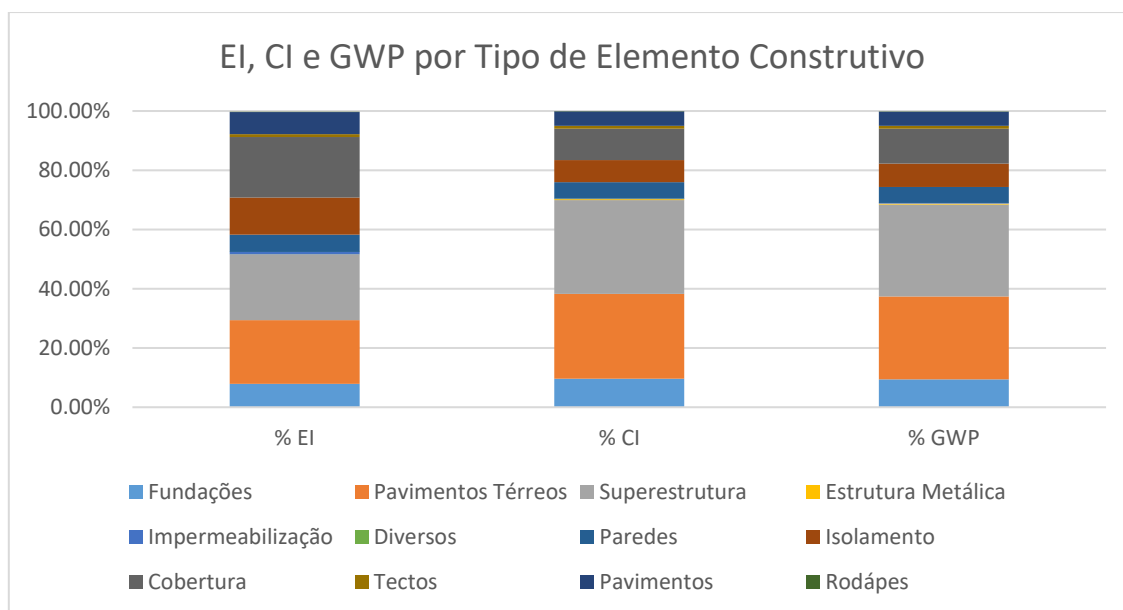


Figura 35 –EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo – Caso de Estudo 2 – Edifício Serviços/Comércio

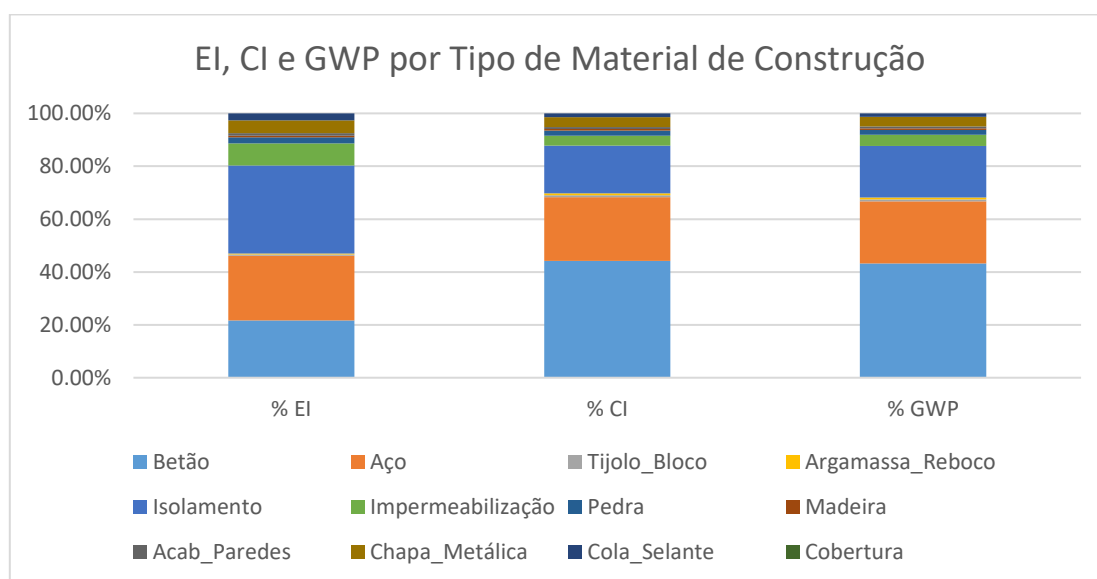


Figura 36 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção – Caso de Estudo 2 – Edifício de Serviços/Comércio

4.4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – ARMAZÉM

O terceiro caso de estudo trata-se da reformulação e expansão de parte de um edifício inserido numa Indústria Têxtil, que produz têxteis para serem utilizados na indústria de pneus. O edifício no seu todo tem uma área bruta de implantação de cerca de 19 850,00 m² (Figura 37). Este troço de edifício será reconstruído, aproveitando-se assim para se fazer uma pequena ampliação com área bruta de 217,7 m². O bloco intervencionado (reconstrução do edifício (690,4 m²) + ampliação) do edifício tem uma área bruta total de 908,1 m².

Esta intervenção tem como propósito a substituição de uma zona que era ocupada por armazém, por uma zona de fabricação com duas novas linhas de torcedores e uma zona de circulação (principal área de ampliação), para além de alguns espaços de apoio, como uma zona de limpezas e um pequeno laboratório. A zona dos torcedores e das cargas e descargas é dividida por uma barreira arquitetónica para permitir que os diferentes espaços disponham de componentes de climatização diferentes. Verifica-se assim que o projeto representa uma intervenção numa área muito reduzida da globalidade do edifício.

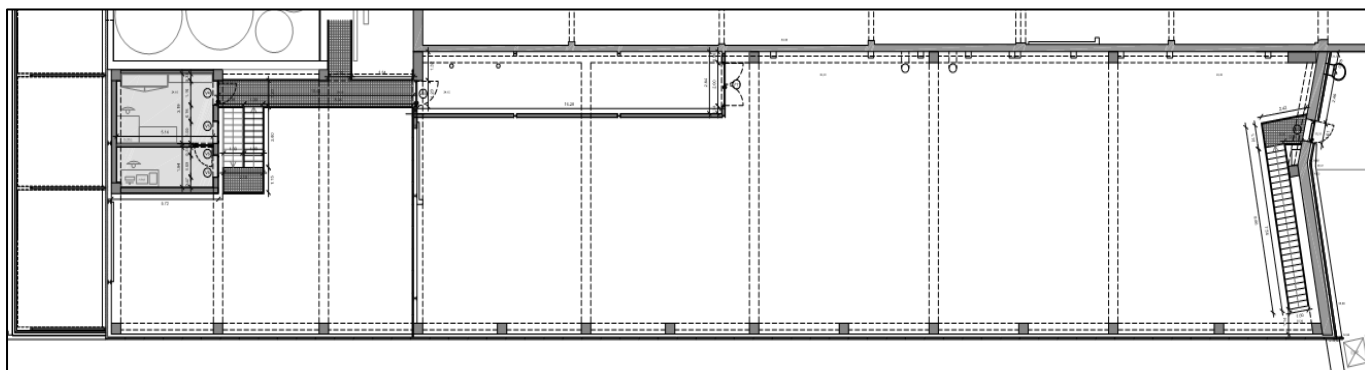


Figura 37 – Planta do Caso de Estudo 3 – Armazém – Zona intervencionada

Através do mapa de quantidades associado ao projeto, retirou-se a lista dos materiais das especialidades de arquitetura e de estabilidade estrutural. Ao aplicar LCA4Building os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados EI, CI e GWP total e por m² de área de construção para o Caso de Estudo 3 – Armazém

Energia Incorporada [MJ]	Carbono Incorporado [kgCO ₂]	GWP [kgCO ₂ eq]
ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS: CONTRIBUTO PARA A CERTIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS		
ELDA DORA BAHAMONDE DE SERPA PINTO FERRAZ		

Total	5 939 320,85	555 721,05	583 851,69
Total por m² de Área Construída	6 540,38	611,96	642,94

Pela Figura 38, verifica-se que, em termos da energia incorporada, a especialidade que mais contribui neste caso são os materiais associados à Estabilidade. O mesmo acontece em relação ao carbono incorporado ou ao potencial de aquecimento global, sendo que a Estabilidade é responsável por mais de 75 % nas três situações.

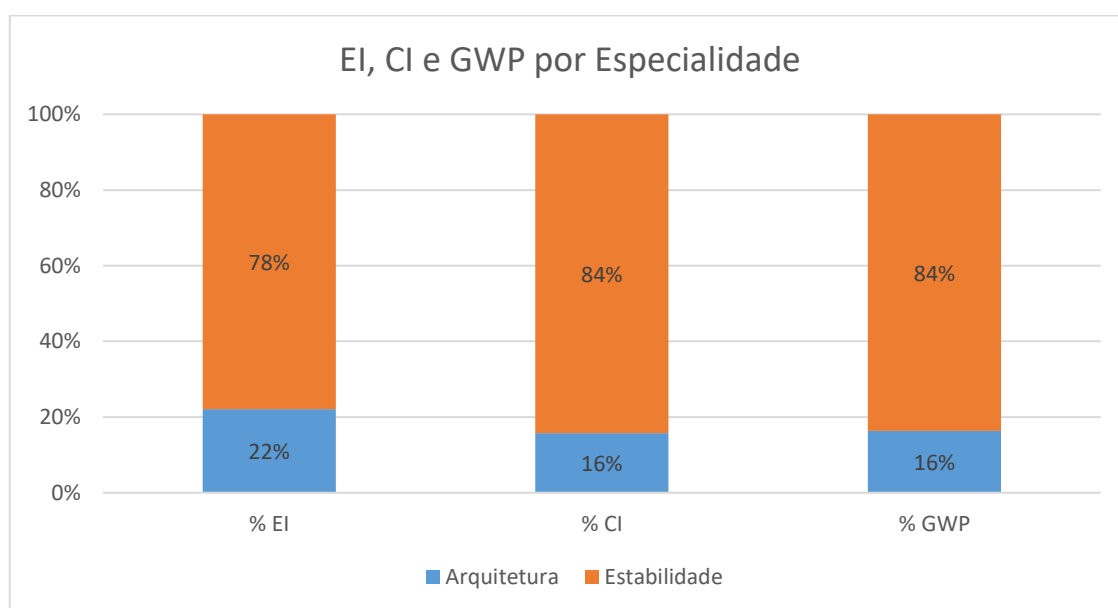


Figura 38 –EI, CI e GWP por Especialidade – Caso de Estudo 3 – Armazém

Os tipos de elementos construtivos com maior impacto na EI são as fundações (14 %), a superestrutura (23 %) e a estrutura metálica (32 %) (Figura 39), o que leva a que os materiais que mais contribuam para a energia incorporada sejam o betão (22 %) e o aço (56 %) (Figura 40), ou seja, estes dois materiais representam 78 % da energia incorporada.

Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são as fundações (17 %), os pavimentos térreos (11 %), a superestrutura (21 %) e a estrutura metálica (34 %) (Figura 39), o que faz com que os materiais com maior impacto no CI e GWP sejam o betão (33 %) e o aço (51 %) (Figura 40). Isso significa que, os elementos da estrutura metálica são os que mais contribuem para a energia incorporada. Se

considerarmos os elementos de betão armado também, estes dois materiais representam cerca de 84 % da EI e cerca de 86 % do CI e GWP.

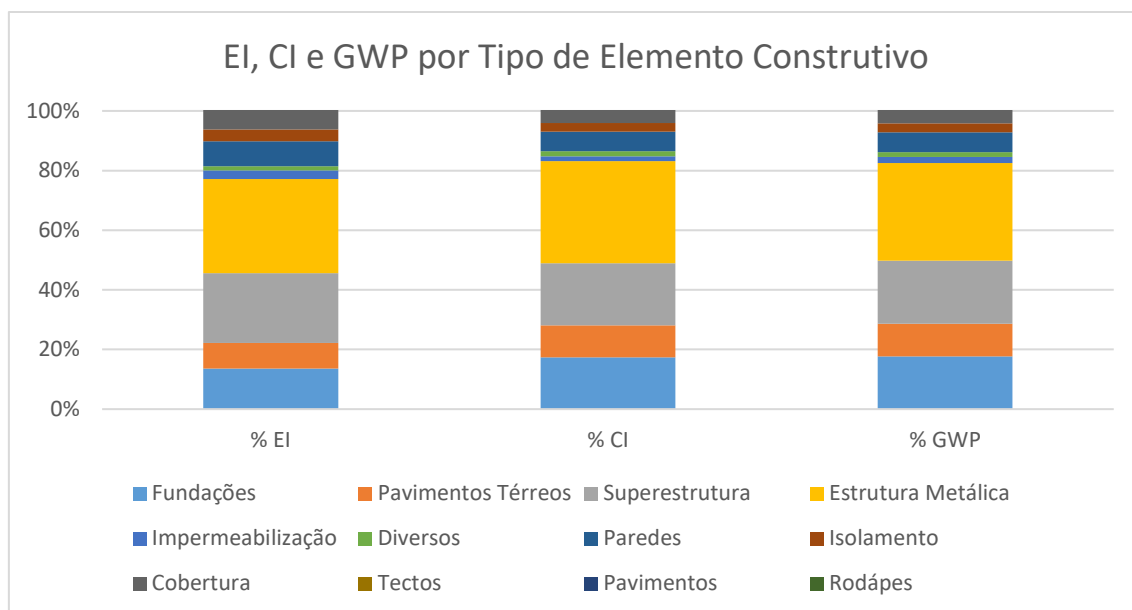


Figura 39 –EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo – Caso de Estudo 3 – Armazém

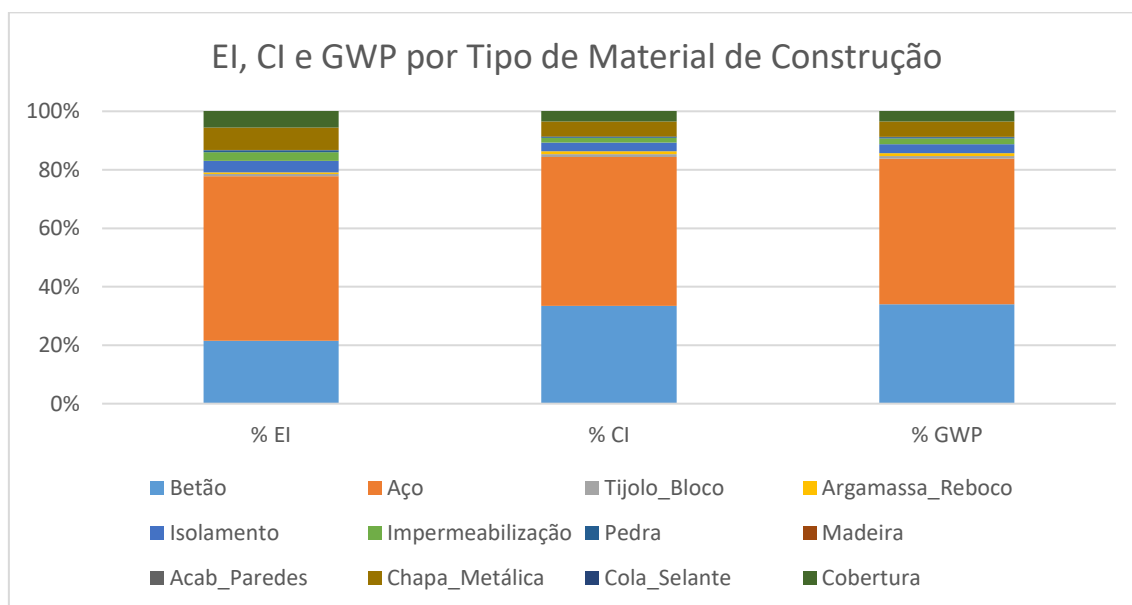


Figura 40 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção – Caso de Estudo 3 – Armazém

4.5 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – HOTEL

O quarto caso de estudo é o projeto de um Hotel, este consiste no projeto de execução de um novo edifício, caracterizado por um corpo monolítico, com continuidade estrutural nas ligações e sem juntas de dilatação, formado por elementos betonados “*in situ*”. O edifício é constituído por 3 pisos enterrados, R/C e 4 pisos elevados, cada piso com uma área aproximada de 935,00 m². Inclui ainda a construção de um corpo estrutural circular, com cerca de 280,00 m² de área, de acesso aos pisos de estacionamento. Assim, o edifício em estudo terá uma área construída total de 7 385,00 m² (Figura 41).

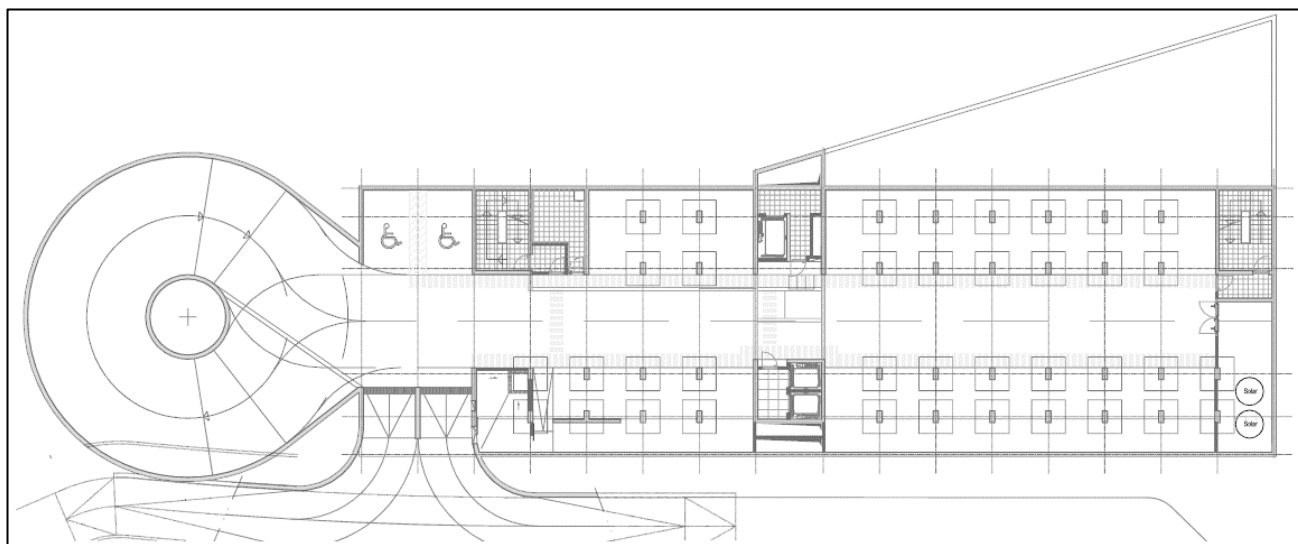


Figura 41 – Planta do Caso de Estudo 4 – Hotel

Usando a ferramenta desenvolvida e o mapa de quantidades do projeto, obtiveram-se os valores para a energia e carbono incorporado e potencial de aquecimento global representados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados EI, CI e GWP total e por m² de área de construção para o Caso de Estudo 4 – Hotel

	Energia Incorporada [MJ]	Carbono Incorporado [kgCO ₂]	GWP [kgCO ₂ eq]
Total	40 981 016 ,23	3 193 733 ,14	3 457 077 ,11
Total por m² de Área Construída	5 549 ,22	432 ,46	468 ,12

Pela Figura 42, verifica-se que, em termos da energia incorporada, a especialidade que mais contribui neste caso é a Estabilidade, em que os materiais associados incorporam 54 % do valor total da energia. O mesmo acontece em relação ao carbono incorporado ou ao potencial de aquecimento global, correspondendo a 68 % do valor total destas categorias de impacto.

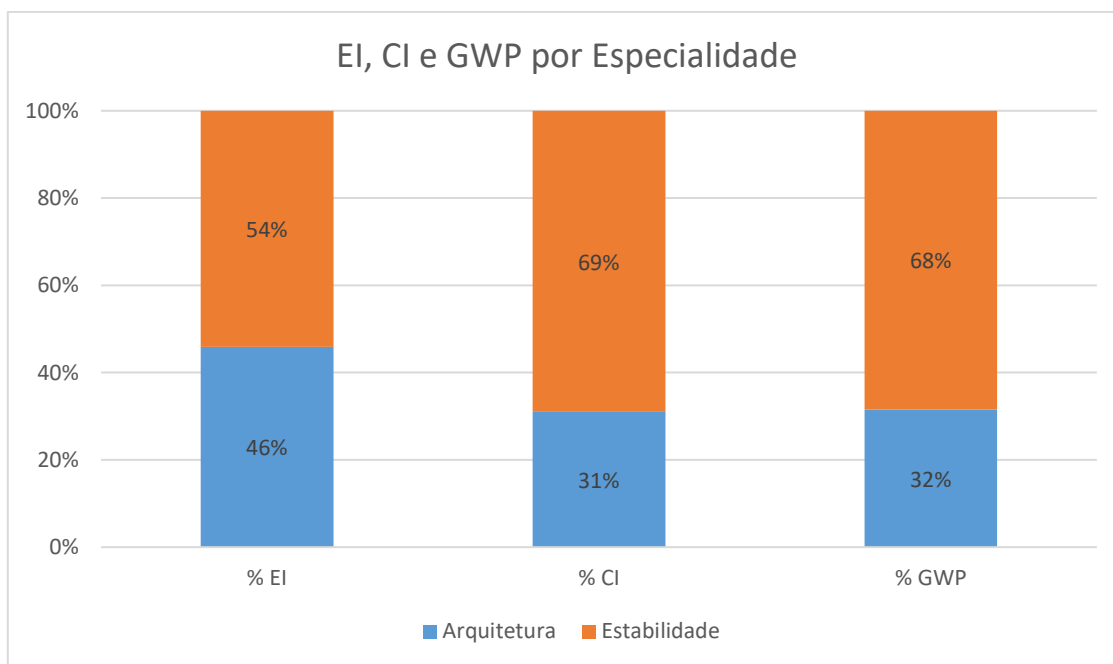


Figura 42 –EI, CI e GWP por Especialidade – Caso de Estudo 4 – Hotel

Os elementos construtivos com maior impacto na EI são a superestrutura (38 %) e as paredes (28 %) (Figura 43). Isso significa que os materiais que mais contribuem para a energia incorporada são o betão (22 %) e o aço (27 %) e material de Isolamento (20 %) (Figura 44). Ou seja, estes quatro tipos de materiais representam 69% da energia incorporada.

Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são a superestrutura (52 %) e as paredes (34%) (Figura 43). O que faz com que os materiais com maior impacto no CI e GWP sejam o betão (41 %) e o aço (26 %) (Figura 44). Ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem para a energia incorporada

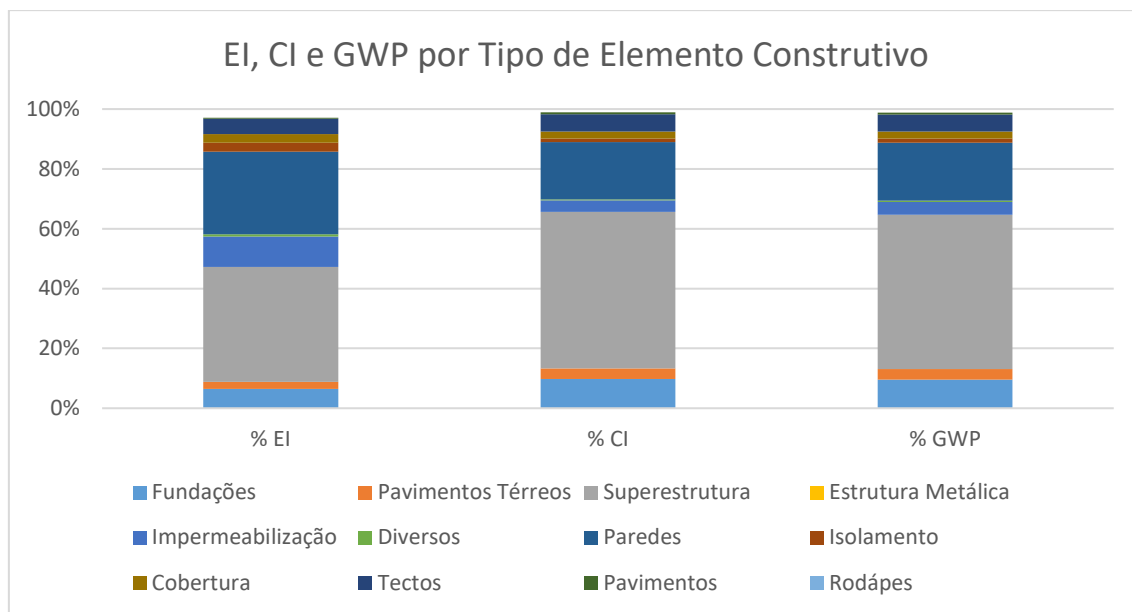


Figura 43 –EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo – Caso de Estudo 4 – Hotel

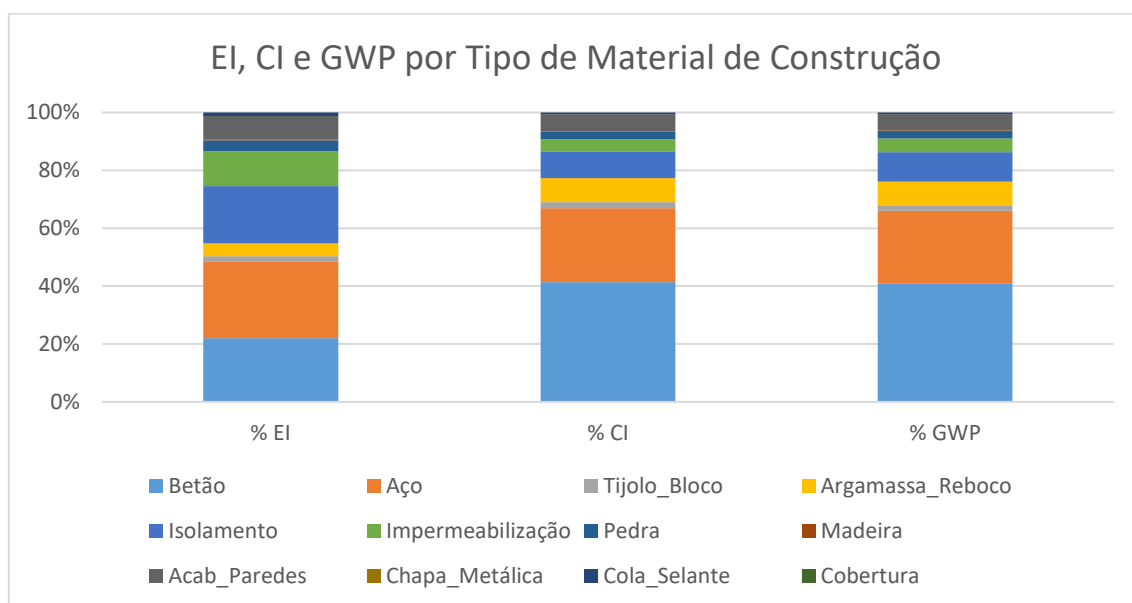


Figura 44 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção – Caso de Estudo 4 – Hotel

4.6 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LCA4BUILDING – INFRAESTRUTURA DESPORTIVA

O quinto caso de estudo é o projeto de uma infraestrutura desportiva, com grande predomínio da área da eficiência energética, sustentabilidade e inovação. Tem como principais características inovadoras a autossuficiência em termos energéticos, com baixa

emissão de CO₂, baixos custos de manutenção e possibilidade de transformação ao longo do tempo.

O edifício é formado por dois volumes separados por uma junta de dilatação: o corpo do ginásio e o corpo da nave desportiva, identificados pelas letras A e B na Figura 45, respetivamente. O corpo do ginásio com cerca de 32,00x28,00 m² em planta, tem um piso térreo onde se localiza o ginásio e dependências associadas, um piso elevado aberto ao público, e que funciona como praça de circulação exterior, e uma cobertura plana tipo *deck*. O corpo da nave desportiva com cerca de 38,00x28,00 m² em planta e altura de 10 m apresenta piso térreo para a prática desportiva, bancadas elevadas para espectadores e cobertura do tipo múltipla em dentes de serra. Ou seja, uma área construída de 2 856,00 m².

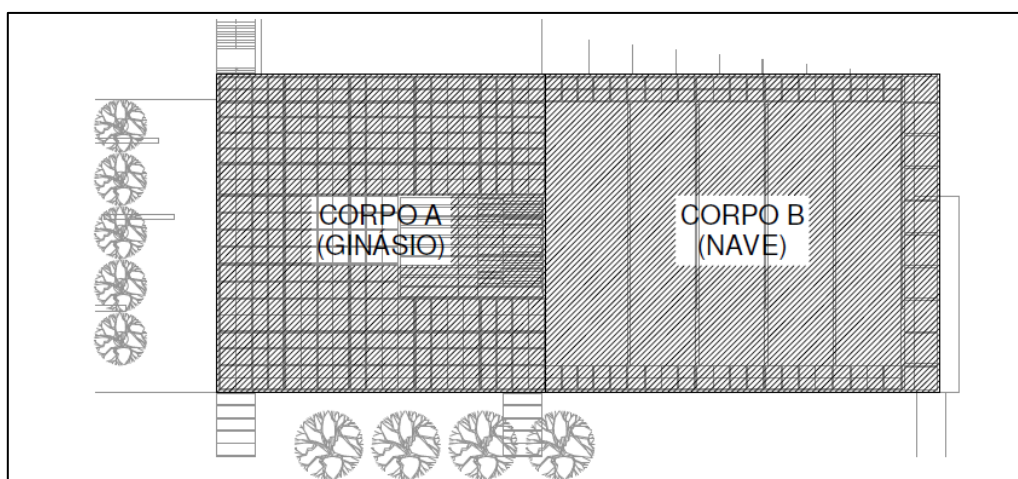


Figura 45 – Planta do Caso de Estudo 5 – Infraestrutura Desportiva, com identificação dos vários corpos

Usando a ferramenta desenvolvida e o mapa de quantidades do projeto, obtiveram-se os valores para a energia e carbono incorporado e potencial de aquecimento global, Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados EI, CI e GWP total e por m² de área de construção para o Caso de Estudo 5 – Infraestrutura Desportiva

	Energia Incorporada [MJ]	Carbono Incorporado [kgCO ₂]	GWP [kgCO ₂ eq]
Total	37 945 778,96	2 079 798,61	2 316 632,94
Total por m ² de Área Construída	13 286,34	728,22	811,15

Pela Figura 46, verifica-se que em termos da energia incorporada, a especialidade que mais contribui neste caso é a Estabilidade, cujos materiais contribuem para 59 % do valor total da EI. O mesmo acontece em relação ao carbono incorporado ou potencial de aquecimento global, mas sendo o contributo de 65 % do valor total.

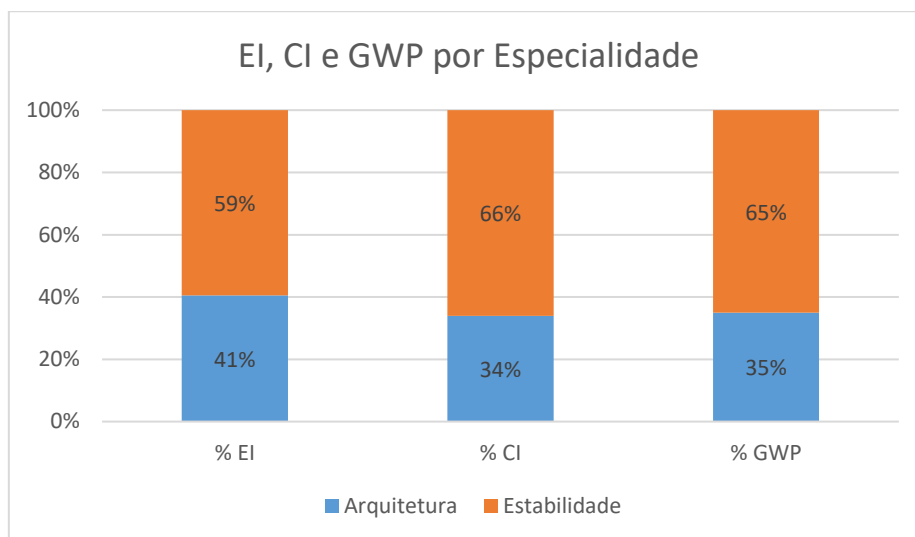


Figura 46 –EI, CI e GWP por Especialidade – Caso de Estudo 5 – Infraestrutura Desportiva

Os elementos construtivos com maior impacto na EI são os pavimentos térreos (23 %), a superestrutura (38 %) e o isolamento (21 %) (Figura 47). Isso significa que, os materiais que mais contribuem para a energia incorporada são o betão (16 %) e o aço (20 %), o material de impermeabilização (16 %) e o material de Isolamento (43 %) (Figura 48). Ou seja, a soma destes quatro tipos de materiais representa 95 % da energia incorporada. Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são as fundações (24 %), os pavimentos térreos (17 %), a superestrutura (20 %) e o isolamento (13 %) (Figura 47). Isso significa que os materiais com maior impacto no CI e GWP são o betão (41 %), o aço (11 %) e os materiais de isolamento (31 %) (Figura 48). Ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem quer para a energia incorporada, quer para o CI e o GWP. Se considerarmos o isolamento também, a soma destes elementos construtivos representa cerca de 83% para o CI e GWP.

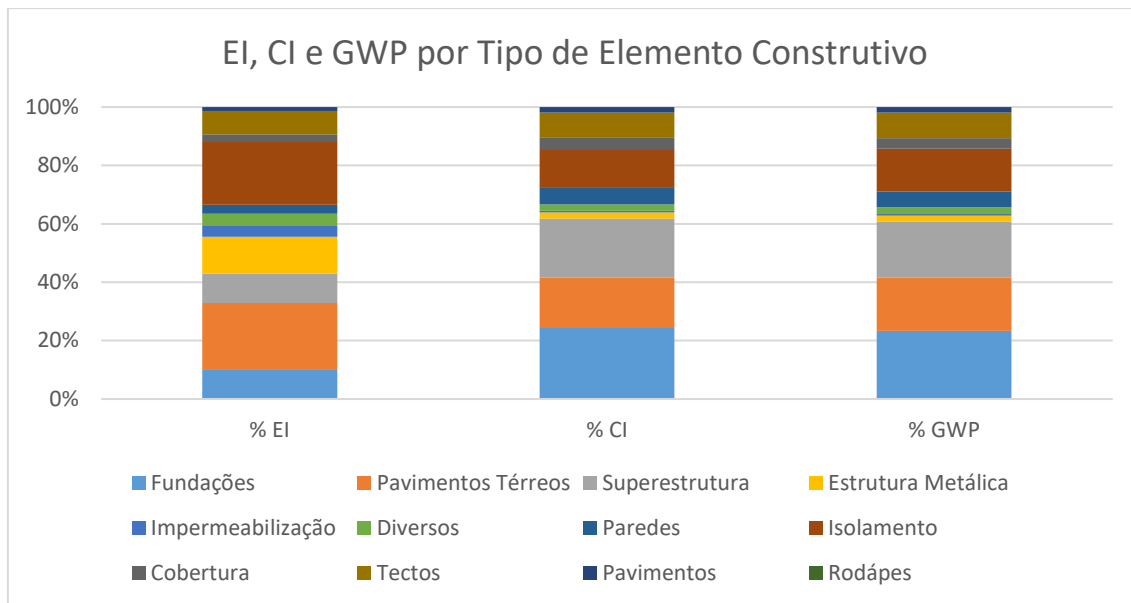


Figura 47 –EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo – Caso de Estudo 5 – Academia

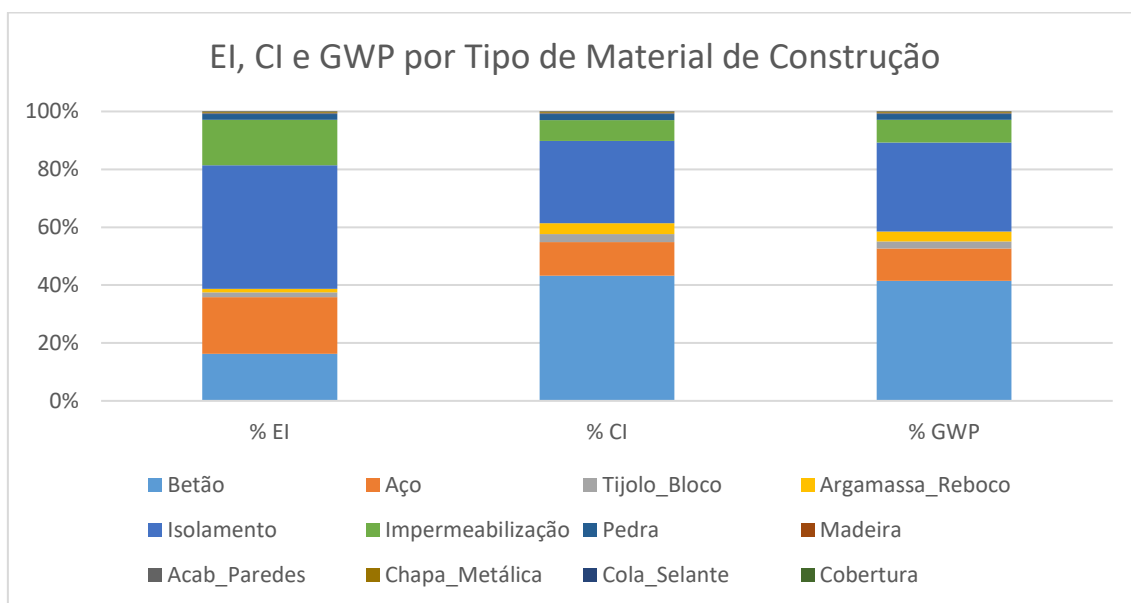


Figura 48 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção – Caso de Estudo 5 – Academia

4.7 CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

Para se comparar vários projetos com características tão distintas, os valores da EI, CI e GWP têm de ser expressos por m^2 de área construída (a unidade funcional deste estudo). Segundo o site *One Click LCA* [25], o potencial de aquecimento global pode ser representado por categorias de classificação de A⁺ a H, segundo a quantidade de

carbono equivalente incorporado por tipo de edifício em estudo, conforme detalhado no Anexo F.

Ao aplicar o Anexo F aos vários casos de estudo, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados dos casos de estudo

Casos de Estudo	Valor do GWP [kgCO ₂ eq/m ²]	Tipo de Edifício	Classificação
Teste – Lota	1 064,71	Edifício de Retail	F
1 – Habitação Unifamiliar	186,82	Edifício Residencial	A ⁺
2 – Edifício de Serviços Municipais	1 193,68	Edifício de Escritórios Edifício de Retail	H G
3 – Armazém	642,94	Armazém	E
4 – Hotel	468,12	Hotel	C
5 – Infraestrutura Desportiva	811,15	Armazém Edifício Comercial	F F

Deste modo, pode-se concluir que o edifício de habitação unifamiliar é aquele em que o GWP é menor, sendo o Edifício de Serviços Municipais aquele que apresenta o pior desempenho nesta categoria de impacto.

SELEÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

- 5.1 ALTERAÇÕES À HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
- 5.2 ALTERAÇÕES AO EDIFÍCIO DE SERVIÇOS MUNICIPAIS
- 5.3 ALTERAÇÕES AO ARMAZÉM
- 5.4 ALTERAÇÕES AO HOTEL
- 5.5 ALTERAÇÕES AO EDIFÍCIO DA ACADEMIA
- 5.6 CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO DEPOIS DE APLICAR AS ALTERAÇÕES
- 5.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

5 SELEÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

Como referido anteriormente, a ferramenta LCA4Building no presente trabalho permite fazer alterações na lista de materiais de um determinado projecto, para reduzir ao máximo a energia incorporada e o potencial de aquecimento global.

Nesta secção, apresentam-se as alterações que foram feitas aos vários casos de estudo de forma a diminuir os valores da EI e GWP, e os correspondentes resultados obtidos.

5.1 ALTERAÇÕES À HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

Pela secção 4.2 os tipos de materiais que mais contribuem para os valores de EI, CI e GWP, para a habitação unifamiliar, são o betão, o aço, os materiais impermeabilizantes e os acabamentos de pedra e cerâmicos. Deste modo, um dos materiais que se propôs alterações foi no betão, no qual se manteve a sua classe de resistência mas alterou-se a sua composição, ou seja, em vez de ter 15% de cinzas volantes na sua constituição, passou a ter 50% de escórias de alto forno. Nos rebocos e argamassa foram substituídos por fórmulas que usam menos cimento na sua constituição e as colas foram substituídas por adesivos de base de formaldeído fenol.

Ao aplicar as alterações referidas, obtiveram-se os valores de EI, CI e GWP apresentados na Tabela 12. Isto significa que houve uma redução de cerca de 7% no valor de energia incorporada e de 12% para os valores de carbono incorporado e potencial de aquecimento global.

Tabela 12 – Resultados de EI, CI e GWP por m² depois das alterações PROPOSTAS para o Caso de Estudo 1

	Energia Incorporada	Carbono Incorporado	GWP
Antes das Alterações	2 568,41 MJ/m ²	174,47 kgCO ₂ /m ²	186,82 kgCO ₂ eq/m ²
Depois das Alterações	2 393,19 MJ/m ²	153,36 kgCO ₂ /m ²	164,44 kgCO ₂ eq/m ²
Δ%	- 6,82 %	- 12,10 %	- 11,98 %

Pela Figura 49, verifica-se que, com as alterações efetuadas às percentagens associadas ao tipo de especialidade, não houve alteração em relação à energia incorporada que continua a ser de 38 % para a estabilidade e 62 % para a arquitetura. O mesmo não acontece em relação ao carbono incorporado e ao potencial de aquecimento global, o qual tem um aumento de 3% para a Arquitetura em relação à Estabilidade.

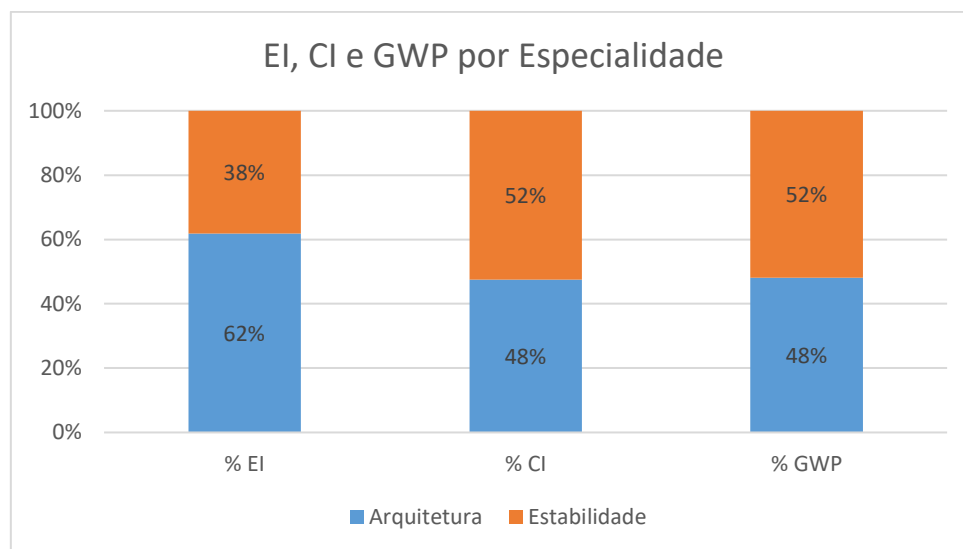


Figura 49 –EI, CI e GWP por Especialidade, depois das alterações – Caso de Estudo 1

Os tipos de elemento construtivo com maior impacto na EI são os pavimentos térreos (16 %), a superestrutura (13 %), elementos impermeabilizantes (15%), paredes (11%) e pavimentos (19 %) (Figura 50). O que leva a que os materiais que mais contribuem para a energia incorporada sejam o betão (10 %), o aço (29%), material de impermeabilização (19 %) e acabamentos em pedra e cerâmicos (20 %) (Figura 51). Ou seja, a soma destes quatro tipos de materiais representa 78 % da energia incorporada.

Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são os pavimentos térreos (20 %), a superestrutura (19 %), paredes (11 %) e pavimentos (16 %) (Figura 50). Isso significa que os materiais com maior impacto no CI e GWP são o betão (18 %), o aço (35 %), materiais impermeabilizantes (10 %), acabamentos em pedra (17 %) (Figura 51). Ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem quer para a energia incorporada, com 54% do valor total. Se considerarmos os outros dois também, a soma destes representa cerca de 81% do valor do CI e GWP.

