

Software BIM para a análise de ciclo de vida, compatível com o estudo térmico e acústico do edifício

Benjamín González

*Cype Ingenieros, SA, Director de desenvolvimento corporativo
Alicante, Espanha
benjamin.gonzalez@cype.com*

Ricardo Figueira

*Top Informática, Lda, Departamento técnico
Braga, Portugal
ricardo.figueira@topinformatica.pt*

RESUMO: Em Portugal a certificação energética visa a redução do consumo energético em edifícios novos, assim como em edifícios existentes. Esta certificação ocupa-se exclusivamente do consumo energético do edifício durante a sua utilização, não considera outras fases, como a construção, nem questões relacionadas com a sustentabilidade. O projeto de um edifício deve contemplar a sua eficiência do ponto de vista ambiental. No artigo é apresentado um *software* capaz de realizar a análise de ciclo de vida do edifício em conjunto com o estudo térmico e acústico. São apresentadas as características da ferramenta informática e as bases de dados utilizadas. O *software* contempla o conceito BIM para que o projetista possa projetar de forma eficiente e compatível com outros programas, através do formato IFC. De modo a gerar os documentos necessários ao projeto, a base de dados dispõe de informação técnica e económica dos trabalhos relacionados com a construção do edifício.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A análise de ciclo de vida

A análise de ciclo de vida (ACV), ou “análise do berço à cova”, é uma ferramenta que estuda e avalia o impacto ambiental de um produto ou serviço durante todas as etapas da sua existência, estabelecendo um balanço ambiental com o objetivo de conseguir um desenvolvimento sustentável.

A Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) define a análise de ciclo de vida como: “*Um processo para avaliar as cargas ambientais associadas a um produto, processo ou atividade, identificando e quantificando a energia e os materiais utilizados e os resíduos libertados para o ambiente; para determinar o impacto da utilização dessa energia e materiais e dos resíduos libertados para o ambiente; e para identificar e avaliar oportunidades de melhoria ambiental. O estudo inclui o ciclo completo do produto, processo ou atividade, tendo em conta as etapas de: extração e processamento de matérias-primas, produção, transporte e distribuição, utilização, reutilização e manutenção, reciclagem e disposição final*”.

De acordo com a norma EN ISO 14040, o desenvolvimento de uma análise de ciclo de vida, deve contemplar as seguintes etapas metodológicas:

- Definição de objetivos e alcance (unidade funcional);
- Análise geral do inventário;
- Avaliação do impacto;
- Interpretação dos resultados.

Atendendo à classificação e à nomenclatura incluída nas normas EN ISO 14040 e EN ISO 14044, são estabelecidas quatro etapas para o ciclo de vida de um edifício:

- Produto (A1 a A3)
 - Extração de matérias-primas (A1)

- Transporte para a fábrica (A2)
- Fabricação (A3)
- Processo de construção (A4 a A5)
 - Transporte do produto (A4)
 - Processo de instalação do produto e construção (A5)
- Utilização do produto (B1 a B7)
 - Utilização (B1)
 - Manutenção (B2)
 - Reparação (B3)
 - Substituição (B4)
 - Reabilitação (B5)
 - Utilização da energia operacional (B6)
 - Utilização da água operacional (B7)
- Fim de vida (C1 a C4)
 - Desconstrução e demolição (C1)
 - Transporte (C2)
 - Gestão de resíduos para reutilização, recuperação e reciclagem (C3)
 - Eliminação final (C4)

1.2 *O estudo térmico e acústico*

Em Portugal, o estudo térmico de um edifício deverá ser realizado de acordo com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que estabelece um conjunto de exigências e níveis de conforto térmico que o edifício deverá cumprir. O estudo acústico deverá ser realizado de acordo com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), que estabelece um conjunto de requisitos acústicos a cumprir.

Em ambos os casos a análise é realizada a partir do modelo geométrico do edifício e das soluções construtivas adotadas.

Para o estudo térmico, além do método de cálculo imposto pelo regulamento, devem ainda ser considerados os esclarecimentos da entidade gestora (ADENE) ou normas para o cálculo de alguns coeficientes.

