

A SUSTENTABILIDADE DO AÇO E DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

Helena Maria Gervásio

RESUMO

O Desenvolvimento Sustentável é uma questão essencial hoje em dia com implicações em todos os sectores da nossa sociedade. A indústria da construção desempenha um papel fundamental nos objectivos do Desenvolvimento Sustentável, não só pela sua contribuição para a economia global como também pelos seus impactos significativos tanto em termos ambientais como em termos sociais.

O aço é normalmente identificado como um material “amigo do ambiente” devido essencialmente ao seu potencial de reciclagem. No entanto, não são só os benefícios ambientais do aço que contribuem para os objectivos da construção sustentável. As estruturas metálicas apresentam características naturais que se coadunam com os requisitos da construção sustentável e que tornam este tipo de construção imbatível na realização dos mesmos.

Este trabalho é constituído por duas partes. Na 1ª parte a sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas é analisada e discutida. Na segunda parte são apresentados dois casos práticos relativos à avaliação da sustentabilidade de estruturas metálicas.

1. INTRODUÇÃO

Actualmente nos países industrializados os recursos naturais disponíveis são consumidos a uma escala insustentável, particularmente no que diz respeito ao recurso a combustíveis fósseis não renováveis. Na União Europeia (UE) metade de todas as matérias-primas retiradas da superfície da terra são utilizadas na construção e mais de $\frac{1}{4}$ de todos os resíduos sólidos produzidos são provenientes da construção civil (Maydl, 2004).

A Construção Sustentável foi definida pela primeira vez em 1994 por Charles Kibert, durante a Conferência Internacional sobre Construção Sustentável que teve lugar em Tampa, como “a criação e o planeamento responsável de um ambiente construído saudável com base na optimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos”. Habitualmente a Sustentabilidade da Construção é definida em três dimensões: ecológica, económica e sócio-cultural. Uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade de um sistema construtivo deve portanto considerar as três dimensões referidas (ver Fig. 1). A Construção Sustentável implica a adopção dos princípios do Desenvolvimento Sustentável ao ciclo global da construção, desde a extracção de matérias-primas até à sua demolição e destino final dos resíduos resultantes – análise do berço à cova – e é um processo holístico que visa estabelecer um equilíbrio entre o ambiente natural e o ambiente construído.



Figura 1 – As dimensões da sustentabilidade

A indústria da construção, sendo um dos principais responsáveis pela escassez dos recursos naturais e pela produção de resíduos, desempenha um papel fundamental no Desenvolvimento Sustentável global. Desta forma, para ser considerada uma indústria sustentável, tem pela frente um grande desafio, talvez maior do que em qualquer outro sector industrial.

A nível da União Europeia, a Comissão Europeia tem desenvolvido grandes esforços no sentido de desenvolver e promover estratégias para minimizar os impactos ambientais provocados pela actividade da indústria da construção e pelo ambiente construído, e simultaneamente melhorar as condições para a competitividade da indústria da construção. No contexto da Comunicação da Comissão Europeia sobre a competitividade da indústria da construção (COM(97)539, 1997), os principais aspectos da sustentabilidade que afectam a indústria da construção foram identificados como sendo os seguintes:

- i) *Materiais de construção amigos do ambiente* - Aproximadamente 50% de todos os materiais extraídos da crosta terrestre são transformados em materiais e produtos para a construção;
- ii) *Eficiência energética em edifícios* – A construção, operação e consequente demolição de edifícios contabiliza aproximadamente 40% de toda a produção de energia e contribui para uma percentagem semelhante de emissões de gases com efeito de estufa;
- iii) *Gestão de desperdícios da construção e/ou demolição* – Os desperdícios da construção e demolição constituem a maior fonte de resíduos sólidos por peso da União Europeia.

A necessidade de promover práticas e técnicas eco-eficientes na indústria e de tornar mais eficiente a utilização e gestão dos recursos e dos resíduos, são assim requisitos fundamentais do Desenvolvimento Sustentável, e a indústria do aço desenvolve um papel de extrema importância neste sentido.

2. A SUSTENTABILIDADE DO AÇO

Os reconhecidos benefícios ambientais do aço são normalmente associados ao seu potencial de reciclagem. No entanto, a percentagem de material reciclado utilizado na produção de aço depende do respectivo processo de produção. Nas alíneas seguintes esta questão será abordada, bem como serão analisados e comparados os diversos impactos produzidos pelos dois processos tradicionais de produção do aço: a produção em alto-forno (*Basic Oxygen Furnace*) e a produção em forno de arco eléctrico (*Electric Arc Furnace*).