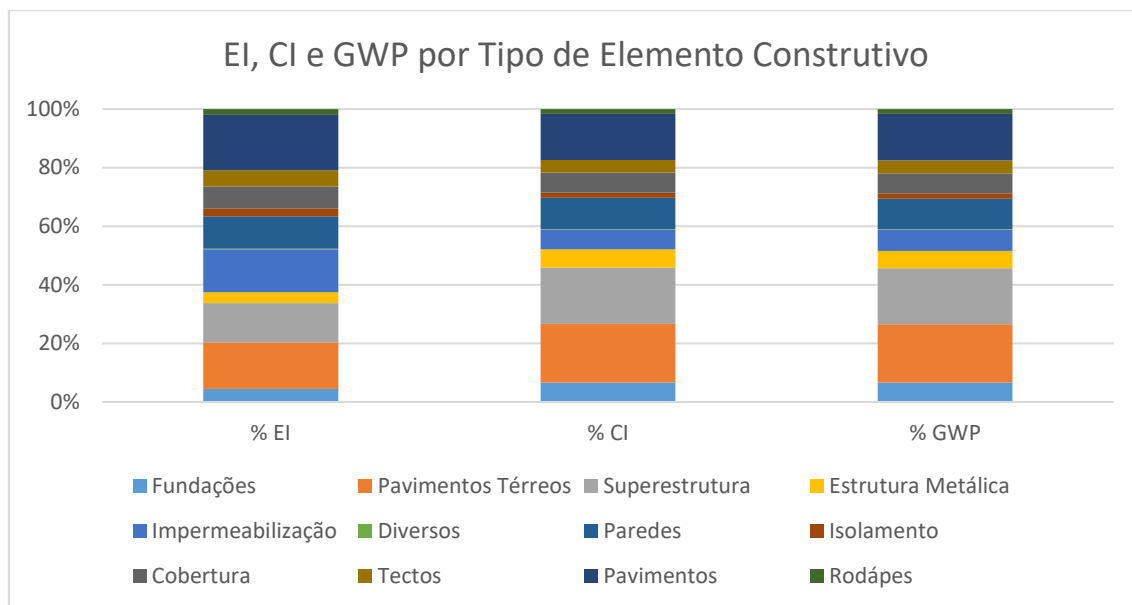


Figura 50 –EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo depois das alterações – Caso de Estudo 1

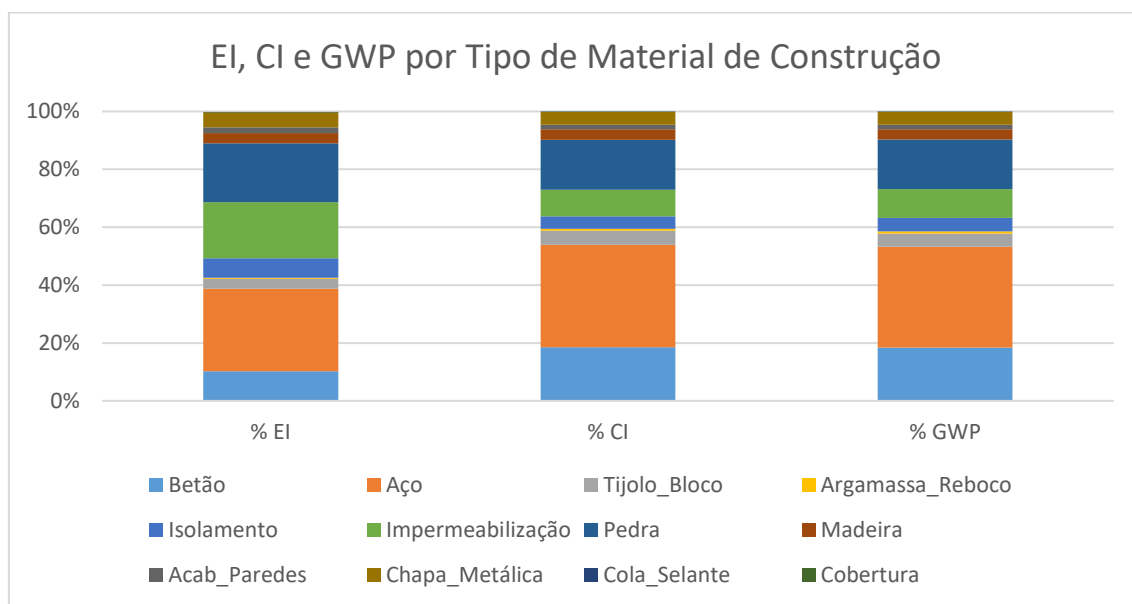


Figura 51 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção depois das alterações – Caso de Estudo 1

5.2 ALTERAÇÕES AO EDIFÍCIO DE SERVIÇOS/COMÉRCIO

Pela secção 4.3 os tipos de materias que mais contribuem para os valores de EI, CI e GWP, para o edifício de serviços/comércio, são o betão, aço e materiais isolantes. Assim, um dos materiais em que se propôs alterações foi no betão, no qual se manteve a sua classe de resistência mas alterou-se a sua composição, ou seja, em vez de ter 15 % de

cinzas volantes na sua constituição, passou a ter 50 % de escórias de alto forno. Nos rebocos e argamassa foram substituídos por fórmulas que usam menos cimento na sua constituição e as colas foram substituída por adesivos de base de formaldeído fenol. Para os elementos da estrutura metálica o aço inoxidável passou a ser o standard EU. Ao aplicar as alterações referidas, obtiveram-se os valores de EI, CI e GWP apresentados na Tabela 13. Ou seja, houve uma redução de cerca de 7,5 % no valor de energia incorporada e de 17 % nos valores de carbono incorporado e potencial de aquecimento global.

Tabela 13 – Resultados EI, CI e GWP por m² depois das alterações para o Caso de Estudo 2

	Energia Incorporada	Carbono Incorporado	GWP
Antes das Alterações	15 495,08 MJ/m ²	1 093,78 kgCO ₂ /m ²	1 193,68 kgCO ₂ eq/m ²
Depois das Alterações	14 333,72 MJ/m ²	899,53 kgCO ₂ /m ²	986,64 kgCO ₂ eq/m ²
Δ%	- 7,50 %	- 17,76 %	- 17,34 %

Pela Figura 52, verifica-se que, com as alterações efetuadas, as percentagens associadas ao tipo de especialidade, não houve alteração em relação à energia incorporada que continua a ser de 52 % para a estabilidade e 48 % para a arquitetura. O mesmo não acontece em relação ao carbono incorporado e potencial de aquecimento global, o qual tem um aumento de 4 % na percentagem para a Arquitetura.

Os tipos de elemento construtivo com maior impacto na EI são os pavimentos térreos (20 %), a superestrutura (22 %), elementos de isolamento (13 %) e a cobertura (22 %) (Figura 53). Isso significa que os materiais que mais contribuem para a energia incorporada são o betão (18 %), o aço (26 %) e material de impermeabilização (36 %) (Figura 54). Ou seja, a soma destes três tipos de materiais representa 80 % da energia incorporada.

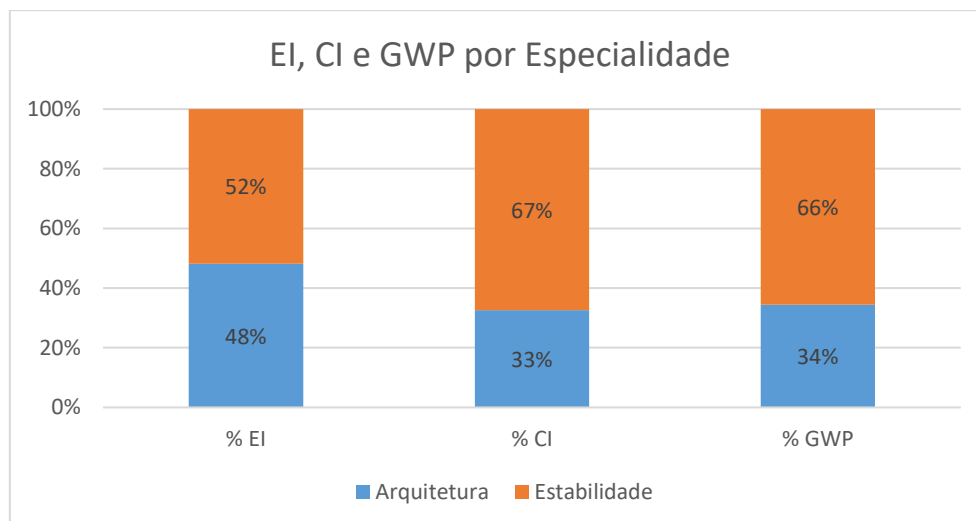


Figura 52 –EI, CI e GWP por Especialidade depois das alterações – Caso de Estudo 2

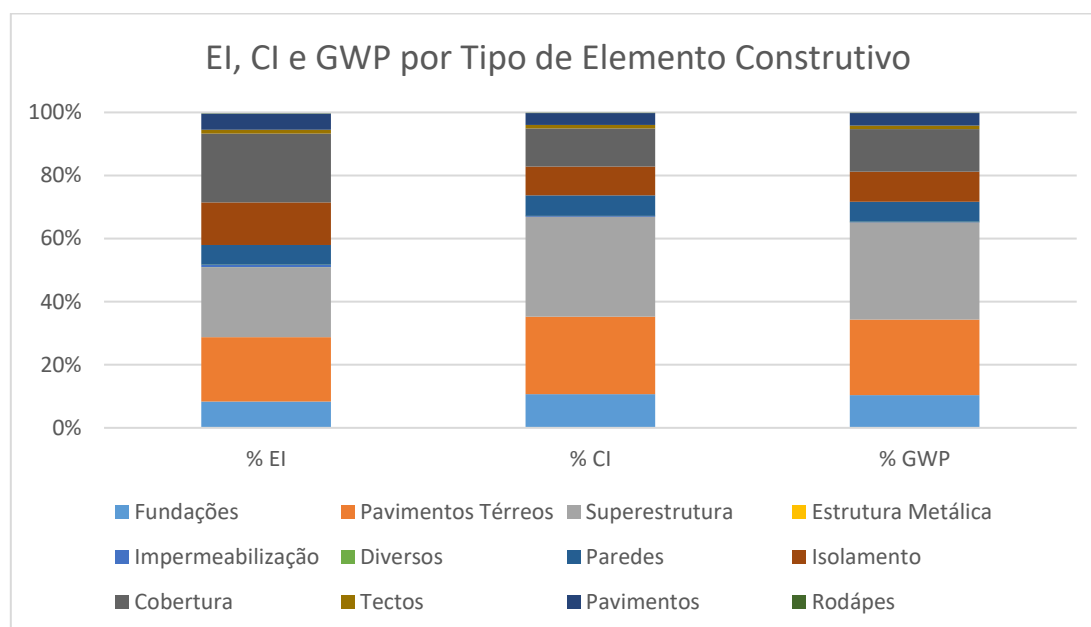


Figura 53 –EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo depois das alterações – Caso de Estudo 2

Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são as fundações (10 %), os pavimentos têrreos (24 %), a superestrutura (31 %), materiais de isolamento (10 %) e cobertura (13 %) (Figura 53). Isso significa que os materiais com maior impacto no CI e GWP são o betão (33 %), o aço (28 %) e materiais isolantes (24 %) (Figura 54). Ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem quer para o CI e GWP, com 61 % do valor total. Se considerarmos os materiais de isolamento o valor total do CI e GWP é de 85 %.

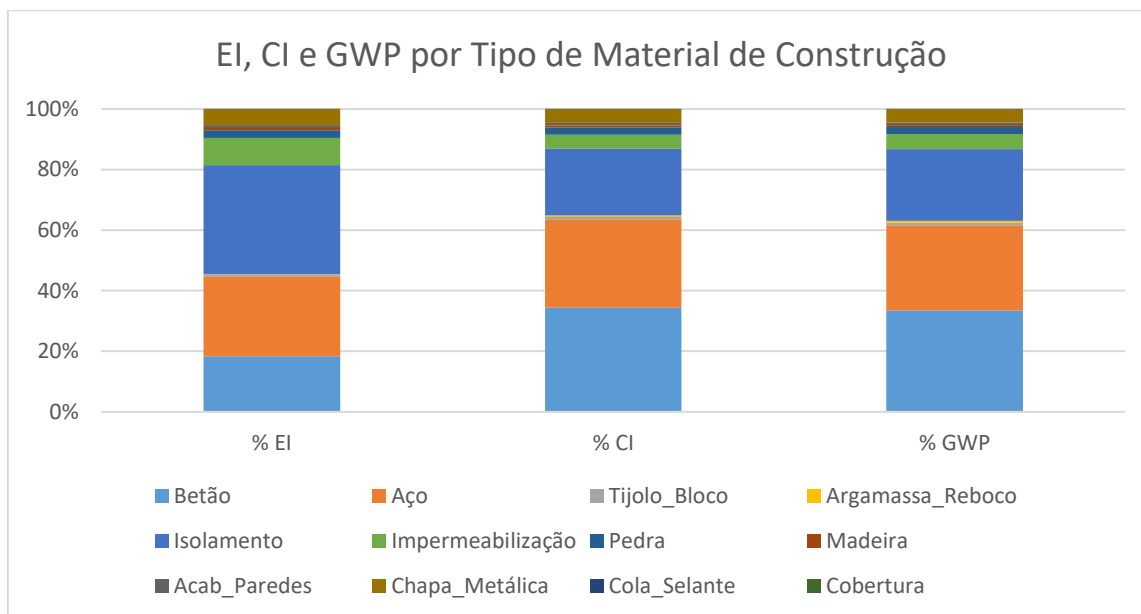


Figura 54 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção depois das alterações – Caso de Estudo 2

5.3 ALTERAÇÕES AO ARMAZÉM

Pela secção 4.4 os tipos de materiais que mais contribuem para os valores de EI, CI e GWP, para o armazém, são o betão e o aço. Assim, um dos materiais alterados foi o betão, que em vez de ter 15 % de cinzas volantes na sua constituição a substituir o cimento, passou a ter 50 % de escórias de alto forno. Os rebocos e argamassa foram substituídos por fórmulas que usam menos cimento na sua constituição e para os elementos da estrutura metálica, o aço que era inoxidável alterou-se para ferro galvanizado.

Ao aplicar as alterações referidas, obtiveram-se os valores de EI, CI e GWP apresentados na Tabela 14. Ou seja, houve uma redução de cerca de 22 % no valor de energia incorporada e de 35 % nos valores de carbono incorporado e potencial de aquecimento global. Esta redução no valor do CI e GWP é a maior, de todas as anteriores tipologias de edifício em que foram propostas alterações.

Tabela 14 – Resultados de EI, CI e GWP por m² depois das alterações para o Caso de Estudo 3

	Energia Incorporada	Carbono Incorporado	GWP
Antes das Alterações	6 540,38 MJ/m ²	611,96 kgCO ₂ /m ²	642,94 kgCO ₂ eq/m ²

Depois das Alterações	5 106,21 MJ/m ²	392,13 kgCO ₂ /m ²	420,48 kgCO ₂ eq/m ²
Δ%	- 21,93 %	- 35,92 %	- 34,60 %

Pela Figura 55, verifica-se que houve um aumento de 6 % na energia incorporada para a arquitetura. Em relação ao carbono incorporado e potencial de aquecimento global, acontece o mesmo, a arquitetura tem um aumento de 8 % na percentagem para a Estabilidade.

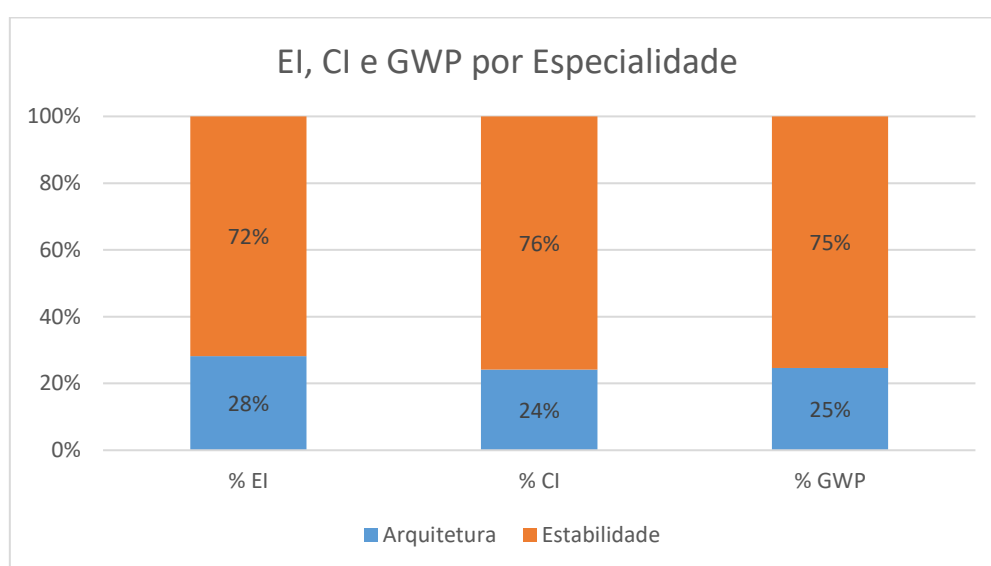


Figura 55 –EI, CI e GWP por Especialidade depois das alterações – Caso de Estudo 3

Os tipos de elemento construtivo com maior impacto na EI são as fundações (15 %), a superestrutura (29 %), a estrutura metálica (18 %) e as paredes (11 %) (Figura 56). Isso significa que os materiais que mais contribuem para a energia incorporada são o betão (22 %), o aço (50 %) e as chapas metálicas (10 %) (Figura 57). Ou seja, a soma destes três tipos de materiais representa 82 % da energia incorporada.

Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são as fundações (20 %), os pavimentos térreos (11 %), a superestrutura (28 %), a estrutura metálica (15 %) e as paredes (10 %) (Figura 56). Isso significa que os materiais com maior impacto no CI e GWP são o betão (34%) e o aço (41%) (Figura 57). Ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem tanto para o CI como para o GWP, com 75% do valor total.

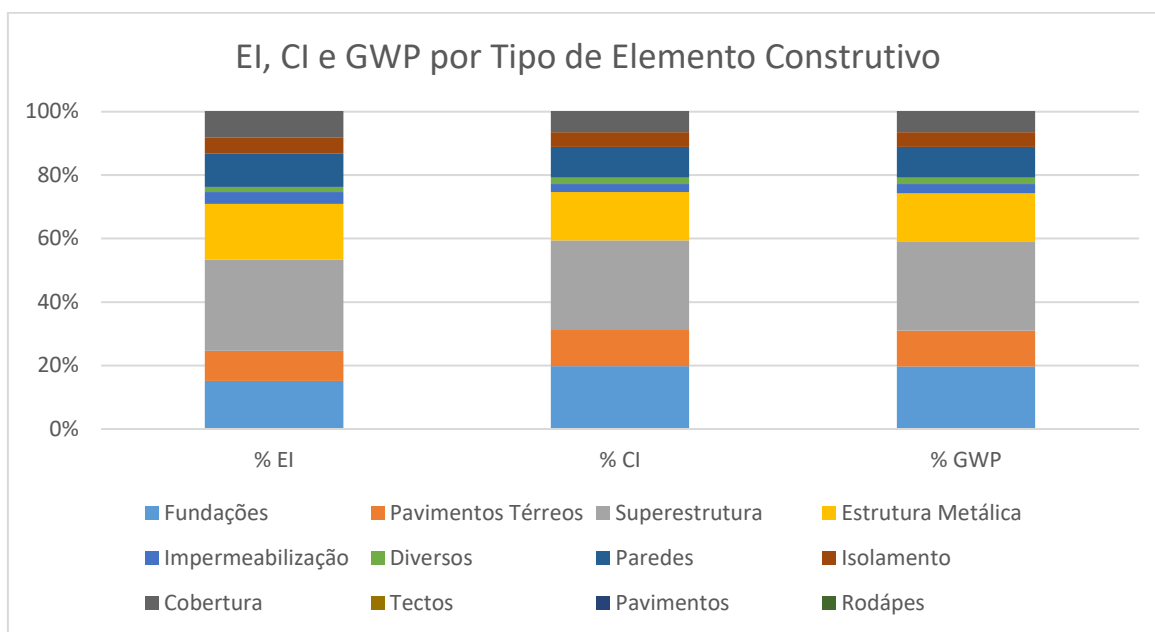


Figura 56 –EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo depois das alterações – Caso de Estudo 3

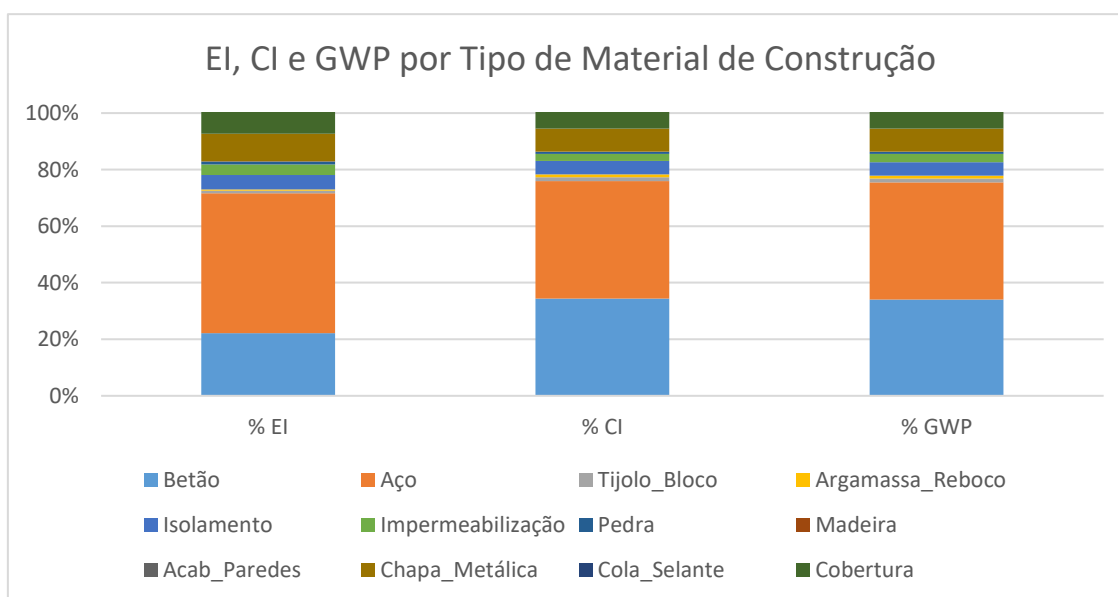


Figura 57 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção depois das alterações – Caso de Estudo 3

5.4 ALTERAÇÕES AO HOTEL

Pelos resultados da secção 4.5, os tipos de materias que mais contribuem para os valores de EI, CI e GWP, para o hotel, são o betão, o aço e os materiais isolantes. Assim, um dos materiais alterados foi o betão, que em vez de ter 15 % de cinzas volantes na sua constituição a substituir o cimento, passou a ter 50 % de escórias de alto forno. Os

rebocos e argamassa foram substituídos por fórmulas que usam menos cimento na sua constituição e, para os elementos da estrutura metálica, o aço que era galvanizado alterou-se por standard EU.

Ao aplicar as alterações referidas, obtiveram-se os valores de EI, CI e GWP apresentados na Tabela 15. Ou seja, houve uma redução de cerca de 6 % no valor de energia incorporada e de 17 % para os valores de carbono incorporado e potencial de aquecimento global.