O estudo acústico deverá cumprir os requisitos acústicos impostos pelo regulamento. Os métodos de cálculo utilizados devem ser reconhecidos ou normalizados.

2 O SOFTWARE

2.1 *O processo*

Um *software* BIM é um *software* no qual é possível modelar geometricamente um edifício e manter um conjunto de informações relevantes sincronizadas com o modelo criado.

O *software* apresentado é o CYPE – desenvolvido e produzido para Portugal pela Top Informática, Lda. É constituído por vários módulos interligados, respondendo cada um a necessidades específicas, algumas das quais são referidas neste artigo. O formato IFC, disponibilizado pelo *software*, permite beneficiar da comunicação com outros programas.

A base de dados do *software* inclui informações sobre trabalhos de construção de edifícios, contemplando vários processos e soluções construtivas. Entre outros dados encontra-se incluída informação sobre os materiais necessários e respetivos rendimentos, índices de resíduos, índices de energia incorporada, emissões de CO₂ e características dos materiais como a condutibilidade e a densidade.

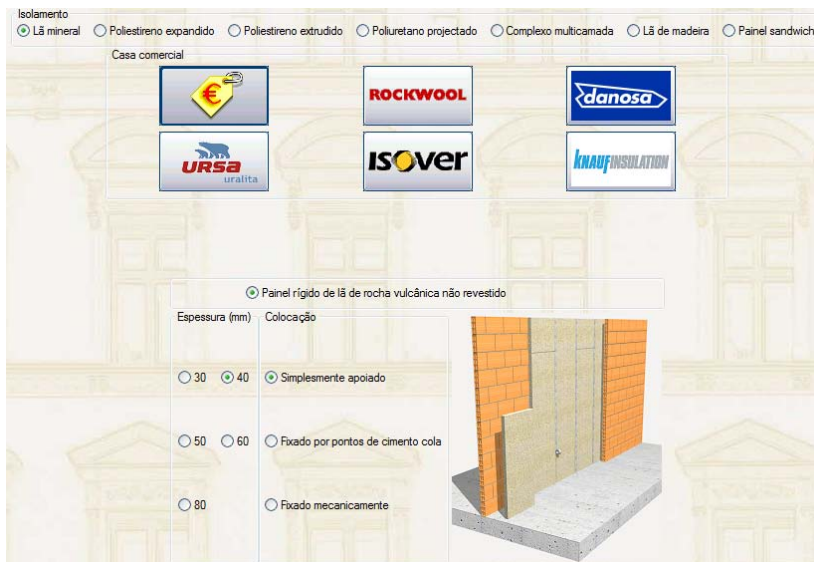


Figura 1. Soluções construtivas disponibilizadas pela base de dados para o isolamento de paredes divisórias de alvenaria.

O *software* de modelação tridimensional do edifício permite utilizar os elementos construtivos da base de dados referida.

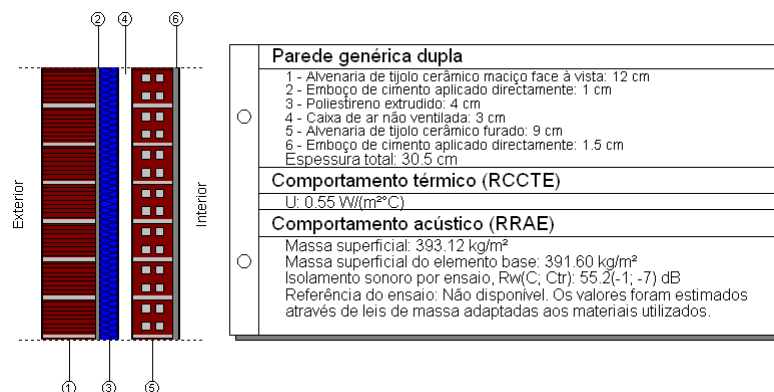


Figura 2. Definição de uma parede exterior no *software* de modelação tridimensional.

Cruzando a informação tridimensional do modelo com a informação que consta da base de dados é possível realizar, de forma dinâmica, a análise térmica e acústica assim como obter relatórios sobre os indicadores de impacto ambiental considerados.

