

# Manual explicativo da Avaliação de Ciclo de Vida aplicada ao setor da construção

**Projeto EnerBuiLCA**

Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings



UE/EU - FEDER/ERDF



Programa  
de Cooperação  
Territorial SUDOE  
Interreg IV B

# Manual explicativo da Avaliação de Ciclo de Vida aplicada ao setor da construção

Projeto EnerBuiLCA

Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings



UE/EU - FEDER/ERDF

## PROJETO ENERBUILCA

### Equipe de Trabalho:

#### Coordenadores:

Ignacio Zabalza  
Alfonso Aranda  
Sabina Scarpellini  
*CIRCE - Centro de Investigación  
de Recursos y Consumos Energéticos*

#### Participantes:

Cristina Gazulla  
Marina Isasa  
*Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida  
y Cambio Climático (ESCI-UPF)*

Lara Mabe  
Beatriz Sánchez  
*TECNALIA - Corporación tecnológica. Unidad  
de Construcción - División de Sostenibilidad*

Ferran Bermejo  
Gloria Díez  
*iMat - Centro Tecnológico de la Construcción*

Rogelio Zubizarreta  
*IAT - Instituto Andaluz de Tecnología*

António Baio Dias  
*CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica  
e do Vidro Direcção Geral Unidade  
de Ambiente e Sustentabilidade*

Lucie Duclos  
*NOBATEK - Centre de Ressources Technologiques*

Paulo Partidário  
Paulo Martins  
Anabela Correia  
Rui Frazão  
*LNEG - Laboratório Nacional de Energia  
e Geologia, IP*

**Translation:** LNEG

**Edição:** Novembro, 2012



## Índice

1. Introdução .....	5
2. Descrição do conceito da abordagem de ciclo de vida .....	7
3. Descrição das origens e desenvolvimento da ACV .....	11
4. Metodologia de ACV .....	13
4.1. Definição do objetivo e âmbito .....	14
4.2. Inventário do ciclo de vida (ICV) .....	18
4.3. Avaliação de impacto do ciclo de vida (EICV) .....	19
4.4. Interpretação dos resultados .....	24
5. Oportunidades de utilização ou aplicação da ACV no setor da construção .....	25
6. Principais ferramentas que permitem aplicar a ACV no sector da construção .....	31
7. A ferramenta EnerBuiLCA .....	35
8. Um exemplo prático de aplicação de ACV no setor da construção: ACV de ladrilhos cerâmicos .....	39
8.1. Motivação / Objetivos da aplicação da metodologia de ACV .....	40

8.2. Descrição do produtoo .....	41
8.3. Utilização da ACV no caso de estudo .....	41
8.4. Resultados .....	45
8.5. Conclusões .....	47
9. Estado da arte da ACV no setor da construção e propostas de melhoria .....	49
Referências .....	53



## Introdução

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), e a sua aplicação aos edifícios, é entendida por muitos como uma metodologia complexa e que exige muito tempo para a sua aprendizagem e compreensão. Além disso, foram identificadas outras barreiras à aplicação mais ampla da ACV como sejam a falta de bases de dados gratuitas, ausência de requisitos legais ou outros incentivos, bem como a dissociação dos atuais procedimentos de certificação energética e da ACV. Algumas das ações propostas para superar essas barreiras incluem a formação e sensibilização geral sobre a importância da ACV, a disponibilização de informação especializada e de guias simples e o estabelecimento de requisitos regulamentares relativos à consideração dos impactos ambientais na totalidade do ciclo de vida dos edifícios, e não apenas na etapa de utilização, como acontece atualmente. As ações de formação e de sensibilização são concretizadas no âmbito do projeto EnerBuiLCA, através do desenvolvimento deste manual explicativo de ACV, do manual de utilização da ferramenta EnerBuiLCA e dos cursos de formação.





## Descrição do conceito da abordagem de ciclo de vida

Os edifícios têm impactes sobre o ambiente em todas as etapas da sua vida útil, incluindo a extração de matérias-primas e seu transporte, o consumo de energia necessário para a fabricação dos materiais de construção e o seu transporte até ao local de obra, as terraplenagens, os consumos de energia e resíduos produzidos durante a construção dos edifícios, o consumo de energia e de água para atender às diversas necessidades na etapa de utilização dos edifícios, a manutenção e, finalmente, a demolição, assim como a deposição de todos os elementos construtivos no fim da sua vida útil. Além disso, todas as etapas da vida dos edifícios estão fortemente inter-relacionadas, de modo que os impactes de uma etapa condicionam os impactes das etapas seguintes.

Apesar do elevado impacte energético e ambiental que os edifícios têm na sua etapa de utilização, é imprescindível analisar também as restantes etapas do ciclo de vida, a fim de contemplar todas as oportunidades de melhoria, tanto atuais como futuras. A este respeito, deve notar-se que a aplicação do actual quadro regulamentar irá necessariamente forçar uma redução dos impactes na etapa de utilização dos edifícios, aumentando o peso relativo das restantes etapas que fazem parte do ciclo de vida dos edifícios, especialmente no que diz respeito ao impacte da produção dos materiais de construção utilizados.

Por tudo isto, a redução do impacte ambiental dos edifícios requer a aplicação de metodologias apropriadas de avaliação de impactes, de natureza global e que incluam todas as etapas da vida de um edifício.



Segundo a Comissão Europeia [COM(2003) 302, COM(2005) 666, COM(2005) 670 e COM(2008) 397], atualmente, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) constitui o melhor enquadramento disponível para avaliar os potenciais impactos ambientais de qualquer tipo de atividade, produto ou serviço sem limites geográficos, funcionais e temporais, uma vez que são avaliados todos os processos aplicados às matérias-primas, desde a extração, transformação e utilização até ao seu regresso à natureza em forma de resíduos. Portanto, uma vantagem clara da ACV é permitir a deteção de situações em que um produto parece mais ecológico do que outro, simplesmente porque transfere as cargas ambientais para outros processos ou zonas geográficas, sem conseguir qualquer melhoria real do ponto de vista global.



FIGURA 1. Ciclo de vida de um produto.

Apesar de haver estudos de ACV de produtos industriais desde há mais de 40 anos, a sua aplicação ao setor da construção é relativamente recente e requer um esforço de investigação para a adequada adaptação da metodologia, de forma

a assegurar o seu uso generalizado pelos agentes do setor. Em geral, a aplicação da ACV na construção implica uma maior complexidade em relação a outros sistemas mais simples, tais como a fabricação de produtos e componentes que ocorrem em ambientes mais controlados, em que se dispõe de mais informação. Obviamente, os edifícios são um tipo de “produto” muito especial, porque eles têm uma vida relativamente longa (normalmente superior a 50 anos), podem ser modificados com alguma frequência durante a sua utilização (especialmente no caso de edifícios do setor terciário, como escritórios ou lojas) o que afeta a unidade funcional utilizada na ACV, muitas vezes têm múltiplos usos e funções (num mesmo edifício podem existir habitações, garagens, escritórios, etc.), contêm uma grande quantidade de materiais e componentes diferentes, são construídos numa envolvente predefinida, normalmente são únicos (raramente se encontram dois edifícios que sejam iguais, mesmo que sejam construídos com os mesmos materiais), estão integrados num meio urbano em que há diversas infraestruturas rodoviárias, o que complica a definição das fronteiras do sistema e a análise da alocação dos impactos ambientais de tais infraestruturas entre os diferentes edifícios que destas beneficiam.



Neste contexto, a ACV é uma metodologia versátil e útil para reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito de estufa (GEE) do sector da construção e estabelecer estratégias de melhoria ambiental mais adequadas numa perspetiva global. [Thormark, 2002; Yohanis e Norton, 2002; Adalberth et al., 2001; Peuportier, 2001; Sartori e Hestnes, 2007].

Portanto, a ACV permite dar uma resposta clara para cada edifício em particular a questões como: Qual é a melhor combinação de materiais de construção para a fachada? Que estrutura respeita mais o ambiente? Que fontes de energia são mais adequadas? Qual é a espessura ideal para o isolamento? Em quanto se consegue reduzir o impacte ambiental através da instalação de sistemas renováveis, como painéis solares térmicos, painéis fotovoltaicos, caldeiras de biomassa ou pequenas turbinas eólicas? Como se repercute a possibilidade de reciclagem de uma determinada solução construtiva? Qual é o impacte associado à mobilidade dos ocupantes do edifício e às infraestruturas de fornecimento de energia e água? Que metas ambientais podem ser estabelecidas para o edifício? Qual é o grau de cumprimento dos objetivos ambientais?



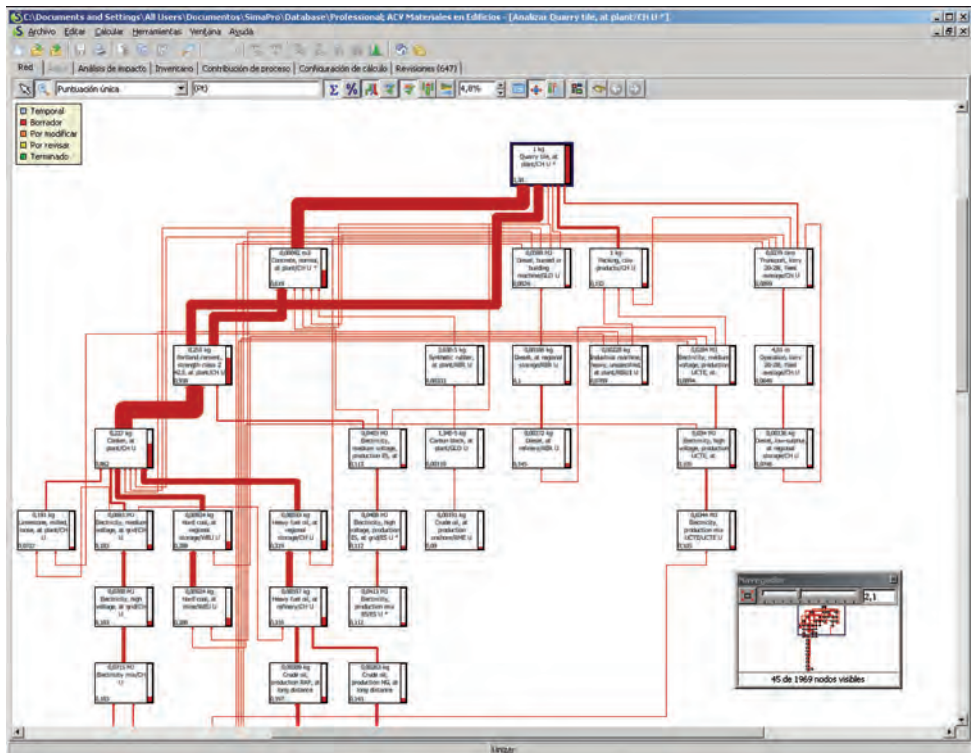
## Descrição das origens e desenvolvimento da ACV

Os primeiros estudos de ACV datam do final dos anos 60 e início dos anos 70 [Boustead, 1972; Boustead e Hancock, 1979]. Relativamente ao setor da construção, em 1982 foi publicado um estudo utilizando um diagrama de fluxos de entradas e saídas (Bekker, 1982) que fez uma aproximação ao ciclo de vida do edifício, destacando o esgotamento dos recursos naturais causados por este setor.

