CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2012
4º CONGRESSO NACIONAL | 18, 19 E 20 DE DEZEMBRO

Coimbra, Portugal, 2012

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO LCA NO PROJETO DE EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS

Sara Neiva[1]*, Ricardo Mateus[2] e Luís Bragança[2]

1: Departamento de Engenharia Civil
Escola de Engenharia
Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães
e-mail: saraneiva@civil.uminho.pt;

2: Departamento de Engenharia Civil
Escola de Engenharia
Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães
e-mail: ricardomateus@civil.uminho.pt; braganca@civil.uminho.pt; web: www.civil.uminho.pt

Palavras-chave: Sustentabilidade, Análise do Ciclo de Vida (LCA), Tecnologias construtivas, Desempenho térmico

Resumo: *As emissões excessivas de poluentes e a elevada utilização de recursos naturais e de energia, associados ao sector da construção, são cada vez mais preocupantes. Por conseguinte, os impactes ambientais associados a este sector são elevados, mas apresentam elevado potencial em serem minorados.*

É o Projetista que, na fase de execução do projeto, determina quais os materiais a aplicar numa determinada obra. Dada a necessidade atual em se minimizar os impactes ambientais, o projetista terá de demonstrar, sob um ponto de vista da construção sustentável, alguma sensibilidade na escolha dos materiais a colocar em obra.

Atualmente existem no mercado ferramentas que permitem comparar os materiais e as tecnologias construtivas existentes, classificando-as como soluções "melhores" ou "piores" para cada projeto. No entanto, a complexidade e morosidade do processo restringe o seu uso a especialistas.

Este estudo pretende simplificar o processo de avaliação do ciclo de vida de uma construção, permitindo, aos projetistas a aplicação, mais rápida e simples, da metodologia LCA normalizada, de forma a suportar as decisões na hora de escolher a "melhor" solução a adotar numa construção.

Para o efeito foi estudado o impacte ambiental de todas as soluções construtivas que constam no manual ITE 50 "Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios". Este manual apresenta os processos construtivos mais correntes em Portugal. Desta forma os projetista passarão a poder cruzar o desempenho térmico das soluções construtivas com os seus potenciais impactes ambientais, permitindo optar por soluções equivalentes do ponto de vista funcional, mas que apresentam melhor desempenho ambiental.

1. INTRODUÇÃO

Todos os seres vivos crescem e desenvolvem-se num meio a que se adaptam. O ser Humano não é exceção. No entanto, a acomodação do ser humano ao ambiente envolvente tem tomado proporções perigosas no que concerne à alteração do equilíbrio Natural. Preservar esse equilíbrio é uma questão de sobrevivência. A revolução industrial do século XVIII despoletou a poluição atmosférica, dos cursos de água e dos solos. O recurso a processos industrializados, a necessidade de recorrer a fontes de energia não renováveis, como o carvão e o petróleo, e a emissão de gases poluentes provenientes da combustão destas substâncias providenciou a alteração gradual do meio envolvente e o início da destruição a que hoje assistimos. As alterações climáticas e os desastres naturais (furações, *tsunamis*, expansão das áreas desertificadas) são anunciados diariamente nos meios de comunicação e, apesar de alguns passarem despercebidos, estes fenómenos existem e são provas da alteração do equilíbrio natural.

A construção é responsável pela exploração de recursos naturais, como a pedra, areia, água, e consequente degradação ambiental do meio em que se insere [1]. À construção estão também associados fatores como o elevado consumo energético, associado sobretudo à fase de utilização do edifício, a emissão de gases poluentes que contribuem para o efeito de estufa, a produção de grandes quantidades de resíduos e a poluição, propriamente dita, a vários níveis. Os registos comprovam que cerca de 40% dos recursos naturais extraídos, como pedra, areia, madeira e água, são utilizados pelo sector da construção.

A má gestão e conceção do ambiente construído, os resíduos produzidos durante o ciclo de vida de um edifício, os consumos excessivos de matérias-primas, são fatores que têm um contributo significativo no meio ambiente ao nível global.

A escolha de materiais e tecnologias construtivas adequadas ao meio ambiente e aos usos específicos da edificação devia ser o critério principal a ter em conta numa primeira fase de projeto. Por exemplo, a preferência por um material com baixos níveis de energia incorporada, fácil de desmontar, facilitando a sua separação e/ou reutilização numa fase de remodelação ou demolição do edifício, são formas de reduzir os impactes associados a este setor.