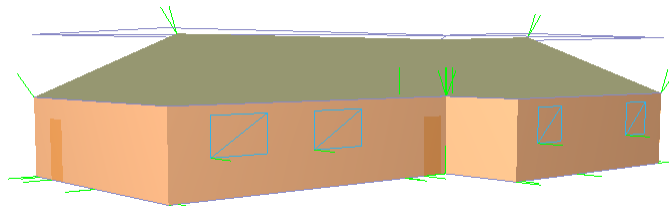


Figura 3. Modelo tridimensional de um edifício, utilizado para o cálculo.

2.2 A base de dados

A base de dados foi desenvolvida, inicialmente, com o objetivo de disponibilizar dados para a elaboração de orçamentos para edifícios, tendo em conta as características de cada obra. Entre esses dados encontra-se a decomposição dos trabalhos de construção nos elementos mais simples: materiais, equipamentos e mão de obra.

A determinação das quantidades de materiais utilizados em cada trabalho é realizada a partir do cálculo das quantidades geométricas necessárias ou a partir de rendimentos disponibilizados pelos fabricantes, incluindo desperdícios.

São também fornecidas informações relativas aos resíduos produzidos por cada trabalho. Esta informação, adaptada e compilada a partir de bibliografia especializada, encontra-se codificada de acordo com a Lista Europeia de Resíduos, com as designações dadas pela regulamentação Portuguesa.

RSG010 m² Pavimento com revestimento de mosaicos cerâmicos colocados com cola. 23,29€
 Pavimento com revestimento de mosaicos cerâmicos de grés esmaltado, de 25x25 cm, 8 €/m², assentes com cimento cola de utilização exclusiva para interiores, Ci sem nenhuma característica adicional, cor cinzento, e enchimento das juntas com leitada de cimento branco, L, BL-V 22,5, para junta mínima (entre 1,5 e 3 mm), colorida com a mesma tonalidade das peças.

Composto	Ud	Composição	Rend.	p. s.	Preço artigo	
mt09mcr021aaa	kg	Cimento cola de utilização exclusiva para interiores, Ci, cor cinzento.	3,000	0,22	0,66	
mt18bce010baafb800	m ²	Mosaico cerâmico de grés esmaltado 25x25 cm, 8,00 €/m ² , segundo NP EN 14411.	1,050	8,00	8,40	
mt08cem040a	kg	Cimento branco BL-22.5 X, para pavimentação, em sacos, segundo NP EN 197-1.	1,000	0,14	0,14	
mt09lec010b	m ²	Leitada de cimento branco BL 22,5 X.	0,001	157,00	0,16	
mo014	h	Oficial de 1ª ladrilhador.	0,536	16,08	8,62	
mo035	h	Ajudante ladrilhador.	0,268	15,62	4,19	
	%	Meios auxiliares	2,000	22,17	0,44	
	%	Custos indirectos	3,000	22,61	0,68	
Custo de manutenção decenal: 3,96 € nos primeiros 10 anos.					Total:	23,29

Código LER	Resíduos gerados	Peso (kg)	Volume (l)
17 09 04	Mistura de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03.	0,300	0,200
17 01 03	Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos.	2,459	1,968
17 01 01	Betão (betões, argamassas e pré-fabricados).	0,053	0,035
	Resíduos gerados:	2,812	2,203
15 01 01	Embalagens de papel e cartão.	0,204	0,271
17 02 03	Plástico.	0,009	0,015
17 02 01	Madeira.	0,124	0,113
	Embalagens:	0,337	0,399
	Total resíduos:	3,149	2,602

Figura 4. Informação da base de dados sobre a decomposição e resíduos gerados relativa ao trabalho de colocação de mosaicos cerâmicos.

Para a análise de ciclo de vida a base de dados considera a energia incorporada e as emissões de CO₂ como os indicadores de impacto ambiental.

São consideradas as etapas correspondentes à fabricação do produto (A1, A2 e A3), ao seu transporte até à entrada da obra (A4) e ao processo de instalação do produto e construção (A5).