No entanto, até aos anos 90 a metodologia de ACV não estava suficientemente desenvolvida e a sua aplicação era bastante limitada (Boustead, 1996). Foi a SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) que em 1993 estabeleceu a primeira definição oficial de ACV, segundo a qual, “ACV é um processo objetivo para avaliar as cargas ambientais associadas a um produto, processo ou actividade, identificando e quantificando o uso de materiais e energia e as emissões para o ambiente, para determinar o seu impacte no ambiente e avaliar e implementar estratégias de melhoria ambiental”.

Ao contrário de outras abordagens centradas na melhoria do impacte ambiental dos processos, a ACV estuda os aspectos ambientais e impactes potenciais ao longo de toda a vida dos produtos e/ou serviços, “do berço ao túmulo”, ou seja, desde a extração das matérias-primas e a energia necessária para a produção, à utilização e eliminação de produtos, com uma perspetiva global, sem nenhum tipo de limites geográficos, funcionais ou temporais.

Em 1996, o SETAC publicou o relatório “Rumo a uma metodologia para avaliação do impacte do ciclo de vida”, que serviu de base para o desenvolvimento das primeiras normas sobre ACV [ISO 14040-14044], publicadas entre 1997 e 1998.



Nos últimos anos, vários autores têm proposto o alargamento do enfoque da ACV de forma a integrar o triplo “P” da sustentabilidade: pessoas (social) – planeta (ambiental) – e lucro (“profit”, económico), propondo uma avaliação de ciclo de vida para a sustentabilidade (ACVS), integrando a ACV convencional com a Avaliação dos Custos do Ciclo de Vida (ACCV) e a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ASCV) [Weidema, 2006; Klöpffer, 2008; Andrews et al., 2009; Heijungs et al., 2010].



## Metodologia del ACV

Atualmente, a metodologia de ACV está normalizada nas normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006.

No caso dos edifícios, existe um conjunto de normas metodológicas publicadas pela Comissão Técnica 350 - Sustainability of construction works, do Comité Europeu de Normalização, com um mandato da União Europeia para a normalização no domínio da gestão do desempenho ambiental de edifícios [EN 15643-1, -2, -3 e -4, EN 15804, EN 15978]. Estas normas apresentam um método de cálculo com base na ACV para avaliar o desempenho ambiental de um edifício e a forma de comunicar os resultados dessa avaliação.

A metodologia da ACV consta de quatro fases, embora seja possível realizar estudos simplificados em que se elimine alguma delas:

- Definição do objetivo e âmbito do estudo, onde se estabelece a finalidade do estudo, os limites do sistema a avaliar, os dados necessários e outras hipóteses.
- Inventário, onde se identificam e quantificam todos os fluxos de energia e de materiais que entram e saem do sistema durante todo o seu ciclo de vida.
- Avaliação dos impactes ambientais derivados dos fluxos de energia e materiais identificados no inventário e que são classificados de acordo com os efeitos ambientais que podem gerar.
- Interpretação, onde os resultados das fases anteriores são analisados em conjunto, em consonância com os objectivos do estudo, a fim de estabelecer as conclusões e recomendações finais.

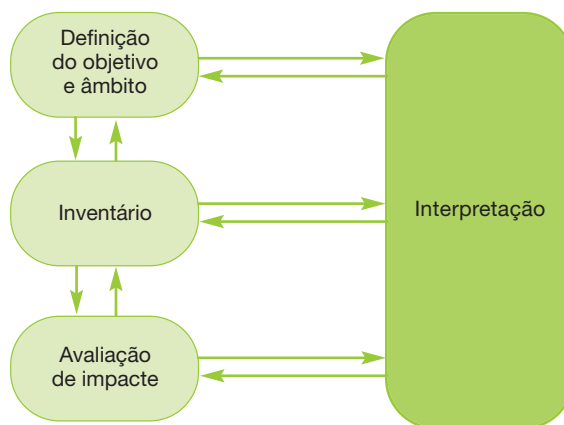


FIGURA 2. Metodologia da ACV.

A metodologia da ACV é dinâmica e iterativa, estando as quatro fases que a constituem inter-relacionadas. Por esta razão, à medida que os resultados são obtidos podem-se reconsiderar as hipóteses definidas ou refinar os dados utilizados em qualquer uma das fases [Aranda *et al.*, 2006].

## 4.1. Definição do objetivo e âmbito

De acordo com a norma ISO 14044, o objetivo e âmbito de um estudo de ACV devem definir-se de forma clara e ser consistentes com a aplicação planeada. Assim, quanto ao objetivo, este deve indicar claramente a aplicação e as razões para desenvolver o estudo, o público a que é dirigido e se os resultados vão ser utilizados com fins comparativos [ISO 14040:2006]. É evidente que, no caso de estudos de ACV em edifícios, o objetivo e âmbito podem variar consideravelmente em função do tipo e utilização do edifício, da sua localização geográfica e do momento da vida do edifício em que se faça o estudo (etapa preliminar de projeto, construção, utilização, reabilitação ou demolição). No entanto, se se pretende comparar os resultados de ACV de edifícios distintos, deverá utilizar-se a mesma unidade funcional e considerações metodológicas equivalentes como a função, as fronteiras do sistema, a qualidade dos dados, a avaliação de impacto, etc.

Em relação ao âmbito, entre outros aspetos devem ser definidos:

- *A função do sistema em estudo*, que define as suas características de funcionamento. Deve salientar-se que um sistema pode ter mais do que uma função. Por esta razão, se se pretendem comparar dois sistemas diferentes, é necessário que tenham a mesma função. Por exemplo, não seria correto comparar um estudo de ACV de um edifício que contém habitações e escritórios com outro utilizado apenas para habitação, isto porque a função desempenhada por cada um deles é distinta. Do mesmo modo, quando se comparam soluções construtivas, deve assegurar-se que estas se regem pelas mesmas normas e que cumprem com as mesmas exigências e condicionantes de utilização. Os produtos, componentes ou sistemas dos edifícios devem ser comparados no contexto do ciclo de vida do edifício. Por todas estas razões, nos estudos de ACV comparativos de edifícios ou componentes de edifícios é utilizado o conceito de “*equivalente funcional*”, definido como uma representação das características técnicas e funcionais do edifício. Na definição do equivalente funcional deve ter-se em conta aspetos como a legislação vigente, os requisitos técnicos, a/s função/funções desempenhadas, o padrão de utilização e localização do edifício, a sua duração, etc.
- *A unidade funcional*, que constitui a unidade de referência para todas as entradas e saídas do sistema que se obterão no inventário. A “dimensão” da unidade funcional depende do tipo de estudo que se pretende realizar. Um exemplo típico de unidade funcional aplicado a edifícios poderia ser: um edifício projetado para um determinado número de residentes ou trabalhadores supondo uma ocupação de 100%, numa localização concreta, cumprindo determinadas normas relativamente ao conforto térmico, salubridade, limitação de consumo de energia, etc., durante uma vida útil estimada de 50 anos. A vida útil estimada de 50 anos é utilizada muitas vezes como valor predeterminado [Malmqvist *et al.*, 2010], uma vez que, por várias razões, é muito difícil prever a duração real de um edifício.



- *O sistema*, ou seja, o que se está a examinar e que inclui o conjunto de processos unitários ou subsistemas necessários que, interconectados em termos de fluxos de materiais e energia, permitem a presença do produto estudado no mercado.
- *As fronteiras do sistema*, que delimitam os processos unitários que serão incluídos na análise. Devemos considerar que não é necessário gastar recursos para a quantificação das entradas e saídas que não façam variar significativamente as conclusões do estudo. Por esta razão, é necessário estabelecer as fronteiras em consonância com os objetivos do estudo, que posteriormente podem ainda ser refinadas de acordo com os resultados preliminares. Em qualquer caso, qualquer decisão de omitir etapas do ciclo de vida, processos ou entradas/ saídas deve ser claramente justificada e os critérios ou regras utilizadas para fixar as fronteiras do sistema devem garantir a precisão e representatividade dos resultados obtidos.

No caso de edifícios, de acordo com as recomendações do CEN/TC 350, o sistema ou subsistema a analisar deve incluir os seguintes quatro estágios do edifício: produção, construção, utilização e deposição final, conforme indicado na tabela seguinte.



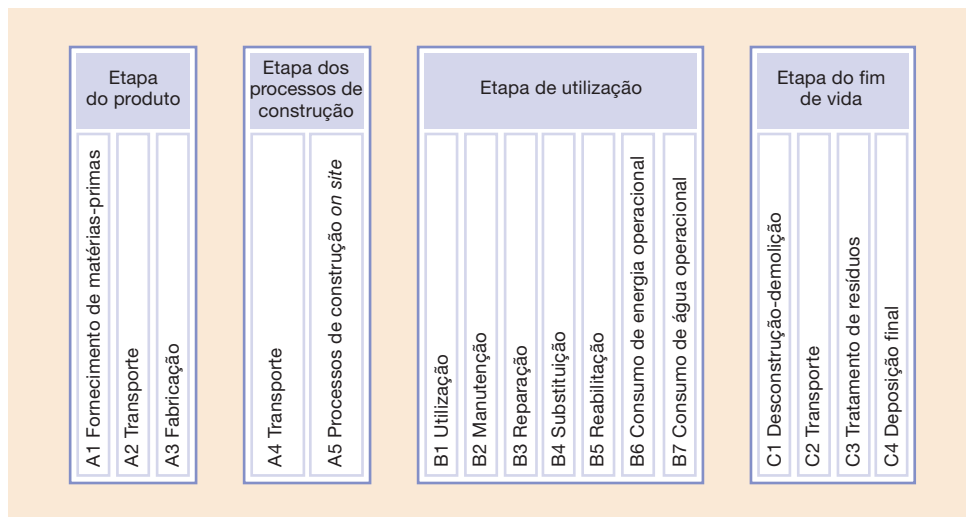


TABELA 1. Etapas do ciclo de vida de um edifício segundo a norma EN 15643-2 do CEN/TC 350.

- Na definição do âmbito, devem definir-se também as *categorias e metodologias de avaliação de impacte* que se vão utilizar no estudo. Cada método de avaliação difere nas categorias de impacte consideradas, nos métodos de cálculo dos impactes e no peso associado a cada um deles. A tabela seguinte mostra as categorias de impacte recomendadas pelo CEN/TC 350 para realizar estudos de ACV em edifícios, com base no consenso científico existente mais alargado.

Categoria de impacte
Aquecimento global
Depleção da camada de ozono estratosférico
Acidificação do solo e da água
Eutrofização
Formação de ozono troposférico
Esgotamento de recursos abióticos (elementos e fósseis)

TABELA 2. Categorias de impacte para ACV em edifícios sugeridas pela CEN/TC 350.



