

SISTEMAS CONSTRUTIVOS: AÇO ´ CONCRETO - ANÁLISE DE SEUS IMPACTOS SOBRE O MEIO AMBIENTE

Arnaldo Cardim de Carvalho Filho (1); Antonio Aguado de Cea (2); Alejandro Josa García-Tornel (3)

- (1) Escola Politécnica de Pernambuco/UPE, e CCT/UNICAP, e-mail - cardim@unicap.br
(2) ETSICCPB – UPC – Deptº. Ing. de la Construcción, e-mail - antonio.aguado@upc.es
(3) ETSICCPB – UPC – Deptº. Ing. del Terreno, e-mail - alejandro.josa@upc.es

RESUMO

Como se sabe, a produção, o uso e a manutenção dos edifícios trazem consigo alguns efeitos nocivos ao meio ambiente. A partir da obtenção das matérias-primas e do consumo de recursos energéticos, se atua de forma negativa contaminando o meio ambiente, devido as emissões dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Por outro lado, devemos devolver positivamente essas ações na forma de materiais e componentes para o processo construtivo.

Apresentamos, a seguir os resultados de uma análise efetuada em dois sistemas estruturais proposto para a cobertura de um galpão industrial. O primeiro deles estruturado com premoldados de concreto protendido e o outro com o uso de perfís de aço laminado. Utilizando a ferramenta da *análise do ciclo de vida - ACV*, se quantificou e identificou os principais aspectos, desde o ponto de vista das suas ações sobre o meio ambiente, apresentados pelas duas alternativas,

Palavras-chave: análise do ciclo de vida; meio ambiente; emissões; materiais e componentes.

1. INTRODUÇÃO

Como decorrência das preocupações naturais com o entorno ambiental, estamos aprendendo que é necessário garantir o bem estar e as condições para uma vida saudável dos nossos descendentes, e que devemos adotar medidas para que o progresso ocorra sem causar danos ao meio ambiente, pois temos que garantir um desenvolvimento sustentável.(DOE/USA,1998)

Neste sentido, tem surgido novas ferramentas de gestão para apoiar os setores produtivos na identificação das fontes de contaminação em seus processos, e avaliar seus efeitos sobre o meio ambiente. Tanto que após identificá-los e quantificá-los devem buscar as formas de diminuí-los ou eliminá-los. Como exemplo, citamos a metodologia da *análise do ciclo de vida – ACV*. (CML,1992; SETAC;1993; Fullana,1997; Carvalho Filho, A.C.,2001)

O setor da construção civil constitue uma das atividades produtivas com um elevado consumo de materiais e energia, e, portanto, é responsável por uma grande quantidade de emissões ao entorno ambiental. Se considerarmos que seu ciclo de vida está compostos por distintas fases - produção, uso/manutenção e demolição, devemos determinar e identificar aquelas de maior

repercussão sobre o entorno ambiental. (Anink et al.,1996; Carvalho Filho, A.C. et al,1997; Josa et al.,1997)

A metodologia da *análise do ciclo de vida*- ACV é empregada neste estudo, e se faz uso do programa computacional SimaPro¹ para avaliar os impactos ao meio ambiente causados pelos distintos sistemas estruturais apresentados como solução para a cobertura de um galpão industrial, afim de obter seu perfis meioambientais e permitir no futuro definir por uma das propostas, considerando-a como a melhor solução, desde o ponto de vista da proteção do meio ambiente.

2. OBJETIVOS E DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Os resultados aqui apresentados, tem um objetivo acadêmico de comprovar a eficiência da metodologia da *análise do ciclo de vida* – ACV, para que em um segundo momento, ela possa permitir aos projetistas selecionarem a melhor solução, desde que adotem como o critério aquela solução que seja mais favorável, sob o ponto de vista meioambiental.

Escolheu-se uma obra com situação, uso e vida útil predeterminadas. Neste caso, um galpão industrial situada no municipio de Vilafranca de Penedés, provincia de Barcelona (Espanha), cujos fins será de armazenar produtos não perecíveis. Com baixo risco de incêndio e uma vida útil prevista de 30 anos.