Com este estudo pretende-se consciencializar o projetista ou a equipa de projeto para a necessidade de uma escolha criteriosa dos materiais e das tecnologias construtivas a aplicar nos projetos, tendo em vista a minoração dos impactes ambientais associados, permitindo consequentemente tornar o edifício mais sustentável.

Atualmente existem métodos e ferramentas informáticas que tornam possível a análise dos impactes ambientais associados ao seu ciclo de vida de diferentes soluções construtivas. Estas ferramentas são utilizadas, por exemplo, em análises de sustentabilidade como forma de identificar qual a melhor solução a adotar em diferentes situações. No entanto, a complexidade e a morosidade associada à utilização destas ferramentas, bem como a grande quantidade de informação que é necessária recolher para proceder à análise em conjunto com a falta de formação dos projetistas nestas áreas são fatores que limitam a utilização destas ferramentas a especialistas.

A análise de ciclo de vida permite, de um modo geral, avaliar a carga de impacte ambiental associada a um determinado produto, processo ou serviço durante o seu ciclo de vida. Esta metodologia, apesar de orientada para produtos e materiais, pode também à construção [2].

O principal objetivo deste estudo consiste no desenvolvimento de uma base de dados que apresentasse o potencial impacte ambiental das tecnologias construtivas mais comuns em Portugal. Estes resultados permitem ao projetista, ou à equipa de projeto, a identificação dos impactes ambientais associados às diferentes tecnologias construtivas ponderadas para o projeto e auxilia a tomada de decisão no sentido de optar pela "melhor" solução para o projeto em análise. Desta forma, é possível estabelecer comparações quantitativas entre as diferentes soluções alternativas, de modo a identificar aquela que melhor satisfaz os objetivos da construção sustentável. Através das comparações, o projetista fica com a noção acerca dos pontos fortes e fracos de cada uma das alternativas em estudo.

A base de dados de LCA desenvolvida apresenta o desempenho ambiental de soluções

convencionalmente utilizadas nos elementos construtivos de um edifício (p.e. paredes exteriores, lajes e coberturas) e não apenas de materiais de construção (p.e. tijolos, argamassas de diferentes traços, madeiras) como é comum noutras bases de dados. Este facto promove assim maior rapidez no desenvolvimento da análise de ciclo de vida de um edifício.
A base de dados encontra-se estruturada de acordo com as principais partes que influenciam o impacte ambiental de um elemento construtivo: suporte, revestimento, isolamento e transporte.
Através da combinação do desempenho ambiental dos quatro tipos de elementos considerados como parte integrante de uma solução ou tecnologia construtiva o projetista pode estimar os impactes ambientais globais associados a qualquer tecnologia construtiva.
De modo a abranger as tecnologias construtivas mais comuns em Portugal, a base de dados inclui todas as soluções referidas no manual ITE50 " Coeficientes de transmissão térmica da envolvente dos edifícios" [3].