Tabela 15 – Resultados de EI, CI e GWP por m² depois das alterações para o Caso de Estudo 4

	Energia Incorporada	Carbono Incorporado	GWP
Antes das Alterações	5 549,22 MJ/m ²	432,46 kgCO ₂ /m ²	468,12 kgCO ₂ eq/m ²
Depois das Alterações	5 189,67 MJ/m ²	356,28 kgCO ₂ /m ²	386,77 kgCO ₂ eq/m ²
Δ%	- 6,48 %	- 17,62 %	- 17,38 %

Pelo gráfico da Figura 58, verifica-se que, com as alterações efetuadas, as percentagens associadas ao tipo de especialidade, houve alteração em relação à energia incorporada. Assim, a EI na estabilidade diminuiu 6 % e a arquitetura aumentou o mesmo. Em relação ao carbono incorporado e potencial de aquecimento global, acontece o mesmo, isto é, a Arquitetura tem um aumento de 8 % na percentagem e contrário para a Estabilidade. Os tipos de elemento construtivo com maior impacto na EI são a superestrutura (38 %), materiais de impermeabilização (10 %) e as paredes (29 %) (Figura 59), ou seja, estes elementos representam 77 % da EI. Isso significa que os materiais que mais contribuem para a energia incorporada são o betão (19 %), o aço (28 %), materiais de isolamento (21 %) e materiais de impermeabilização (13 %) (Figura 60). Ou seja, a soma destes quatro tipos de materiais representa 81 % da energia incorporada.

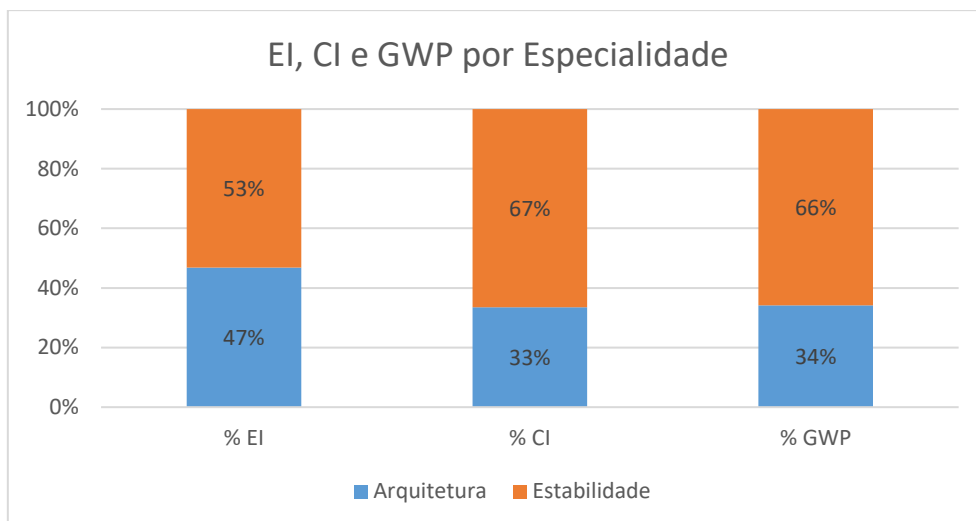


Figura 58 –EI, CI e GWP por Especialidade depois das alterações – Caso de Estudo 4

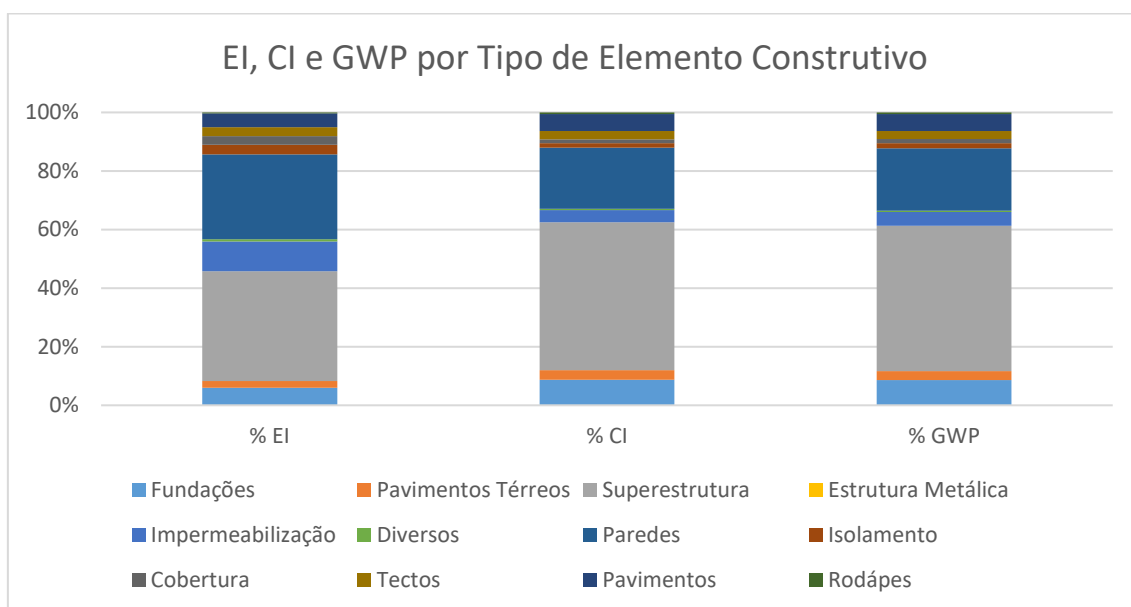


Figura 59 –EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo depois das alterações – Caso de Estudo 4

Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são a superestrutura (50 %) e as paredes (21 %) (Figura 59). Isso significa que os materiais com maior impacto no CI e GWP são o betão (33 %), o aço (30 %) e materiais de isolamento (11 %) (Figura 60). Ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem tanto para o CI como para o GWP, com 63% do valor total. Se considerarmos também o isolamento, passa-se a ter 74% do valor total do CI e GWP.

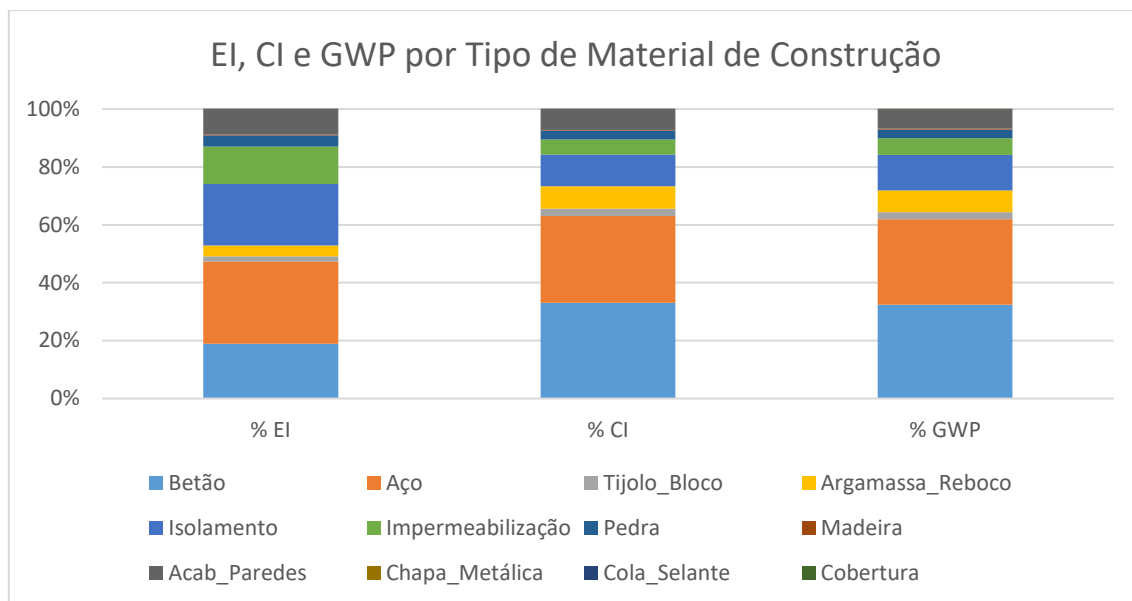


Figura 60 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção depois das alterações – Caso de Estudo 4

5.5 ALTERAÇÕES AO EDIFÍCIO DA ACADEMIA

Pelos resultados da secção 4.6 os tipos de materiais que mais contribuem para os valores de EI, CI e GWP, para a academia, são o betão e os materiais isolantes. Assim, um dos materiais alterados foi o betão, que em vez de ter 15 % de cinzas volantes na sua constituição a substituir o cimento, passou a ter 50 % de escórias de alto forno. Os rebocos e argamassa foram substituídos por fórmulas que usam menos cimento na sua constituição.

Ao aplicar as alterações referidas, obtiveram-se os valores de EI, CI e GWP apresentados na Tabela 16. Ou seja, houve uma redução de cerca de 4 % no valor de energia incorporada e de 16 % para os valores de carbono incorporado e potencial de aquecimento global.

Tabela 16 – Resultados de EI, CI e GWP por m² depois das alterações para o Caso de Estudo 5

	Energia Incorporada	Carbono Incorporado	GWP
Antes das Alterações	13 286,34 MJ/m ²	728,22 kgCO ₂ /m ²	811,15 kgCO ₂ eq/m ²
Depois das Alterações	12 779,81 MJ/m ²	607,50 kgCO ₂ /m ²	682,24 kgCO ₂ eq/m ²
Δ%	- 3,81 %	- 16,58 %	- 15,89 %

Pela Figura 61, verifica-se que com as alterações efetuadas às percentagens associadas ao tipo de especialidade, não houve alteração em relação à energia incorporada. Mas em relação ao carbono incorporado e potencial de aquecimento global, houve um aumento de 4 % na Arquitetura com redução idêntica na Estabilidade.

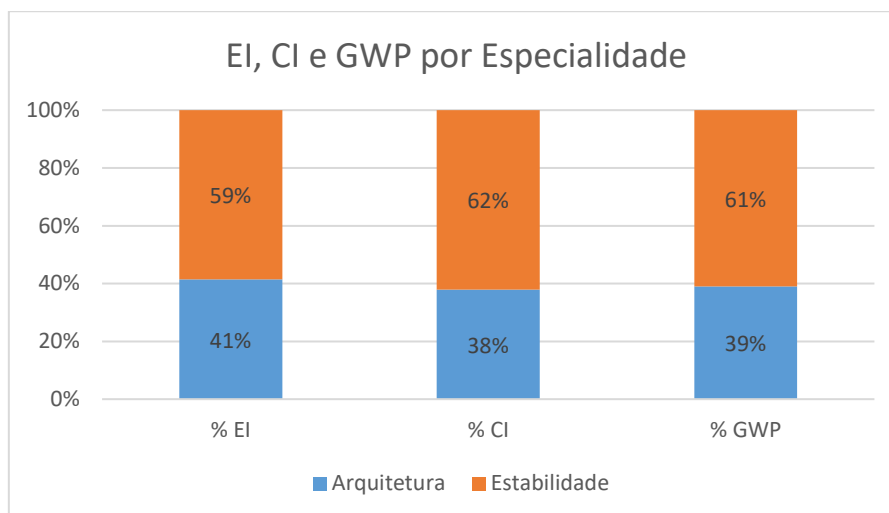


Figura 61 –EI, CI e GWP por Especialidade depois das alterações – Caso de Estudo 5

Os tipos de elementos construtivos com maior impacto na EI são a superestrutura (38 %), materiais de impermeabilização (10 %) e as paredes (29 %) (Figura 62), ou seja estes materiais representam 77 % da EI. Isso significa que os materiais que mais contribuem para a energia incorporada são o betão (19 %), o aço (28 %), materiais de isolamento (21%) e materiais de impermeabilização (13 %) (Figura 63). Ou seja, a soma destes quatro tipos de materiais representa 81 % da energia incorporada.

Em relação ao CI e GWP, os elementos construtivos com maior impacto são a superestrutura (50 %) e as paredes (21 %) (Figura 62). Isso significa que os materiais com maior impacto no CI e GWP são o betão (33 %), o aço (30 %) e materiais de isolamento (11 %) (Figura 63). Ou seja, os elementos de betão armado são os que mais contribuem quer para o CI e GWP, com 63 % do valor total. Se considerarmos o isolamento, passa-se a ter 74 % do valor total do CI e GWP associado a estes elementos construtivos.

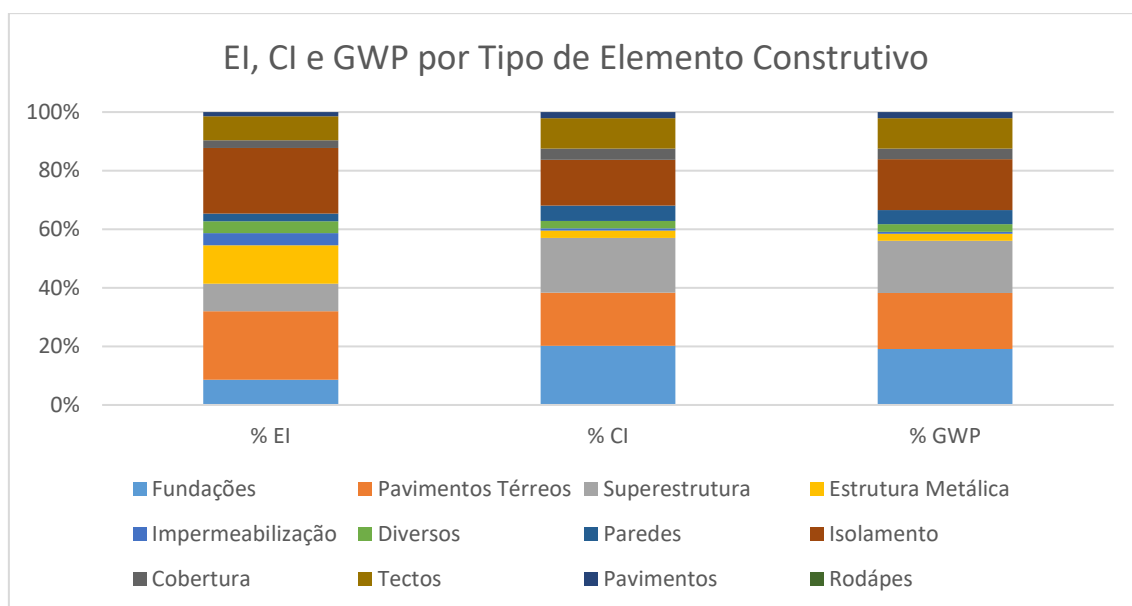


Figura 62 –de EI, CI e GWP por Tipo de Elemento Construtivo depois das alterações – Caso de Estudo 5

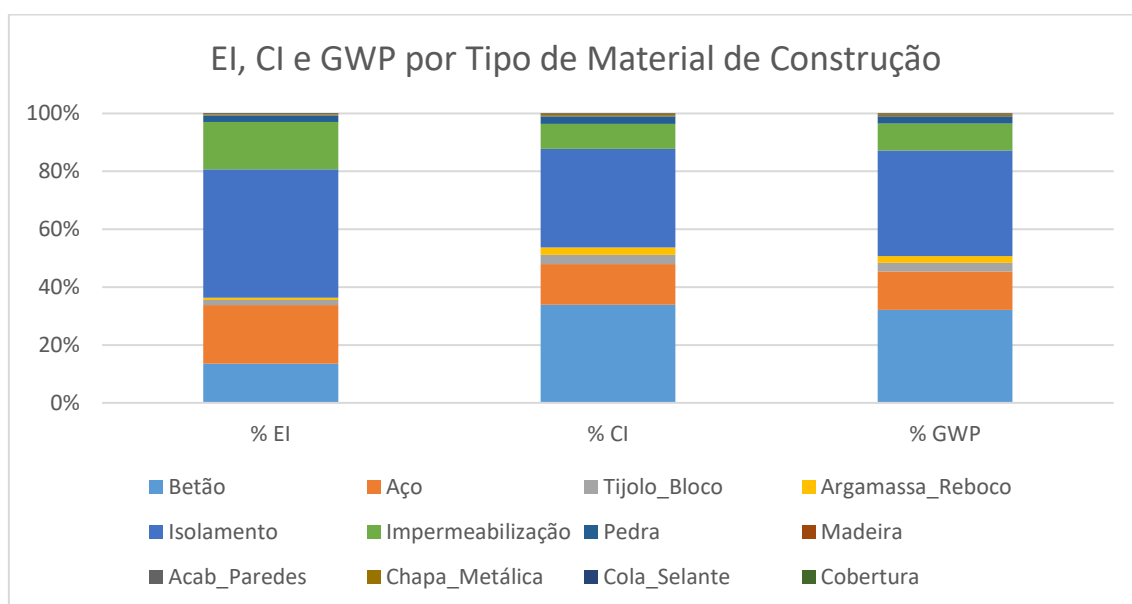


Figura 63 –EI, CI e GWP por Tipo de Material de Construção depois das alterações – Caso de Estudo 5

5.6 CLASSIFICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO DEPOIS DE APLICAR AS ALTERAÇÕES

Como referido na secção 4.7, para se comparar projetos, os valores da EI, CI e GWP, estes têm de ser expressos por m^2 de área construída (a unidade funcional). O potencial de aquecimento global pode ser representado pelas categorias de classificação de A⁺ a

H, dependendo da quantidade de carbono equivalente incorporado em cada tipo de edifício a estudo, conforme descrito no Anexo F.

Assim ao aplicar de novo a metodologia do Anexo F aos novos valores obtiveram-se as classificações apresentadas na Tabela 17 para os vários casos de estudo.

Pela análise da Tabela 17, verifica-se que houve um aumento da classe para todos os casos de estudo. Para o caso de estudo 1, habitação unifamiliar, não houve aumento de classe, o que não é relevante pois esta já se encontrava na classe mais alta possível. Nos casos de estudo 4 e 5, houve uma subida de uma classe, o hotel subiu para a classe B e a Academia para a classe E. Já para os casos de estudo 2 e 3 houve uma subida de duas classes, ou seja, o armazém subiu para a classe C e o edifício de serviços para a classe F. A melhoria nestas 2 tipologias de edifício vai de encontro ao anteriormente referido, uma vez que estes edifícios eram aqueles que apresentavam pior desempenho nesta categoria de impacto.

Tabela 17 - Resultados da Classificação dos casos de estudo depois das alterações

Casos de Estudo	Tipo de Edifício	Valor do GWP Depois das alterações [kgCO ₂ eq/m ²]	Classificação Antes das alterações	Classificação Depois das alterações
1 – Habitação Unifamiliar	Edifício Residencial	164,44	A ⁺	A ⁺
2 – Edifício de Serviços Municipais	Edifício de Escritórios	986,64	H	F
	Edifício de Retail		G	F
3 – Armazém	Armazém	420,48	E	C
4 – Hotel	Hotel	386,77	C	B
5 – Infraestrutura Desportiva	Armazem	682,24	F	E
	Edifício Comercial		F	E

Na Tabela 18 é apresentada a variação de percentagem para os valores de EI, CI e GWP, comparando os valores obtidos para o projecto inicial e depois das alterações propostas. Assim, é possível verificar que para a maioria dos casos de estudo, isto é, para 4 das 5 tipologias de construção, a redução da energia incorporada é da ordem dos 4 % a 7 %, em relação ao projeto inicial. Para o caso de estudo do armazém houve uma redução de 23 %, o que se deve maioritariamente à alteração do aço inoxidável da estrutura por aço galvanizado.

Para o CI e GWP, verifica-se que para 4 dos 5 casos de estudo há uma redução de 12 % a 18 % em relação ao projeto inicial. Para o caso de estudo do armazém houve mesmo uma redução de 35 %, o que se deve maioritariamente à alteração do aço inoxidável da estrutura por aço galvanizado.

Tabela 18 - Variação da Percentagem de cada um dos indicadores depois das Alterações nos Projetos Iniciais

	variação depois de aplicar as alterações (%)				
	Habitação Unifamiliar	Edifício de Serviços/Comércio	Armazém	Hotel	Infraestrutura Desportiva
EI	- 7	- 7	- 23	- 6	- 4
CI	- 12	- 18	- 36	- 18	- 17
GWP	- 12	- 17	- 35	- 17	- 16

5.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Segundo Buchanan [26], as tipologias de edifícios apresentadas na Tabela 19, na Nova Zelândia tem os seguintes valores para a energia incorporada e carbono incorporado:

Tabela 19 - Valores de EI e CI para a Nova Zelândia segundo Buchanan[26]

	EI (GJ/m ²)	CI (kgCO ₂ /m ²)
Edifício de Habitação	0,56	10,63
Armazém	3,2	66,6
Edifício de Escritórios	5,6	119,9
Hotel	3,7	80,2

Ao comparar os valores da Tabela 19 com os resultados dos casos de estudo, verifica-se que os valores de EI e CI são significativamente maiores para os casos de estudo. Isto deve-se ao facto que a construção em Portugal é pesada, ou seja, usa muito betão armado e paredes fixas de tijolo. O mesmo não acontece na Nova Zelândia, que pratica uma construção considerada leve, ou seja, usa muito estruturas de madeira, o que permite alterar o espaço com facilidade. As diferenças de valores podem ser verificadas na Figura 64 e Figura 65.