Na situação da obra levou-se em consideração os baixos níveis de agressividade da zona, o que reduz as necessidades de manutenção da obra, devido a condição de baixa agressividade a qualquer tipo de material especificados para a sua construção.

De posse de um projeto da obra de construção civil, se selecionou a estrutura de coberta como o sub-sistema a ser avaliado, e as propostas de solução foram solicitadas à diferentes empresas que atuam no mercado de pre-fabricados estruturais.

As condicionantes especificadas - ver Quadro 1 -, tinha por objetivo impor que cada uma das soluções estruturais propostas estivessem submetidas as mesmas condições, definindo assim a unidade funcional a ser avaliada.

Quadro 1 – condicionantes de projeto do caso estudado

Características dimensionais	⊗ planta retangular de 20 metros x 48 metros = 960 m ² ; ⊗ inclinação mínima das pendentes = 10%.
Tipo de cobertura	→ telhas onduladas, tipo “sandwich”
Cargas na coberta	→ devido ao peso da cobertura = 12 kg/m ² ; ⊗ devido à neve = 40 kg/m ² ; ⊗ devido aos ventos = 75 kg/m ² .

3. SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

O projeto e um questionário foram enviados as empresas, tanto as que trabalham com estruturas premoldadas em concreto, como as de estruturas metálicas. Das respostas recebidas, duas soluções estruturais, composta uma delas por vigas premoldadas de concreto protendido e a outra por vigas com perfis de aço laminado, foram selecionadas para o estudo.

O sistema estrutural proposto em vigas de premoldado de concreto protendido é constituído por 7(sete) vigas-tesoura, e 80(oitenta) vigas-terça, com as geometrias e dimensões detalhadas na Figura 1.

¹ SimaPro - 4.0 S é um programa computacional desenvolvido por Pré Consultants B.V. (Holanda) como ferramenta para a aplicação da metodologia da análise do ciclo de vida.

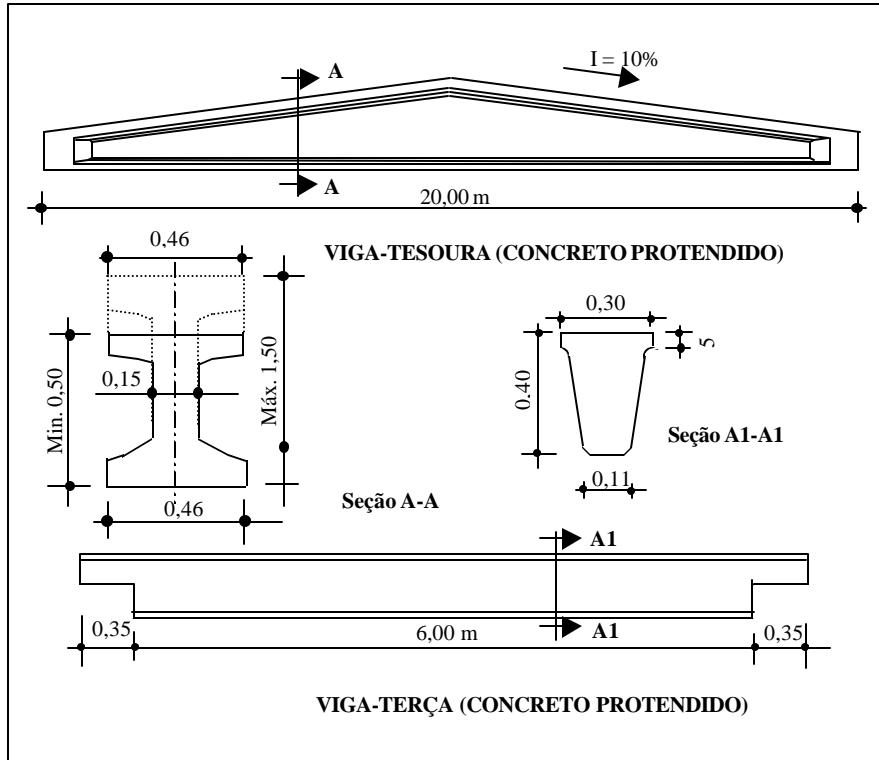


Figura 1 – esquema das vigas premoldadas de concreto

O segundo sistema estrutural proposto, em vigas com perfis de aço laminado é composto de 7(sete) tesouras-treliça e 80(oitenta) vigas-terça, com a geometria e dimensões conforme está na Figura 2.