- Os requisitos de qualidade dos dados necessários para atingir os objetivos do estudo são outro aspeto a ser definido no âmbito. Estes requisitos deverão especificar a cobertura temporal (antiguidade dos dados utilizados), geográfica (local, regional, nacional, continental, global, etc.) e tecnológica (melhor tecnologia disponível, média ponderada de tecnologias, etc.), assim como a precisão, amplitude e representatividade dos dados, entre outros aspetos.

## 4.2. Inventário do ciclo de vida (ICV)

O inventário inclui a obtenção dos dados e os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes em cada um dos processos unitários que fazem parte do sistema analisado. Em última análise, trata-se de realizar um balanço de todos os fluxos elementares que entram e saem do sistema ao longo de todo o seu ciclo de vida para a unidade funcional selecionada. Os fluxos elementares são os fluxos energéticos e de materiais que provêm da natureza (como por exemplo, o petróleo, o carvão, a água, a areia natural, etc.) sem nenhuma transformação prévia realizada pelo ser humano, ou que vão diretamente para a natureza (como por exemplo, as emissões de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera, as descargas de nitratos na água, etc.). Para cada processo unitário, as entradas quantificadas incluem o uso de energia e matérias-primas, enquanto as saídas quantificadas incluem as emissões para o ar, água e solo, subprodutos e outras descargas, tal como mostra a figura seguinte.

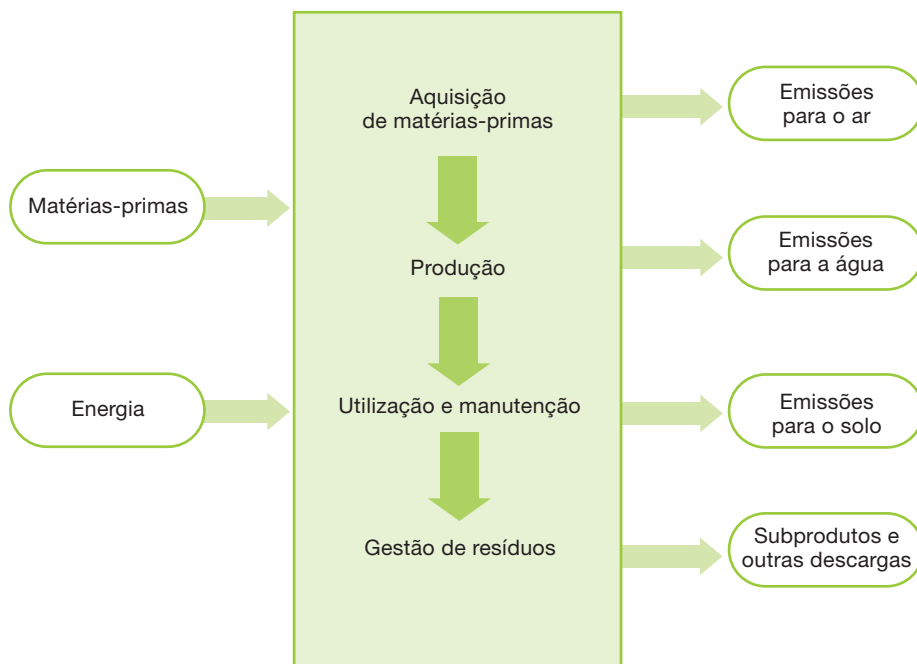


FIGURA 3. Inventário do ciclo de vida aplicado a um processo unitário do sistema.

No caso de existirem processos que resultem em mais do que um produto, ou os resíduos do produto sejam reciclados ou reutilizados para criar um novo produto, devem aplicar-se critérios de alocação que permitam uma adequada distribuição dos impactos entre os diferentes produtos.

### 4.3. Avaliação de impacto do ciclo de vida (EICV)

Nesta fase agrupam-se e avaliam-se os resultados do inventário do ciclo de vida de acordo com as categorias de impacto (por exemplo, potencial de aquecimento global, acidificação do solo e da água, etc.) selecionadas na fase de definição do objetivo e

do âmbito. Cada categoria é quantificada através de indicadores numéricos (como por exemplo, kg de CO<sub>2</sub> equivalentes), para os quais se aplicam métodos de avaliação dos impactes selecionados.

A avaliação de impactes inclui obrigatoriamente as seguintes etapas:

- *Classificação:* Imputação dos dados do inventário às categorias de impacte previamente selecionadas e seguindo o método de avaliação escolhido. Todas as entradas e saídas do inventário classificam-se nas diferentes categorias de impacte, de acordo com o tipo de alteração que podem provocar no ambiente. O resultado final é um inventário agrupado e simplificado onde apenas aparecem os fluxos energéticos e de materiais que afetam as categorias selecionadas.
- *Caracterização:* Avaliação da relevância dos diferentes fluxos energéticos e de materiais para poder assim calcular os indicadores numéricos de cada categoria de impacte (como por exemplo, kg de CO<sub>2</sub> equivalente para o aquecimento global). Baseia-se na conversão, para cada categoria de impacte, dos resultados do ICV a unidades comuns utilizando fatores de caracterização que representam a quantidade desse composto que, por ser emitido, teria um efeito no ambiente quantitativamente comparável à unidade base da categoria de impacte (por exemplo, 1 kg de CH<sub>4</sub> tem o mesmo efeito de aquecimento global que 21 kg de CO<sub>2</sub>). O resultado da caracterização descreve o perfil ambiental do sistema, composto pelo conjunto de indicadores ambientais das categorias de impacte consideradas.

O resultado final da caracterização é um inventário agrupado por categorias de impacte, avaliadas cada uma delas através de um indicador numérico.

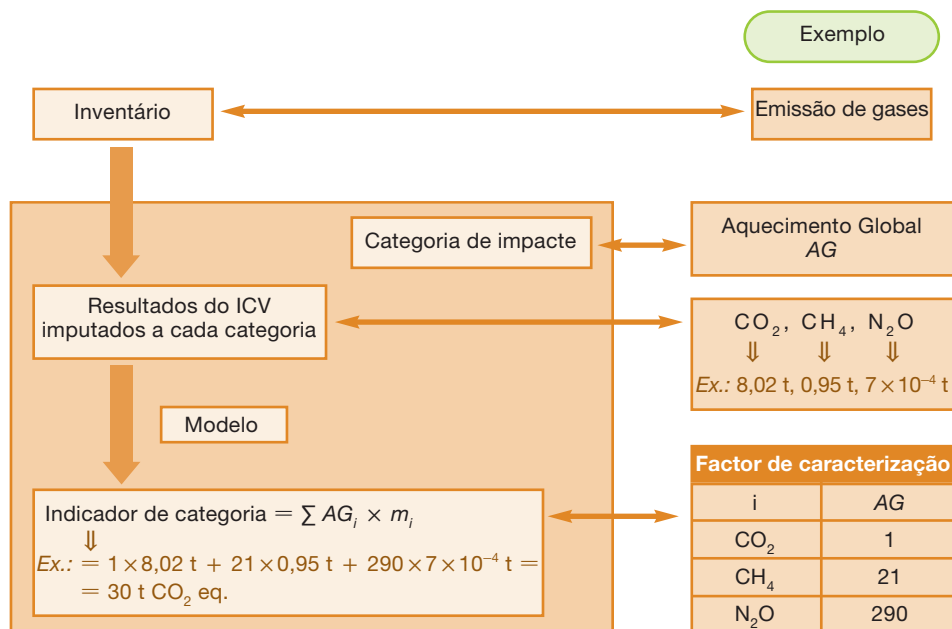


FIGURA 4. Fases de classificação e caracterização na AICV. Categoria de aquecimento global.

De forma opcional, os resultados numéricos da caracterização podem normalizar-se, agrupar-se e ponderar-se nas etapas seguintes:

- **Normalização:** Cálculo da importância relativa dos indicadores de impacte do sistema analisado em relação às magnitudes reais ou previstas à escala nacional, continental ou global para esses indicadores. Conhecer o grau de contribuição de cada categoria de impacte considerada num contexto mais global pode ajudar a compreender melhor a magnitude relativa dos indicadores numéricos obtidos na caracterização. Na normalização dividem-se os resultados da caracterização por fatores normalizados que expressam os resultados de impacte por área geográfica e tempo determinados (como, por exemplo, os impactes ambientais gerados por um cidadão médio europeu num ano).

- **Ponderação:** Ponderação (subjetiva) dos resultados das diferentes categorias de impacto com o objetivo de as poder comparar diretamente e inclusive agrupá-las num único indicador global. Nesta etapa, os resultados dos indicadores normalizados das diferentes categorias de impacto são convertidos em unidades comuns utilizando para isso fatores de ponderação numéricos baseados em valorizações subjetivas ou juízos de valor. Assim, por exemplo, num país afetado pelas consequências das alterações climáticas, esta categoria de impacto terá uma grande importância. Os fatores de valorização são obtidos através de critérios socioeconómicos, que se podem basear em valores monetários, normas fixadas pelas autoridades ou critérios estabelecidos por um painel de especialistas. Em qualquer dos casos, tal como reconhece a norma ISO 14044, não se tratam de fatores que tenham relevância científica.

Convém destacar que num determinado estudo podem utilizar-se diferentes metodologias de avaliação de impacto com o objetivo de comparar os resultados obtidos para as distintas categorias de impacto. As metodologias de avaliação incluem normalmente vários dos indicadores ambientais apresentados anteriormente. Entre as mais utilizadas em estudos de ACV, destacam-se as de CML 2001 [Guinée et al., 2002], Ecoindicador [Goedkoop e Spriensma, 2001] ou Recipe [Sleeswijk et al., 2008].

## Exemplo de classificação, caracterização e normalização dos impactos

Para compreender melhor as etapas anteriores propõe-se o exemplo seguinte. Dentro da categoria de impacto “aquecimento global”, incluem-se principalmente as emissões de gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, emitidos pela ação humana contribuindo para o sobreaquecimento do planeta. No entanto, cada um destes gases contribui com um peso diferente para o aquecimento global. Para realizar a caracterização toma-se como indicador de referência os kg de CO<sub>2</sub> emitidos, pelo que o seu fator de caracterização é a unidade (1). A partir daí, com base em estudos científicos (como os que publica periodicamente o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas)

sabe-se que o  $\text{CH}_4$  tem um efeito sobre o aquecimento global 21 vezes maior que o  $\text{CO}_2$ , enquanto o  $\text{N}_2\text{O}$  é 290 vezes superior. Por isso os fatores de caracterização do  $\text{CH}_4$  e do  $\text{N}_2\text{O}$  para o aquecimento global seriam de 21 e 290, respetivamente. Utilizando estes fatores, o indicador numérico da categoria “aquecimento global” seria obtido a partir da soma ponderada da massa emitida de cada um dos contaminantes multiplicada pelo seu fator de caracterização, de acordo com a fórmula seguinte:

$$\text{Aquecimento global (kg CO}_2 \text{ equivalente)} = \sum_i \text{AG}_i \times m_i$$

Onde:

- $\text{AG}_i$ : Fator de caracterização para o aquecimento global da substância  $i$  ( $\text{kg CO}_2/\text{kg}_i$ ).
- $m_i$ : Massa emitida da substância  $i$  ( $\text{kg}_i$ ).