2. A METODOLOGIA LCA

A análise de ciclo de vida ou Life-Cycle Assessment (LCA) é uma metodologia que permite a quantificação do potencial impacte ambiental associado a um produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida.
Esta ferramenta permite não só uma análise comparativa de produtos ou serviços, mas também uma análise de sensibilidade. Esta permite identificar quais as fases ou quais os materiais que ao longo do ciclo de vida de um produto são responsáveis por um maior potencial de impacte ambiental. Assim, torna-se possível melhorar o desempenho ambiental do produto ou serviço analisado.
Numa abordagem comparativa é possível estabelecer o nível de desempenho entre os vários produtos ou serviços analisados. Por exemplo, é possível dizer que a solução 1 tem um desempenho ambiental "melhor" que a solução 2 e vice-versa.
Neste caso em concreto, a análise permite a comparação de desempenho ambiental de duas ou mais soluções construtivas que têm desempenhos funcionais e económicos idênticos. Por exemplo, se o projetista tiver de optar entre uma solução de parede interior de alvenaria ou uma solução de gesso cartonado, ao nível do desempenho ambiental a solução de gesso cartonado tomará uma grande vantagem. Ao nível funcional e económico existem pequenas diferenças que acabam por não ser muito significativas.
Para grandes construções, como pontes, portos, marinas, os impactes ambientais vão estar associados à energia incorporada nos materiais de construção, ao consumo de recursos naturais, à alteração do meio natural, biodiversidade, entre outros. No caso de obras mais pequenas, como edifícios de habitação, os impactes mais significativos vão estar associados ao consumo de energia no aquecimento e arrefecimento dos espaços uteis, durante a fase de utilização. É estimado que, nesta fase, seja consumida cerca de 80 a 94% da energia gasta por um edifício ao longo do seu ciclo de vida, ao passo que 6 a 20% desse consumo é relativo à extração, transporte e produção dos materiais e menos de 1% é despendido nos tratamentos de fim-de-vida [4].
A análise de ciclo de vida, muito mais do que mera comparação de produtos é atualmente tida em conta em análises mais abrangentes, como, por exemplo, a avaliação da sustentabilidade.
No entanto, a utilização da metodologia LCA não é muito comum devido à complexidade e à quantidade de tempo exigido no processo. Um edifício é constituído por várias soluções construtivas, por inúmeros materiais e por diferentes processos construtivos. Uma análise de ciclo de vida adequada exige a descrição e a contabilização de todos os materiais e processos integrados na solução construtiva em análise. O facto de os edifícios serem concebidos como se fossem únicos, isto é, a falta de padronização no modo como se constroem as edificações é também um constrangimento à adoção do LCA [5]. O facto de não se determinar que uma empresa que use o LCA nos seus produtos tenha produtos "melhores" que uma empresa que não faça essa análise dificulta, uma vez mais, o recurso a esta metodologia.
As normas da série ISO 14040, de 1 de Julho de 2006 (ISO/ FDIS 14040 2006-07-01) definem a estrutura e os requisitos necessários para uma análise de ciclo de vida. A metodologia LCA é um

processo iterativo e implementado por etapas, tal como indicado na Figura 1.
Numa primeira fase, Definição de objetivos e âmbito, são definidos os propósitos para a análise, o tipo de público-alvo para quem se destina a apresentação do estudo, as fronteiras dos sistema (temporais, tecnológicas, geográficas) e as principais categorias de impacte ambiental. Tal como já foi referido este estudo pretende analisar as tecnologias construtivas mais correntes na construção portuguesa. De acordo com a norma prEN 15978:2011, as categorias de impacte ambiental a considerar quando se pretende uma análise de ciclo de vida de edifícios são: o potencial para o esgotamento de recursos abióticos (ADP); o consumo de energias não renováveis (ENR); o consumo de energias renováveis (ER); as alterações climáticas expressas em potencial de aquecimento global (GWP); o potencial de destruição da camada de Ozono estratosférico (ODP); potencial de acidificação do meio ambiente (AP): potencial de eutrofização (EP) e o potencial de oxidação da camada de ozono (POCP). A base de dados desenvolvida abrange todas estas categorias, permitindo ao projetista, ou equipas de projeto, a determinação dos impactes ambientais associados a todo o edifício, baseada na análise dos seus macros - componentes (elementos construtivos). A análise segue a variante "*cradle-to-grave*" do método de LCA. As fronteiras do sistema incluem assim a extração das matérias-primas, a produção dos materiais ou das soluções construtivas e a demolição e consequente tratamento final (reciclagem ou aterro).

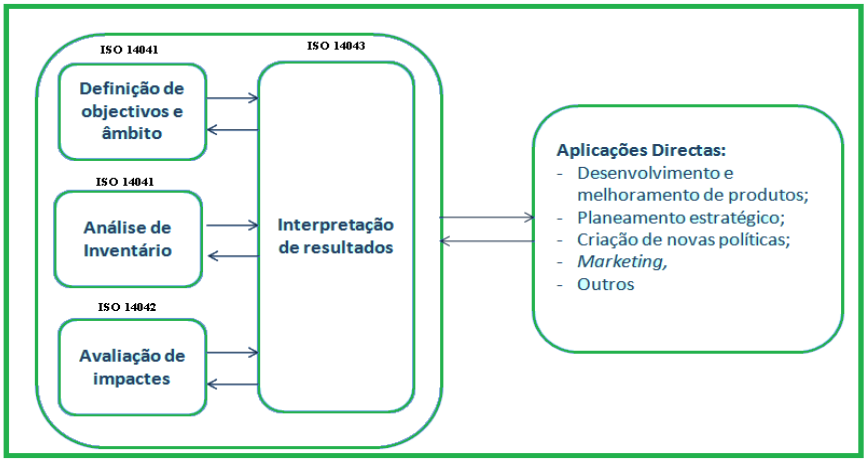


Figura 1. Etapas de análise do ciclo de vida segundo a ISO14040 [6]