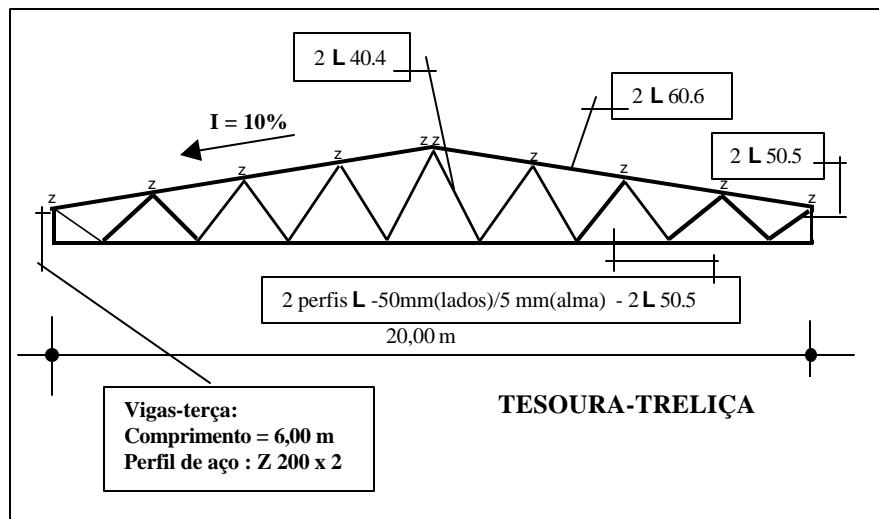


Figura 2 – esquema do sistema estrutural com perfis de aço laminado.

No Quadro 2 estão resumidos os dados empregados na avaliação das duas soluções propostas. Do questionário enviado às empresas foram obtidas as informações, dentre outras, do consumo de materiais e serviços, meios e distâncias de transporte.

4. ANÁLISE DO PERFIL MEIO AMBIENTAL

Foram selecionados fluxos dos dois sistemas estruturais que abrangiam uma parte do ciclo de vida previsto para a obra, limitando-se até a entrega da estrutura no canteiro de obras. Os motivos para essa limitação estavam baseados primeiro no fato de serem estes fluxos,

provavelmente, os com carga ambiental mais significativas, e segundo, a disponibilidade de inventários no programa SimaPro.

Quadro 2 – Resumo dos quantitativos de materiais/serviços

Estrutura premoldada de concreto	
Consumo de concreto (fck 40 MPa)	102,0 ton
Consumo de cimento	18,8 ton
Consumo de agregado miúdo	33,0 ton
Consumo de agregado graúdo	46,0 ton
Consumo de aço estrutural	4,9 ton
Produção dos premoldados- consumo de energia elétrica	396,0 MJ
Distancia entre fornecedor de cimento/fabrica dos premoldados	30 km
Distancia entre fornecedor de agregados/fabrica dos premoldados	15 km
Distancia entre fornecedor de aço/fabrica dos premoldados	100 km
Distancia entre fabrica de premoldados/obra	50 km
Estrutura com perfís de aço laminado	
Consumo de perfís de aço laminado	6,31 ton
Área de corte dos perfís de aço laminado	34,8 m²
Comprimento de soldagem dos perfís de aço laminado	1199 m
Distancia entre fornecedor de aço/fabrica de estruturas	250 km
Distancia entre fabrica de estrutura/ obra	450 km

No tocante aos inventários do programa, ressaltamos que existem algumas limitações quanto aos materiais e processo descritos, já que alguns destes dados estão referenciados ao país de origem do programa, no caso a Holanda, portanto, podem necessitar de adequação aos procedimentos e/ou dados usados por outros países.