Suponhamos que o sistema analisado, emite 8,02 t de  $\text{CO}_2$  (=8,02 t de  $\text{CO}_2$  eq.), 0,95 t de  $\text{CH}_4$  ( $\times 21 = 19,95$  t de  $\text{CO}_2$  eq.) e 0,0007 t de  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\times 290 = 2,03$  t de  $\text{CO}_2$  eq.), resultando num valor de caracterização de 30 t de  $\text{CO}_2$  eq. para a categoria de aquecimento global.

Na normalização pretende-se determinar o significado deste valor e compará-lo com um valor de referência. Para isso, com base em estudos científicos, sabe-se que a quantidade anual de  $\text{CO}_2$  emitida à escala global que contribui para o aquecimento global é de  $38 \times 10^9$  t de  $\text{CO}_2$ .

Este valor constituirá o fator de normalização para a categoria “aquecimento global”, pelo que as 30 t de  $\text{CO}_2$  eq. do sistema analisado serão divididas por esta quantidade:  $30 \text{ t de CO}_2 / 38 \times 10^9 \text{ t de CO}_2 = 89,47 \times 10^{-12}$ .

O resultado, valor adimensional, representa a ordem de magnitude do impacte ambiental do produto comparado com a carga ambiental total para essa categoria de impacte “aquecimento global”.



## 4.4. Interpretação dos resultados

Na fase de interpretação combinam-se os resultados das fases anteriores da ACV para obter conclusões e recomendações úteis para a tomada de decisões sobre o sistema analisado. Na interpretação englobam-se 3 elementos fundamentais:

- *Identificação das variáveis significativas:* que processos implicam um maior impacto e quais poderão ser ignorados.
- *Verificação dos resultados:* Pretende-se estabelecer e reforçar a confiança e fiabilidade dos resultados do estudo através de análises de integralidade, sensibilidade e de coerência. A análise de integralidade pretende assegurar que toda a informação relevante e os dados necessários para a sua interpretação estão disponíveis e completos. Na análise de sensibilidade avalia-se a fiabilidade dos resultados finais e das conclusões, determinando se estão afetados por incertezas nos dados ou nos métodos de avaliação selecionados. A análise de coerência avalia se os pressupostos, métodos e dados são coerentes com o objetivo e âmbito do estudo.
- *Conclusões e recomendações.*



## Oportunidades de utilização ou aplicação da ACV no setor da construção

A aplicação da metodologia de ACV em edifícios acarreta inúmeras oportunidades para o setor da construção ao facilitar a tomada de decisões por parte das empresas de construção, organizações governamentais e não governamentais, com vista ao planeamento de estratégias de ecoeficiência na edificação, como por exemplo:

- identificação de oportunidades para melhorar os impactos ambientais no setor da construção considerando o ciclo de vida completo dos edifícios,
- definição de prioridades para o ecodesign ou ecorreabilitação de edifícios,
- seleção adequada de fornecedores de materiais de construção e equipamentos energéticos,
- comparação de diferentes opções de design e de produtos concretos,
- definição de estratégias e políticas fiscais para gerir os resíduos de construção e o transporte de materiais,
- definição de novos programas de I+D+i e de regulamentos de ecoeficiência,
- implantação de políticas de apoio à construção e à reabilitação, etc.

Além disso, os estudos de ACV podem facilitar a concretização de um rótulo ambiental dos edifícios que, dependendo das políticas nacionais ou regionais, poderia permitir a obtenção de apoios e subsídios, bem como possíveis reduções de taxas e impostos, como consequência direta da redução do impacto ambiental.

Os utilizadores potenciais da ACV no setor da construção formam um grupo muito variado de atores, como sejam os fabricantes de produtos de construção, consultores, arquitetos, engenheiros, gestores energéticos da administração local e autonómica, planeadores urbanísticos ou promotores imobiliários, entre outros.

Tipo de utilizador	Fase do processo de construção	Objetivo da ACV
Planeadores urbanísticos e assessores municipais	Fases preliminares	Definição de objetivos a nível municipal, regional ou nacional. Informação de políticas de construção/reabilitação. Contratação e compras públicas ecológicas. Definição de objetivos para as zonas a desenvolver
Promotores imobiliários e clientes		Escolha da localização do edifício. Dimensionamento do projeto. Definição de objetivos ambientais para o edifício num determinado Programa
Fabricantes de produtos de construção	Primeiros projetos e projetos detalhados	Avaliação do impacto dos produtos de construção (Rótulos e Declarações Ambientais de Produto)
Arquitetos	Primeiros projetos e projetos detalhados de novos edifícios, em colaboração com engenheiros Design de projetos de reabilitação	Comparação de opções de design (geometria/orientação, opções técnicas)
Engenheiros/ Consultores	Primeiros projetos e projetos detalhados de novos edifícios, em colaboração com arquitetos Design de projetos de reabilitação	

TABELA 3. Utilizadores de ACV para edifícios.

Um estudo de ACV permite avaliar a influência que têm as principais decisões adotadas na fase de design do edifício na manutenção e nos custos associados ao

funcionamento, bem como os impactes ambientais reais do edifício. Deste modo é possível avaliar o potencial de poupança energética e redução de emissões associadas à implementação de diferentes soluções construtivas e arquitetónicas de baixo impacto a nível local, regional e global.

Assim a ACV permite a tomada de decisões tendo em conta a totalidade de impactes ambientais do ciclo de vida dos edifícios, evitando avaliações parciais de uma etapa ou um impacte ambiental (por exemplo a certificação energética avalia um só aspeto ambiental, consumo energético, e numa única etapa do ciclo de vida do edifício, a sua utilização).



Através da combinação da ACV com a Análise de Custos do Ciclo de Vida (ACCV) [Gluch e Baumann, 2004; Langdon , 2007], obtém-se uma maior rentabilidade económica dos investimentos relacionados com a construção e a reabilitação, contribuindo para uma melhoria da gestão energética dos edifícios. Esta combinação pode, por exemplo, ser utilizada para a seleção de soluções construtivas alternativas, identificando a solução técnica que satisfaz um dado objetivo ambiental com o menor custo, ou a contabilização do impacte ambiental para o mesmo custo.

Igualmente a utilização da ACV ajuda a promover a construção de Edifícios de Emissões Zero no Ciclo de Vida [Hernández e Kenny, 2010] com um impacte ambiental muito baixo, integrando técnicas avançadas de ecodesign arquitetónico, bio-construção, poupança energética, de água e materiais, e energias renováveis, obdendo a máxima eficiência dos recursos disponíveis e o máximo conforto térmico.



Também é de assinalar que a ACV permite realizar uma definição objetiva dos critérios mais adequados para a contratação e as compras públicas ecológicas. Na atualidade, apesar de que 40% da procura de obras de construção provém do setor público, são frequentemente desaproveitadas as possibilidades de contratação pública, que poderiam facilitar a procura de soluções sustentáveis orientadas para a inovação considerando as avaliações do ciclo de vida e de custo-benefício.

A nível de materiais e produtos de construção, a ACV permite realizar uma avaliação quantitativa dos seus impactes, favorecendo a sua melhoria e a rotulagem para comunicar os benefícios obtidos. A rotulagem de produtos é um mecanismo de carácter voluntário que permite distinguir os produtos fabricados com menor impacte no ambiente. Os rótulos ecológicos proporcionam ao comprador (profissional ou privado) informação sobre as repercussões ambientais dos produtos, auxiliando-o a comparar e escolher entre várias alternativas. Existem diferentes tipos de rótulos, sendo os de tipo III (ou Declarações Ambientais de Produto, DAP) as mais relacionadas com a metodologia da ACV. Este tipo de rótulos consiste numa declaração sobre os impactes ambientais gerados por um determinado produto ao longo do seu ciclo de vida (do berço ao túmulo) ou até à fase de produção (do berço ao portão); a informação declarada baseia-se na metodologia de ACV, aplicada seguindo regras específicas para a categoria de produto em questão. A Tabela 4 apresenta os principais programas de DAP (normalizados segundo a ISO 14025:2006, ISO 21930:2007 e EN 15804:2012) relacionadas com produtos do setor da construção existentes na atualidade a nível mundial.

As DAP de produtos concretos podem ser utilizadas na elaboração de estudos de ACV de sistemas mais complexos e mesmo de edifícios. Neste sentido, as DAP permitem dispôr de informação mais precisa dos seus materiais construtivos que a obtida a partir das bases de dados (públicas ou comerciais) existentes, que em geral contêm valores médios. Não obstante, até hoje e devido ao carácter voluntário das DAP, estas existem apenas para um reduzido, ainda que crescente, número de produtos.



Sistema/Programa DAP	Administrador	País	Logótipo e página web
Déclaration sur les caractéristiques écologiques de produits utilisés dans la construction	SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein)	Suíça	 <a href="http://www.sia.ch">http://www.sia.ch</a>
BRE	BRE Environmental Profiles Certification	Reino Unido	 <a href="http://www.bre.co.uk">http://www.bre.co.uk</a>
MRPI® (Milieu Relevante Product Informatie)	NVTB (Nederlands Verbond Toelevering Bouw)	Holanda	 <a href="http://www.mrpi.nl">http://www.mrpi.nl</a>
Umwelt-Deklarationen (EPD)	IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V.)	Alemanha	 <a href="http://bau-umwelt.de">http://bau-umwelt.de</a>
Programme de Déclaration Environnementale et Sanitaire pour les produits de construction (FDE&S)	AFNOR Groupe	França	 <a href="http://www.inies.fr">http://www.inies.fr</a>
RT Environmental Declaration	The Building Information Foundation RTS	Finlândia	 <a href="http://www.rts.fi">http://www.rts.fi</a>
EPD - Noruega	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner	Noruega	 <a href="http://www.epd-norge.no">http://www.epd-norge.no</a>
EPD® system	International EPD Consortium	Internacional	 <a href="http://www.environdec.com">http://www.environdec.com</a>
The Green Standard EPD System	The Green Standard	Estados Unidos	 <a href="http://www.thegreenstandard.org">http://www.thegreenstandard.org</a>
DAPc - Declaración Ambiental de Productos en el sector de la Construcción	CAATEEB (Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona)	Espanha	 <a href="http://es.csostenible.net">http://es.csostenible.net</a>

TABELA 4. Principais programas de DAP do setor da construção a nível mundial.