2.1 Produção do Aço

Actualmente o aço é produzido através de dois processos básicos – a partir de matérias-primas (minério de ferro, calcário e coque) em alto-forno ou a partir de sucata em forno eléctrico de arco. Cerca de 60% do aço produzido actualmente é feito pelo primeiro processo, também conhecido por processo integrado. A produção do aço em alto-forno utiliza entre 25% a 35% de aço reciclado enquanto que na produção do aço em forno de arco eléctrico essa percentagem é aproximadamente

de 95%. A produção em forno de arco eléctrico é por consequência mais fácil e mais rápida.

2.2 Impactos Ambientais Provocados pela Produção do Aço

A indústria siderúrgica é uma indústria muito intensiva, tanto em termos de materiais como de energia. Mais de metade da grande quantidade de materiais e energia que entra no processo resulta na produção de efluentes gasosos e de resíduos sólidos/subprodutos. As emissões mais relevantes são as emissões para a atmosfera, principalmente no que respeita à emissão de CO₂ e outros gases com efeito de estufa.

Facilmente se entende que os processos de produção de aço referidos anteriormente conduzem a consumos de energia bastante diferenciados. Considerando, por exemplo, a produção de secções laminadas, enquanto que o consumo de energia na produção em alto-forno é de aproximadamente 29 GJ por tonelada de aço, na produção em forno de arco eléctrico esse consumo é de cerca de 10 GJ (ver Fig. 2) (IISI, 2002).

Em consequência das diferentes percentagens de aço reciclado utilizadas nos processos de produção de aço, facilmente se poderá constatar que as correspondentes emissões de carbono e de outras partículas são também consideravelmente inferiores para o forno de arco eléctrico, tornando este um processo mais eficiente em termos ambientais. Em cada tonelada de aço reciclado são poupados 1.25 toneladas de minério de ferro, 630 kg de carvão e 54 kg de calcário (de Spot, 2002). Além do mais, o processo de reciclagem requer menos energia, cria menos resíduos e provoca a emissão de menos quantidades de partículas poluentes do que a produção da mesma quantidade de aço a partir de matérias-primas.

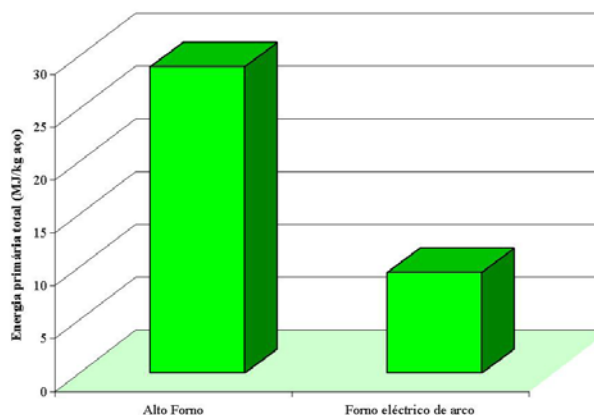


Fig. 2 – Energia consumida por processo

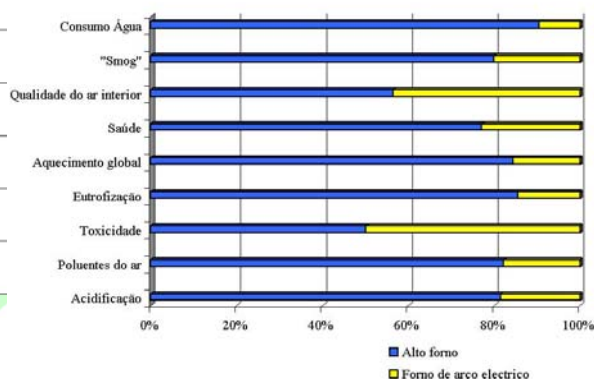


Fig. 3 – Impactos ambientais

De entre as emissões de partículas poluentes destacam-se as emissões de CO₂ e outros gases com efeito de estufa. Neste caso, a produção de 1kg de aço em forno de arco eléctrico produz cerca de 462 gr de equivalentes de CO₂, enquanto que em alto forno a produção de igual quantidade de aço produz cerca de 2494 gr de equivalentes de CO₂. No gráfico da Figura 3 estão representados alguns dos principais impactos ambientais provocados pela produção de uma tonelada de aço de acordo com cada um dos processos descritos anteriormente. Neste gráfico é possível comparar, em termos percentuais, os impactos ambientais gerados por cada um dos processos, donde facilmente se verifica o melhor desempenho ambiental da produção em forno de arco eléctrico.

2.3 Estratégias para a Preservação Ambiental

Com o objectivo de tornar o aço num material mais ecológico e “amigo do ambiente”, as grandes siderurgias mundiais têm vindo a implementar várias medidas no sentido da preservação ambiental. Os aspectos de maior preocupação são a diminuição do consumo de energia e a redução da emissão de gases com efeito de estufa, nomeadamente de dióxido de carbono.