A segunda fase, análise de inventário (LCI) envolve a recolha de dados para cada unidade de processo considerando todas as entradas e saídas no sistema de massa ou energia, bem como emissões para o ar, agua e terra. Esta fase envolve a quantificação dos materiais e energia que entram e saem do sistema considerado. Para uma análise de impacte ambiental é necessário recolher informação associada às várias fases do ciclo-de-vida do edifício. Na fase de construção é necessário contabilizar os materiais que integram as tecnologias construtivas e identificar e localizar as empresas que os produzem. No desenvolvimento da base de dados, a quantificação dos materiais e outros "inputs" adicionais foi feita com base numa publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC [7].
Na terceira fase, avaliação de impacte ambiental, é pretendida a interpretação e a avaliação da magnitude e significância dos potenciais impactes associados aos materiais analisados. Esta fase está organizada em três partes principais: a seleção das categorias de impacte ambiental que vão analisar os resultados do LCI (classificação) e a modelação dos indicadores associados a essas categorias (caracterização). A classificação dos resultados do LCI envolve a análise das emissões,

geração de resíduos e recursos utilizados através das categorias de impacte ambiental. Desta análise resulta a agregação do LCI em indicadores. A normalização, o agrupamento, a integração dos indicadores e uma análise de ciclo de vida adicional são passos adicionais que podem ou não ser feitos nesta fase. Nesta etapa utilizam-se geralmente dois tipos de métodos: Mid-Points, métodos orientados para o mecanismo ambiental que causa o problema, e End.Points, métodos orientados para o problema. Neste estudo, foram utilizados métodos do tipo Mid-Points. Neste caso, e para estar em conformidade com as Declarações Ambientais de Produtos (EPD's) foram aplicados dois métodos de análise de ciclo de vida: o *CML 2 baseline 2000* e o *Cumulative Energy Demand*. E importante que a base de dados esteja conforme as EPDs uma vez que assim é possível a integração na base de dados de à análise de ciclo de vida de materiais e produtos que já tenham EPD própria.
O quarto passo da análise de ciclo de vida é a interpretação dos resultados. Nesta etapa são identificados os principais problemas associados aos produtos analisados e são formuladas conclusões. A interpretação pode ser descrita como um processo sistemático de identificação, qualificação, revisão e avaliação dos resultados do LCI. O principal objetivo desta fase é a formulação de conclusões que respondam ao objetivo e ao âmbito do estudo. Podem ser feitas, neste passo, cinco tipos de análises distintas: análise de contribuição, análise de perturbação, análise de incerteza, análise comparativa e análise de discernibilidade. O objetivo de base de dados é permitir a análise comparativa de soluções construtivas, no sentido de apoiar as decisões da equipa de projeto na adoção de soluções mais sustentáveis.

3. DESENVOLVIMENTO DA BASE DE DADOS

3.1. Elementos analisados e cenário de resíduos considerados

O estudo centrou-se nas soluções construtivas previstas no ITE50 (LNEC) - "Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios".
A análise podia restringir-se apenas às soluções construtivas descritas no ITE50, mas esta opção limitaria, ainda mais, a aplicação da base de dados a um contexto real. De forma a tornar o estudo mais abrangente, e tendo em vista a simplificação da aplicação da metodologia LCA, foram identificados quatro processos comuns a todas as soluções construtivas da envolvente opaca, Figura 2.