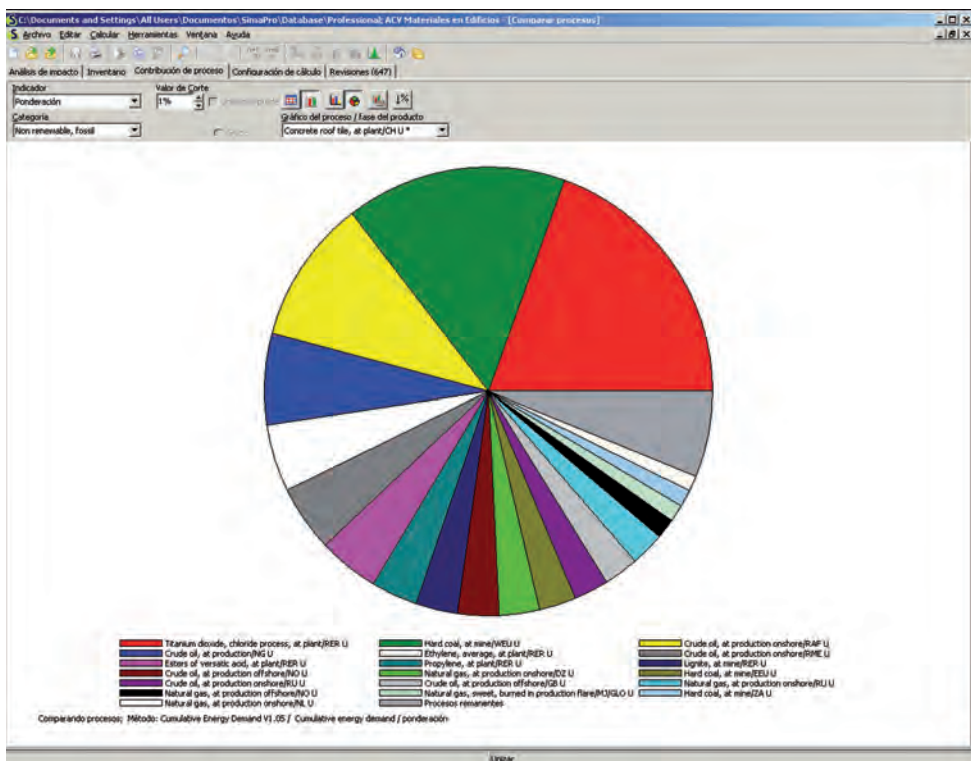
## Principais ferramentas que permitem aplicar a ACV no sector da construção

Com o objetivo de facilitar a aplicação da ACV, têm sido desenvolvidos nas últimas décadas programas informáticos que ajudam o analista a fazer o inventário do ciclo de vida, calcular os resultados da avaliação de impactes e interpretar os resultados.

Algumas destas ferramentas são de carácter geral, como o GaBi (PE International, Alemanha) ou o SimaPro (PRé Consultants, Países Baixos), ou seja, podem ser utilizados para avaliar qualquer tipo de produto. Outras têm sido desenvolvidas especificamente para aplicação no setor da construção, de forma que, por exemplo, incluem módulos predeterminados para descrever os principais componentes do edifício, permitindo assim que peritos não utilizadores da metodologia da ACV a possam aplicar. São exemplos deste tipo de ferramentas, o BEES (NIST, EUA), o SBS (Fraunhofer, Alemanha) ou o Elodie (CSTB, França).

No caso das aplicações informáticas de ACV de uso geral o utilizador tem mais liberdade na altura de seleccionar as hipóteses de partida. Não obstante, requerem normalmente um grande conhecimento da metodologia de ACV e um maior tempo de utilização, já que também é preciso utilizar outras ferramentas para quantificar as massas dos diferentes materiais de construção utilizados, os consumos energéticos do edifício, etc. No caso das ferramentas adaptadas, as interfaces estão mais adaptadas à análises de edifícios, simplificando e agilizando a entrada de dados e a interpretação dos resultados obtidos, e integrando os diferentes cálculos requeridos na mesma aplicação.





Para além da sua facilidade de utilização, outro aspeto importante na altura de utilizar uma destas ferramentas é saber se dispõem de bases de dados ambientais que ajudem a realizar o Inventário do Ciclo de Vida. Os dados podem proceder de uma ou mais bases de dados, em função dos requisitos de qualidade definidos. A Tabela 5 apresenta as principais bases de dados de inventário do ciclo de vida que se podem utilizar nos estudos de ACV.

Nos últimos anos, à medida que mais DAP vão sendo publicadas, vão-se desenvolvendo bases de dados com informação sobre os impactes ambientais de produtos de construção. Assim, programas como o Elodie alimentam-se da base de dados de DAP francesa (base de dados INIES), enquanto que o Sustainable Building Specifier (SBS) faz o mesmo com as DAP alemãs (base de dados Ökobau).

Base de dados (ano)	Conteúdo	Entidade	Nº de processos (2010)
ELCD core database v.II (2009)	Materiais, transformação de energia, transportes e gestão de resíduos	Diversas entidades, associações e organizações europeias < <a href="http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vm">http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vm</a> >	316
U.S. Life-Cycle Inventory database v.1.6.0 (2008)	Fluxos de energia e materiais para os processos unitários mais comuns	National Renewable Energy Laboratory (Estados Unidos) < <a href="http://www.nrel.gov/lci/database">www.nrel.gov/lci/database</a> >	355
Ecoinvent v1.2 (2005)	Grande variedade de processos incluindo energia, transportes, materiais de construção, produtos químicos, agricultura, gestão de resíduos, etc. da Suíça e Alemanha	Ecoinvent centre (Suíça) < <a href="http://www.ecoinvent.ch">www.ecoinvent.ch</a> >	2.700
Ecoinvent v2.0 (2007)			4.000
IVAM LCA Data v.4.06 (2004)	Dados holandeses sobre materiais, transportes, energia e tratamento de resíduos	IVAM Environmental Research (Holanda) < <a href="http://www.ivam.uva.nl/index.php?id=164&amp;L=1">www.ivam.uva.nl/index.php?id=164&amp;L=1</a> >	1.350
Boustead Model v.5.0.12 (2006)	Ampla base de dados de materiais, produção de combustíveis e energia	Boustead Consulting Limited (Reino Unido) < <a href="http://www.boustead-consulting.co.uk">www.boustead-consulting.co.uk</a> >	-
Athena database v.4 (2009)	Consumos energéticos e emissões de produtos de construção ao longo da sua vida útil	Athena Institute (Canadá) < <a href="http://www.athenasmi.org/tools/database/index.html">www.athenasmi.org/tools/database/index.html</a> >	1.200
Idemat (2001)	Base de dados holandesa, compilada a partir de diferentes fontes	Delft Technical University (Países Baixos) < <a href="http://www.io.tudelft.nl">www.io.tudelft.nl</a> >	508
Gabi database	Base de dados que inclui processos do setor agrícola, da construção, produtos químicos, eletrónica e TIC, energia, alimentação, metais, mineração de produtos industriais, plásticos, etc.	PE International < <a href="http://www.gabi-software.com">www.gabi-software.com</a> >	4.500
ETH-ESU (1996)	Ampla base de dados suíça centrada em energia, transportes e resíduos	ETH-ESU (Suíça) < <a href="http://www.uns.ethz.ch">www.uns.ethz.ch</a> >	1.200
GEMIS 4.5 (2009)	Base de dados gratuita que engloba processos energéticos e de transportes, materiais, processos de reciclagem e de tratamento de resíduos	Öko-Institut (Alemanha) < <a href="http://www.gemis.de">www.gemis.de</a> >	-

TABELA 5. Principais bases de dados para estudos de ACV.





## A ferramenta EnerBuiLCA

No contexto das ferramentas para aplicação da ACV no sector da construção, através do projeto EnerBuiLCA desenvolveu-se um software que permite, mediante a introdução de informação básica sobre um edifício completo, ou sobre uma solução construtiva, a avaliação dos impactes ambientais das etapas de produção, construção e utilização.

A ferramenta EnerBuiLCA está acessível a partir da plataforma on-line da Rede Temática do projeto ([www.enerbuiLCA-sudoe.eu](http://www.enerbuiLCA-sudoe.eu)), e baseia-se na metodologia de ACV, como se descreve nas normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. As especificações técnicas e os métodos de cálculo descritos nas normas EN 15.643-1, EN 15643-2, EN15804 e EN 15978 foram igualmente considerados no desenvolvimento da ferramenta.

Em relação à definição **dos objetivos e do âmbito do estudo**, a ferramenta EnerBuiLCA permite a avaliação das etapas de produção, construção e utilização dum edifício ou solução construtiva. A etapa do fim de vida não está incluída nos limites do sistema a avaliar devido às dificuldades encontradas na pesquisa de informação sobre esta etapa em projetos similares desenvolvidos previamente, como é o caso do CICLOPE (Projeto Singular Estratégico / Ministério Espanhol de Ciência e Inovação).

Na etapa da produção incluem-se os processos relacionados com: fornecimento de matérias-primas, transporte até à porta da fábrica, e processos de fabricação dos produtos de construção, incluindo o tratamento dos resíduos derivados destes processos (ver Tabela 1).

A etapa da construção inclui o transporte dos produtos de construção da porta da fábrica para o estaleiro de construção, a energia requerida pela maquinaria utilizada nesta etapa e o transporte dos resíduos gerados em estaleiro (ver Tabela 1).

Na etapa da utilização em estrito senso deverá ter-se em consideração a procura final de energia para aquecimento, arrefecimento, águas quentes sanitárias e iluminação, assim como a contribuição dos sistemas de energias renováveis. Em Portugal, esta procura de energia operacional final calcula-se de acordo com o RCCTE (edifícios de habitação) ou o RSECE (edifícios de serviços). O funcionamento de equipamentos (escadas rolantes, por exemplo) e os serviços associados ao edifício (por exemplo, procura de água, tratamento de águas residuais em ETAR municipais, a mobilidade dos utilizadores, os produtos de consumo e os resíduos sólidos) foram excluídos da análise e conseqüentemente do âmbito desta ferramenta. Os processos de manutenção do edifício, que geralmente incluem a substituição de diferentes elementos (por exemplo, janelas, portas e outros elementos) são incluídos na etapa da utilização. Estes incluem a produção de novos produtos ou sistemas, o transporte da fábrica para a obra, e a deposição final dos produtos/sistemas substituídos. A informação sobre a vida útil destes elementos obtém-se através das diferentes declarações ambientais de produto (DAP) disponíveis.

Relativamente às **categorias de impacte** a considerar, em primeira aproximação, esta ferramenta apenas contempla uma categoria de impacte ambiental: o aquecimento global, e um indicador de impacte: o consumo de energia primária. Esta opção justifica-se por se pretender que esta ferramenta ofereça um passo preliminar, ou de adaptação, para um utilizador sem experiência em ACV, antes de passar a utilizar a metodologia completa. Atualmente grande parte do impacte ambiental nos edifícios deve-se ao consumo de energia, e neste consumo é possível discriminar os efeitos das diferentes fontes de energia utilizadas (renováveis ou não renováveis e, dentro destas últimas, entre carvão, nuclear, petróleo, etc.).