Nas siderurgias a emissão de dióxido de carbono é o factor mais preocupante. No entanto, a indústria de produção do aço está determinada em reduzir a emissão destes gases e em tornar mais eficientes os seus processos de produção. Com este objectivo têm sido desenvolvidos diversos programas de investigação em todo o mundo. Nomeadamente o programa europeu ULCOS (*Ultra Low CO₂ Steelmaking*), que tem como principal objectivo o desenvolvimento de

novas formas de produção de aço com reduzidas emissões de gases com efeito de estufa. Outras medidas têm sido desenvolvidas, tais como tecnologias com recurso a percentagens mínimas de carbono (*carbon-light*) combinadas com a captação e armazenamento de CO_2 , e recurso a energias alternativas tais como gás natural, hidrogénio, biomassa e electricidade.

De qualquer forma, no que diz respeito ao consumo de energia e às emissões de CO_2 , são já bem visíveis no gráfico seguinte os resultados alcançados pela indústria de produção do aço, na União Europeia, entre 1970 e 2000.

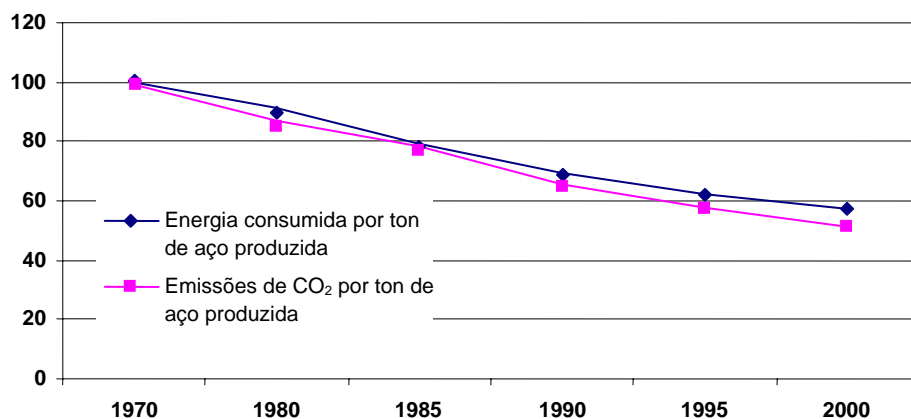


Figura 4 – Indústria europeia do aço (fonte: Eurofer, Eurostat)

3. A SUSTENTABILIDADE DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

Contudo, não é apenas como material que o aço contribui para os objectivos da construção sustentável, as estruturas metálicas têm características naturais que também contribuem para esses mesmos objectivos, tal como será discutido nos parágrafos seguintes.

A Construção Sustentável visa a minimização do consumo de recursos naturais e a maximização da sua reutilização, a utilização de recursos renováveis e recicláveis, a protecção do ambiente natural, a criação de um ambiente saudável e não tóxico e a procura de qualidade na criação do ambiente construído. De acordo com estes princípios são definidas as linhas gerais que conduzem a uma construção mais sustentável:

- i) ter uma abordagem **integrada de ciclo de vida do projecto** considerando os fundamentos da construção sustentável, desenvolvendo soluções optimizadas (estética, custo, vida útil, manutenção, consumo de energia...)
- ii) ter em consideração as **qualidades ambientais** dos materiais no projecto e no produto final;
- iii) centrar a concepção funcional sobre a fase de exploração (longa vida útil, durabilidade das componentes, **flexibilidade** da funcionalidade do edifício, bem como na **reabilitação** e da facilidade de **desconstrução** das diversas componentes).

Analisando as várias fases ao longo do ciclo de vida de uma estrutura metálica facilmente se identificam as vantagens deste tipo de estruturas relativamente a outros tipos de construções.

De forma geral as estruturas metálicas são estruturas que implicam a pré-fabricação conduzindo desta forma a um processo de construção mais eficiente, a uma maior rapidez de construção e à minimização dos riscos e prejuízos da obra e do estaleiro. Simultaneamente, sendo estruturas relativamente leves, conduzem à construção de fundações mais reduzidas, permitindo a preservação do solo de fundação e a redução da movimentação de terras.

Dadas as características do aço, em termos de resistência e ductilidade, as estruturas metálicas permitem a construção de superfícies com grandes vãos livres, pilares mais esbeltos e fachadas mais leves. Assim, as estruturas metálicas permitem uma maior liberdade da imaginação na concepção da obra. Ao mesmo tempo, a existência de espaços amplos, livres de obstáculos interiores, facilita a alteração ou extensão da estrutura de forma a adaptar-se a novos requisitos funcionais ou estilos de vida.

A existência de grandes superfícies envidraçadas, normalmente associadas a este tipo de construção, permite a realização de fachadas e coberturas mais transparentes, conduzindo a uma melhor gestão da luz natural e ao favorecimento da utilização da energia solar.