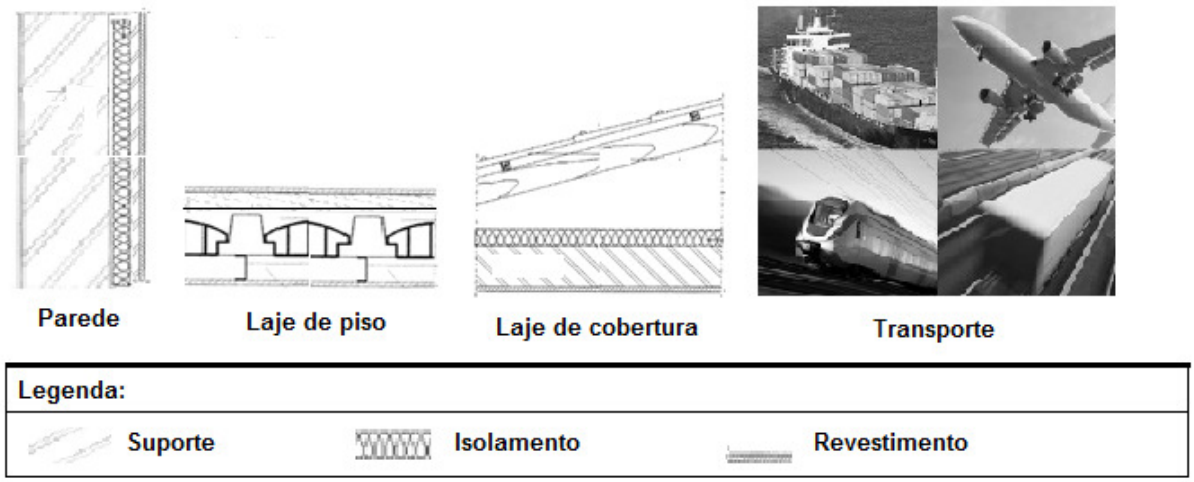


Figura 2. Processos que condicionam o desempenho ambiental das soluções construtivas

Os quatro processos comuns às soluções construtivas, que condicionam o seu desempenho ambiental, são: suporte, isolamento, revestimento e transporte. O elemento de suporte refere-se à estrutura base da solução construtiva.
Uma solução construtiva pode ser constituída por diversos materiais. Mesmo com a separação da sua estrutura em elementos há uma grande diversidade no tipo de material(ais) a utilizar. A escolha dos materiais estudados, tanto a nível de isolamentos, como a nível de revestimento e suporte teve por base o ITE50 e foi alargada para abranger os materiais convencionalmente adotados nos edifícios em Portugal. Por uma questão de simplificação, a análise foi efetuada por m^2 de solução construtiva. No que concerne ao transporte, os valores da base de dados expressão o impacte ambiental associado ao transporte de uma tonelada durante um 1km (ton.km), utilizado cada um dos meios de transporte mais usuais. A Figura 3 apresenta resumidamente as diversas variantes consideradas para cada um dos processos analisadas.

<table>
<tr><td rowspan="6">Processos</td><td rowspan="3">Suporte</td><td>Paredes simples</td><td>Tijolo furado</td><td>Blocos de betão normal</td><td>Blocos de betão leve</td><td>Pedra</td><td>Parede de betão</td><td></td></tr>
<tr><td>Paredes duplas</td><td>Panos de tijolo furado</td><td>Tijolo furado + tijolo maciço</td><td>Panos de blocos de betão normal</td><td>Panos de blocos de betão leve</td><td>Pedra + paredes simples</td><td>Betão + paredes simples</td></tr>
<tr><td>Lajes</td><td>Laje maciça</td><td colspan="3">Laje aligeirada</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Blocos cerâmicos</td><td>Blocos de betão normal</td><td>Blocos de betão leve</td></tr>
<tr><td colspan="2">Isolamentos</td><td>Aglomerado de cortiça expandida (ICB)</td><td>Lã mineral (MW)</td><td>Espuma rígida de poliuretano (PUR)</td><td>Poliestireno expandido moldado (EPS)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Revestimentos</td><td colspan="6">Reboco, pedra, azulejos, madeiras, chapas metálicas, estuque, placa de gesso, betonilha, argamassa de assentamento, cortiça, gravilha, alcatifa, fibrocimento, membrana impermeabilizantes de PVC, plásticos em chapas ou em canos, tacos de madeira, telhas cerâmicas, terra vegetal, tinta e vidro.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Transportes</td><td colspan="6">Avião intercontinental, avião europeu, comboio, camião (16t,28t, 32t e 40t), tractor e reboque, furgão (<3,5t), barco e transporte municipal de resíduos.</td></tr>
</table>

Figura 3. Processos e alternativas considerados na avaliação de ciclo de vida das soluções construtivas