4.1 Limites do sistema

Os sistemas ficaram definidos, então, pelas seguintes fases:

- Para a estrutura com concreto pretendido:
 - produção e consumo dos materiais (cimento, agregados miúdos, agregados graúdos e aço);
 - transporte individual dos materiais até a fabrica de premoldados;
 - produção dos premoldados (consumo de energia na mistura do concreto);
 - transporte da estrutura desde a fabrica de premoldados até a obra.
- Para a estrutura com perfis de aço laminados:
 - produção e consumo de perfis de aço laminado;
 - transporte dos perfis até a fabrica de estruturas;
 - produção da estrutura (corte e soldagem dos perfis);
 - transporte da estrutura desde a fabrica até a obra.

Não foram incluídas as fases de montagem da estrutura, uso, manutenção e desmontagem/demolição da estrutura, nesta fase do estudo, pelos motivos já citados.

4.2 Análise dos inventários

Após a caracterização dos dados nos inventários do SimaPro, foram obtidos os fatores de caracterização ambiental, por categorias de impactos, que resumimos em percentuais na Tabela 1, e onde pode-se observar a influência de cada etapa avaliada.

Para a solução estrutural em premoldados de concreto, podemos observar que os materiais, seguidos dos transportes e do processo de produção dos componentes, obedecem uma ordem decrescente de influências nos impactos. O cimento e o aço estrutural são os materiais que mais influenciam nos impactos. Observando, ainda que, na categoria das substâncias cancerígenas, a influência é exclusivamente devido a presença do aço estrutural.

Os agregados tem uma menor participação. Os miúdos não superam os 5% de influência e os agregados graúdos ultrapassam essa barreira só na emissão de resíduos sólidos, onde atingem os 9%. Na maioria das vezes os indicadores estão compreendidos entre 0% a 5%.

Na etapa dos transportes, os indicadores mais significativos estão relacionados com o transporte da estrutura até a obra, onde é possível verificar influências de até 27%, que é o caso da contaminação de verão, sendo as outras de valores até nulos.

Nos resultados das estruturas com perfis de aço laminado, verifica-se uma maior influência não só do material – perfis de aço laminado -, mas também da etapa de soldagem dos perfis, que constitui o fluxo de produção da estrutura, onde observa-se valores elevados para as diversas categorias de impactos avaliadas. Na etapa dos transportes esta evidente a influência do transporte da estrutura entre a fabrica de montagem e a obra.

Tabela 1 – resumo dos indicadores ambientais por categoria avaliada.

Fluxos do sistema -		Categorias de impactos -									
		Efeito Estufa (CO ₂)	Capa de ozônio (CFC-11)	Acidificação (SO ₄)	Eutrofização (PO ₄)	Metais pesados (Pb)	Cancerígenos (B _(a) P)	Contam. de pó (SPM)	Conc. de ozônio (C ₂ H ₄)	Consumo de energia	Resíduos sólidos
Premoldados de concreto	Cimento Portland	47%	0%	18%	19%	0%	0%	81%	4%	33%	73%
	Agregado miúdo	2%	0%	3%	4%	0%	0%	0%	5%	1%	0%
	Agregado graúdo	3%	0%	4%	5%	0%	0%	0%	4%	2%	9%
	Aço estrutural	39%	0%	61%	50%	99%	100%	18%	48%	59%	13%
	Produção das vigas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%
	Transporte do cimento	1%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	3%	0%	0%
	Transporte do aço	1%	0%	2%	3%	0%	0%	0%	6%	1%	0%
	Transp. dos agregados	1%	0%	1%	2%	0%	0%	0%	3%	0%	0%
Aço laminado	Transp. da estrutura	6%	0%	10%	16%	1%	0%	1%	27%	4%	0%
	Somas	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Perfis de aço estrutural	56%	0%	67%	72%	78%	96%	68%	60%	61%	66%
	Corte dos perfis	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Soldagem dos perfis	39%	99%	25%	14%	22%	4%	30%	18%	36%	34%
	Transporte dos perfis	2%	0%	3%	5%	0%	0%	1%	8%	1%	0%
	Transp. da estrutura	3%	0%	5%	9%	0%	0%	1%	14%	2%	0%
	Somas	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

4.3 Avaliação do perfil meio ambiente das alternativas propostas.

Na avaliação do perfil meio ambiental dos dois sistemas estruturais, são aplicados inicialmente, os fatores normalização do programa SimaPro. Estes fatores foram obtidos por médias de consumo de energia europeia e/ou reservas de recursos naturais mundiais, tendo ano de 1990 como referência.