Na fase final da vida útil das estruturas metálicas, e graças às características já enumeradas, é possível proceder-se ao desmantelamento de estruturas que já não são utilizadas e fazer a sua reconstrução em locais onde são necessárias. Além disso, se o destino final for mesmo a demolição nesse caso poder-se-á proceder à

reciclagem do aço. Note-se que o aço pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder qualquer uma das suas qualidades, contribuindo assim para a minimização do consumo de recursos naturais e para a maximização da reutilização desses mesmos recursos.

4. FERRAMENTAS PARA A AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

As características das estruturas metálicas enumeradas nos parágrafos anteriores são popularmente reconhecidas. No entanto, a dificuldade surge com a necessidade de se traduzir a análise qualitativa da sustentabilidade de estruturas metálicas para uma análise quantitativa.

Actualmente existem duas metodologias básicas para a análise da sustentabilidade do ambiente construído: sistemas de classificação ambiental e análises ambientais de ciclo de vida.

Os primeiros são sistemas voluntários de avaliação da sustentabilidade, principalmente aplicáveis a edifícios, e que conduzem, na maior parte das vezes, à emissão de um certificado ambiental de acordo com os critérios definidos nesse sistema. Estes sistemas baseiam-se numa série de critérios, qualitativos e quantitativos, os quais são avaliados e classificados com créditos, e conduzem a um resultado final que corresponde à soma ponderada dos créditos obtidos. Sistemas deste tipo estão presentes em diversos países, destacando-se, por exemplo, o sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), nos Estados Unidos da América, e no Reino Unido o sistema BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*).

Por outro lado, uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) de um sistema construtivo consiste na compilação e avaliação de todos os fluxos (entradas e saídas) e dos potenciais impactes ambientais ao longo do seu ciclo de vida. O termo “ciclo de vida” refere-se às diversas fases ao longo do ciclo de vida do sistema construtivo, desde a sua construção, utilização, manutenção, e demolição final; incluindo a aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação dos diversos materiais. A Figura 5 ilustra as possíveis fases ao longo do ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e os fluxos (entradas/saídas) que são normalmente inventariados (USEPA, 2001).

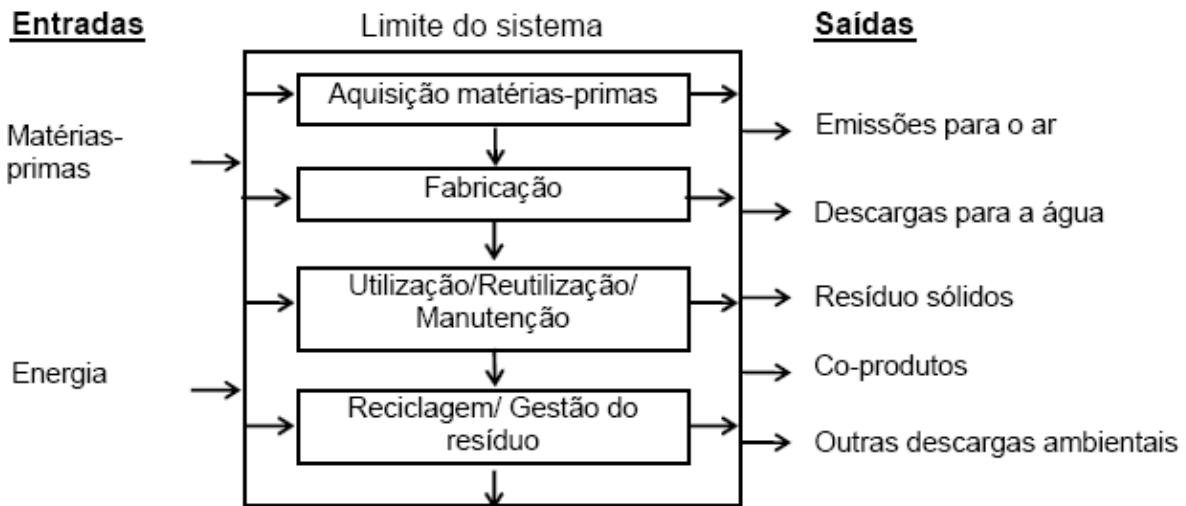


Figura 5 – Limites do sistema numa ACV

Ambas as metodologias apresentam vantagens e limitações. Por exemplo, enquanto que num sistema de classificação ambiental é possível atribuir créditos à adaptabilidade de um edifício face a novos requisitos funcionais, numa ACV a consideração deste critério é muito complicada. Por outro lado, uma ACV é uma análise mais completa que permite ter em conta os balanços ambientais existentes entre as diversas fases ao longo do ciclo de vida de um sistema construtivo, o que permite, por exemplo, ter em consideração a alocação da reciclagem do aço no fim de vida de uma estrutura.

