

Impacto ambiental dos edifícios - Cenários França e Brasil

Laura do Carmo Baumgratz de Paula Larivoir

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro (RJ), Brasil

lauracbpaula@poli.ufrj.br

Pedro Kopschitz Xavier Bastos

Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Construção Civil, Juiz de Fora (MG), Brasil

pedro.bastos@uff.edu.br

RESUMO: A construção civil é um setor atividades que causa muitos impactos ambientais, como grande consumo de materiais, água, energia e geração de resíduos. É preciso tornar o setor mais sustentável adotando uma visão sistêmica de toda a cadeia produtiva, ao longo do ciclo de vida dos materiais e dos edifícios. O presente trabalho aborda este tema através de uma reunião de conceitos e um estudo de caso, tomando a realidade da França como referência para realçar a lacuna existente no Brasil na área de impactos dos edifícios. É indispensável considerar o ciclo de vida das edificações, especialmente a fase de especificações de materiais, pois o impacto gerado numa fase inicial do empreendimento pode ser irreversível. O estudo de caso de um edifício com a ferramenta computacional francesa "CoCon" de cálculo de impactos mostra algumas possibilidades de redução de impactos - a opção por alguns materiais nas etapas de alvenaria, cobertura, revestimento de piso e esquadrias pode representar redução de até 30% de energia embutida e até cerca de 26% nas emissões de CO₂.

Palavras-chave Edifícios, Materiais de construção, Análise do ciclo de vida, Construção sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais importantes para a economia e o desenvolvimento dos países e, ao mesmo tempo, um dos maiores causadores de impactos ambientais negativos. Dentre eles podem ser citados o uso intensivo de recursos naturais, o consumo de energia, o consumo de água, a geração de resíduos e a poluição do ar. A indústria da construção civil consome, no mundo, cerca de 60% dos recursos naturais, 45% da energia produzida e gera 40% do total de resíduos (BRIBRIÁN, 2011; ANTÓN, 2014; IRIBARREN, 2015). É urgente que ocorram mudanças neste cenário para tornar o setor sustentável, conciliando aspectos ambientais, econômicos e sociais.

A França, país onde 44% da energia são consumidos pelos edifícios dos setores residencial e terciário (MOLLE, 2013) avançou muito na última década com as leis Grenelle 1 e Grenelle 2 (de 2009 e 2010, respectivamente), que têm como um dos principais eixos a melhoria da eficiência energética dos edifícios - o objetivo é reduzir em 38% o consumo de energia (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2010). As regulamentações térmicas também estabelecem políticas e metas importantes para o mesmo setor. A *Réglementation Thermique 2012 - RT 2012* fixa o consumo máximo de energia dos novos edifícios em 50 kWh/m².ano, em média, de acordo com características de projeto e de localização, considerando altitude e clima de determinada zona bioclimática (MOLLE, 2013).

De outro lado, países em desenvolvimento, como o Brasil, encontram-se em estágio primitivo quanto a políticas governamentais, nível de conscientização da indústria e de ações no setor que sejam significativas local e globalmente. O setor da construção civil brasileiro, notadamente o de edifícios, caracteriza-se pela presença maciça de processos quase artesanais de produção, uso intensivo de mão de obra e altos índices de desperdício.

De toda energia elétrica consumida no Brasil, 14% são utilizados em edificações residenciais e pelo setor de serviços. A indústria consome 32% (BRASIL, 2015). A melhoria da eficiência energética das edificações e dos equipamentos nelas utilizados é essencial para uma redução do consumo no setor.

Apesar das disputas geopolíticas globais não terem permitido, até o presente, avançar nos acordos climáticos internacionais no ritmo necessário, a ciência e a tecnologia têm dado sua contribuição. As novas ferramentas computacionais de análise do ciclo de vida dos edifícios são um exemplo. Porém, ainda existem muitas restrições para sua aplicação genérica em realidades muito distintas - França e Brasil, por exemplo.

2. OBJETIVO

Este artigo apresenta uma abordagem dos cenários de Brasil e França na área de impactos ambientais dos edifícios, com o objetivo de contribuir para a discussão dos seguintes pontos:

- Limites e limitações a serem considerados em um estudo de impacto ambiental de um edifício;
- Uso de ferramentas computacionais de análise de ciclo de vida de edifícios em realidades distintas.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho se apoiou em literatura sobre o tema, obtida em oportunidades de intercâmbio dos autores para pesquisa na França e no uso de uma ferramenta computacional (planilha eletrônica "CoCon") também obtida naquele país, para cálculo dos impactos ambientais do estudo de caso aqui apresentado.

4. IMPACTO AMBIENTAL DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E DOS EDIFÍCIOS - LEIS E NORMAS

O Brasil possui legislação ambiental consistente e bem estruturada para vários setores de atividades. Entre as leis mais abrangentes que tangem o setor de construção em alguns pontos podem ser citadas a Política Nacional do Meio Ambiente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a resolução Conama número 307, que classifica os resíduos de construção civil por tipos, entre outras. Normas técnicas também tratam do desempenho dos edifícios incluindo aspectos térmicos, como a NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho, de 2013, e a NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações, de 2005, parte 3, que estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e sugere diretrizes construtivas para edificações.