Os resultados obtidos da multiplicação dos fatores de caracterização por seus respectivos fatores de normalização, podemos ver no Gráfico 1. Temos aí uma configuração significativa de cada sistema por cada uma das categorias de impactos avaliadas.

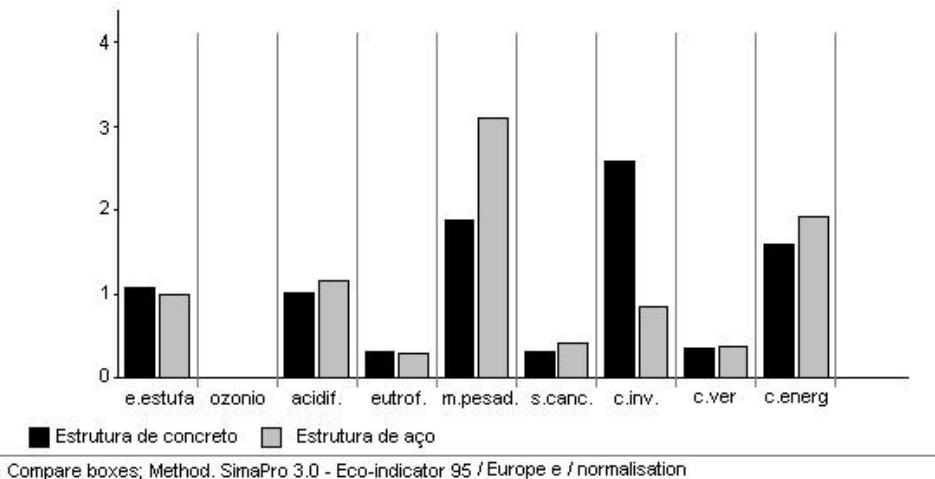


Gráfico 1 – perfil definido pelos fatores de normalização.

Observamos que as categorias com maiores efeitos sobre o meio ambiente são a contaminação por metais pesados e consumo de energia, seguidos da contaminação de inverno (contaminação por pó). Com impactos em menor dimensão, o efeito estufa e a acidificação. A eutrofização, substâncias cancerígenas e contaminação de verão (concentração de ozônio) tem efeitos um pouco mais reduzidos. Chamamos a atenção de que o comprometimento da capa de ozônio não apresenta índices significativos na escala do gráfico.

No Gráfico 2, avalia-se quantitativamente o perfil meio ambiental das duas soluções estruturais propostas. Os resultados são indicadores de impactos, que demonstram o distanciamento dos valores avaliados em relação como valores límites definidos como aceitáveis ou metas de redução a se atingir. Observa-se então como as categorias de impacto são representadas por uma pontuação atribuída com base em critérios do programa SimaPro, levando-se em conta a gravidade do impacto ao entorno ambiental.

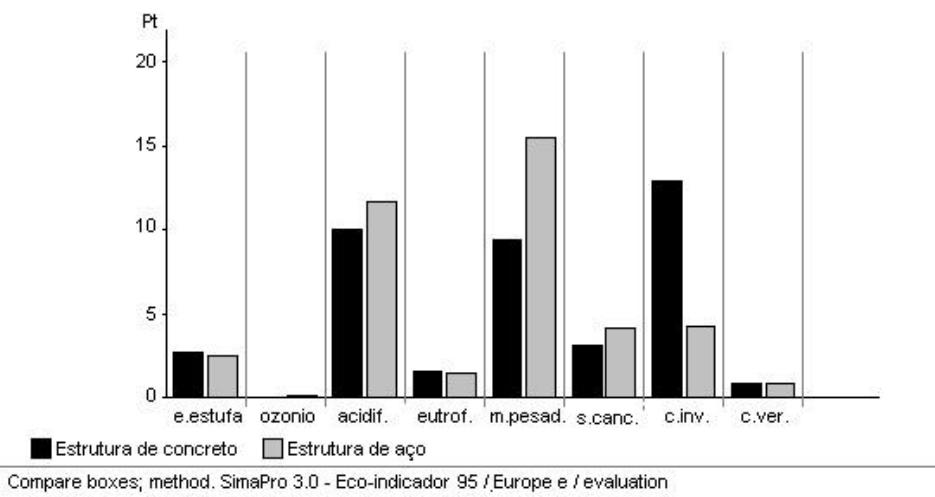


Gráfico 2 – perfil definido pelos indicadores de impacto sobre o meio ambiente.