A ACV é a metodologia escolhida para a avaliação da sustentabilidade nos casos práticos que são apresentados, resumidamente, nos parágrafos seguintes.

5. AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE – CASOS PRÁTICOS

Neste item são, resumidamente, apresentados dois casos práticos nos quais é feita uma análise comparativa, em termos de sustentabilidade, entre uma estrutura metálica e um método alternativo de construção. Em ambos os casos, o método construtivo alternativo é em betão armado, já que este continua a ser o método tradicional de construção de Portugal.

5.1 Aplicação a uma Obra de Arte

Como já referido, a utilização de aços provenientes de processos de produção diferentes conduz a impactes ambientais muito diferenciados. Para avaliar as diferenças em termos de impactes ambientais foi realizado um caso prático (Gervásio e Silva, 2005). Neste estudo foi feita uma análise comparativa entre duas soluções estruturais alternativas para uma obra de arte, cujo desenvolvimento em planta e em alçado se encontram representados na Fig. 5.

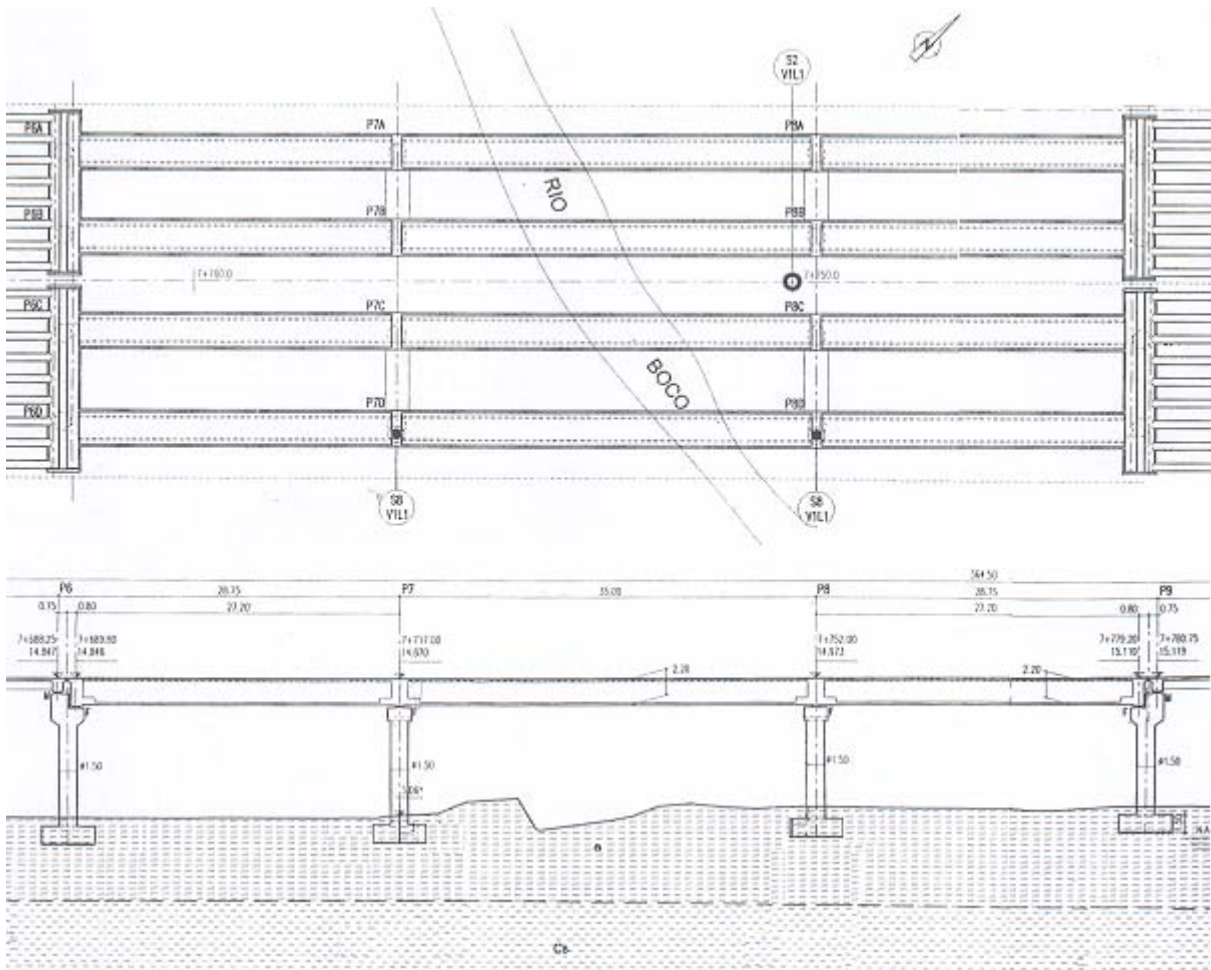


Fig. 5 – Planta e alçado da ponte

A solução preconizada pelo projectista original consistia numa solução em betão pré-fabricado, com dupla viga em caixão. A solução alternativa foi definida por uma solução mista, composta por duas vigas metálicas alma cheia e uma laje em betão solidarizada com as vigas e funcionando em conjunto. Ambas as soluções se encontram representadas na Fig. 6. Em ambos os casos as soluções satisfazem os requisitos dos Eurocódigos relevantes em cada caso, e foi assumida uma vida de serviço de 50 anos.