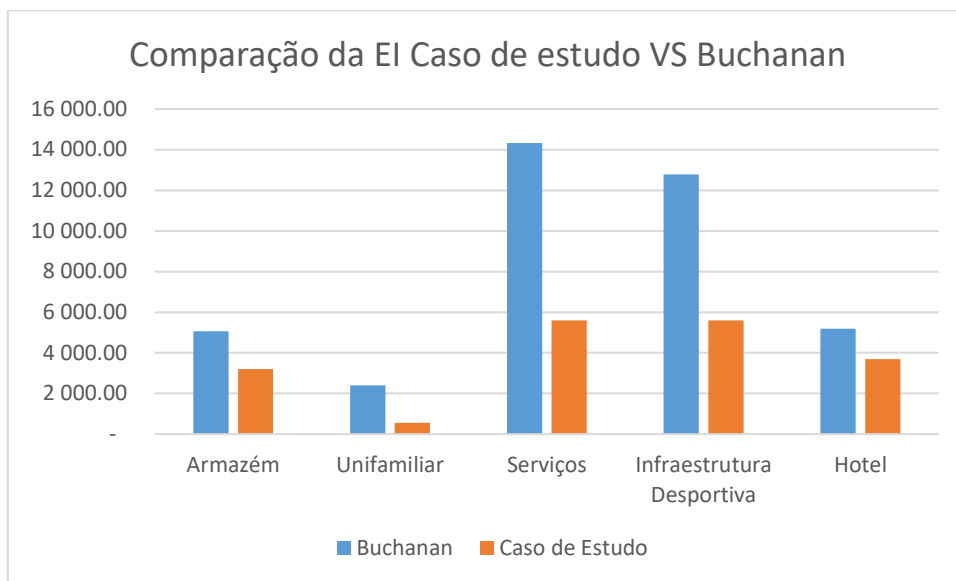


Figura 64 - Comparação dos valores da EI dos Casos de Estudo VS os de Buchanan

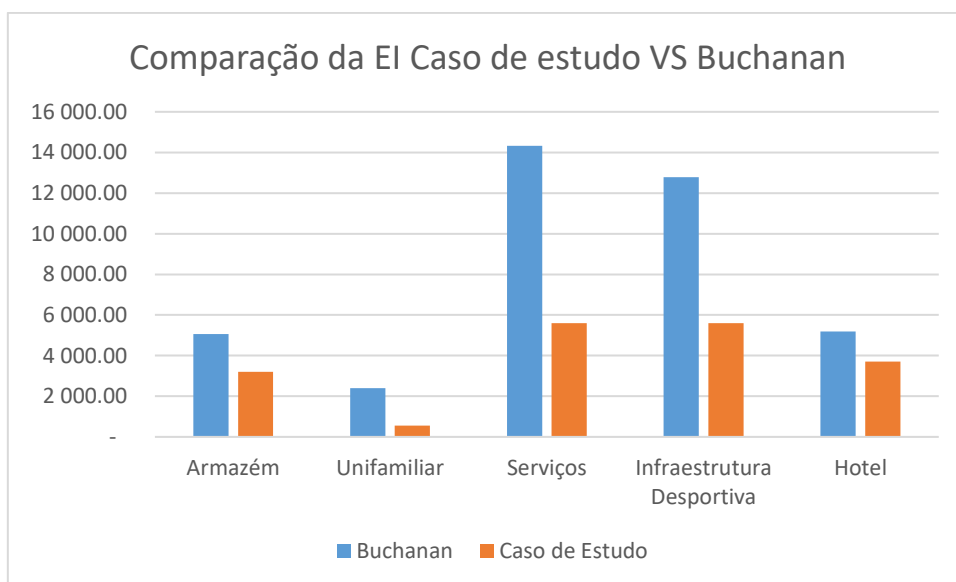


Figura 65 - Comparação dos valores da CI dos Casos de Estudo VS os de Buchanan

Por outro lado, comparando os valores de EI, CI e GWP para os projetos iniciais e para os mesmos projetos com algumas alterações propostas, pode-se afirmar que, uma análise criteriosa dos materiais utilizados nos elementos construtivos constituintes de cada edificação pode conduzir a reduções significativas nos impactos ambientais, e portanto no desempenho ambiental dos referidos edifícios.

A existência de uma ferramenta que permita fazer esta avaliação de uma maneira relativamente expedita permitirá certamente obter ganhos significativos, pelo menos nas categorias de impacto estudadas nesta dissertação, e pode contribuir para uma

melhor qualidade das construções, contribuindo para a obtenção dos pretendidos NZEB (*Near Zero Energy Building*).

Para além da avaliação do desempenho ambiental destes edifícios, e uma vez que se trata de uma área de negócio em que os investimentos podem ser significativos, seria importante também, fazer-se uma avaliação da variação dos custos da construção devida à utilização dos materiais alternativos propostos. Tal avaliação está fora do âmbito desta dissertação/estágio, mas constituiria certamente uma mais valia significativa para a empresa, que poderia também usar mais este argumento (económico) para propor ao dono de obra as alterações que contribuem para uma melhoria do desempenho ambiental e energético dos edifícios.

Finalmente, restaria ainda a avaliação dos impactos sociais da alteração dos materiais construtivos, também fora do âmbito deste trabalho.

Estas três avaliações, contribuiriam certamente para a construção de edifícios mais sustentáveis.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

6.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

A metodologia de ACV ao ser aplicada a novos projetos de construção civil, permite fazer uma análise a vários aspetos das várias atividades da construção, bem como a quantificação dos seus impactes, como a energia e carbono incorporados e o potencial de aquecimento global. Como referido anteriormente, o sector da construção civil é parte fundamental para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável.

O trabalho desenvolvido permitiu fazer uma avaliação dos potenciais impactos ambientais mais relevantes, energia incorporada, carbono incorporado e potencial de aquecimento global (kgCO_2eq) associados à construção de vários tipos de edifícios. Verificou-se que os elementos construtivos que mais contribuem para a EI e o GWP são os elementos em betão armado, os elementos de isolamento e impermeabilização. Os elementos de betão armado têm um valor de EI e GWP elevado devido a terem cimento e aço na sua composição, uma vez que estes utilizam muita energia na sua produção (têm uma elevada intensidade energética). O mesmo acontece, para os materiais isolantes e de impermeabilização.

A tendência é para um aumento da importância do valor da energia incorporada e carbono incorporado, uma vez que os valores para a energia e carbono operacionais estão a diminuir com o aumento da eficiência energética dos vários equipamentos. Assim, passa a ser de grande importância conhecer e controlar os valores da energia e carbono incorporados na fase de construção.

O trabalho desenvolvido, *LCA4Building*, uma ferramenta programada em VBA no MS Excel, permite calcular os valores de 3 categorias de impacto identificadas como

potencialmente importantes, e comparar várias soluções construtivas, de forma a diminuir os valores das categorias de impacto usando soluções mais sustentáveis.

A ACV de um edifício revela-se assim fundamental para a sua certificação energética, pois permite conhecer exatamente a quantidade de energia que foi consumida e carbono que foi emitido para a sua construção.

Note-se que apenas foi considerada a fase de construção, ficando fora do âmbito deste estudo as fases de operação/utilização e desconstrução/demolição do edifício.

A ferramenta desenvolvida não dispensa a presença de um Engenheiro Civil para a realização desta avaliação do ciclo de vida. Na verdade, a sua presença nesta fase do projeto é fundamental, pois a substituição de um material por outro implica muitas vezes a alteração do mapa de quantidades, e, sobretudo, o conhecimento dos materiais, da sua resistência e demais propriedades.

6.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

A ferramenta de cálculo desenvolvida, neste momento tem cerca de 120 materiais na sua base de dados. Tendo em vista uma abordagem mais abrangente e completa da ACV a aplicar a um edifício, pretende-se acrescentar mais materiais à mesma.

Adicionalmente, com a introdução dos preços unitários dos materiais, conseguir-se-á avaliar a vertente económica do projeto, o que, como foi anteriormente referido, se traduz numa maior valia para a empresa, que deste modo fica dotada de uma ferramenta útil e valiosa, que facilitará a atividade dos seus profissionais de engenharia civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SOPSEC, “SOPSEC, SA.” [Online]. Available: <https://sopsec.pt/>. [Accessed: 12-Nov-2018].
- [2] F. P. Torgal and S. Jalali, *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*, 2ª Edição. TecMinho: Gráfica Vilaverdense - Artes Gráficas, Lda, 2010.
- [3] G. F. Network, “Footprint Network Data.” [Online]. Available: <http://data.footprintnetwork.org/#/>. [Accessed: 13-Feb-2019].
- [4] M. Pinheiro, *Relatório Ambiente E Construção Sustentável*. 2006.
- [5] R. Mateus and L. Bragança, *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Edições Ecopy, 2006.
- [6] L. A. P. Oliveira, “Sustantabilidade do Espaço Urbano - Avaliação do Ciclo de Vida.” Covilha, 2017.
- [7] IPQ, *NP EN ISO 14040:2008 - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e Enquadramento*, vol. 2005. 2008.
- [8] IPQ, *NP EN ISO 14044:2010 - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e linhas de orientação*. 2010.
- [9] ILCD Handbook, *General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. Union, European, 2010.
- [10] i. I. I. f. a. S. B. Environment, “Questões SBTool PT.” .
- [11] PRé and E. M. Mark Goedkoop, Michiel Oele, Jorrit Leijting, Tommie Ponsioen, “Introduction to LCA with SimaPro,” San Francisco, 2016.
- [12] NSIT, “BEES.” [Online]. Available: <https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [13] S. M. I. Athena, “Athena.” [Online]. Available: <http://www.athenasmi.org/what-we-do/lca-data-software/>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [14] GaBi, “GaBi - Software.” [Online]. Available: <http://www.gabi-software.com/international/software/>. [Accessed: 15-Feb-2019].

- [15] F. Gould, "Embodied Carbon - Q&A." [Online]. Available: <https://www.fgould.com/uk-europe/articles/embodied-carbon-q-sean-lockie-director-carbon-and-/>. [Accessed: 25-Feb-2019].
- [16] M. D. Pinheiro, "LiderA - Sistema Voluntário para a Sustentabilidade dos Ambientes Construídos," 2010.
- [17] M. D. Pinheiro, "LiderA," pp. 0–3, 2010.
- [18] USGBC, "LEED: Leadership in Energy & Environmental Design." [Online]. Available: <https://new.usgbc.org/leed>. [Accessed: 13-Feb-2019].
- [19] "Categorias de créditos do LEED." [Online]. Available: <https://www.temsustentavel.com.br/green-hospitals-certificacao-leed-para-hospitais-sustentaveis/>. [Accessed: 12-Nov-2018].
- [20] "LEED níveis de certificação." [Online]. Available: <https://www.coarins.com/blog/bioclimatica/leed/>. [Accessed: 12-Nov-2018].
- [21] "Ponderação das áreas de avaliação do BREEAM." [Online]. Available: <https://www.enviromat.co.uk/blog/cat/building-and-planning/post/green-roofs-and-breeam/>. [Accessed: 12-Nov-2018].
- [22] "BREEAM." [Online]. Available: <https://www.breeam.com/discover/>. [Accessed: 13-Feb-2019].
- [23] "A classificação do BREAM por estrelas de 1 a 6 estrelas." [Online]. Available: <http://www.energogroup.com/en/preview-services/27/BREEAM-CERTIFICATION/>. [Accessed: 12-Nov-2018].
- [24] E. Ice, B. Prof, G. Hammond, C. Jones, E. F. Lowrie, and P. Tse, "A BSRIA guide Embodied Carbon The Inventory of Carbon and," 2011.
- [25] "One LCA Click." [Online]. Available: <https://www.oneclicklca.com/construction/>. [Accessed: 12-Apr-2019].
- [26] A. H. Buchanan and B. G. Honey, "Energy and carbon dioxide implications of building construction," *Energy Build.*, vol. 20, no. 3, pp. 205–217, 1994.
- [27] "Data Base Materials CIBSE." [Online]. Available: <https://www.cibse.org/knowledge/archive-and-repository>. [Accessed: 12-Mar-2019].
- [28] J. W. I. Boustead and G. F. Hancock, "Handbook of industrial energy analysis," *AIChE J.*, vol. 26, no. 1, 1980.

ANEXOS

- A. SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA
- B. BASE DE DADOS – ICE – INVENTORY OF CARBON AND ENERGY
- C. RANGE NAMES DO FICHEIRO LCA4BUILDING
- D. CÓDIGO DO FICHEIRO EXCEL
- E. MAPA DE CÁLCULO DO IMPACTO AMBIENTAL DA LOTA
- F. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DO ONE CLICK LCA

ANEXOS

A. SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

São vários os sistemas de certificação energética de edifícios, apresentando por vezes algumas particularidades, ou tendo aspetos comuns. Na Tabela A apresenta-se um quadro resumo das características de diversos sistemas de certificação energética de edifícios.

Tabela A – Quadro resumo das características específicas dos Sistemas de Certificação Energética de Edifícios (SCEE)

SCEE	SBTool ^{PT}	LíderA	LEED	BREEAM
Aspetos analisados	- Ambientais - Económicos	- Ambientais - Sociais - Económicos	- Ambientais	- Ambientais
Fases ACV	- Conceção (ideia, projeto) - Construção - Operação	- Conceção (ideia, projeto) - Construção - Operação - Demolição	- Conceção (ideia, projeto) - Construção - Operação	- Conceção (ideia, projeto) - Construção - Operação
Sistemas/ tipo de Construção	Aplicado a edifícios existentes e novas construções: - Edifícios Residenciais - Edifícios não residenciais - Edifícios Comerciais	- Todo o tipo de edifícios	- Projeto de edifício mais construção - Projeto de interiores e construção - Operação de construção e manutenção - Desenvolvimento bairro - Habitações	- Habitações - Edifícios de escritórios - Unidades industriais - Edifícios de comerciais - Sistema aberto aplicado a varias tipologias
Principal estrutura de avaliação	Critérios analisados na fase de pré-projecto: - Localização do lugar serviços disponíveis e características do local Critérios analisados na fase de projeto, construção e operação: - Regeneração e desenvolvimento do	- Integração do Local - Recursos - Cargas Ambientais - Conforto Ambiental - Vivencias Socioeconómicas - Uso Sustentável	- Processo de integração - Localização e transportes - Materiais e Recursos - Eficiência de água - Energia e atmosfera - Locais sustentáveis - Qualidade ambiental interior - Inovação - Créditos prioritários regionais	- Energia - Gestão - Saúde e bem-estar - Transportes - Materiais - Resíduos - Poluição

SCEE	SBTool ^{PT}	LíderA	LEED	BREEAM
	lugar, projeto urbano e infraestrutura - Energia e Consumo de Recursos - Cargas Ambientais - Qualidade Ambiental em Interiores - Qualidade do serviço - Sociais, Culturais e Aspectos da percepção - Custos e aspetos económicos		- Inteligência da localização e ligação - Padrão do bairro - Infraestruturas de edifícios verdes	- Uso da Terra - Ecologia
Metodologia de Avaliação	Escala de desempenho (-2 a +5) e pesos declarados personalizáveis.	Por ponderação, a cada categoria é atribuída uma percentagem.	Pontuação. Categorias têm pesos idênticos, mas o número de itens em cada categoria varia.	Ponderação, o número de créditos obtidos é multiplicado por um fator de ponderação.
Certificação	Sim. Pontuação global de desempenho + perfis de desempenho por categoria + indicadores de sustentabilidades	Sim, classificado em G até A+++ (crescente)	Sim, existem quatro níveis de certificação	Sim, existem cinco níveis de certificação, classificados de 1 até 5 estrelas

B. BASE DE DADOS – *ICE – INVENTORY OF CARBON AND ENERGY*

O ICE – inventário de carbono e energia da University of Bath [24] foi desenvolvido para fornecer dados confiáveis e de acesso livre para energia incorporada e carbono associado a materiais de construção. A maioria dos dados tem origem em fontes secundárias. Foi originalmente preenchido com os materiais do guia CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) [27] e com os valores iniciais de energia incorporados retirados do manual de Boustead e Hancock[28]. O número de materiais do inventário foi ampliado para mais de quatrocentos valores de energia incorporada e carbono incorporado. Uma vez que o ICE contém uma vasta variedade de materiais, pode ser usado para muitas aplicações além daquelas relacionadas apenas com a construção. A estrutura do ICE original apoiou-se nos valores da energia e carbono incorporados de publicações de análises de energia e estudos de ACV. Os valores selecionados foram obtidos a partir de literatura revista por pares com base na metodologia apresentada no fluxograma, e um conjunto de cinco critérios. No fluxograma da Figura 66 é apresentado o processo iterativo para aperfeiçoar os dados do inventário.

Os cinco critérios que foram aplicados para a seleção de energia incorporada e valores de carbono incorporados para os materiais individuais do banco de dados (Tabela), que garantem a consistência do inventário, são os seguintes:

- a) Conformidade com metodologias / normas aprovadas. Foi dada preferência a fontes de dados que cumprissem metodologias aceites.
- b) Limites do sistema. Os limites do sistema adotados foram de *cradle-to-site*.
- c) Origem (país) dos dados. Idealmente, os dados incorporados no banco de dados deveriam ter-se restringido a Inglaterra. No entanto, isso não foi viável para a maioria dos materiais, e foram usados os melhores dados de energia incorporada disponíveis de fontes estrangeiras.
- d) Idade dos dados. Foi dada preferência às fontes recentes de dados, devido as mudanças no *mix* de combustíveis e coeficientes de carbono associados à

geração de eletricidade, que gera uma maior incerteza nos valores de carbono incorporados.

- e) Carbono incorporado. Idealmente, os dados seriam obtidos de um estudo que considerasse as emissões de carbono no ciclo de vida, por exemplo, através de uma ACV detalhada. No entanto, muitas vezes há uma ausência de tais dados. Em muitos casos, os valores substitutos tiveram que ser estimados usando o *mix* de combustível típico para o setor industrial do Reino Unido.

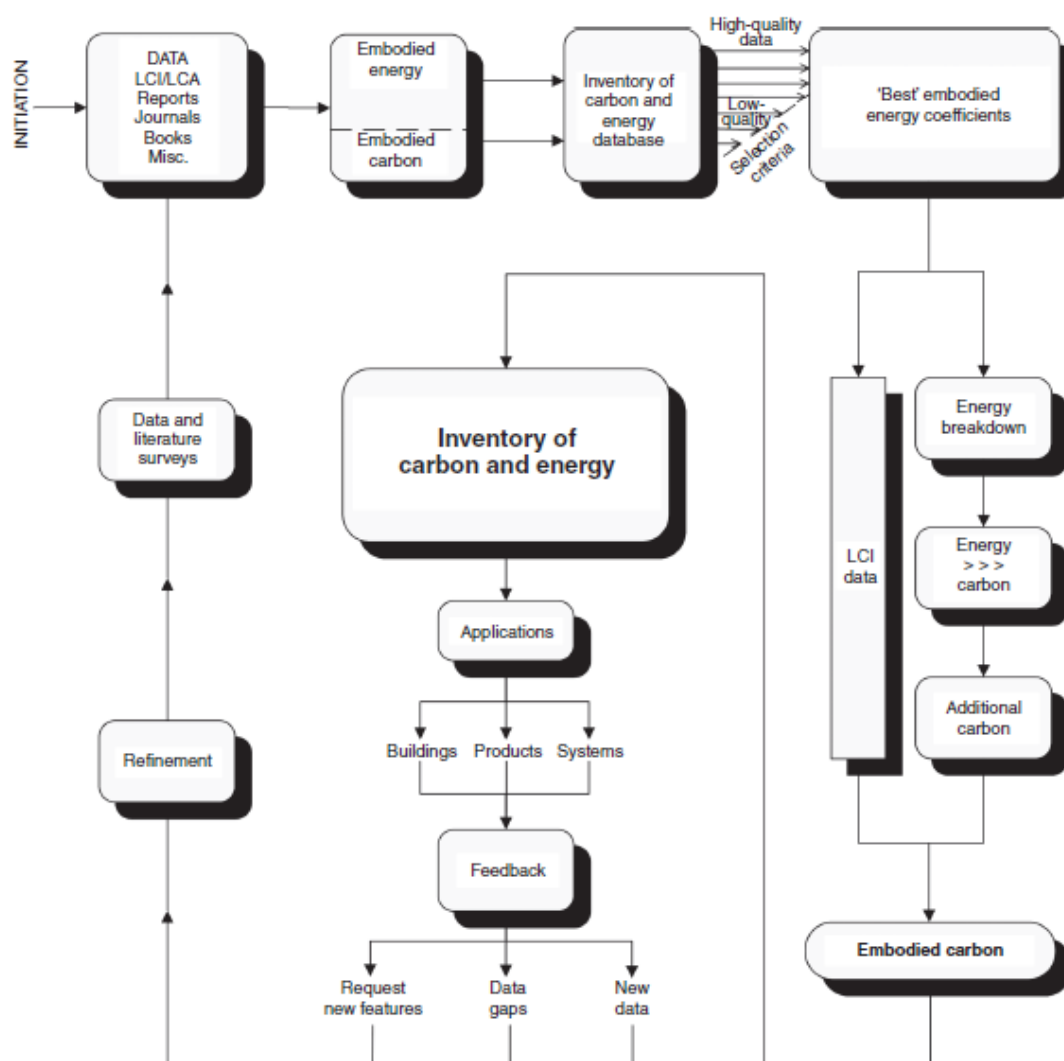


Figura 66 – Fluxograma de aperfeiçoamento dos dados do ICE

Tabela B – Inventário de Carbono e Energia

INVENTORY OF CARBON & ENERGY (ICE) SUMMARY				
Materials	Embodied Energy & Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - kgCO ₂ /kg	EC - kgCO ₂ e/kg	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Aggregate				
General (Gravel or Crushed Rock)	0.083	0.0048	0.0052	Estimated from measured UK industrial fuel consumption data
Aluminium	Main data source: International Aluminium Institute (IAI) LCA studies (www.world-aluminium.org)			
General	155	8.24	9.16	Assumed (UK) ratio of 25.6% extrusions, 55.7% Rolled & 18.7% castings. Worldwide average recycled content of 33%.
Virgin	218	11.46	12.79	
Recycled	29.0	1.69	1.81	
Cast Products	159	8.28	9.22	Worldwide average recycled content of 33%.
Virgin	226	11.70	13.10	
Recycled	25.0	1.35	1.45	
Extruded	154	8.16	9.08	Worldwide average recycled content of 33%.
Virgin	214	11.20	12.50	
Recycled	34.0	1.98	2.12	
Rolled	155	8.26	9.18	Worldwide average recycled content of 33%.
Virgin	217	11.50	12.80	
Recycled	28	1.67	1.79	
Asphalt				
Asphalt, 4% (bitumen) binder content (by mass)	2.86	0.059	0.066	1.68 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Modelled from the bitumen binder content. The fuel consumption of asphalt mixing operations was taken from the Mineral Products Association (MPA). It represents typical UK industrial data. Feedstock energy is from the bitumen content.
Asphalt, 5% binder content	3.39	0.064	0.071	2.10 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Comments from 4% mix also apply.
Asphalt, 6% binder content	3.93	0.068	0.076	2.52 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Comments from 4% mix also apply.
Asphalt, 7% binder content	4.46	0.072	0.081	2.94 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Comments from 4% mix also apply.
Asphalt, 8% binder content	5.00	0.076	0.086	3.36 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Comments from 4% mix also apply.
Bitumen				
General	51	0.38 - 0.43 (?)	0.43 - 0.55 (?)	42 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Feedstock assumed to be typical energy content of Bitumen. Carbon dioxide emissions are particularly difficult to estimate, range given.