Os processos e os intervenientes associados à construção de $1m^2$ de elementos de soluções construtivas foram contabilizados de acordo com as "Fichas de Rendimentos" (Volume 1 e 2). Nestes manuais vêm quantificados, detalhadamente, todos os materiais e processos associados a cada ação de construção.
A informação apresentada foi processada através de uma ferramenta informática, SimaPro, recorrendo a dados LCI genéricos, nomeadamente à biblioteca de LCI "*Ecoinvent*". Esta base de dados é bastante completa uma vez que contem cerca de 4000 processos industriais e está completamente integrada no programa *SimaPr*o. Quando não foi possível utilizar esta base de dados procurou-se um processo ou material idêntico ao pretendido dentro da mesma base de dados ou numa base de dados diferente que o comtemplasse. Para além da fase de construção, e uma vez que se pretende uma abordagem "*cradle-to-grave*" da metodologia LCA, foi necessária a definição do cenário de resíduos. Neste caso, e de forma a obter-se uma análise de ciclo de vida mais gravosa, optou-se pela definição de um cenário de resíduos em que só é contabilizada a reciclagem do aço, 95% em perfil e 80% do aço em varão, Quadro 1.

Quadro 1. Cenário de resíduos adotado

Material/Resíduo	Cenário de resíduos	Percentagem
Aço	Reciclagem	80%
Aço em perfil	Reciclagem	95%
Outros	Entulho/ aterro	100%

3.2. Categorias de impacte ambiental consideradas

O objetivo deste trabalho foi, como já mencionado, a criação e o desenvolvimento de uma base de dados que simplificasse a aplicação da metodologia LCA. Esta base de dados proporciona um método de cálculo que cobre todas as etapas do ciclo de vida de um edifício, à exceção da fase de utilização. A listagem dos impactes ambientais avaliados foi pensada de forma a enquadrar declarações ambientais de produto de materiais ou processos.
A base de dados contempla oito indicadores ambientais. No Quadro 2 encontram-se apresentados os indicadores e os métodos LCA usados na sua quantificação.

Quadro 2. Indicadores de impacte ambiental considerados na base de dados de LCA

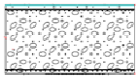
Tipo de impactes ambientais	– Categorias de impacte ambiental	Métodos LCA utilizados na quantificação
Expressos nas categorias de impacte ambiental da metodologia LCA	– Potencial de exploração do meio ambiente (ADP) – Alterações climáticas expressas em potencial de aquecimento global (GWP); – Potencial de destruição da camada de ozono estratosférico (ODP); – Potencial de acidificação do solo e da água (AP); – Potencial de formação de Ozono expresso em concentração de oxidantes fotoquímicos (POCP); – Potencial de Eutrofização (EP).	CML Baseline 2000
Expressos com base nos nados de LCI e não relacionada com as categorias de impacte de LCA	– Consumo de energia não renovável; – Consumo de energia renovável.	Cumulative Energy Demand

3.3. Estrutura da base de dados

A base de dados, apresentada neste artigo, tem como principal objetivo ser um método de ajuda à tomada de decisão com o intuito de melhorar e aumentar a sustentabilidade do sector da construção.

No total, a base de dados cobre 33 soluções de paredes, 21 soluções de pavimentos, 16 materiais de isolamento com espessuras variáveis e vinte e oito tipos de revestimento. Uma vez combinados todos estes elementos é possível a determinação do impacte ambiental associado à maior parte das tecnologias construtivas utilizadas em Portugal.
A base de dados encontra-se organizada em quatro capítulos: i) suporte; ii) materiais de isolamento; iii) revestimentos e transportes.
O Quadro 3 mostra a forma como está organizada a informação disponível na base de dados para uma solução construtiva. A informação de impactes ambiental foi determinada, para cada elemento construtivo, para uma unidade correspondente a 1 m^2 de área. A análise foi feita para duas fases do ciclo de vida: "crade-*to-gate*" (correspondente a parte da produção dos materiais) e Fim-de-vida.
O recurso a esta base de dados permite estimar, de modo geral, o impacte ambiental associado aos elementos construtivos, através de uma abordagem "*bottom-up*". A quantificação começa ao nível da energia incorporada nas matérias-primas e termina com a quantificação de impactes à escala do edifício.