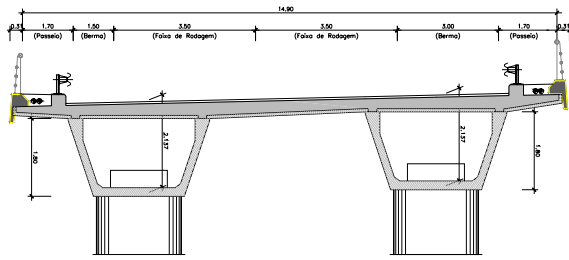


Fig. 6a - Solução em betão

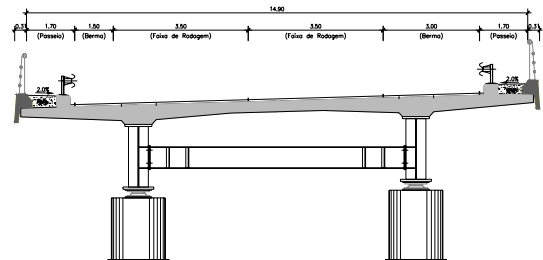


Fig. 6b - Solução mista aço-betão

A performance ambiental de ambas as soluções foi avaliada com base numa análise de ciclo de vida, com base nas normas internacionais ISO, série 14040 (ISO14040, 2006; ISO14044, 2006), e com recurso ao programa de análise BEES (Lippiatt, 2002).

Na análise de inventários foram quantificados todos os *inputs* (quantidade de matérias primas, quantidades de água e energia) e *outputs* (emissões de partículas para a atmosfera, terra e água) correspondentes a todas as fases de produção, desde a extracção de matérias primas até ao produto final, pronto para ser transportado do local de fabrico. As fases seguintes não foram consideradas na análise por não haver, na literatura disponível, dados suficientes e credíveis para a sua quantificação. Todos os dados relativos aos diversos materiais construtivos, com excepção do aço estrutural, foram obtidos da base de dados do programa BEES. No caso do aço, os dados foram obtidos do *International Iron and Steel Institute* (IISI, 2002).

A avaliação de impactos foi efectuada com base na metodologia desenvolvida pela *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) (Lippiatt, 2002). Desta análise resultaram onze índices, os quais estão representados no gráfico da Fig. 7, para cada uma das soluções estruturais.

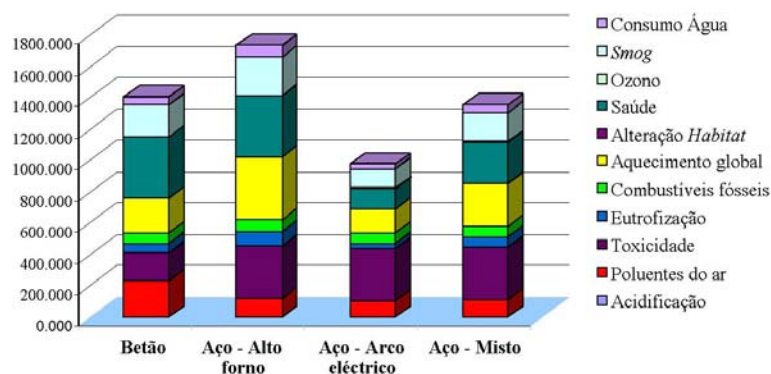


Fig. 7 – Resultado da performance ambiental

No gráfico anterior estão representados, para além dos resultados obtidos para a solução inicial em betão, os resultados obtidos para a solução mista admitindo três cenários diferentes para a origem do aço estrutural. Assim, no primeiro cenário considerou-se que o aço utilizado seria inteiramente produzido em alto-forno, no segundo cenário a produção seria integralmente em forno de arco eléctrico, e finalmente no terceiro cenário considerou-se uma situação em que 50% do aço fornecido seria produzido pelo primeiro processo enquanto que os outros 50% seriam produzidos pelo segundo processo. Desta forma, na primeira coluna está representado o resultado ambiental total obtido para a solução em betão. Comparando este resultado com o resultado obtido para a solução mista, assumindo-se a origem integral do aço do forno eléctrico, representado na terceira coluna, observa-se que a solução mista apresenta claramente um resultado ambiental muito superior à primeira (- 31%). Os resultados para a solução mista assumindo a produção integral em alto forno (pior caso possível) agravam em cerca de 23% os resultados obtidos para a solução em betão. Finalmente, na quarta coluna está representado o resultado obtido para o cenário composto por 50% de cada processo de produção, e que seria o caso mais realista no caso de haver incerteza relativamente à origem do aço. Neste caso o resultado é superior à solução em betão em apenas - 4%.