Brass				
General	44.00	2.46 (?)	2.64 (?)	Poor data availability. It is believed that the data may be largely dependent upon ore grade. Poor carbon data, making estimate of embodied carbon difficult.
Virgin	80.00	4.47 (?)	4.80 (?)	
Recycled	20.00	1.12 (?)	1.20 (?)	
Bricks				
General (Common Brick)	3.00	0.23	0.24	
EXAMPLE: Single Brick	6.9 MJ per brick	0.53 kgCO ₂ per brick	0.55	Assuming 2.3 kg per brick.
Limestone	0.85	?	-	
Bronze				
General	69.0 (?)	3.73 (?)	4.0 (?)	Average of the only two references
Carpet				
General Carpet	74 (187 per sqm)	3.9 (9.8 per sqm)	-	For per square meter estimates see material profile. Difficult to estimate, taken from Ref. 94.
Felt (Hair and Jute) Underlay	19.00	0.97	-	Ref. 94.
Nylon (Polyamide), pile weight 300 g/m ²	130 MJ per sqm	6.7 (GWP) per sqm	6.7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 1,477 g/m ² . See Refs. 277 & 279. These carpets (inc. below) are a tufted surface pile made of 100% nylon (polyamide) with a woven textile backing and flame proofed on the basis of aluminium hydroxide.
Nylon (Polyamide), pile weight 500 g/m ²	180 MJ per sqm	9.7 (GWP) per sqm	9.7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 1,837 g/m ² . See Refs. 277 & 279.
Nylon (Polyamide), pile weight 700 g/m ²	230 MJ per sqm	12.7 (GWP) per sqm	12.7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 2,147 g/m ² . See Refs. 277 & 279.
Nylon (Polyamide), pile weight 900 g/m ²	277 MJ per sqm	15.6 (GWP) per sqm	15.6 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 2,427 g/m ² . See Refs. 277 & 279.
Nylon (Polyamide), pile weight 1100 g/m ²	327 MJ per sqm	18.4 (GWP) per sqm	18.4 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 2,677 g/m ² . See Refs. 277 & 279.
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 300 g/m ²	178 MJ per sqm	7.75 (GWP) per sqm	7.75 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 4,123 g/m ² . See Refs. 277 & 279. These carpet tiles (inc. below) are a tufted surface pile made of 100% nylon (polyamide) fleece-covered bitumen backing and flame-proofed on the basis of aluminium hydroxide
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 500 g/m ²	229 MJ per sqm	10.7 (GWP) per sqm	10.7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 4,373 g/m ² . See Refs. 277 & 279.
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 700 g/m ²	279 MJ per sqm	13.7 (GWP) per sqm	13.7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 4,623 g/m ² . See Refs. 277 & 279.
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 900 g/m ²	328 MJ per sqm	16.7 (GWP) per sqm	16.7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 4,873 g/m ² . See Refs. 277 & 279.

Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 1100 g/m ²	378 MJ per sqm	19.7 (GWP) per sqm	19.7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 5,123 g/m ² . See Refs. 277 & 279.
Polyethylterephthalate (PET)	106.50	5.56	-	Includes feedstock energy
Polypropylene	95.40	4.98	-	Includes feedstock energy, for per square meter see material profile
Polyurethane	72.10	3.76	-	Includes feedstock energy
Rubber	67.5 to 140	3.61 to 7.48	-	
Saturated Felt Underlay (impregnated with Asphalt or tar)	31.70	1.65	-	Ref. 94.
Wool	106.00	5.53	-	For per square meter see material profile. See Refs. 63, 201, 202 & 281 (Same author).
Cement				
General (UK weighted average)	4.5	0.73	0.74	Weighted average of all cement consumed within the UK. This includes all factory made cements (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV) and further blending of fly ash and ground granulated blast furnace slag. This data has been estimated from the British Cement Association's factsheets (see Ref. 59). 23% cementitious additions on average.
Average CEM I Portland Cement, 94% Clinker	5.50	0.93	0.95	This is a standard cement with no cementitious additions (i.e. fly ash or blast furnace slag). Composition 94% clinker, 5% gypsum, 1% minor additional constituents (mac's). This data has been estimated from the British Cement Association's factsheets (see Ref. 59.).
6-20% Fly Ash (CEM II/A-V)	5.28 to 4.51	0.88 (@ 6%) to 0.75 (@ 20%)	0.89 to 0.76	See material profile for further details.
21-35% Fly Ash (CEM II/B-V)	4.45 to 3.68	0.74 to 0.61	0.75 to 0.62	
21-35% GGBS (CEM II/B-S)	4.77 to 4.21	0.76 to 0.64	0.77 to 0.65	
36-65% GGBS (CEM III/A)	4.17 to 3.0	0.63 to 0.38	0.64 to 0.39	
66-80% GGBS (CEM II/B)	2.96 to 2.4	0.37 to 0.25	0.38 to 0.26	
Fibre Cement Panels - Uncoated	10.40	1.09	-	Few data points. Selected data modified from Ref. 107.
Fibre Cement Panels - (Colour) Coated	15.30	1.28	-	
Mortar (1:3 cement:sand mix)	1.33	0.208	0.221	Values estimated from the ICE Cement, Mortar & Concrete Model
Mortar (1:4)	1.11	0.171	0.182	
Mortar (1:5)	0.97	0.146	0.156	
Mortar (1:6)	0.85	0.127	0.136	
Mortar (1:½:4½ Cement:Lime:Sand mix)	1.34	0.200	0.213	

Mortar (1:1:6 Cement:Lime:Sand mix)	1.11			0.163			0.174			
Mortar (1:2:9 Cement:Lime:Sand mix)	1.03			0.145			0.155			
Cement stabilised soil @ 5%	0.68			0.060			0.061			Assumed 5% cement content.
Cement stabilised soil @ 8%	0.83			0.082			0.084			Assumed 8% stabiliser contents (6% cement and 2% quicklime)
Ceramics										
General	10.00			0.66			0.70			Very large data range, difficult to select values for general ceramics.
Fittings	20.00			1.07			1.14			Ref. 1.
Sanitary Products	29.00			1.51			1.61			Limited data.
Tiles and Cladding Panels	12.00			0.74			0.78			Difficult to select, large range, limited data. See Ref. 292.
Clay										
General (Simple Baked Products)	3.00			0.23			0.24			General simple baked clay products (inc. terracotta and bricks)
Tile	6.50			0.45			0.48			
Vitrified clay pipe DN 100 & DN 150	6.20			0.44			0.46			
Vitrified clay pipe DN 200 & DN 300	7.00			0.48			0.50			
Vitrified clay pipe DN 500	7.90			0.52			0.55			
Concrete										
General	0.75			0.100			0.107			It is strongly recommended to avoid selecting a 'general' value for concrete. Selecting data for a specific concrete type (often a ready mix concrete) will give greater accuracy, please see material profile. Assumed cement content 12% by mass.
16/20 Mpa	0.70			0.093			0.100			Using UK weighted average cement (more representative of 'typical' concrete mixtures).
20/25 MPa	0.74			0.100			0.107			
25/30 MPa	0.78			0.106			0.113			
28/35 MPa	0.82			0.112			0.120			
32/40 MPa	0.88			0.123			0.132			
40/50 MPa	1.00			0.141			0.151			
% Cement Replacement - Fly Ash	0%	15%	30%	0%	15%	30%	0%	15%	30%	Note 0% is a concrete using a CEM I cement (not typical)
GEN 0 (6/8 MPa)	0.55	0.52	0.47	0.071	0.065	0.057	0.076	0.069	0.061	Compressive strength designation C6/8 Mpa. 28 day compressive strength under British cube method of 8 MPa, under European cylinder method 6 MPa. Possible uses: Kerb bedding and backing. Data is only cradle to factory gate but beyond this the average delivery distance of ready mix concrete is 8.3 km by road (see Ref. 244).
GEN 1 (8/10 MPa)	0.70	0.65	0.59	0.097	0.088	0.077	0.104	0.094	0.082	Possible uses: mass concrete, mass fill, mass foundations, trench foundations, blinding, strip footing.

GEN 2 (12/15 MPa)	0.76	0.71	0.64	0.106	0.098	0.087	0.114	0.105	0.093	-
GEN 3 (16/20 MPa)	0.81	0.75	0.68	0.115	0.105	0.093	0.123	0.112	0.100	Possible uses: garage floors.
RC 20/25 (20/25 MPa)	0.86	0.81	0.73	0.124	0.114	0.101	0.132	0.122	0.108	-
RC 25/30 (25/30 MPa)	0.91	0.85	0.77	0.131	0.121	0.107	0.140	0.130	0.115	Possible uses: reinforced foundations.
RC 28/35 (28/35 MPa)	0.95	0.90	0.82	0.139	0.129	0.116	0.148	0.138	0.124	Possible uses: reinforced foundations, ground floors.
RC 32/40 (32/40 MPa)	1.03	0.97	0.89	0.153	0.143	0.128	0.163	0.152	0.136	Possible uses: structural purposes, in situ floors, walls, superstructure.
RC 40/50 (40/50 MPa)	1.17	1.10	0.99	0.176	0.164	0.146	0.188	0.174	0.155	Possible uses: high strength applications, precasting.
PAV1	0.95	0.89	0.81	0.139	0.129	0.115	0.148	0.138	0.123	Possible uses: domestic parking and outdoor paving.
PAV2	1.03	0.97	0.89	0.153	0.143	0.128	0.163	0.152	0.137	Possible uses: heavy duty outdoor paving.
% Cement Replacement - Blast Furnace Slag	0%	25%	50%	0%	25%	50%	0%	15%	30%	Note 0% is a concrete using a CEM I cement
GEN 0 (6/8 MPa)	0.55	0.48	0.41	0.071	0.056	0.042	0.076	0.060	0.045	See fly ash mixtures
GEN 1 (8/10 MPa)	0.70	0.60	0.50	0.097	0.075	0.054	0.104	0.080	0.058	
GEN 2 (12/15 MPa)	0.76	0.62	0.55	0.106	0.082	0.061	0.114	0.088	0.065	
GEN 3 (16/20 MPa)	0.81	0.69	0.57	0.115	0.090	0.065	0.123	0.096	0.070	
RC 20/25 (20/25 MPa)	0.86	0.74	0.62	0.124	0.097	0.072	0.132	0.104	0.077	
RC 25/30 (25/30 MPa)	0.91	0.78	0.65	0.131	0.104	0.076	0.140	0.111	0.081	
RC 28/35 (28/35 MPa)	0.95	0.83	0.69	0.139	0.111	0.082	0.148	0.119	0.088	
RC 32/40 (32/40 MPa)	1.03	0.91	0.78	0.153	0.125	0.094	0.163	0.133	0.100	
RC 40/50 (40/50 MPa)	1.17	1.03	0.87	0.176	0.144	0.108	0.188	0.153	0.115	
PAV1	0.95	0.82	0.70	0.139	0.111	0.083	0.148	0.118	0.088	
PAV2	1.03	0.91	0.77	0.153	0.125	0.094	0.163	0.133	0.100	
COMMENTS										
The first column represents standard concrete, created with a CEM I Portland cement. The other columns are estimates based on a direct substitution of fly ash or blast furnace slag in place of the cement content. The ICE Cement, Mortar & Concrete Model was applied. Please see important notes in the concrete material profile.										
REINFORCED CONCRETE - Modification Factors										
For reinforcement add this value to the appropriate concrete coefficient for each 100 kg of rebar per m3 of concrete	1.04			0.072			0.077			Add for each 100 kg steel rebar per m3 concrete. Use multiple of this value, i.e. for 150 kg steel use a factor of 1.5 times these values.
EXAMPLE: Reinforced RC 25/30 MPa (with 110 kg per m3 concrete)	1.92 MJ/kg (0.78 + 1.04 * 1.1)			0.185 kgCO2/kg (0.106 + 0.072 * 1.1)			0.198 kgCO2/kg (0.113 + 0.077 * 1.1)			With 110 kg rebar per m3 concrete. UK weighted average cement. This assumes the UK typical steel scenario (59% recycled content). Please consider if this is in line with the rest of your study (goal and scope) or the requirements of a predefined method.
PRECAST (PREFABRICATED) CONCRETE - Modification Factors										

For precast add this value to the selected coefficient of the appropriate concrete mix	0.45	0.027	0.029	For each 1 kg precast concrete. This example is using a RC 40/50 strength class and is not necessarily indicative of an average precast product. Includes UK recorded plant operations and estimated transportation of the constituents to the factory gate (38km aggregates, estimated 100km cement). Data is only cradle to factory gate but beyond this the average delivery distance of precast is 155km by road (see Ref. 244). UK weighted average cement. See also the new report on precast concrete pipes (Ref 300).
EXAMPLE: Precast RC 40/50 MPa	1.50 MJ/kg (1.00 + 0.50)	0.168 kgCO2/kg (0.141 + 0.027)	0.180 kgCO2/kg (0.151 + 0.029)	
EXAMPLE: Precast RC 40/50 with reinforcement (with 80kg per m³)	2.33 MJ/kg (1.50 + 1.04 * 0.8)	0.229 kgCO2/kg (0.171 + 0.072 * 0.8)	0.242 kgCO2/kg (0.180 + 0.077 * 0.8)	
CONCRETE BLOCKS (ICE CMC Model Values)				
Block - 8 MPa Compressive Strength	0.59	0.059	0.063	Estimated from the concrete block mix proportions, plus an allowance for concrete block curing, plant operations and transport of materials to factory gate.
Block - 10 MPa	0.67	0.073	0.078	
Block -12 MPa	0.72	0.082	0.088	
Block -13 MPa	0.83	0.100	0.107	
Autoclaved Aerated Blocks (AAC's)	3.50	0.24 to 0.375	-	Not ICE CMC model results.
NOMINAL PROPORTIONS METHOD (Volume), Proportions from BS 8500:2006 (ICE Cement, Mortar & Concrete Model Calculations)				
1:1:2 Cement:Sand:Aggregate	1.28	0.194	0.206	High strength concrete. All of these values were estimated assuming the UK average content of cementitious additions (i.e. fly ash, GGBS) for factory supplied cements in the UK, see Ref. 59, plus the proportions of other constituents.
1:1.5:3	0.99	0.145	0.155	Often used in floor slab, columns & load bearing structure.
1:2:4	0.82	0.116	0.124	Often used in construction of buildings under 3 storeys.
1:2.5:5	0.71	0.097	0.104	
1:3:6	0.63	0.084	0.090	Non-structural mass concrete.
1:4:8	0.54	0.069	0.074	
BY CEM I CEMENT CONTENT - kg CEM I cement content per cubic meter concrete (ICE CMC Model Results)				
120 kg / m³ concrete	0.49	0.060	0.064	Assumed density of 2,350 kg/m3. Interpolation of the CEM I cement content is possible. These numbers assume the CEM I cement content (not the total cementitious content, i.e. they do not include cementitious additions) . They may also be used for fly ash mixtures without modification, but they are likely to slightly underestimate mixtures that have additional GGBS due to the higher embodied energy and carbon of GGBS (in comparison to aggregates and fly ash).
200 kg / m³ concrete	0.67	0.091	0.097	
300 kg / m³ concrete	0.91	0.131	0.140	
400kg / m³ concrete	1.14	0.170	0.181	
500 kg / m³ concrete	1.37	0.211	0.224	
MISCELLANEOUS VALUES				
Fibre-Reinforced	7.75 (?)	0.45 (?)	-	Literature estimate, likely to vary widely. High uncertainty.
Very High GGBS Mix	0.66	0.049	0.050	Data based on Lafarge 'Envirocrete', which is a C28/35 MPa, very high GGBS replacement value concrete
Copper				

EU Tube & Sheet	42.00	2.60	2.71	EU production data, estimated from Kupfer Institut LCI data. 37% recycled content (the 3 year world average). World average data is expected to be higher than these values.
Virgin	57.00	3.65	3.81	
Recycled	16.50	0.80	0.84	
Recycled from high grade scrap	18 (?)	1.1 (?)		Uncertain, difficult to estimate with the data available.
Recycled from low grade scrap	50 (?)	3.1 (?)		
Glass				
Primary Glass	15.00	0.86	0.91	Includes process CO2 emissions from primary glass manufacture.
Secondary Glass	11.50	0.55	0.59	EE estimated from Ref 115.
Fibreglass (Glasswool)	28.00	1.54	-	Large data range, but the selected value is inside a small band of frequently quoted values.
Toughened	23.50	1.27	1.35	Only three data sources
Insulation				
General Insulation	45.00	1.86	-	Estimated from typical market shares. Feedstock Energy 16.5 MJ/kg (Included)
Cellular Glass	27.00	-	-	Ref. 54.
Cellulose	0.94 to 3.3	-	-	
Cork	4.00	0.19	-	Ref. 55.
Fibreglass (Glasswool)	28.00	1.35	-	Poor data difficult to select appropriate value
Flax (Insulation)	39.50	1.70	-	Ref. 2. 5.97 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
Mineral wool	16.60	1.20	1.28	
Paper wool	20.17	0.63	-	Ref. 2
Polystyrene	See Plastics	See Plastics	-	see plastics
Polyurethane	See Plastics	See Plastics	-	see plastics
Rockwool	16.80	1.05	1.12	Cradle to Grave
Woodwool (loose)	10.80	-	-	Ref. 205.
Woodwool (Board)	20.00	0.98	-	Ref. 55.
Wool (Recycled)	20.90	-	-	Refs. 63, 201, 202 & 281.
Iron				
General	25.00	1.91 (?)	2.03	It was difficult to estimate the embodied energy and carbon of iron with the data available.
Lead				
General	25.21	1.57	1.67	Allocated (divided) on a mass basis, assumes recycling rate of 61%
Virgin	49.00	3.18	3.37	
Recycled	10.00	0.54	0.58	Scrap batteries are a main feedstock for recycled lead
Lime				
General	5.30	0.76	0.78	Embodied carbon was difficult to estimate
Linoleum				
General	25.00	1.21	-	Data difficult to select, large data range.

Miscellaneous				
Asbestos	7.40	-	-	Ref. 4.
Calcium Silicate Sheet	2.00	0.13	-	Ref. 55.
Chromium	83	5.39	-	Ref. 22.
Cotton, Padding	27.10	1.28	-	Ref. 38.
Cotton, Fabric	143	6.78	-	Ref. 38.
Damp Proof Course/Membrane	134 (?)	4.2 (?)	-	Uncertain estimate.
Felt General	36	-	-	
Flax	33.50	1.70	-	Ref. 2.
Fly Ash	0.10	0.008	-	No allocation from fly ash producing system.
Grit	0.12	0.01	-	Ref. 114.
Ground Limestone	0.62	0.032	-	
Carpet Grout	30.80	-	-	Ref. 169.
Glass Reinforced Plastic - GRP - Fibreglass	100	8.10	-	Ref. 1.
Lithium	853	5.30	-	Ref. 22.
Mandolite	63	1.40	-	Ref. 1.
Mineral Fibre Tile (Roofing)	37	2.70	-	Ref. 1.
Manganese	52	3.50	-	Ref. 22.
Mercury	87	4.94	-	Ref. 22.
Molybdenum	378	30.30	-	Ref. 22.
Nickel	164	12.40	-	Ref. 114.
Perlite - Expanded	10.00	0.52	-	Ref. 114.
Perlite - Natural	0.66	0.03	-	Ref. 114.
Quartz powder	0.85	0.02	-	Ref. 114.
Shingle	11.30	0.30	-	Ref. 70.
Silicon	2355	-	-	Ref. 167.
Slag (GGBS)	1.60	0.083	-	Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS), economic allocation.
Silver	128.20	6.31	-	Ref. 148.
Straw	0.24	0.01	-	Refs. 63, 201, 202 & 281.
Terrazzo Tiles	1.40	0.12	-	Ref. 1.
Vanadium	3710	228	-	Ref. 22.
Vermiculite - Expanded	7.20	0.52	-	Ref. 114.
Vermiculite - Natural	0.72	0.03	-	Ref. 114.
Vicuclad	70.00	-	-	Ref. 1.
Water	0.01	0.001	-	
Wax	52.00	-	-	Ref. 169.
Wood stain/Varnish	50.00	5.35	-	Ref. 1.
Yttrium	1470	84.00	-	Ref. 22.