Quadro 3. Apresentação dos resultados na base de dados LCA

Solução construtiva	**Laje maciça de betão**								
	**Etapas do ciclo de vida**	**Categorias de impacte ambiental**						**Energia incorporada**	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	Cradle-to- gate	2,1E-01	3,2E+01	2,2E-06	1,3E-01	9,2E-03	2,4E-02	3,7E+02	9,4E+00
	Fim-de-vida	5,1E-04	6,8E-02	1,4E-08	4,0E-04	1,6E-05	8,1E-05	1,1E+00	5,5E-03
	Total	2,1E-01	6,2E+01	2,2E-06	1,3E-01	9,2E-03	2,4E-02	3,8E+02	9,4E+00
	Comentários:	**Materiais considerados:** Betão e aço A400 **Metodo(s) LCA:** CML 2 baseline 2000 e Cumulative Energy Demand **Base de dados de LCI :** Ecoinvent system process							

A "montagem" de uma solução construtiva, elemento por elemento, é obtida pela soma dos impactes associados a cada um dos elementos da solução e permite a determinação do impacte ambiental global associado à solução construtiva pretendida.
Na fase de conceção de um edifício, de forma a obter o impacte global associado à área ocupada pela solução construtiva, bastará apenas multiplicar os impactes determinados para $1m^2$pela área definida.
No caso dos transportes, o utilizador deverá saber a distância, da fábrica ou local de venda de cada produto à obra, o seu peso, o tipo de transporte e distância da obra ao centro de reciclagem/tratamento de resíduos. Ao multiplicar a distâncias pelo peso e pelos impactes do tipo de transporte associado a cada tipo de material e somando os impactes associados ao transporte dos diferentes materiais obtêm-se os impactes associados ao transporte da solução construtiva, Figura 4.
A determinação do impacte associado aos quatro elementos constituintes de uma solução construtiva será efetuada de acordo com a Figura 5. Numa fase final bastará comparar os valores tabelados dos impactes para perceber quais os materiais ou produtos que provocam "maior" e "menor" impacte.

Material	Dist. *(Km)		Peso (ton)		Tipo de transporte									Total							
Material 1	D1	x	P1	x	Tipo de transporte 1								=	T1							
					ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Material 2	D2	x	P2	x	Tipo de transporte 2								=	T2							
					ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Material 3	D3	x	P3	x	Tipo de transporte 3									T3							
					ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
		x			...								=	...							
					ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Material n	Dn	x	Pn	x	Tipo de transporte n								=	Tn							
					ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
														TG =T1+T2+T3+...+Tn							
														ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER

* Distância da fábrica onde se produz o material ou do local de venda à fábrica

Distância da obra ao centro de tratamento de resíduos (km) =	m								
Tipo de transporte de resíduos para a estação de tratamento – **TRET** =	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Impactes ambientais totais associados ao transporte =	TG +TRETx m								
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	

Figura 4. Determinação dos impactes associados ao transporte

Fase de ciclo de vida	**Categorias e impacte ambiental de LCA**						**Energia incorporada**	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Cradle- to- gate	3,50E-01	7,36E+01	4,86E-06	1,82E-01	1,23E-02	2,40E-02	8,12E+02	8,91E+01
Fim de Vida	1,23E-03	1,90E-01	2,51E-07	1,42E-03	4,63E-05	2,88E-04	2,60E+00	7,25E-03
Total	3,51E-01	7,38E+01	5,11E-06	1,84E-01	1,23E-02	2,43E-02	8,15E+02	8,92E+01
Suporte	+	+	+	+	+	+	+	+
Cradle- to- gate	6,57E-02	1,08E+01	3,06E-07	3,37E-02	1,17E-03	3,98E-03	1,53E+02	9,41E+00
Fim de Vida	1,42E-04	2,19E-02	2,89E-09	1,64E-04	5,33E-06	3,31E-05	3,00E-01	8,35E-04
Total	6,58E-02	1,08E+01	3,35E-07	3,38E-02	1,17E-03	4,01E-03	1,53E+02	9,41E+00
Isolamento	+	+	+	+	+	+	+	+
Cradle- to- gate	3,13E-01	4,02E+01	1,43E-06	3,71E-01	1,40E-02	3,13E-02	6,84E+02	1,07E+02
Fim de Vida	1,76E-04	2,72E-02	3,58E-08	2,03E-04	6,61E-06	4,11E-05	3,71E-01	1,03E-03
Total	3,13E-01	4,02E+01	1,46E-06	3,71E-01	1,40E-02	3,14E-02	6,84E+02	1,07E+02
Painel sandwich	+	+	+	+	+	+	+	+
Transporte	6,00E-03	8,25E-01	1,16E-07	4,82E-03	1,58E-04	9,60E-04	1,33E+01	2,08E-01
	=	=	=	=	=	=	=	=
Parede de alvenaria dupla de tijolo furado de 15+11, com isolamento EPS no interior da caixa-de-ar, revestida interiormente por reboco tradicional e exteriormente por painel sandwich.								
Cradle- to- gate	7,29E-01	1,25E+02	6,60E-06	5,87E-01	2,75E-02	5,93E-02	1,65E+03	2,06E+02
Fim de Vida	1,55E-03	2,39E-01	2,90E-07	1,79E-03	5,82E-05	3,62E-04	3,27E+00	9,12E-03
Total	7,36E-01	1,26E+02	7,02E-06	5,94E-01	2,76E-02	6,07E-02	1,67E+03	2,06E+02