5.2 Aplicação a um Edifício

A mesma metodologia de ciclo de vida ambiental foi aplicada a um outro caso prático (Gervásio *et al.*, 2005). Neste caso o estudo consistiu numa análise comparativa entre duas soluções estruturais alternativas, com base numa moradia unifamiliar, cuja planta se encontra representada na figura 4, localizada no Algarve (sul de Portugal). Neste exemplo além da análise ambiental, foi também realizada uma análise económica ao longo do ciclo de vida das construções.

Assim, foram analisadas duas soluções estruturais. A primeira solução consistiu numa solução “clássica” constituída por uma estrutura com pilares e lajes em betão, paredes exteriores de alvenaria de tijolo, duplas (15 cm e 11 cm), rebocadas e pintadas em ambas as faces, e uma caixa de ar, com 4 cm de espessura, preenchida com isolamento térmico e acústico. As paredes interiores

eram paredes simples de alvenaria com 11 cm de espessura, rebocadas e pintadas em ambas as faces. A solução alternativa foi definida por uma solução estrutural mista aço/betão. Neste caso considerou-se uma laje mista apoiada em pilares metálicos constituídos por perfis em I laminados, paredes exteriores definidas por painéis *sandwich* com pano exterior em painéis OSB (*Oriented Strand Board*), revestidos a poliestireno expandido, pano interior em placas de pladur e caixa de ar preenchida com lã de rocha, perfazendo uma espessura total de 30 cm. As paredes interiores eram semelhantes mas com 25 cm de espessura. Ambas as estruturas foram dimensionadas de acordo com os respectivos Eurocódigos estruturais, de forma a desempenharem a mesma performance estrutural e com as mesmas margens de segurança. A análise comparativa avaliou as duas soluções em termos de comportamento físico e do ponto de vista da sustentabilidade de cada solução estrutural. Nesta análise os elementos comuns a ambas as soluções (fundações, laje térrea e cobertura) não foram considerados na análise. Em termos de comportamento físico, os comportamentos térmico e acústico foram equilibrados de forma a não existir uma solução preferencial. A análise da sustentabilidade determinou qual o sistema estrutural que obtém o melhor equilíbrio entre a performance ambiental e a performance económica, considerando em ambos os casos uma análise de ciclo de vida.

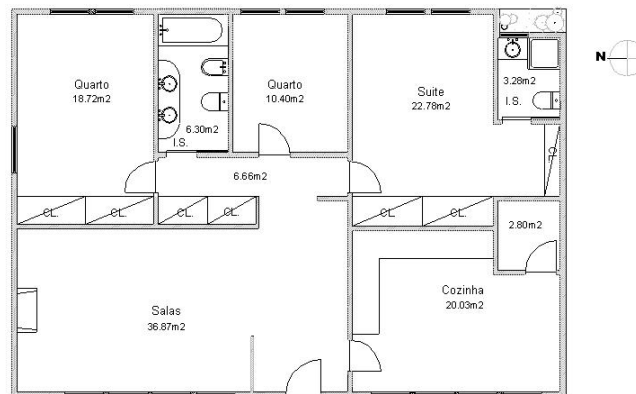


Figura 8 – Planta da moradia

A performance ambiental foi avaliada com base na metodologia referida no caso anterior. Assim, na análise de inventários foram quantificados todos os *inputs* e *outputs* correspondentes a todas as fases de produção, desde a extracção de matérias-primas até ao produto final, pronto para ser transportado do local de fabrico. As fases seguintes não foram consideradas na análise por não haver, na

literatura disponível, dados suficientes e creíveis para a sua quantificação. Todos os dados relativos aos diversos materiais construtivos, com excepção do aço estrutural, foram obtidos da base de dados do programa BEES (Lippiatt, 2002). No caso do aço, os dados foram obtidos do *International Iron and Steel Institute* (IISI, 2002).

Da avaliação de impactos resultaram doze índices, os quais estão representados no gráfico da figura 5, para cada uma das soluções estruturais.