Seguindo os exemplos do Elodie (França) ou do SBS (Alemanha), o software Ener-BuiLCA é alimentado por uma base de dados que foi especificamente criada para este projeto. A estratégia seguida para o desenvolvimento desta base de dados consistiu na compilação da informação ambiental disponível nas DAP de produtos de construção registadas em diferentes sistemas de rotulagem ecológica, tais como o DAPc, Deklaration Umwelt, o Sistema Internacional EPD, etc. (CAATEEB 2012; IBU 2012; Environdec 2012), o que simplifica em grande medida a fase inicial do inventário de ciclo de vida. Assim, desenvolveram-se três bases de dados diferentes: (1) produtos da construção, incluindo 26 produtos diferentes; (2) soluções construtivas, incluindo informação ambiental e técnica de soluções representativas para Espanha, França e Portugal; e (3) informação genérica, que inclui informação sobre as fontes de energia e transporte.

**Cálculo de resultados:** A ferramenta apresenta uma interface através da qual o utilizador poderá criar um projeto de edifício para avaliação. Com este objetivo, o designer introduz informação básica sobre o edifício alvo (obra nova, reabilitação) na

ferramenta, tal como: tipo de edifício, requisitos técnicos e funcionais, tipo de utilização e período de vida útil. Uma vez concluído este passo, o designer pode utilizar a base de dados de soluções construtivas que fazem parte do edifício e, depois de introduzir a informação sobre o consumo de energia operacional relativa à etapa da utilização (calculada com uma ferramenta de simulação), obter informação em tempo real sobre o consumo de energia e emissões de GEE associadas.

O designer de edifícios poderá assim avaliar quer edifícios completos quer soluções construtivas. Uma vez que atualmente a base de dados de produtos para construção, e para sistemas construtivos, contém uma quantidade limitada de informação, o designer também poderá modificar a informação aí existente sobre produtos e soluções construtivas e/ou criar novos produtos ou sistemas construtivos, para adequar a informação ao cenário real objeto de estudo. Quanto a esta última informação, apenas passará a fazer parte da base de dados publicável de produtos de construção a informação que tenha sido sujeita a um processo de validação por parte dos administradores da ferramenta. Assim, a base de dados ambiental para produtos poderá ir-se ampliando à medida que aumenta a sua utilização.

A ferramenta EnerBuiLCA foi validada em 20 casos piloto diferentes em diversas regiões da área SUDOE de Espanha, França e Portugal. Mediante a utilização da ferramenta obtêm-se, em tempo real, resultados de impacte que permitem a diferentes utilizadores considerar diferentes opções de design no momento de projetar edifícios e com facilidade interpretar resultados.



## Um exemplo prático de aplicação de ACV no setor da construção: ACV de ladrilhos cerâmicos

A informação presente neste capítulo foi extraída pelo iMat (atualmente: Centro Tecnológico ASCAMM), principalmente da referência: Benveniste et al. (2011) descrita no capítulo 10. Referências, onde também se podem identificar outros artigos e comunicações técnicas complementares sobre ladrilhos cerâmicos e o uso da metodologia de ACV. O texto final foi revisto pela ASCER - Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos.

Recordamos que a finalidade deste documento é oferecer uma perspetiva prática sobre a utilidade da metodologia de ACV. De forma a obter informação adicional, ou mais detalhada, sobre o impacte ambiental dos ladrilhos cerâmicos, recomenda-se a consulta da bibliografia correspondente ou o contacto direto com a associação ASCER.



FIGURA 5. Algumas aplicações de ladrilhos cerâmicos. Fonte: [www.ascer.es..](http://www.ascer.es..)



## 8.1. Motivação / Objetivos da aplicação da metodologia de ACV

O objetivo principal é conhecer a natureza e amplitude dos impactos ambientais durante o ciclo de vida de ladrilhos cerâmicos (produção, distribuição, utilização e gestão do fim de vida), com a finalidade de focalizar esforços para a redução de impactos negativos e melhoria da sustentabilidade do produto face a outros produtos emergentes e materiais concorrentes.

Considera-se a ACV uma ferramenta valiosa para enfrentar dificuldades, como as derivadas da crise económica global atual, e detetar oportunidades potenciais de melhoria permitindo assim desenvolver planos estratégicos de inovação e diferenciação do produto baseados na variável ambiental.

Outro objetivo do estudo de ACV dos ladrilhos cerâmicos é dispor a nível setorial de informação inicial para a redação das Regras de Categoria de Produto (RCP) para este tipo de revestimento. As RCP são um conjunto de orientações para a elaboração das Declarações Ambientais de Produto (declaração Tipo III, conforme a classificação ISO) e para a elaboração da ACV que as alimenta. Entre outras coisas, as RCP determinam qual deve ser a unidade funcional a aplicar, categorias de impacto a avaliar, os limites do sistema estudado, bem como os requisitos de qualidade dos dados.

Cliente: ASCER (Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos); apoio financeiro: IMPIVA (Instituto de la Mediana y Pequeña Industria Valenciana de la Generalitat Valenciana) e Fundo FEDER, através dos Planos Sectoriais Espanhóis para a Competitividade.

- Empresas colaboradoras fabricantes de produtos ou sistemas: Mais de 50 empresas do setor da fabricação de ladrilhos cerâmicos e afins, ligadas à ASCER (representantes de aproximadamente 50% da produção espanhola).
- Equipa que aplicou a metodologia de ACV: GiGa (ESCI-UPF) e ITC (Instituto de Tecnología Cerámica de la Universidad Jaume I).

## 8.2. Descrição do produto

Os ladrilhos cerâmicos são peças planas de espessura reduzida, fabricadas com argilas, sílica, fundentes, corantes e outras matérias-primas. Em geral são utilizados como pavimentos para solos, e revestimentos de paredes e fachadas.

Os ladrilhos cerâmicos, tanto de pavimento de solo como de revestimento de paredes, são peças cerâmicas impermeáveis que são normalmente constituídas por um suporte argiloso e uma cobertura vítrea: o esmalte cerâmico. As argilas utilizadas na composição do suporte podem ser de pasta vermelha ou de pasta branca.

A ampla gama de produtos cerâmicos existente no mercado atual está condicionada pelos variados tipos de utilização deste material na arquitetura e na decoração de interiores. Em função da sua aplicação, existem diferentes tipologias de produto e características [ASCER].

## 8.3. Utilização da ACV no caso de estudo

O estudo do ciclo de vida dos ladrilhos cerâmicos a nível setorial foi realizado de acordo com as normas ISO sobre ACV [ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006].

Resumem-se de seguida alguns aspetos relativos à metodologia de ACV e às fases em que a análise se estrutura: definição do objetivo e âmbito do estudo, inventário, avaliação de impacto, e interpretação dos resultados [Benveniste et al., 2011].

### Objetivo e âmbito

- Função principal: pavimentar (solos) ou revestir (paredes).
- Unidade funcional (UF): revestimento de 1 m<sup>2</sup> de superfície (parede ou solo) de um edifício com grés/azulejo durante 50 anos, considerando uma utilização residencial, comercial ou sanitária.

- Descrição do produto analisado: Foram analisados no estudo os desempenhos ambientais de três tipos de ladrilhos (azulejo, grés porcelânico e grés esmaltado), considerando duas colorações do suporte distintas. Para o revestimento de paredes, foram considerados os azulejos de coloração branca e vermelha, agrupados como azulejo médio. Para o pavimento, foram considerados o grés porcelânico médio, o grés esmaltado de coloração branca e o de coloração vermelha, agrupados como grés esmaltado médio.

## Fronteiras do sistema

- São estudadas todas as etapas do ciclo de vida, distinguindo 4 etapas principais: extração, transporte até à fábrica e fabricação do ladrilho cerâmico [A], transporte até ao edifício e aplicação [B], utilização e manutenção [C], desconstrução e fim de vida [D]. (Ver Figura 6).

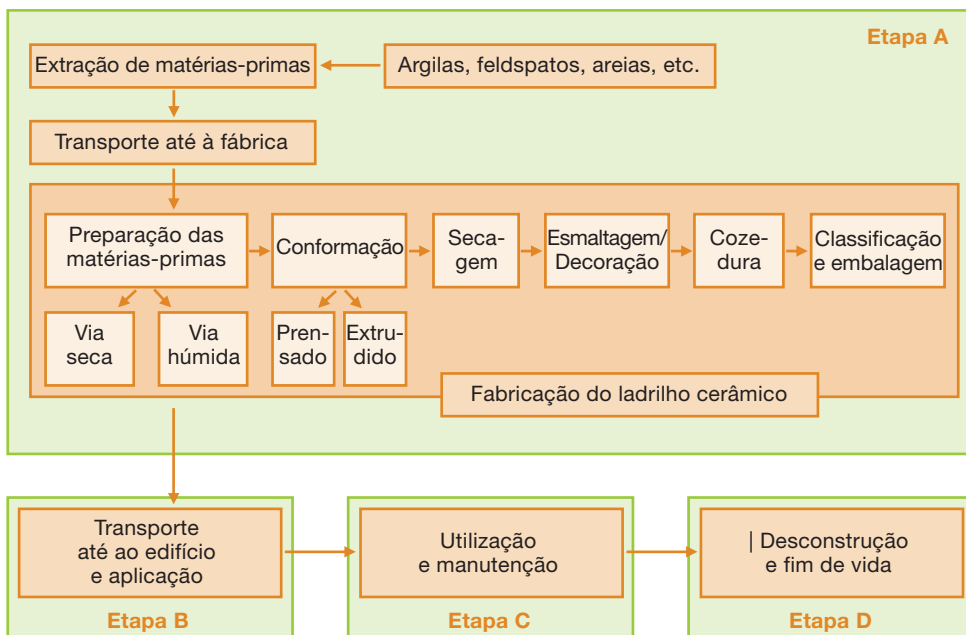


FIGURA 6. Etapas consideradas no Ciclo de Vida. Fonte: ITC e ASCER, 2008.

- Ficam fora das fronteiras do sistema a produção da maquinaria e equipamentos industriais (devido à sua reduzida relevância em relação ao processo produtivo), bem como as operações de reciclagem de resíduos (dado que fazem parte do ciclo de vida do produto reciclado). Foram considerados desprezíveis os impactos gerados por matérias-primas constituintes do ladrilho cujo peso seja inferior a 1% do peso total do ladrilho.

## Inventário

A informação foi obtida a partir de dados agregados de processos nalguns casos e dados de processos unitários noutros casos, segundo a disponibilidade de dados das empresas. Por se tratar de uma análise a nível setorial, os dados utilizados são dados médios ponderados em função da produção, estabelecidos entre um número representativo de fabricantes do setor, não se podendo atribuir, portanto, os dados e os resultados a um único fabricante

- *Etapa A:* Foram recolhidos dados médios das matérias-primas constituintes de cada tipo de ladrilho, bem como o tipo de transporte utilizado até à fábrica e as distâncias médias recorridas. Para cada tipo de ladrilho, foram calculados os consumos de água, energia, emissões atmosféricas e resíduos gerados ao longo de todo o seu processo de fabrico. A maior parte dos resíduos gerados no processo de fabrico, exceto os resíduos das embalagens, são reintroduzidos na etapa de produção dos ladrilhos ou são excluídos por fazer parte das operações de manutenção das instalações (fora das fronteiras do sistema).
- *Etapa B:* Os ladrilhos cerâmicos são comercializados em todo o mundo. As distâncias médias e tipo de transporte utilizado relacionados com a produção total de ladrilhos cerâmicos foram definidos a partir de dados estatísticos. A aplicação é realizada de forma manual e foi considerada a utilização de argamassa adesiva 1:4 para a sua fixação, com rendimentos por m<sup>2</sup> adequados a cada tipo de ladrilho. Para a definição dos cenários possíveis de gestão dos

resíduos dos materiais de embalagem foram utilizados dados médios de recolha seletiva dos diferentes tipos de resíduos.