Figura 5. Exemplo de aplicação da base de dados a uma solução construtiva

4. CONCLUSÃO

A análise de ciclo de vida é uma metodologia que permite avaliar os impactes ambientais associados a um ou mais produtos durante o seu ciclo de vida. Esta análise possibilita uma escolha adequada, entre os vários produtos em análise, no sentido de minorar os seus impactes ambientais.
Um estudo de análise de ciclo de vida requer tempo e dedicação de forma a retratar todos os aspetos e todas as fases do produto ou solução em análise. O projetista tem, na maior parte das vezes, o tempo limitado para tomar as suas decisões e para estudar qual a solução mais adequada para integrar na obra. Por este motivo, torna-se quase impossível, nos moldes atuais, a aplicação da metodologia LCA na fase de projeto. Um estudo de LCA é, praticamente, restrito a especialistas e a investigadores.
Com vista à resolução dos problemas associados a utilização prática do método LCA, este trabalho incide sobre o desenvolvimento de uma base de dados com o desempenho ambiental das soluções construtivas mais utilizadas nos edifícios em Portugal, nomeadamente as que constam no ITE50.
O objetivo principal deste trabalho foi a criação de uma base de dados LCA para processos construtivos. Esta base de dados foi desenvolvida tendo em conta a situação portuguesa, o tipo de construção e os materiais mais utilizados. Para cada processo que compõe o sistema em análise (solução construtiva) foi elaborado um quadro que reúne a informação relativa aos impactes ambientais (6 ambientais e 2 energéticos) totais e parciais (fase *cradle-to-gate* e fase de fim-de-vida).
Os impactes associados ao transporte são contabilizados de um modo diferente. Estes impactes são calculados através da soma dos impactes relativos ao transporte de todos os materiais, em função do tipo de transporte utilizado, massa transportada e distância percorrida.
Pretende-se, com este estudo, alertar os decisores da indústria da construção para a possibilidade de mitigar os impactes ambientais da construção ao selecionar materiais e tecnologias construtivas que apresentem melhor desempenho ambiental.
Espera-se facilitar as tomadas de decisão de projetistas que não necessitarão de despender tempo nem recursos financeiros para realizar esta análise, pois poderão ser eles mesmos a estimar os potenciais impactes ambientais associados às suas decisões.
Os entraves à utilização da base de dados são a falta de sensibilidade de grande parte dos projetistas ou equipas de projeto para questões ambientais. A limitação da base de dados às soluções construtivas mais correntes na construção portuguesa dificulta a aplicação da metodologia apresentada a outro tipo de soluções construtivas. No entanto a base de dados está preparada para ser atualizada em função das necessidades.

REFERÊNCIAS

[1] G. Grigoletti, Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (2001).
[2] Bragança L., Mateus R. 2011. *Avaliação do ciclo de vida dos edifícios: Impacte ambiental de soluções construtivas*. Multicomp: Lisboa.
[3] C. Santos e L. Matias, Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil: Informação Técnica de Edifícios (ITE50), (2006).
[4] R. Broun e G. Menzies, Life-cycle energy and environmental analysis of partition Wall systems in the UK, Procedia Engineering 21, pp 864-873, (2011).
[5] S. Kotaji, A. Schuurmans e S. Edwards, Life-cycle assessment in building and construction: a state-of-art report, SETAC, (2003).
[6] ISO 14 040, International Organization for standardization, Environmental management-Life-cycle assessment, (1999).
[7] Manso, A., Fonseca, M., Espada & J. 2007. Informação Sobre Custos - Fichas de Rendimentos". Laboratório Nacional de Engenharia Civil.