- Produto (A1, A2 e A3): Esta fase compreende a elaboração do produto, desde a extração das matérias-primas até à fabricação e embalagem do produto final, incluindo o transporte das matérias-primas até à fábrica e os deslocamentos necessários para a sua produção;
- Transporte do produto (A4): Esta fase compreende o transporte do produto desde a saída da fábrica até à entrada da obra, incluindo os deslocamentos necessários no processo de distribuição;
- Processo de instalação do produto e construção (A5): Esta fase refere-se ao processo de construção e instalação dos produtos, incluindo os deslocamentos dentro da zona da construção.

Na determinação dos valores, para além de bibliografia especializada, foram efetuadas as considerações seguintes:

- Produto (A1, A2 e A3): Para a determinação dos valores de produtos complexos estes foram decompostos em materiais mais simples;
- Transporte do produto (A4): Considerou-se que o transporte de todos os produtos e respetivas embalagens é realizado por veículos movidos a gasóleo com cargas médias e consumos médios, desde a fábrica até à obra. Em função de cada família de materiais foram definidos diferentes cenários de transporte (local, regional, nacional ou importação);
- Processo de instalação do produto e construção (A5): Neste processo considerou-se a energia e as emissões produzidas pelo equipamento para as atividades de construção e instalação dos produtos em obra e para o transporte dos resíduos gerados para o seu destino final. Na determinação dos valores do equipamento considerou-se dois tipos de transporte: os verticais e os horizontais. Para os deslocamentos verticais, que consomem mais energia, considerou-se os deslocamentos verticais calculados em função do peso dos produtos e do número de pisos do edi-

fício. No caso dos deslocamentos horizontais considerou-se o peso dos produtos e a superfície média dos pisos.

RSG010 m² Pavimento com revestimento de mosaicos cerâmicos colocados com cola. 23,29€
 Pavimento com revestimento de mosaicos cerâmicos de grés esmaltado, de 25x25 cm, 8 €/m², assentes com cimento cola de utilização exclusiva para interiores, Ci sem nenhuma característica adicional, cor cinzento, e enchimento das juntas com leitada de cimento branco, L, BL-V 22,5, para junta mínima (entre 1,5 e 3 mm), colorida com a mesma tonalidade das peças.

Consumo		Etapa do ciclo de vida					
		Fabricação		Construção			
		A1-A2-A3		A4		A5	
	Peso (kg)	Energia incorporada (MJ)	Emissões CO ₂ (kg)	Energia incorporada (MJ)	Emissões CO ₂ (kg)	Energia incorporada (MJ)	Emissões CO ₂ (kg)
Materiais							
	Material cerâmico vitrificado.	21,000	210,000	15,750	4,662	0,345	
	Cimento.	1,000	7,000	0,658	0,222	0,016	
	Argamassa.	1,900	2,223	0,209	0,067	0,005	
	Total:	23,900	219,223	16,617	4,951	0,366	
Embalagens							
	Plástico.	0,009	0,630	0,093	0,002	0,000	
	Papel, cartão.	0,204	6,309	0,366	0,045	0,003	
	Madeira.	0,124	0,372	0,011	0,028	0,002	
	Total:	0,337	7,311	0,470	0,075	0,005	
Meios auxiliares							0,088 0,013
Resíduos							
	Transporte a aterro.	3,149					0,140 0,010
Energia total e emissões:			226,534	17,087	5,026	0,371	0,228 0,023

Figura 3. Informação da base de dados sobre os indicadores de energia incorporada e emissões de CO₂ relativas ao trabalho de colocação de mosaicos cerâmicos.

2.3 A modelação tridimensional e a verificação térmica e acústica

A modelação no *software* envolve a introdução tridimensional dos elementos construtivos (paredes, pavimentos, vãos, etc.) e a definição das características de cada elemento. Desta forma, a partir do mesmo modelo é possível realizar a análise térmica e acústica.

A partir do modelo tridimensional o *software* determina os parâmetros geométricos, necessários para o cálculo (superfícies, espessuras, ângulos, etc.). A definição dos compartimentos e frações do edifício possibilita ainda a identificação de pontes térmicas e transmissões marginais, necessárias para o cálculo térmico e acústico, respetivamente.