Zirconium	1610	97.20	-	Ref. 22.
Paint				
General	70.00	2.42	2.91	Large variations in data, especially for embodied carbon. Includes feedstock energy. Water based paints have a 70% market share. Water based paint has a lower embodied energy than solvent based paint.
EXAMPLE: Single Coat	10.5 MJ/Sqm	0.36 kgCO2/Sqm	0.44	Assuming 6.66 Sqm Coverage per kg
EXAMPLE: Double Coat	21.0 MJ/Sqm	0.73 kgCO2/Sqm	0.87	Assuming 3.33 Sqm Coverage per kg
EXAMPLE: Triple Coat	31.5 MJ/Sqm	1.09 kgCO2/Sqm	1.31	Assuming 2.22 Sqm Coverage per kg
Waterborne Paint	59.00	2.12	2.54	Waterborne paint has a 70% of market share. Includes feedstock energy.
Solventborne Paint	97.00	3.13	3.76	Solventborne paint has a 30% share of the market. Includes feedstock energy. It was difficult to estimate carbon emissions for Solventborne paint.
Paper				
Paperboard (General for construction use)	24.80	1.29	-	Excluding calorific value (CV) of wood, excludes carbon sequestration/biogenic carbon storage.
Fine Paper	28.20	1.49	-	Excluding CV of wood, excludes carbon sequestration
EXAMPLE: 1 packet A4 paper	70.50	3.73	-	Standard 80g/sqm printing paper, 500 sheets a pack. Doesn't include printing.
Wallpaper	36.40	1.93	-	
Plaster				
General (Gypsum)	1.80	0.12	0.13	Problems selecting good value, inconsistent figures, West et al believe this is because of past aggregation of EE with cement
Plasterboard	6.75	0.38	0.39	See Ref [WRAP] for further info on GWP data, including disposal impacts which are significant for Plasterboard.
Plastics	Main data source: Plastics Europe (www.plasticseurope.org) ecoprofiles			
General	80.50	2.73	3.31	35.6 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Determined by the average use of each type of plastic used in the European construction industry.
ABS	95.30	3.05	3.76	48.6 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
General Polyethylene	83.10	2.04	2.54	54.4 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Based on average consumption of types of polyethylene in European construction
High Density Polyethylene (HDPE) Resin	76.70	1.57	1.93	54.3 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include the final fabrication.
HDPE Pipe	84.40	2.02	2.52	55.1 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
Low Density Polyethylene (LDPE) Resin	78.10	1.69	2.08	51.6 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include the final fabrication
LDPE Film	89.30	2.13	2.60	55.2 MJ/kg Feedstock Energy (Included)

Nylon (Polyamide) 6 Polymer	120.50	5.47	9.14	38.6 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include final fabrication. Plastics Europe state that two thirds of nylon is used as fibres (textiles, carpets...etc.) in Europe and that most of the remainder as injection mouldings. Dinitrogen monoxide and methane emissions are very significant contributors to GWP.
Nylon (polyamide) 6,6 Polymer	138.60	6.54	7.92	50.7 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include final fabrication (i.e. injection moulding). See comments for Nylon 6 polymer.
Polycarbonate	112.90	6.03	7.62	36.7 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include final fabrication.
Polypropylene, Orientated Film	99.20	2.97	3.43	55.7 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
Polypropylene, Injection Moulding	115.10	3.93	4.49	54 MJ/kg Feedstock Energy (Included). If biomass benefits are included the CO2 may reduce to 3.85 kgCO2/kg, and GWP down to 4.41 kg CO2e/kg.
Expanded Polystyrene	88.60	2.55	3.29	46.2 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
General Purpose Polystyrene	86.40	2.71	3.43	46.3 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
High Impact Polystyrene	87.40	2.76	3.42	46.4 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
Thermoformed Expanded Polystyrene	109.20	3.45	4.39	49.7 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
Polyurethane Flexible Foam	102.10	4.06	4.84	33.47 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Poor data availability for feedstock energy
Polyurethane Rigid Foam	101.50	3.48	4.26	37.07 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Poor data availability for feedstock energy
PVC General	77.20	2.61	3.10	28.1 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Based on market average consumption of types of PVC in the European construction industry
PVC Pipe	67.50	2.56	3.23	24.4 MJ/kg Feedstock Energy (Included). If biomass benefits are included the CO2 may reduce to 2.51 kgCO2/kg, and GWP down to 3.23 kg CO2e/kg.
Calendered Sheet PVC	68.60	2.61	3.19	24.4 MJ/kg Feedstock Energy (Included). If biomass benefits are included the CO2 may reduce to 2.56 kgCO2/kg, and GWP down to 3.15 kg CO2e/kg.
PVC Injection Moulding	95.10	2.69	3.30	35.1 MJ/kg Feedstock Energy (Included). If biomass benefits are included the CO2 may reduce to 2.23 kgCO2/kg, and GWP down to 2.84 kg CO2e/kg.
UPVC Film	69.40	2.57	3.16	25.3 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
Rubber				
General	91.00	2.66	2.85	40 MJ/kg Feedstock Energy (Included)
Sand				
General	0.081	0.0048	0.0051	Estimated from real UK industrial fuel consumption data

Sealants and adhesives				
Epoxide Resin	137.00	5.70	-	42.6 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Source: www.plasticseurope.org
Mastic Sealant	62 to 200	-	-	
Melamine Resin	97.00	4.19	-	Feedstock energy 18 MJ/kg - estimated from Ref 34.
Phenol Formaldehyde	88.00	2.98	-	Feedstock energy 32 MJ/kg - estimated from Ref 34.
Urea Formaldehyde	70.00	2.76	-	Feedstock energy 18 MJ/kg - estimated from Ref 34.
Soil				
General (Rammed Soil)	0.45	0.023	0.024	
Cement stabilised soil @ 5%	0.68	0.060	0.061	Assumed 5% cement content.
Cement stabilised soil @ 8%	0.83	0.082	0.084	Assumed 8% stabiliser content (6% cement and 2% lime).
GGBS stabilised soil	0.65	0.045	0.047	Assumed 8% stabiliser content (8% GGBS and 2% lime).
Fly ash stabilised soil	0.56	0.039	0.041	Assumed 10% stabiliser content (8% fly ash and 2% lime).
Steel				
Main data source: International Iron & Steel Institute (IISI) LCA studies (www.worldsteel.org)				
UK (EU) STEEL DATA - EU average recycled content - See material profile (and Annex on recycling methods) for usage guide				
General - UK (EU) Average Recycled Content	20.10	1.37	1.46	EU 3-average recycled content of 59%. Estimated from UK's consumption mixture of types of steel (excluding stainless). All data doesn't include the final cutting of the steel products to the specified dimensions or further fabrication activities. Estimated from World Steel Association (World steel) LCA data.
Virgin	35.40	2.71	2.89	
Recycled	9.40	0.44	0.47	Could not collect strong statistics on consumption mix of recycled steel.
Bar & rod - UK (EU) Average Recycled Content	17.40	1.31	1.40	EU 3-average recycled content of 59%
Virgin	29.20	2.59	2.77	
Recycled	8.80	0.42	0.45	
Coil (Sheet) - UK (EU) Average Recycled Content	18.80	1.30	1.38	Effective recycled content because recycling route is not typical. EU 3-average recycled content of 59%
Virgin	32.80	2.58	2.74	
Recycled	Not Typical Production Route			
Coil (Sheet), Galvanised - UK (EU) Average Recycled Content	22.60	1.45	1.54	Effective recycled content because recycling route is not typical. EU 3-average recycled content of 59%
Virgin	40.00	2.84	3.01	
Engineering steel - Recycled	13.10	0.68	0.72	
Pipe- UK (EU) Average Recycled Content	19.80	1.37	1.45	Effective recycled content because recycling route is not typical. EU 3-average recycled content of 59%

Virgin	34.70	2.71	2.87	
Recycled	Not Typical Production Route			
Plate- UK (EU) Average Recycled Content	25.10	1.55	1.66	Effective recycled content because recycling route is not typical. EU 3-average recycled content of 59%
Virgin	45.40	3.05	3.27	
Recycled	Not Typical Production Route			
Section- UK (EU) Average Recycled Content	21.50	1.42	1.53	
Virgin	38.00	2.82	3.03	
Recycled	10.00	0.44	0.47	
Wire - Virgin	36.00 (?)	2.83 (?)	3.02	
Stainless	56.70	6.15		World average data from the Institute of Stainless Steel Forum (ISSF) life cycle inventory data. Selected data is for the most popular grade (304). Stainless steel does not have separate primary and recycled material production routes.
OTHER STEEL DATA - 'R.O.W' and 'World' average recycled contents - See material profile (and Annex on recycling methods) for usage guide				
General - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	26.20	1.90	2.03	Rest of World (non-E.U.) consumption of steel. 3 year average recycled content of 35.5%.
General - World Avg. Recy. Cont.	25.30	1.82	1.95	Whole world 3 year average recycled content of 39%.
Bar & rod- R.O.W. Avg. Recy. Cont.	22.30	1.82	1.95	Comments above apply. See material profile for further information.
Bar & rod - World Avg. Recy. Cont.	21.60	1.74	1.86	
Coil - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	24.40	1.81	1.92	
Coil - World Avg. Recy. Cont.	23.50	1.74	1.85	
Coil, Galvanised - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	29.50	2.00	2.12	
Coil, Galvanised - World Avg. Recy. Cont.	28.50	1.92	2.03	
Pipe - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	25.80	1.90	2.01	
Pipe - World Avg. Recy. Cont.	24.90	1.83	1.94	
Plate - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	33.20	2.15	2.31	
Plate - World Avg. Recy. Cont.	32.00	2.06	2.21	
Section - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	28.10	1.97	2.12	
Section - World Avg. Recy. Cont.	27.10	1.89	2.03	
Stone	Data on stone was difficult to select, with high standard deviations and data ranges.			
General	1.26 (?)	0.073 (?)	0.079	ICE database average (statistic), uncertain. See material profile.
Granite	11.00	0.64	0.70	Estimated from Ref 116.

Limestone	1.50	0.087	0.09	Estimated from Ref 188.
Marble	2.00	0.116	0.13	
Marble tile	3.33	0.192	0.21	Ref. 40.
Sandstone	1.00 (?)	0.058 (?)	0.06	Uncertain estimate based on Ref. 262.
Shale	0.03	0.002	0.002	
Slate	0.1 to 1.0	0.006 to 0.058	0.007 to 0.063	Large data range
Timber	Note: These values were difficult to estimate because timber has a high data variability. These values exclude the energy content of the wooden product (the Calorific Value (CV) from burning). See the material profile for guidance on the new data structure for embodied carbon (i.e. split into foss and bio)			
General	10.00	0.30 _{foss} +0.41 _{bio}	0.31 _{foss} +0.41 _{bio}	Estimated from UK consumption mixture of timber products in 2007 (Timber Trade Federation statistics). Includes 4.3 MJ bio-energy. All values do not include the CV of timber product and exclude carbon storage.
Glue Laminated timber	12.00	0.39 _{foss} +0.45 _{bio}	0.42 _{foss} +0.45 _{bio}	Includes 4.9 MJ bio-energy.
Hardboard	16.00	0.54 _{foss} +0.51 _{bio}	0.58 _{foss} +0.51 _{bio}	Hardboard is a type of fibreboard with a density above 800 kg/m3. Includes 5.6 MJ bio-energy.
Laminated Veneer Lumber	9.50	0.31 _{foss} +0.32 _{bio}	0.33 _{foss} +0.32 _{bio}	Ref 150. Includes 3.5 MJ bio-energy.
MDF	11 (?)	0.37 _{foss} +0.35 _{bio}	0.39 _{foss} +0.35 _{bio}	Wide density range (350-800 kg/m3). Includes 3.8 MJ bio-energy.
Oriented Strand Board (OSB)	15.00	0.42 _{foss} +0.54 _{bio}	0.45 _{foss} +0.54 _{bio}	Estimated from Refs. 103 and 150. Includes 5.9 MJ bio-energy.
Particle Board	14.50	0.52 _{foss} +0.32 _{bio}	0.54 _{foss} +0.32 _{bio}	Very large data range, difficult to select appropriate values. Modified from CORRIM reports. Includes 3.2 MJ bio-energy (uncertain estimate).
Plywood	15.00	0.42 _{foss} +0.65 _{bio}	0.45 _{foss} +0.65 _{bio}	Includes 7.1 MJ bio-energy.
Sawn Hardwood	10.40	0.23 _{foss} +0.63 _{bio}	0.24 _{foss} +0.63 _{bio}	It was difficult to select values for hardwood, the data was estimated from the CORRIM studies (Ref. 88). Includes 6.3 MJ bio-energy.
Sawn Softwood	7.40	0.19 _{foss} +0.39 _{bio}	0.20 _{foss} +0.39 _{bio}	Includes 4.2 MJ bio-energy.
Veneer Particleboard (Furniture)	23 _(foss + bio)	(?)	(?)	Unknown split of fossil based and biogenic fuels.
Tin				
Tin Coated Plate (Steel)	19.2 to 54.7	1.04 to 2.95	-	
Tin	250.00	13.50	14.47	lack of modern data, large data range
Titanium				
Virgin	361 to 745	19.2 to 39.6 (??)	20.6 to 42.5 (??)	lack of modern data, large data range, small sample size
Recycled	258.00	13.7 (??)	14.7 (??)	lack of modern data, large data range, small sample size
Vinyl Flooring				
General	68.60	2.61	3.19	23.58 MJ/kg Feedstock Energy (Included), Same value as PVC calendered sheet. Note: the book version of ICE contains the wrong values. These values are up to date
Vinyl Composite Tiles (VCT)	13.70	-	-	Ref. 94.

Zinc				
General	53.10	2.88	3.09	Uncertain carbon estimates, currently estimated from typical UK industrial fuel mix. Recycled content of general Zinc 30%.
Virgin	72.00	3.90	4.18	
Recycled	9.00	0.49	0.52	
Miscellaneous (No material profiles):				
	Embodied Energy - MJ	Embodied Carbon - Kg CO2		
PV Modules	MJ/sqm	Kg CO2/sqm		
Monocrystalline	4750 (2590 to 8640)	242 (132 to 440)	-	Embodied carbon estimated from typical UK industrial fuel mix. This is not an ideal method.
Polycrystalline	4070 (1945 to 5660)	208 (99 to 289)	-	
Thin Film	1305 (775 to 1805)	67 (40 to 92)	-	
Roads	Main data source: ICE reference number 147			
Asphalt road - Hot construction method - 40 yrs.	2,509 MJ/Sqm	93 KgCO2/Sqm	99 KgCO2/Sqm	730 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included). For more detailed data see reference 147. (Swedish study). The data in this report was modified to fit within the ICE framework. Includes all sub-base layers to construct a road. Sum of construction, maintenance, operation.
Construction	1,069 MJ/Sqm	30.9 KgCO2/Sqm	32.8 KgCO2/Sqm	480 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included)
Maintenance - 40 yrs.	471 MJ/Sqm	11.6 KgCO2/Sqm	12.3 KgCO2/Sqm	250 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included)
Operation - 40 yrs.	969 MJ/Sqm	50.8 KgCO2/Sqm	54.0 KgCO2/Sqm	Swedish scenario of typical road operation, includes street and traffic lights (95% of total energy), road clearing, sweeping, gritting and snow clearing.
Asphalt road - Cold construction method - 40 yrs.	3,030 MJ/Sqm	91 KgCO2/Sqm	97 KgCO2/Sqm	1,290 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Sum of construction, maintenance, operation.
Construction	825 MJ/Sqm	26.5 KgCO2/Sqm	28.2 KgCO2/Sqm	320 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included)
Maintenance - 40 yrs.	1,556 MJ/Sqm	13.9 KgCO2/Sqm	14.8 KgCO2/Sqm	970 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included)
Operation - 40 yrs.	969 MJ/Sqm	50.8 KgCO2/Sqm	54.0 KgCO2/Sqm	See hot rolled asphalt.
Concrete road - 40 yrs.	2,084 MJ/Sqm	142 KgCO2/Sqm	-	Sum of construction, maintenance, operation.
Construction	885 MJ/Sqm	77 KgCO2/Sqm	-	
Maintenance - 40 yrs.	230 MJ/Sqm	14.7 KgCO2/Sqm	-	
Operation - 40 yrs.	969 MJ/Sqm	50.8 KgCO2/Sqm	-	Swedish scenario of typical road operation, includes street and traffic lights (95% of total energy), and also road clearing, sweeping, gritting and snow clearing.
Note: The above data for roads were based on a single reference (ref 145). There were other references available but it was not possible to process the reports into useful units (per sqm). One of the other references indicates a larger difference between concrete and asphalt roads than the data above. If there is a particular interest in roads the reader is recommended to review the literature in further detail.				
Windows	MJ per Window			
1.2mx1.2m Single Glazed Timber Framed Unit	286 (?)	14.6 (?)	-	Embodied carbon estimated from typical UK industrial fuel mix
1.2mx1.2m Double Glazed (Air or Argon Filled):	--	--	-	--

Aluminium Framed	5470	279	-	
PVC Framed	2150 to 2470	110 to 126	-	
Aluminium -Clad Timber Framed	950 to 1460	48 to 75	-	
Timber Framed	230 to 490	12 to 25	-	
			-	
Krypton Filled Add:	510	26	-	
Xenon Filled Add:	4500	229	-	

NOTE: Not all of the data could be converted to full GHG's. It was estimated from the fuel use only (i.e. Not including any process related emissions) the full CO₂e is approximately 6 percent higher than the CO₂ only value of embodied carbon. This is for the average mixture of fuels used in the UK industry.

C. RANGE NAMES DO FICHEIRO *LCA4Building*

Especialidade	Arquitetura Estabilidade	Isolamento	Cortiça
			Fibra de Vidro (lã)
			Lã Mineral
			Lã de Rocha
			Lã de Madeira - Placas
			Telha De Fibra Mineral (Cobertura)
			ABS
			Polietileno
			Resina de Polietileno de Alta Densidade (HDPE)
			Resina de Polietileno de Baixa Densidade (LDPE)
			XPS - Poliestireno expandido
			Poliestireno de uso geral
			Poliestireno de Alto Impacto
			Poliestireno Expandido Termoformado
			Espuma Flexível de Poliuretano
			Espuma rígida de poliuretano
			Linho
Estabilidade	Fundações Pavimentos Térreos Superestrutura Estrutura Metálica Impermeabilização Diversos	Impermeabilização	Betume
			Polycarbonato
			Geotextil - Polipropileno, filme orientado
			Polipropileno, Moldagem por Injeção
			PVC
			Folha calandrada PVC
			Moldagem por injeção de PVC
			Filme UPVC
			Filme LDPE
			Asfalto, 8% Betume
			Vinil - Vinyl Flooring

Arquitetura	Paredes	Pedra	Tijoleira - cerâmica
	Isolamento		Granito
	Impermeabilização		Calcário
	Cobertura		Marmore
	Tectos		Tijoleira de Marmore
	Pavimentos		Xisto
	Rodápes		Ardósia
	Diversos		Godo ou agregado
Betão	C12/15	Madeira	Madeira laminada madeira - hardboard Madeira laminada folheada MDF Aglomerado de madeira (Particle Board) OSB
	C16/20		
	C20/25		
	C25/30		
	C30/37		
	C35/45		
	C40/50		
	C12/15, 50% escórias de alto forno		
	C16/20, 50% escórias de alto forno		
	C20/25, 50% escórias de alto forno		
	C25/30, 50% escórias de alto forno		
	C30/37, 50% escórias de alto forno		
Aço	C35/45, 50% escórias de alto forno	Acab_Parede	Gesso Cartonado Tinta de base aquosa Tinta de base solvente
	C40/50, 50% escórias de alto forno		
	Vigota		
	Standard EU		
	Varão		
	Placa		
	Inoxidável		
	Galvanizado		
	Tarugo		
Tijolo_Bloco	T.30x20x4	Chapa_Metalica	chapa de Aço (EU avarege) Chapa Aço WORLD Avg Recy Cont Chapa de Alumínio Chapa de Zinco
	T.30x20x7		
	T.30x20x11		
	T.30x20x15		
	T.30x20x22		
	T.M.230x110x50		
	T.M.230x100x70		
	B.500x200x100		
	B.500x200x150		
	B.500x200x200		
	B.500x200x250		

	B.490x190x150		
	B.490x190x250		
	B.400x200x280		
	Abobadilha.BL.40x25x12		
	Abobadilha.BL.40x25x15		
	Abobadilha.BL.40x25x18		
	Abobadilha.BL.40x25x20		
	Abobadilha.BL.40x25x24		
	Abobadilha.BL.40x25x30		
	CEM I Portland Cimento, 94% Clinker		
	Areia		
	Cal		
	Gesso		
	Arg.1:3		Reina Epoxi
	Arg.1:4		Selante Mastic
Argamassa_Reboco	Arg.1:5	Colas_Selantes	Resina Melamina
	Arg.1:6		Formaldeído Fenol
	Arg.1:½:4½		Formaldeído Ureia
	Arg.1:1:6		
	Arg.1:2:9		
	Painel de FibroCimento não revestido		
	Telha Lusa		
	Telha Marselha		
	PS.chapa.lã de rocha 40		
	PS.chapa.lã de rocha 50		
	PS.chapa.lã de rocha 75		
Cobertura	PS.chapa.lã de rocha 100		
	PS.chapa.poliuretano. 50		
	PS.chapa.poliuretano.60		
	PS.chapa.poliuretano.70		
	PS.chapa.poliuretano. 80		
	PS.chapa.poliuretano. 100		

D. CÓDIGO DO FICHEIRO EXCEL

Module 1

```
Option Explicit
Sub showUserFrom()
'mostra o userfrom "dados"
dados.Show
End Sub

'limpa todos os dados introduzidos na folha "Data" e "Calculos"
Sub Clean()
Range("F2:F3").Select
Selection.ClearContents
Range("A7:V10000").Select
Selection.ClearContents
Sheets("Calculos").Activate
Range("A2:L10000").Select
Selection.ClearContents
End Sub

Sub showUserFrom_editar()
'mostra o userfrom "editar"
editar.Show
End Sub

Sub limpar_ultimo()
'limpa a ultima linha introduzida na folha "Data"
Dim LastRow As String
Dim i As Integer
LastRow = Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row
For i = 7 To LastRow
ThisWorkbook.Sheets("Data").Rows(LastRow).EntireRow.Delete
Next
End Sub
```

Module 2

```
Sub match_columns()
'Calculos
'1º copiar dados para a folha "Calculos"
Sheets("Data").Range("A7:H298").Copy
Sheets("Calculos").Activate
Range("A2").Select
ActiveSheet.Paste
```

```

Application.CutCopyMode = False
'2º comparar dados entre as folhas "Calculos" & "ws1" e copiar os dados que queremos
'densidade, EI, CI & GWP para a folha "Calculos"
Dim i, total, fRow As Integer
Dim found As Range
total = Sheets("Calculos").Range("G" & Rows.Count).End(xlUp).row
For i = 1 To total
    answer1 = Worksheets("Calculos").Range("F" & i).Value
    Set found = Sheets("ws1").Columns("A:A").Find(what:=answer1) 'finds a match
    If found Is Nothing Then
        Worksheets("Calculos").Range("Q" & i).Value = "NO MATCH"
    Else
        fRow = Sheets("ws1").Columns("A:A").Find(what:=answer1).row
        Worksheets("Calculos").Range("I" & i).Value = Worksheets("ws1").Range("B" & fRow).Value
        Worksheets("Calculos").Range("J" & i).Value = Worksheets("ws1").Range("C" & fRow).Value
        Worksheets("Calculos").Range("K" & i).Value = Worksheets("ws1").Range("D" & fRow).Value
        Worksheets("Calculos").Range("L" & i).Value = Worksheets("ws1").Range("E" & fRow).Value
    End If
Next i
End Sub

```

Module 3

```

Sub test()
Dim objWord As Object
Dim ws As Worksheet
Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Relatorio")
Set objWord = CreateObject("Word.Application")
objWord.Visible = True
objWord.Documents.Open "D:\Relatório da Aplicação da Ferramenta LCA.docx" 'change as required
With objWord.ActiveDocument
    .Bookmarks("Proj").Range.Text = ws.Range("B7").Value
    .Bookmarks("Area").Range.Text = Format(ws.Range("B6").Value, "Standard")
    .Bookmarks("EI").Range.Text = Format(ws.Range("B4").Value, "Standard")
    .Bookmarks("CI").Range.Text = Format(ws.Range("C4").Value, "Standard")
    .Bookmarks("GWP").Range.Text = Format(ws.Range("D4").Value, "Standard")
    .Bookmarks("EI_m").Range.Text = Format(ws.Range("B8").Value, "Standard")
    .Bookmarks("CI_m").Range.Text = Format(ws.Range("C8").Value, "Standard")
    .Bookmarks("GWP_m").Range.Text = Format(ws.Range("D8").Value, "Standard")
'Tipo de Elemento Construtivo
'Estabilidade
'Fundações
    .Bookmarks("E11").Range.Text = Format(ws.Range("E13").Value, "Percent")
    .Bookmarks("E12").Range.Text = Format(ws.Range("F13").Value, "Percent")
    .Bookmarks("E13").Range.Text = Format(ws.Range("G13").Value, "Percent")
'Pavimentos Terreos
    .Bookmarks("E21").Range.Text = Format(ws.Range("E14").Value, "Percent")