- *Etapa C:* Foi considerada a limpeza higiénica, supondo uma determinada frequência de limpeza ao longo da sua vida útil e estimando consumos de água e detergente a partir de referências bibliográficas. Para o período temporal estabelecido de 50 anos não são necessárias outras actividades de manutenção ou substituição.
- *Etapa D:* Foi considerado que 87% dos resíduos são depositados em aterro e os 17% restantes são revalorizados através da sua reutilização como material de enchimento, estimando-se uma distância média de 50 km entre o edifício e o aterro.

## Avaliação de impacto

Foram escolhidas as categorias de impacto ambiental recomendadas na EN 15804 sobre Declarações Ambientais de Produto para o setor da construção:

- Esgotamento de recursos abióticos (ERA).
- Potencial de acidificação (PA).
- Potencial de eutrofização (PE).
- Potencial de aquecimento global (PAG).
- Potencial de depleção da camada de ozono estratosférico PDOE).
- Potencial de formação de ozono fotoquímico (PFOF).

Foi utilizada a metodologia CML 2002 para a classificação e caracterização dos impactos ambientais [Guinée et al., 2002].

Para além disso, foram incluídos uma série de indicadores de fluxo para auxiliar a tomada de decisões e a interpretação dos resultados. Estes indicadores são: consumo de energia primária (MJ) e consumo de água (kg).

## 8.4. Resultados

A Tabela 6 mostra o perfil ambiental para cada tipo de ladrilhos.

Tipologia	Unidades	Grés porcelânico médio	Grés esmaltado médio	Azulejo médio
Esgotamento de Recursos Abióticos	kg de Sb eq.	1,1 E-01	1,1 E-01	1,0 E-01
Potencial de Acidificação	kg de SO <sub>2</sub> eq.	7,9 E-02	7,0 E-02	6,8 E-02
Potencial de Eutrofização	kg de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	9,6 E-03	9,1 E-03	8,9 E-03
Potencial de Aquecimento Global	kg de CO <sub>2</sub> eq.	1,8 E+01	1,7 E+01	1,9 E+01
Potencial de Depleção do Ozono Estratosférico	kg de R11 eq.	2,1 E-07	1,7 E-07	1,8 E-07
Potencial de Formação do Ozono Fotoquímico	kg de C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	2,0 E-02	2,0 E-02	1,9 E-02
Consumo de Energia Primária	MJ	3,0 E+02	2,9 E+02	3,0 E+02
Consumo de Água	kg	3,4 +02	3,3 E+02	3,4 E+02

TABELA 6. Perfil ambiental de cada tipo de baldosas (unidades/m<sup>2</sup>) [Benveniste G. et al., 2011].

Nas Figuras 7, 8 e 9 podem observar-se, respetivamente, a contribuição de cada etapa do ciclo de vida para o valor total de cada uma das categorias de impacte avaliadas para o Grés porcelânico médio, o Grés esmaltado médio e o Azulejo médio.

As etapas que mais influenciam, tanto os indicadores ambientais (água e energia), como as categorias de impacte estudadas, são as de fabricação e utilização. Tem ainda de se considerar que a etapa da utilização está sujeita a hábitos que dependem do utilizador e do cenário em que se encontre, podendo portanto ser um dado subjetivo.

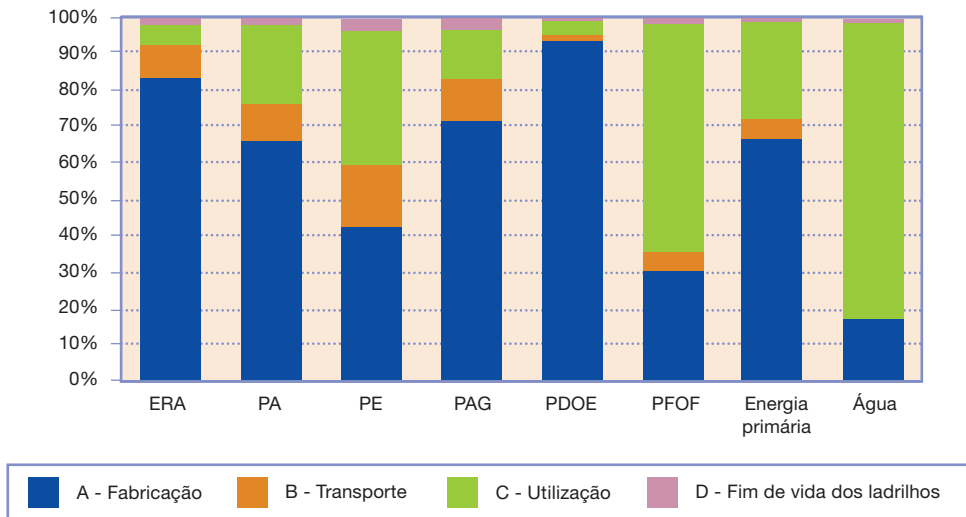


FIGURA 7. Contribuição das etapas do ciclo de vida para as categorias de impacto para o Grés Porcelânico médio [Benveniste G. et al., 2011].

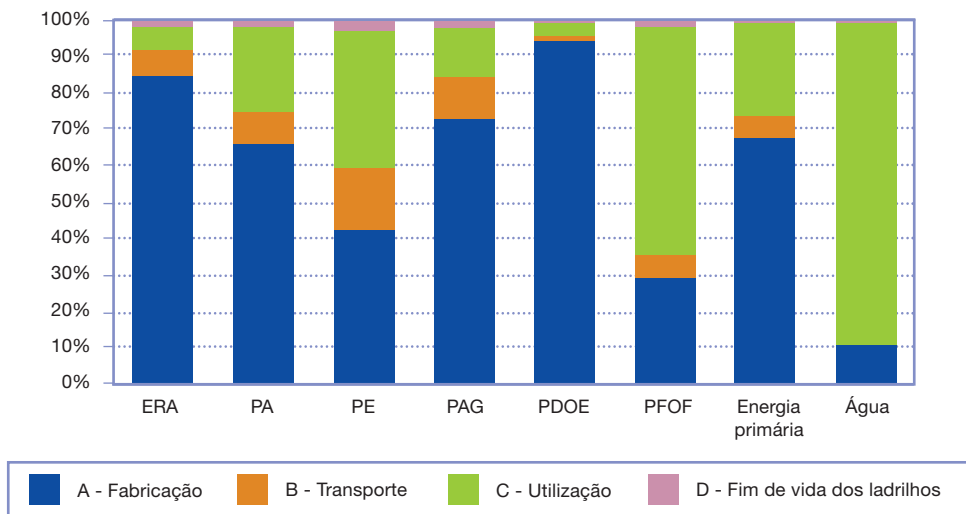


FIGURA 8. Contribuição das etapas do ciclo de vida para as categorias de impacto para o Grés Esmaltado médio [Benveniste G. et al., 2011].

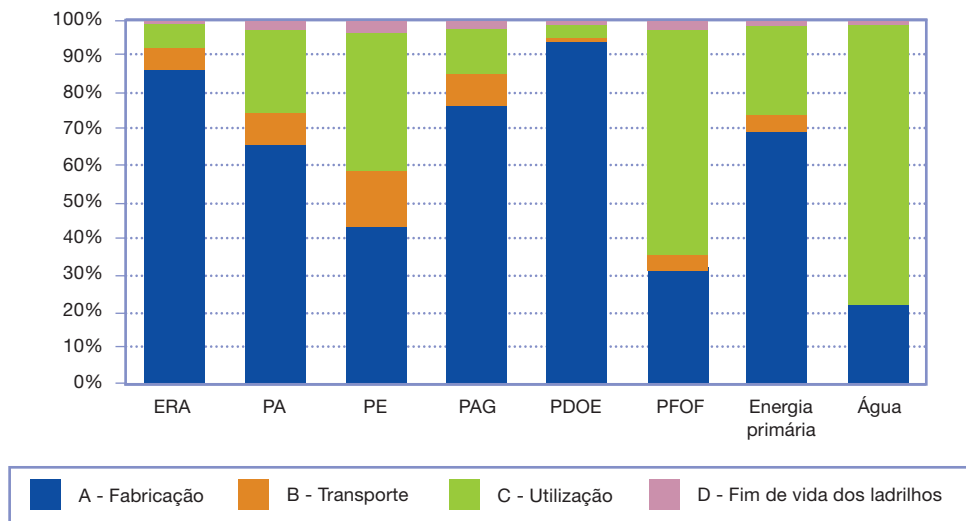


FIGURA 9. Contribuição das etapas do ciclo de vida para as categorias de impacto para o Azulejo médio [Benveniste G. et al., 2011].

## 8.5. Conclusões

O estudo permitiu identificar as possibilidades reais de redução do consumo energético para o setor dos ladrilhos cerâmicos, tendo em conta a elevada implantação de Melhores Técnicas Disponíveis no setor [Benveniste et al., 2011].

O estudo de ACV dos ladrilhos cerâmicos a nível setorial permitiu redigir as Regras da Categoria de Produto, que são um conjunto de diretrizes que orientam a elaboração das Declarações Ambientais de Produto (rótulo ecológico Tipo III segundo a classificação ISO) [Regras da Categoria de Produto para produtos de cobertura cerâmica, 2010].

Foram elaboradas até à data nove DAP de ladrilhos cerâmicos em Espanha aplicando estas RCP [Agenda de la construcció sostenible].



Constata-se que a metodologia de ACV é uma ferramenta valiosa quando é necessário enfrentar dificuldades derivadas da crise económica global e identificar o potencial de melhoria para assim poder desenvolver planos estratégicos de diferenciação e inovação do produto baseados na variável ambiental. Um exemplo é dado pelo projeto DAPCER: “Desarrollo de una herramienta simplificada para la obtención de distintivos ambientales”, cuja finalidade é aumentar a competitividade das empresas mediante a elaboração de Avaliações de Ciclo de Vida e Declarações Ambientais de Produtos para ladrilhos cerâmicos, de uma forma mais rápida e económica. O DAPCER está a ser desenvolvido pelo ITC, em conjunto com a Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático, a pedido da ASCER, sendo financiado pelo IMPIVA através do fundo europeu FEDER [RUVID].