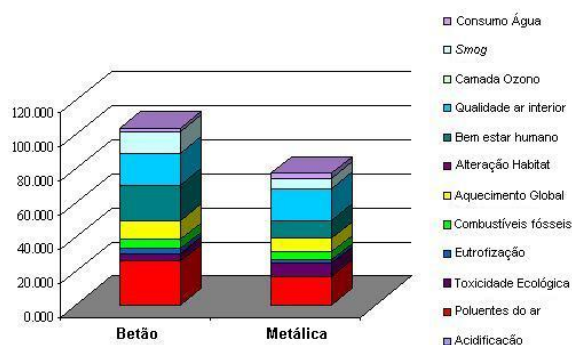


Figura 9 – Resultado da performance ambiental

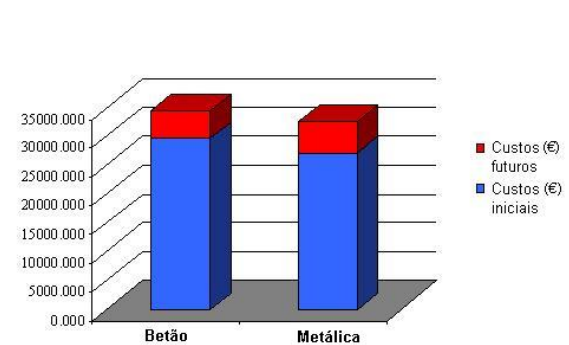


Figura 10 – Resultado da performance económica

A avaliação económica de ciclo de vida, indicada no gráfico da figura 6, foi efectuada com base nos custos iniciais e futuros correspondentes a cada solução. A compilação dos custos iniciais de construção baseou-se nas quantidades de materiais estimados para cada solução estrutural e os custos futuros foram estimados com base nas despesas de manutenção previstas para o período de referência. Neste análise assumiu-se um período de estudo de 50 anos e a taxa real de desconto considerada foi de 3.9%.

O resultado final, representado na figura seguinte, foi obtido pela média ponderada das performances ambiental e económica, tendo-se considerado o mesmo peso para ambas as análises.

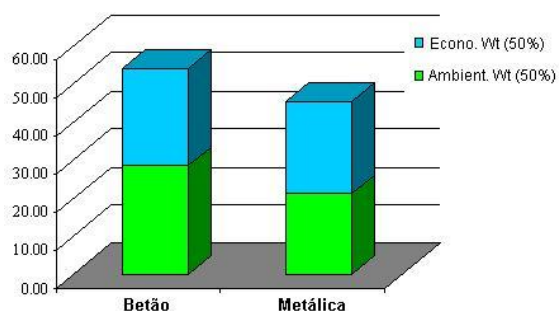


Figura 11 – Resultado da performance global

Neste caso verificou-se que a solução estrutural mista aço-betão apresentava uma performance ambiental e económica superior à solução de betão.

6. OBSERVAÇÕES FINAIS

A indústria da construção é responsável, directa ou indirectamente, por uma proporção bastante significativa de impactos ambientais, os quais podem comprometer, a médio ou longo prazo, o futuro das gerações futuras. Portanto, uma das prioridades do sector da construção deve ser o de desenvolver e fornecer soluções inovadoras com vista à minimização deste problema. Graças às características naturais do aço, as estruturas metálicas permitem a optimização dos recursos naturais e a obtenção de um ambiente construído mais racional e eficaz, contribuindo deste forma para uma construção mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- COM (97)539, 1997. Communication from the European Commission: “The Competitiveness of the Construction Industry”.
- de Spot, M., 2002. “The application of structural steel to single-family residential construction”, Node Engineering Corp., Surrey, B.C.
- Gervásio, H. e Simões da Silva, L., 2005. ”Sustainability and life-cycle assessment of steel-concrete composite plate girder bridges: A case study”, Proceedings of the 4th European Conference on Steel and Composite Structures, Maastricht, Holanda, pp. 4.6-61 a 4.6-69.

- Gervásio, H., Simões da Silva, L. e Bragança, L., 2005. "Sustainability assessment of new construction technologies: a comparative case study", in Schaur, C., Mazzolani, F., Huber, G., de Matteis, G., Trumpf, H., Koukkari, H., Jaspert, J.-P. and Bragança, L. (eds.), *Improvement of Building's Structural Quality by new Technologies - COST C12 Final Conference Proceedings*, Balkema, Leiden, pp. 527-536.
- International Iron and Steel Institute (IISI), 2002. "World Steel Life Cycle Inventory – Methodology Report 1999/2000", Committee on Environmental Affairs.
- International Standard 14040, 2006. "Environmental Management – LCA – Principles and Framework".
- International Standard 14044, 2006. "Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines"
- Lippiatt, B., 2002. "BEES 3.0 Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide", NISTIR 6916, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- Maydl P., 2004. "Sustainable Engineering: State-of-the-art and Prospects", *Structural Engineering International*, Volume 14, 3, p. 176-180.
- USEPA, 2001. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. *LCAccess - LCA 101*.