O *software*, no estudo térmico, tem em conta o modelo de cálculo preconizado pelo RCCTE e os esclarecimentos da ADENE. A determinação dos coeficientes de pontes térmicas lineares pode ser realizada tendo em conta uma análise numérica bidimensional baseada na norma EN ISO 10211.

Para o estudo acústico o *software* possibilita a utilização do método de Sabine, do método estimativo Lei da massa, do método do Invariante e da norma EN 12354 ou a introdução de valores de ensaio. As transmissões marginais são calculadas de acordo com o método presente na norma EN 12354. Em qualquer caso é realizada a verificação face aos requisitos acústicos do RRAE.

3 APLICABILIDADE PRÁTICA

O *software* permite, após a introdução do modelo, realizar várias simulações obtendo sempre paralelamente à análise de ciclo de vida, o estudo térmico e o estudo acústico.

Apresenta-se um caso de estudo. Foi introduzido no *software* o modelo de um edifício, constituído por uma moradia com a área bruta de 200m² (Figura 3). A introdução incluiu a definição completa de paredes, pavimentos e coberturas e respetivos acabamentos, a definição de portas e janelas e outros dados necessários para o cálculo. Os resultados são apresentados na Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 1. Resultados globais da análise térmica ao edifício

Inverno		Verão		A.Q.S.*		N.G.E.P**	
Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt
(kWh/m ² ano)	(kWh/m ² ano)	(kWh/m ² ano)	(kWh/m ² ano)	(kWh/m ² ano)	(kWh/m ² ano)	(kgep/m ² ano)	(kgep/m ² ano)
77,77	94,91	3,64	18,00	5,86	27,35	1,31	4,71

- * Águas quentes sanitárias
- ** Necessidades globais de energia primária

Tabela 2. Resultados globais da análise acústica ao edifício

Compartimento	$D_{2m,nT,w/A}$ * exigido (dB)	$D_{2m,nT,w/A}$ * calculado (dB)
Sala de estar	33	37,0
Quarto 1	33	37,8
Quarto 2	33	37,9

* Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado

Tabela 3. Resultados da análise de ciclo de vida ao edifício

Fase	Produto (A1, A2 e A3)	Transporte (A4)	Construção (A5)	Total
Energia incorporada (MJ)	1 213 802,40	21 592,02	6 184,14	1 241 578,56
Emissões de CO ₂ (t)	108,56	1,58	0,48	110,62

O edifício modelo apresenta assim uma energia incorporada média de 6 207,89 MJ/m² e emissões de 0,65 t/m², valores que se encontram próximos daqueles aceites como referência.

4 CONCLUSÃO

O conceito BIM, subjacente a todo o sistema incluído no *software*, permite beneficiar de uma análise dinâmica, baseada nas características e soluções construtivas adotadas para o edifício projetado.

A análise de ciclo de vida é realizada a partir dos dados associados a cada um dos materiais simples que constituem o modelo projetado. Esse mesmo modelo tridimensional é utilizado para o estudo acústico e térmico.

A integração destas análises numa única ferramenta permite realizar simulações de uma forma simples e integrada. A alteração do modelo tridimensional ou a alteração de uma solução construtiva é imediatamente repercutida nas análises realizadas pelo *software*.

As fases ainda não consideradas na análise de ciclo de vida e outros indicadores ambientais encontram-se em desenvolvimento e serão incorporadas futuramente no *software*.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Torgal, F.F. e Jalali, S., *A sustentabilidade dos materiais de construção*. TechMinho, Portugal (2010);
- Librelotto, D. e Jalali, S., *Aplicação de uma Ferramenta de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais - Estudos de Caso*, Engenharia Civil UM, n.º 30, Portugal (2008);
- Top Informática, *Cypevac 3D – Memória de cálculo*, Top Informática, Portugal (2010);
- Top Informática, *Cypeterm – Memória de cálculo*, Top Informática, Portugal (2010);
- CEN: Comité Européen de Normalisation – *Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework*, EN ISO Standard 14040:2008;
- CEN: Comité Européen de Normalisation – *Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines*, EN ISO Standard 14044:2006.