Na França, além das já mencionadas Leis Grenelle 1 e 2, merece destaque a norma NF P01 - 010 - *Qualité environnementale des produits de construction - Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction* (Qualidade ambiental dos produtos de construção - Declaração ambiental e sanitária dos produtos de construção), que reúne dez impactos de produtos de construção: consumo de energia primária renovável e não-renovável, esgotamento dos recursos naturais, consumo de água, geração de resíduos sólidos, mudanças climáticas, poluição do ar, poluição da água, destruição da camada de ozônio estratosférico, acidificação atmosférica, e formação de ozônio fotoquímico (ARENE, 2012).

Para fins de medição dos impactos são mais comuns, na literatura, os dados relacionados a consumo de energia e emissão de CO₂. A energia total do ciclo de vida de um edifício é composta por energia embutida (ou energia incorporada) e energia operacional. A energia embutida está contida nos materiais utilizados na construção, durante os processos de produção, na construção e, posteriormente, na demolição e disposição final (DIXIT, 2010). A energia operacional é aquela utilizada para manter o ambiente interior confortável (aquecimento, resfriamento, iluminação) e para operação de aparelhos.

Leis e regulamentações (como as regulamentações térmicas francesas) proporcionam redução do consumo de energia operacional; a redução de energia embutida, porém, ocorre na escolha correta dos materiais (ARENE, 2012).

As emissões de gás carbônico estão diretamente relacionadas com a fonte primária da energia gerada e usada em certo trabalho o - queima de carvão, queima de combustíveis fósseis, energia elétrica, etc. Para cada kWh de energia costuma-se associar certa quantidade de CO₂, em toneladas, de acordo com matriz energética local. Carbono embutido, portanto, são as emissões de CO₂ ocorridas durante a extração de matéria prima, transporte, fabricação, montagem, desmontagem e descarte final de vida de um produto.

Na indústria da construção, a maior parte do CO₂ é produzida a partir da queima de combustíveis fósseis e nos processos de fabricação de cimento (MONAHAN, 2011).

5. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) DE EDIFÍCIOS

Segundo Miyazato (2009), a Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma “ferramenta de gestão para análise e escolha de alternativas e tomada de decisão sob uma perspectiva ambiental (...) que conduz a ações mais efetivas e, conseqüentemente, com maior sustentação a longo prazo em relação à redução dos custos econômicos e ambientais“. As mudanças tecnológicas obtidas com a ACV são essenciais para o processo produtivo, uma vez que possuem efeito multiplicador ao longo da cadeia produção, incluindo processos de reciclagem e de reuso. Dentre as principais questões técnicas a serem abordadas durante a realização de uma ACV estão a definição das fronteiras do sistema e a qualidade dos dados disponíveis (HAMMOND, 2008).

Através da ACV é possível selecionar a melhor tecnologia disponível e minimizar o impacto ambiental dos edifícios através das decisões tomadas desde o projeto. Devido à grande quantidade de matérias-primas e do alto consumo de energia para transformá-las em produtos para construção civil (aço, cimento, plásticos, tintas, etc.), a escolha dos materiais com alto teor de energia embutida pode tornar muito elevado, desde o início, o consumo de energia total do edifício. Além disso, a escolha dos materiais determina o futuro do consumo de energia usada para aquecimento, ventilação e ar condicionado, entre outras demandas (BRIBIÁN, 2011).

6. FRANÇA E BRASIL - REALIDADES DISTINTAS

França e Brasil são países muito distintos em extensão territorial, tamanho da população, clima, costumes e cultura, entre outros aspectos.

Cada país possui suas matrizes energética e elétrica - o cruzamento entre as fontes e o uso de energia por setor de atividades fornece um quadro dos efeitos de cada um, balizador para políticas de redução de emissões de gases do efeito estufa - GEE.

Dados brasileiros adaptados de "Balanço Energético Nacional 2015 - Ano base 2014: Relatório Síntese" (BRASIL, 2015) e dados relativos à França obtidos em "Bilan énergétique de la France pour 2014" (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015), mostram a predominância de energia proveniente de urânio (79,37 %) e eletricidade de fonte nuclear (73,30 %) na França, em contraste com as matrizes brasileiras, em que biomassa, eletricidade hidráulica e petróleo representam 68,40 % da oferta interna de energia e 76,80 % da eletricidade produzida é de origem hidráulica. Com isso, ainda de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2015), a emissão de CO₂ por MWh gerado do setor elétrico brasileiro foi de cinco a seis vezes inferior à europeia em anos recentes.