```

```
.Bookmarks("E22").Range.Text = Format(ws.Range("F14").Value, "Percent")
.Bookmarks("E23").Range.Text = Format(ws.Range("G14").Value, "Percent")
'Superestrutura
.Bookmarks("E31").Range.Text = Format(ws.Range("E15").Value, "Percent")
.Bookmarks("E32").Range.Text = Format(ws.Range("F15").Value, "Percent")
.Bookmarks("E33").Range.Text = Format(ws.Range("G15").Value, "Percent")
'Estrutura metalica
.Bookmarks("E41").Range.Text = Format(ws.Range("E16").Value, "Percent")
.Bookmarks("E42").Range.Text = Format(ws.Range("F16").Value, "Percent")
.Bookmarks("E43").Range.Text = Format(ws.Range("G16").Value, "Percent")
'Diversos
.Bookmarks("E51").Range.Text = Format(ws.Range("E17").Value, "Percent")
.Bookmarks("E52").Range.Text = Format(ws.Range("F17").Value, "Percent")
.Bookmarks("E53").Range.Text = Format(ws.Range("G17").Value, "Percent")
'Impermeabilizaçao
.Bookmarks("E61").Range.Text = Format(ws.Range("E18").Value, "Percent")
.Bookmarks("E62").Range.Text = Format(ws.Range("F18").Value, "Percent")
.Bookmarks("E63").Range.Text = Format(ws.Range("G18").Value, "Percent")
'Arquitetura
'Paredes
.Bookmarks("E71").Range.Text = Format(ws.Range("E19").Value, "Percent")
.Bookmarks("E72").Range.Text = Format(ws.Range("F19").Value, "Percent")
.Bookmarks("E73").Range.Text = Format(ws.Range("G19").Value, "Percent")
'Isolamento e Impermeabilizaçao
.Bookmarks("E81").Range.Text = Format(ws.Range("E20").Value, "Percent")
.Bookmarks("E82").Range.Text = Format(ws.Range("F20").Value, "Percent")
.Bookmarks("E83").Range.Text = Format(ws.Range("G20").Value, "Percent")
'Proteçao pesada da cobertura
.Bookmarks("E91").Range.Text = Format(ws.Range("E21").Value, "Percent")
.Bookmarks("E92").Range.Text = Format(ws.Range("F21").Value, "Percent")
.Bookmarks("E93").Range.Text = Format(ws.Range("G21").Value, "Percent")
'Pinturas
.Bookmarks("E101").Range.Text = Format(ws.Range("E22").Value, "Percent")
.Bookmarks("E102").Range.Text = Format(ws.Range("F22").Value, "Percent")
.Bookmarks("E103").Range.Text = Format(ws.Range("G22").Value, "Percent")
'Tetos
.Bookmarks("E111").Range.Text = Format(ws.Range("E23").Value, "Percent")
.Bookmarks("E112").Range.Text = Format(ws.Range("F23").Value, "Percent")
.Bookmarks("E113").Range.Text = Format(ws.Range("G23").Value, "Percent")
'Pavimentos
.Bookmarks("E121").Range.Text = Format(ws.Range("E24").Value, "Percent")
.Bookmarks("E122").Range.Text = Format(ws.Range("F24").Value, "Percent")
.Bookmarks("E123").Range.Text = Format(ws.Range("G24").Value, "Percent")
'Rodapes
.Bookmarks("E131").Range.Text = Format(ws.Range("E25").Value, "Percent")
.Bookmarks("E132").Range.Text = Format(ws.Range("F25").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("E133").Range.Text = Format(ws.Range("G25").Value, "Percent")
```

'Tipo de Material

'Betão

```
.Bookmarks("M11").Range.Text = Format(ws.Range("E34").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M12").Range.Text = Format(ws.Range("F34").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M13").Range.Text = Format(ws.Range("G34").Value, "Percent")
```

'Aço

```
.Bookmarks("M21").Range.Text = Format(ws.Range("E35").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M22").Range.Text = Format(ws.Range("F35").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M23").Range.Text = Format(ws.Range("G35").Value, "Percent")
```

'Tijolo_Bloco

```
.Bookmarks("M31").Range.Text = Format(ws.Range("E36").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M32").Range.Text = Format(ws.Range("F36").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M33").Range.Text = Format(ws.Range("G36").Value, "Percent")
```

'Argamassa_Reboco

```
.Bookmarks("M41").Range.Text = Format(ws.Range("E37").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M42").Range.Text = Format(ws.Range("F37").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M43").Range.Text = Format(ws.Range("G37").Value, "Percent")
```

'Isolamento

```
.Bookmarks("M51").Range.Text = Format(ws.Range("E38").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M52").Range.Text = Format(ws.Range("F38").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M53").Range.Text = Format(ws.Range("G38").Value, "Percent")
```

'Impermeabilização

```
.Bookmarks("M61").Range.Text = Format(ws.Range("E39").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M62").Range.Text = Format(ws.Range("F39").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M63").Range.Text = Format(ws.Range("G39").Value, "Percent")
```

'Pedras

```
.Bookmarks("M71").Range.Text = Format(ws.Range("E40").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M72").Range.Text = Format(ws.Range("F40").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M73").Range.Text = Format(ws.Range("G40").Value, "Percent")
```

'Madeiras

```
.Bookmarks("M81").Range.Text = Format(ws.Range("E41").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M82").Range.Text = Format(ws.Range("F41").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M83").Range.Text = Format(ws.Range("G41").Value, "Percent")
```

'Acab_Paredes

```
.Bookmarks("M91").Range.Text = Format(ws.Range("E42").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M92").Range.Text = Format(ws.Range("F42").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M93").Range.Text = Format(ws.Range("G42").Value, "Percent")
```

'chapas_metalicas

```
.Bookmarks("M101").Range.Text = Format(ws.Range("E43").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M102").Range.Text = Format(ws.Range("F43").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M103").Range.Text = Format(ws.Range("G43").Value, "Percent")
```

'colas_selantes

```
.Bookmarks("M111").Range.Text = Format(ws.Range("E44").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M112").Range.Text = Format(ws.Range("F44").Value, "Percent")
```

```
.Bookmarks("M113").Range.Text = Format(ws.Range("G44").Value, "Percent")
```

```

    'Coberturas
    .Bookmarks("M121").Range.Text = Format(ws.Range("E45").Value, "Percent")
    .Bookmarks("M122").Range.Text = Format(ws.Range("F45").Value, "Percent")
    .Bookmarks("M123").Range.Text = Format(ws.Range("G45").Value, "Percent")

End With
Set objWord = Nothing
End Sub

```

Module 4

```

Option Explicit
Sub correcao()
'faz a acerto dos valores do factor de conversao na folha "Calculos"
'ou seja, se o material ja for introduzido em kg passa o factor de conversao para 1
'quando o mesmo nao está
Dim i As Integer
Dim LastRow As Integer
Dim uni As String
Dim kg As String
LastRow = Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row
For i = 3 To LastRow
    uni = Worksheets("Calculos").Range("H" & i).Value
    kg = "kg"
    If uni = kg Then
        Worksheets("Calculos").Range("I" & i).Value = "1.00"
    End If
Next i
End Sub

```

UserFrom: dados

```

Option Explicit
Private Sub Cancelar_Click()
Unload dados 'close the userfrom
End Sub

Private Sub ComboBox_Esp_Change()
Dim x As Integer
x = ComboBox_Esp.ListIndex
Select Case x
Case Is = 0
ComboBox_Ele.RowSource = "Arquitetura"
Case Is = 1
ComboBox_Ele.RowSource = "Estabilidade"
End Select
End Sub

Private Sub ComboBox_Tipo_Change()

```

The screenshot shows a VBA UserForm titled "Inserir Novo Material". It has a standard Windows-style border with a title bar and a close button (X) in the top right corner. The form is divided into two main sections. The top section contains seven input fields arranged in two columns. The left column has four fields: "Especialidade" (a dropdown menu), "Tipo de Elemento" (a dropdown menu), "Elemento" (a text box), and "Tipo de Material" (a dropdown menu). The right column has three fields: "Material" (a dropdown menu), "Quantidade" (a text box), and "Unidade" (a dropdown menu). The bottom section of the form contains two buttons: "Cancelar" on the left and "Continuar" on the right. The form is set against a dotted grid background.

```

'faz correspondencia entre o tipo de material com a lista de materiais
'dentro de cada tipo , usando "range's names" numa lista aparte
Dim x As Integer
x = ComboBox_Tipo.ListIndex
Select Case x
Case Is = 0
ComboBox_Material.RowSource = "Betao"
Case Is = 1
ComboBox_Material.RowSource = "Aço"
Case Is = 2
ComboBox_Material.RowSource = "Tijolo_Bloco"
Case Is = 3
ComboBox_Material.RowSource = "Argamassa_Reboco"
Case Is = 4
ComboBox_Material.RowSource = "Isolamento"
Case Is = 5
ComboBox_Material.RowSource = "Impermeabilização"
Case Is = 6
ComboBox_Material.RowSource = "Pedra"
Case Is = 7
ComboBox_Material.RowSource = "Madeira"
Case Is = 8
ComboBox_Material.RowSource = "Acab_Parede"
Case Is = 9
ComboBox_Material.RowSource = "Chapas_Metalicas"
Case Is = 10
ComboBox_Material.RowSource = "Colas_Selantes"
Case Is = 11
ComboBox_Material.RowSource = "Coberturas"
End Select
End Sub

```

```

Private Sub Continuar_Click()
Dim TargetRow As Integer
TargetRow = Sheets("Engine").Range("C3").Value + 1
'Input data base
Sheets("Data").Range("Ref").Offset(TargetRow, 0).Value = TargetRow
Sheets("Data").Range("Ref").Offset(TargetRow, 1).Value = ComboBox_Esp
Sheets("Data").Range("Ref").Offset(TargetRow, 2).Value = ComboBox_Ele
Sheets("Data").Range("Ref").Offset(TargetRow, 3).Value = TextBox_Elemento
Sheets("Data").Range("Ref").Offset(TargetRow, 4).Value = ComboBox_Tipo
Sheets("Data").Range("Ref").Offset(TargetRow, 5).Value = ComboBox_Material
Sheets("Data").Range("Ref").Offset(TargetRow, 6).Value = TextBox_Quant
Sheets("Data").Range("Ref").Offset(TargetRow, 7).Value = ComboBox_Uni

```

```
'fim do input data
Unload dados 'fechar o userfrom
End Sub
```

UserFrom: editar

```
Option Explicit
Private Sub ComboBox_ref_Change()
Dim SLNo As Integer
If Me.ComboBox_ref.Value = "" Then
MsgBox "Ref tem de estar preenchido!!", vbExclamation, "Ref"
Exit Sub
End If
SLNo = ComboBox_ref.Value
On Error Resume Next
'usando a função VLookup copia a informação presente na linha SLNo
para o respetivo lugar no UserFrom
Me.ComboBox_Esp.Value
= Application.WorksheetFunction.VLookup(SLNo, Sheets("Data").Range("A7:H1087"), 2, 0)
Me.ComboBox_Ele.Value
= Application.WorksheetFunction.VLookup(SLNo, Sheets("Data").Range("A7:H1087"), 3, 0)
Me.TextBox_Elemento.Value
= Application.WorksheetFunction.VLookup(SLNo, Sheets("Data").Range("A7:H1087"), 4, 0)
Me.ComboBox_Tipo.Value
= Application.WorksheetFunction.VLookup(SLNo, Sheets("Data").Range("A7:H1087"), 5, 0)
Me.ComboBox_Material.Value
= Application.WorksheetFunction.VLookup(SLNo, Sheets("Data").Range("A7:H1087"), 6, 0)
Me.TextBox_Quant.Value
= Application.WorksheetFunction.VLookup(SLNo, Sheets("Data").Range("A7:H1087"), 7, 0)
Me.ComboBox_Uni.Value
= Application.WorksheetFunction.VLookup(SLNo, Sheets("Data").Range("A7:H1087"), 8, 0)
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton1_Click()
Unload Me 'close the userfrom
End Sub
```

```
Private Sub editar_Click()
If Me.ComboBox_ref.Value = "" Then
MsgBox "Ref tem de estar preenchido!!", vbExclamation, "Ref"
Exit Sub
End If
Dim Ref As Integer
Ref = Me.ComboBox_ref.Value
Sheets("Data").Select
Dim rowselect As Double
Dim msg As String
Dim ans As String
rowselect = Me.ComboBox_ref.Value
```



```

rowselect = rowselect + 6
Rows(rowselect).Select
Cells(rowselect, 2) = Me.ComboBox_Esp.Value
Cells(rowselect, 3) = Me.ComboBox_Ele.Value
Cells(rowselect, 4) = Me.TextBox_Elemento.Value
Cells(rowselect, 5) = Me.ComboBox_Tipo.Value
Cells(rowselect, 6) = Me.ComboBox_Material.Value
Cells(rowselect, 7) = Me.TextBox_Quant.Value
Cells(rowselect, 8) = Me.ComboBox_Uni.Value
rowselect = rowselect - 6
msg = "Ref " & rowselect & " Editado com Sucesso...Continuar?"
Unload Me
ans = MsgBox(msg, vbYes, "Update")

```

End Sub

```

Private Sub ComboBox_Esp_Change()
Dim index As Integer
index = ComboBox_Esp.ListIndex
ComboBox_Ele.Clear
Select Case index
    Case Is = 0
        With ComboBox_Ele
            .AddItem "Paredes"
            .AddItem "Isolamento e Impermeabilização"
            .AddItem "Proteção pesada de Coberturas"
            .AddItem "Pinturas"
            .AddItem "Tectos"
            .AddItem "Pavimentos"
            .AddItem "Rodápes"
        End With
    Case Is = 1
        With ComboBox_Ele
            .AddItem "Fundações"
            .AddItem "Pavimentos Térreos"
            .AddItem "Estrutura Metálica"
            .AddItem "Superestrutura"
            .AddItem "Diversos"
        End With
End Select
End Sub

```

```

Private Sub ComboBox_Tipo_Change()
'faz correspondencia entre o tipo de material com a lista de materiais
'dentro de cada tipo , usando "range's names" numa lista aparte
Dim x As Integer
x = ComboBox_Tipo.ListIndex
Select Case x
Case Is = 0

```

```
ComboBox_Material.RowSource = "Betao"
Case Is = 1
ComboBox_Material.RowSource = "Aço"
Case Is = 2
ComboBox_Material.RowSource = "Tijolo_Bloco"
Case Is = 3
ComboBox_Material.RowSource = "Argamassa_Reboco"
Case Is = 4
ComboBox_Material.RowSource = "Isolamento"
Case Is = 5
ComboBox_Material.RowSource = "Impermeabilização"
Case Is = 6
ComboBox_Material.RowSource = "Pedra"
Case Is = 7
ComboBox_Material.RowSource = "Madeira"
Case Is = 8
ComboBox_Material.RowSource = "Acab_Parede"
Case Is = 9
ComboBox_Material.RowSource = "Chapas_Metalicas"
Case Is = 10
ComboBox_Material.RowSource = "Colas_Selantes"
Case Is = 11
ComboBox_Material.RowSource = "Coberturas"
End Select
End Sub
```


E. MAPA DE CÁLCULO DO IMPACTO AMBIENTAL DA LOTA

Área de Construção

395,97 m²

Tabela C – Análise de Inventário para o Cálculo do Impacto Ambiental da Lota

Material	Unidade Funcional	Quantidade	Densidade	Peso kg	Fator de Conversão EE	Fator de Conversão EC	EE (MJ)	EC (kgCO ₂)	
Primário para pavimentos não porosos Ref. 580	m ²	80.270	1 kg/L	6.42	51	0.49	327.50	3.15	
EPOXY sikafloor	m ²	89.970	A+B=1,4 kg/L	70.79	137	5.7	9698.17	403.50	!CO2 APENAS!
Monile - antiderrapante	m ²	149.000	907.5	6760.875	115.1	4.49	778176.71	30356.33	
Vinílico cinza antiderrapante	m ²	17.100	2,75 kg/m ²	47.03	80.5	2.73	3785.51	128.38	
Geotêxtil SF 49 Dupont	m ²	126.500	165 g/m ²	20.87	134	4.2	2796.92	87.66	!CO2 APENAS!
Pedra de Granito	m ²	1550.500	2880	178617.60	11	0.7	1964793.60	125032.32	
Bloco de Betão 500x250x200	m ²	165.710	25 kg por bloco	425.00	0.59	0.063	250.75	26.78	
Bloco de Betão 500x200x200	m ²	42.510	17 kg por bloco	85.00	0.59	0.063	50.15	5.36	
Bloco de Betão 500x70x200	m ²	270.870	9 kg por bloco	252.00	0.59	0.063	148.68	15.88	

Material	Unidade Funcional	Quantidade	Densidade	Peso kg	Fator de Conversão EE	Fator de Conversão EC	EE (MJ)	EC (kgCO2)	
Gesso Cartonado 12,5mm (hidrulofico)	m ²	50.250	680	427.13	6.75	0.39	2883.09	166.58	
Reboco areado fino	m ²	778.680	1650	25696.44	1.33	0.221	34176.27	5678.91	
Primário de Aderência 021-0008	m ²	315.770	0,9 kg/L	56.84	97	3.79	5513.34	215.42	
Acabamento ProteCor 170-000	m ²	315.770	1,41 kg/L	65.96	97	3.79	6398.20	249.99	
Pedra de Granito	m ²	26.810	2880	1544.26	11	0.7	16986.82	1080.98	
Primário Plastron Aquoso 020-0008	m ²	462.910	1,03 kg/L	47.68	59	2.54	2813.10	121.11	
Acabamento Vinylrep serie 019	m ²	462.910	1,44 kg/L	106.65	70	2.91	7465.81	310.36	
Primário Plastron Aquoso 020-0008	m ²	43.970	1,03 kg/L	1.81	59	2.54	106.88	4.60	
Acabamento Vinylrep serie 019	m ²	43.970	1,44 kg/L	10.13	70	2.91	709.15	29.48	
Tinta EPOXY	m ²	308.610	1,5 kg/L	23.15	137	5.7	3170.97	131.93	!CO2 APENAS!
Azulejo Primus Vitoria Biselado 75x150 mm	m ²	147.620	0,13 kg/azulejo	1705.83	12	0.78	20469.97	1330.55	
Impermeabilização - Imperialum	m ²	528.630	-	5365.59	-	-	-	-	
_POLYPLAS®30	m ²	528.630	3kg/m2	1585.89	99.2	3.43	157320.29	5439.60	
_POLYXIS®R40	m ²	528.630	4kg/m2	2114.52	99.2	3.43	209760.38	7252.80	
_IMPERKOTE®L	m ²	528.630	1050kg/m3	1665.18	51	0.49	84924.41	815.94	
Godo	m ²	480.020	1700	40801.70	1.5	0.49	61202.55	19992.83	
Teto de Gesso Cartonado 12,5 mm	m ²	126.500	680	1075.25	6.75	0.39	7257.94	419.35	
Teto falso acústico com lã mineral	m ²	17.100	10 kg/m2	171.00	37	2.7	6327.00	461.70	!CO2 APENAS!
Primário Plastron Aquoso 020-0200	m ²	325.950	1,03 kg/L	33.57	59	2.54	1980.80	85.28	
Acabamento Vinylrep serie 019	m ²	325.950	1,44 kg/L	75.10	70	2.91	5256.92	218.54	
Aço S500 (A500NRSD) em varão	kg	43505.000	-	43505.00	17.4	1.4	756987.00	60907.00	
Tela asfáltica - Imperkote F	m ²	780.000	2 kg/m2	1560.00	0.148	0.066	230.88	102.96	
							4,151,969.77	261,075.26	

Material	Unidade Funcional	Quantidade	Densidade	Peso kg	Fator de Conversão EE	Fator de Conversão EC	EE (MJ)	EC (kgCO ₂)
Betão C35/45 XS3 reforço com fibras de polipropileno	m ³	18.975	2400	45540.00	7.75	0.45	352935.00	20493.00
Betão C35/45	m ³		2400	0.00				
Pilares	m ³	12.6	2400	30240.00	4.51	0.421	136382.40	12731.04
Paredes	m ³	13.75	2400	33000.00	3.23	0.326	106590.00	10758.00
Murete	m ³	2.15	2400	5160.00	1.9	0.228	9804.00	1176.48
Bancada	m ³	20.5	2400	49200.00	1.59	0.205	78228.00	10086.00
Betão C30/37	m ³		2400	0.00				
Vigas, Vigas de bordo e platibanda	m ³	74	2400	177600.00	2.1	0.233	372960.00	41380.80
Lajes maciças	m ³	102	2400	244800.00	2.48	0.261	607104.00	63892.80
							1,664,003.40	160,518.12
							Total	5,815,973.17
								421,593.38

Resultados por metro quadrado de área construída:

14 687,91	MJ/m ²
1 064,71	kgCO ₂ eq/m ²

F. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DO ONE CLICK LCA [25]

Os valores apresentados na Tabela E foram transcritos dos casos de estudo presentes no site do *ONE CLICK LCA*.

Tabela E – Classificação de desempenho de edifícios relativa ao GWP (kg CO_{2eq}/m²)

	Edifício Residencial	Hotel	Armazém	Edifício Comercial	Edifício de Escritórios	Edifício de Retail
A ⁺	161 – 339	20 – 160	0 – 100	30 – 150	20 – 140	0 – 100
A	250 – 339	160 – 300	100 – 200	150 – 270	160 – 300	100 – 250
B	339 – 427	300 – 440	200 – 336	270 – 390	300 – 440	250 – 420
C	427 – 516	440 – 580	336 – 472	390 – 510	440 – 580	420 – 590
D	516 – 604	580 – 720	472 – 608	510 – 630	580 – 720	590 – 760
E	604 – 693	720 – 860	608 – 744	630 – 750	720 – 860	760 – 930
F	693 – 781	860 – 1000	744 – 880	750 – 870	860 – 1000	930 – 1100
G	781 – 870	1000 – 1140	880 – 1016	870 – 990	1000 – 1140	1100 – 1270
H	870 – 959	1140 – 1280	1016 – 1152	990 – 1100	1140 – 1280	1270 – 1440

Edifício Residencial

Cradle to grave (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO _{2e} /m ²
(160-300) A	
(300-440) B	
(440-580) C	
(580-720) D	
(720-860) E	
(860-1000) F	
(1000-1140) G	

Hotel

Cradle to grave (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO _{2e} /m ²
(160-300) A	
(300-440) B	
(440-580) C	
(580-720) D	
(720-860) E	
(860-1000) F	
(1000-1140) G	

Armazém

Cradle to grave (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO ₂ e/m ²
(100-200) A	
(200-336) B	
(336-472) C	
(472-608) D	
(608-744) E	
(744-880) F	
(880-1016) G	

Edifício Comercial

Cradle to grave (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO ₂ e/m ²
(150-270) A	
(270-390) B	
(390-510) C	
(510-630) D	
(630-750) E	
(750-870) F	
(870-990) G	

Edifício de Escritórios

Cradle to grave (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO ₂ e/m ²
(160-300) A	
(300-440) B	
(440-580) C	
(580-720) D	
(720-860) E	
(860-1000) F	
(1000-1140) G	

Edifício de Retail

Cradle to grave (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO ₂ e/m ²
(100-250) A	
(250-420) B	
(420-590) C	
(590-760) D	
(760-930) E	
(930-1100) F	
(1100-1270) G	