## Estado da arte da ACV no setor da construção e propostas de melhoria

Observa-se na atualidade uma aplicação reduzida da abordagem do ciclo de vida no setor da construção, estando ainda restringida a edifícios muito específicos, como por exemplo, os de carácter demonstrativo ou piloto no quadro de projetos de I+D+i, ecobairros ou ecocidades, edifícios representativos, como as sedes de grandes empresas, etc. São exemplos disso os casos da análise ambiental comparativa realizada para a VISESA entre dois bairros de habitação social localizados em Vitoria-Gasteiz com o objetivo de avaliar os efeitos da industrialização da construção, a ACV simplificada realizada para o Consórcio de Playa de Palma sobre a elaboração do projeto de reabilitação de um bloco de apartamentos plurifamiliar ou a ACV realizada para 60 apartamentos de uma nova instalação em Tossa de Mar (Gerona) promovidas pela Incasòl. Através do projeto EnerBuiLCA, são fornecidos 20 novos exemplos de aplicação da perspectiva do ciclo de vida a edifícios.

Atualmente nas regiões da área SUDOE os estudos de ACV a nível de edifícios são desenvolvidos de forma ainda incipiente e em casos muito pontuais, principalmente por centros de I+D e universidades bem como por algumas consultoras especializadas. Por outro lado, a nível dos produtos, a ACV é utilizada ainda muito ocasionalmente (ainda que de maneira crescente), pelas empresas fabricantes de materiais de construção, na elaboração das suas declarações ambientais de produto e outras informações.

Contudo, e apesar das importantes oportunidades que teria uma universalização do uso da ACV, existem atualmente diversas barreiras e obstáculos a superar para

conseguir a sua aplicação generalizada aos edifícios. As barreiras principais são técnicas —associadas à disponibilidade de ferramentas e bases de dados adequadas ao setor—, de formação —associadas à disponibilidade de um corpo técnico suficientemente capacitado, especialista e alargado a todo o território— e económicas —associadas ao custo elevado da implantação da ACV na construção, seja pela falta de ferramentas e informação, seja pela falta de pessoal qualificado, ou pelo tempo necessário para a realização deste tipo de estudos—. Em consequência disso, a ACV é vista, em geral, como uma metodologia complicada por parte dos agentes do setor da construção, existindo dificuldades na compreensão dos seus resultados. Tal deve-se, em grande parte, ao escasso conhecimento desta metodologia como indicam, por exemplo, os resultados de diversos inquéritos realizados entre os profissionais.

No entanto, a barreira seguramente mais importante para uma utilização mais alargada da ACV na construção é a falta de requisitos legais e de incentivos, que leva a uma procura reduzida da realização deste tipo de estudos. Por exemplo, na atualidade não existe praticamente nenhum vínculo entre a ACV e os procedimentos de certificação energética desenvolvidos nos últimos anos. Por isso, em alguns casos pode dar-se a contradição de obter uma melhor qualificação energética, apesar de induzir um maior consumo de energia primária em termos globais, já que a energia incorporada nos materiais de construção não é considerada na certificação energética. A incorporação da ACV nos procedimentos atuais de certificação energética de edifícios permitiria melhorar estes procedimentos valorizando a energia incorporada nos materiais de construção, o impacto dos transportes associados e a deposição final dos materiais, obtendo uma melhor aproximação ao impacto ambiental real do edifício, e promovendo a construção sustentável de ecoedifícios e a inovação no setor da construção, bem como promovendo a reabilitação de edifícios aumentando a sua durabilidade e, por sua vez, reduzindo os impactes ambientais devidos à nova edificação evitada.



Portanto, as ações principais que teriam de ser implantadas para superar as barreiras anteriores são: formação e sensibilização geral sobre a importância da ACV dirigida a todos os agentes do setor, apoio económico à realização de estudos e projetos, oferta de informação resumida e guias simples como auxílio ao projeto de edifícios novos e reabilitação, e estabelecimento de requisitos legais relativos à consideração dos impactos ambientais na totalidade do ciclo de vida dos edifícios, e não apenas na etapa de utilização, como sucede atualmente. Através do desenvolvimento do projeto EnerBuiLCA, este manual explicativo, em conjunto com o manual da ferramenta, cursos de formação, etc., pretende-se contribuir para as ações de formação e sensibilização para superar as barreiras da ACV.

O intenso desenvolvimento de nova legislação sobre eficiência energética de edifícios produzida durante os últimos anos faz com que os diferentes agentes envolvidos se queixem de falta de tempo para se adaptar à nova legislação e aplicar todos os novos requisitos legais. Neste sentido, as ferramentas simplificadas de ACV, como a EnerBuiLCA, poderiam ser um excelente complemento dos procedimentos atuais de

certificação energética de edifícios para obter uma contabilização real da energia e emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao edifício, incorporando as etapas de produção de materiais, transporte e deposição final. Esta maior utilização da abordagem do ciclo de vida poderia produzir uma melhoria da eficiência energética do setor da construção em termos globais e, além disso, do perfil ambiental dos materiais utilizados promovendo a sua reutilização e/ou reciclagem.



## Referências

- Adalberth K, Almgren A, Holleris E., 2001. Life cycle assessment of four multi-family buildings. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings* 2:1-21.
- Agenda de la construcció sostenible. <[www.csostenible.net](http://www.csostenible.net)>.
- Andrews E.S., et al., 2009. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. ISBN: 978-92-807-3021-0.  
<[http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines\\_sLCA.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf)>.
- Aranda A., Zabalza I., Martínez A., Valero A., Scarpellini S., 2006. *El análisis de ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial*. ISBN: 84-96169-74-X. Fundación Confemetal, Madrid.
- ASCER - Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos. <[www.ascer.es](http://www.ascer.es)>.
- Bekker P.C.F., 1982. A life-cycle approach in building. *Building and Environment* 17(1):55-61.
- Benveniste G., Gazulla C., Fullana P., Celades I., Ros T., Zaera V., Godes B., 2011. Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas. *Informes de la Construcción* 63(522):71-81.
- Boustead I., 1972. *The milk bottle*. Open University Press. Milton Keynes.
- Boustead I., Hancock G.F., 1979. *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Ellis Horwood Ltd.
- Boustead I., 1996. LCA – How it came about. The beginning in the U.K. *International Journal of Life Cycle Assessment* 1(3):147-150.
- CCE, 2004. Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu. Política Integrada de Produtos. Desenvolvimento de uma reflexão ambiental centrada no ciclo de vida. COM(2003) 302. Bruxelas, 18.3.2004.
- CCE, 2005. Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Avançar para uma utilização sustentável dos recursos: Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos. COM(2005) 666. Bruxelas, 21.12.2005.
- CCE, 2005. Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Estratégia Temática sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais. COM(2005) 670. Bruxelas, 21.12.2005.
- CCE, 2005. Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões sobre o Plano de Acção para um Consumo e Produção Sustentáveis e uma Política Industrial Sustentável. COM(2008) 397. Bruxelas, 16.7.2008.

- Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril, que aprova o RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios.
- Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril, que aprova o RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.
- EN 15643-1:2010. Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings Part 1: General Framework.
- EN 15643-2:2011. Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 2: Framework for the Assessment of Environmental Performance.
- EN 15643-3:2012. Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 3: Framework for the Assessment of social Performance.
- EN 15643-4:2012. Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 4: Framework for the Assessment of economic Performance.
- EN 15804:2012. Sustainability of Construction Works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.
- EN 15978:2011. Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method.
- Gluch P., Baumann H., 2004. The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and Environment* 39(5):571-580.
- Goedkoop M. and Spriensma R. (2000) *The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment*. PRé Consultants, Amersfoort, 142 p.
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts, M.A.J., 2002. *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Heijungs R., Huppes G., Guinée J.B., 2010. Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polymer Degradation and Stability* 95(3):422-428.
- Hernandez P., Kenny P., 2010. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings* 42:815-821.
- ISO 21930:2007 Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products.
- Klöpffer W., 2008. Life cycle sustainability assessment of products. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13(2):89-94.
- Langdon D., 2007. *Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction – Guidance on the use of the LCC Methodology and its application in public procurement*. David Langdon Management Consulting.
- Malmqvist T., Glaumann M., Scarpellini S., Zabalza I., Aranda A., Llera E., Díaz S., 2010. LCA in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Energy* 36(4):1900-07.
- NP EN ISO 14040:2008. Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Princípios e enquadramento.
- NP EN ISO 14044:2010. Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Requisitos e linhas de orientação.
- NP ISO 14025:2009. Rótulos e declarações ambientais. Declarações ambientais Tipo III. Princípios e procedimentos.

- Peuportier B., 2001. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings* 33:443-50.
- Proyecto singular estratégico CICLOPE - Análisis del impacto ambiental de los edificios a lo largo de su ciclo de vida en términos cuantificables de consumo energético y emisiones GEI asociadas. Subproyecto 2: Metodología de evaluación del impacto ambiental y económico de los edificios. Entregable E2.4.1.
- Sartori I, Hestnes AG., 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: a review article. *Energy and Buildings* 39:249-57.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).
- Red de Universidades Valencianas para el fomento de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación (RUID). <<http://ruvid.webs.upv.es>>.
- Reglas de Categoría de Producto (RCP) para productos de recubrimiento cerámico RCP 002 Versión 1, 2010.
- Ros T., Celades I., Monfort E., Zaera V., Benveniste G., Cerdán C., Fullana i Palmer P., 2010. Impactos ambientales de ciclo de vida de las baldosas cerámicas. Análisis sectorial, identificación de estrategias de mejora y comunicación. *Conama10 – Congreso Nacional del Medio Ambiente*.
- Sleeswijk A.W., Van Oers L.F.C.M., Guinée J.B., Struijs J., Huijbregts M.A.J., 2008. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. *Science of the Total Environment* 390 (1):227-240.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993. *Guidelines for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice"*. SETAC.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1996. *Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment*. SETAC.
- Thormark C., 2002. A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment* 37:429-35.
- Unión Europea, 2010. *Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios/refundición*.
- UNE EN ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE EN ISO 14044:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- UNE ISO 14025:2007. Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos.
- Weidema B.P., 2006. The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (Special 1):89-96.
- Yohanis Y.G., Norton B., 2002. Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK. *Energy* 27:77-92.
- Zabalza I., Aranda A., Scarpellini S., 2009. LCA in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* 44:2510-20.





Impresso em papel 100% reciclado.

# Projeto EnerBuiLCA

## Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings

### Coordenador:

- CIRCE -  
Centro de Investigación  
de Recursos y Consumos  
Energéticos



### Participantes:

- Cátedra UNESCO  
de Ciclo de Vida y  
Cambio Climático  
(ESCI-UPF)



- TECNALIA -  
Corporación tecnológica.  
Unidad de Construcción -  
División de Sostenibilidad



- iMat -  
Centro Tecnológico  
de la Construcción



- IAT -  
Instituto Andaluz  
de Tecnología



- CTCV - Centro Tecnológico  
da Cerâmica e do Vidro  
Direcção Geral Unidade  
de Ambiente e  
Sustentabilidade



- NOBATEK -  
Centre de Ressources  
Technologiques



- LNEG - Laboratório  
Nacional de Energia  
e Geologia, IP