Para as soluções construtivas aqui analisadas, os indicadores demonstram as suas contribuições individuais aos impacto sobre o entorno ambiental. Somados os indicadores de cada categoria analizada, seria possível chegar a um número único que representaria o impacto ao meio ambiente de cada uma das soluções propostas.

Como os resultados obtidos, também são indicados aqueles fluxos onde se pode intervir, para melhorar o perfil meio ambiental de cada uma das soluções propostas. É importante destacar que os resultados aqui apresentados estão baseados em critérios próprios do programa SimaPro, e que eles podem ser modificados quando sejam adotados valores normativos de

âmbito internacional, ou outros critérios, como por exemplo, que representem consensos entre pesquisadores e órgãos/autoridades responsáveis pelo controle e a proteção do meio ambiente.

5. CONCLUSÕES

O fato de não ter sido considerado o ciclo de vida completo da estrutura pode ocasionar inconsistência nos resultados obtidos. E, provavelmente isso influenciaria na tendência do perfil de cada uma das alternativas avaliadas, onde, por exemplo, se considerada a fase de demolição/desmontagem da estrutura com reciclagem ou não dos materiais, teria uma forte influência.

Como os resultados obtidos estão associados diretamente aos inventários utilizados na avaliação, eles podem ser influenciados diretamente, pois o detalhamento da base de dados empregada, critérios locais e temporais, entre outros, são determinantes para a avaliação.

No entanto, os resultados parciais aqui apresentados, nos leva a concluir que a análise do ciclo de vida-ACV, constitui uma ferramenta com alto potencial para obter valores quantitativos e qualitativos dos efeitos impactantes sobre o meio ambiente gerados pelos materiais e processos da construção, e que permitiram ao projetista da obra, fazer uma escolha adequada da melhor solução, sob o critério do sistema que gere menor impacto ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anink, D., et al. **Handbook of Sustainable Building – An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment** – ISBN 1-873936-38-9, London, 1996. 175 p

Carvalho Filho, A.C., Josa, A., Aguado, A. y Gettu, R. **Avaliação do Impacto ao Meio Ambiente Causados pelos Produtos e Materiais da Construção Civil a Base de Cimento** – In CON PAT'97 – Porto Alegre, Brasil, 1997. p 499-506.

Carvalho Filho, A.C. **Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento**. Barcelona, 2001. 297 p. Tese de Doutorado – Programa de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Politécnica da Catalunha.

CML. Environmental Life-Cycle Assessment Products – Guide – Backgrounds – CML-TNO-B&G , NOH-9253/54, Leiden, 1992. 224 pp.

Fullana, P. y Puig, R. **Análisis del Ciclo de Vida** – Rubes Editorial, S.L. – ISBN 84-497-0070-1, Barcelona, 1997. 143 p.

Josa, A., Aguado, A. y Gettu, R. **Evaluación Ambiental de Productos de La Construcción Derivados del Cemento** – CIC Información (I) (II), No. 299/97, p. 30-35, No 300/97, p. 49-55. Barcelona, 1997

SETAC. A Conceptual Framework for Life-Cycle Impacts Assessment - Guidelines for Life-Cycle Assessment: A “Code of Practice” – Bruselas, 1993

U.S. Department of Energy –DOE. **Green Building Technical Manual** – U. S. Department of Energy-DOE; Public Technology, Inc.-PTI; U.S. Green Building Council-USBGC and U.S. Environmental Protection Agency, 1993. 292 p.

AGRADECIMENTOS

Nosso agradecimento à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES- pela bolsa de doutorando que financiou parte dos estudos de doutorado realizados na Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, da Universidade Politécnica de Catalunia - Espanha.