A seguir reúnem-se alguns dos principais aspectos que determinam as diferenças dos impactos ambientais dos edifícios em função da localização (país):

- Processos de fabricação do mesmo produto - tecnologia empregada (máquinas, equipamentos mais ou menos modernos e produtividade);

- Recursos naturais: as fontes mais próximas e abundantes (água, madeira, petróleo, carvão, sol, vento, etc.) levam cada país a privilegiar aquilo que custa menos, nem sempre dando prioridade ao que é ambientalmente melhor;
- Matriz energética - é um reflexo, em primeiro lugar, da quantidade proporcional de recursos naturais disponíveis com potencial de gerar energia. Em segundo lugar, do grau de desenvolvimento do país e das metas públicas estabelecidas, algumas espontâneas e, outras, atreladas a protocolos internacionais;
- Transporte - boa parte das emissões e da energia embutidas em um produto estão ligadas às distâncias percorridas entre o local de extração e a fábrica e a obra, além do meio utilizado (navio, avião, caminhão, trem,...), cada um com seu respectivo tipo de combustível e consumo por quilômetro. Países com dimensões territoriais muito distintas tendem a apresentar impactos ambientais proporcionalmente distintos por tonelada de produto, por exemplo.
- Clima - os projetos, as especificações de materiais e as condições de uso (necessidades de aquecimento ou refrigeração, de acordo com a região) dos edifícios dependem do tipo de exposição;
- Estágio tecnológico - eficiência energética dos equipamentos determinam os níveis de consumo e os níveis de perdas;
- Tecnologia construtiva - proporções no uso de homens e máquinas nos canteiros de obra e características dos materiais empregados (matéria prima, propriedades mecânicas e térmicas) afetam diretamente o cálculo de impactos ambientais.

7. BASES DE DADOS E FERRAMENTAS DE CÁLCULO

As bases de dados para cálculo da ACV permitem armazenar e organizar informações de modo a facilitar a sua exploração. Na França, a mais conhecida para o setor de construção é a base INIES de produtos, equipamentos e serviços, disponibilizada gratuitamente pelo CSTB - *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* - no sítio <http://www.base-inies.fr>. A base INIES coloca à disposição 1.596 Fichas de Declaração Ambiental e Sanitária (FDES, na sigla em francês) de produtos de construção e decoração, cobrindo mais de 31.000 produtos do mercado francês, fornecidas pelos fabricantes e pelos sindicatos profissionais. Entre as principais bases europeias do setor de construção também podem ser citadas a suíça KBOB, que utiliza dados fonte da base ECOINVENT, também suíça, e a britânica ICE - *Inventory of Carbon and Energy*. (ARENE, 2012; HAMMOND, 2008)

As diversas ferramentas computacionais de cálculo de ACV disponíveis podem produzir resultados diferentes, em função de diversos parâmetros de cálculo, como os limites do estudo (berço à fábrica, berço ao portão, berço ao túmulo,...) e a base de dados adotada. Segundo o guia "A energia cinza dos materiais e das obras" (ARENE, 2012), para escolher a ferramenta adequada deve-se considerar aquelas que permitem, no mínimo, comparar soluções.

Dados brasileiros são ainda escassos. Merecem destaque os organizados por Silva e Silva (2015) para materiais (desde a extração da matéria prima até o portão das fábricas) e para o metro quadrado de construção de uma tipologia construtiva selecionada - edifício até três pavimentos e estrutura de concreto armado, entre outras características. No entanto, é necessário começar a criar a cultura de se calcular os impactos ambientais das

construções na fase de projeto, mesmo que isso signifique, no atual estágio brasileiro de inexistência de bases de dados e de ferramentas adequadas às características nacionais do setor, o uso de recursos adaptados.

A planilha eletrônica CoCon (*COMparaison de Solutions CONstructives, de CONFORT et d'Émissions de CO₂*)¹, entre as muitas ferramentas existentes, permite estimar a qualidade ambiental de um edifício em termos de soluções construtivas e ambientais. É possível caracterizar o projeto pelo tipo de intervenção (obra nova ou reforma), localização, altitude, vida útil prevista e os selos *greenbuilding* utilizados. O programa permite nomear, mudar a espessura e os materiais utilizados, especificar quantidades, áreas, custos e gerar resultados de mudanças climáticas, em kg de CO₂ por m², consumo de recursos naturais e consumo de energia primária, entre outros indicadores. Através do número de ocupantes, área construída e a área de partes da obra como paredes, janelas, fundações e cobertura, o CoCon fornece, também, dados de resistência térmica, mudanças climáticas, energia primária e energia cinza consumidas pelo edifício.

8. ESTUDO DE CASO

O presente trabalho traz um estudo do impacto ambiental - energia embutida e emissão de CO₂ - de um edifício para o qual são feitas variações de materiais utilizando a ferramenta computacional CoCon. O objetivo é mostrar uma estratégia de avaliação comparativa de impactos na fase de especificação de materiais de um projeto. A ferramenta usada faz os cálculos levando em conta a energia embutida dos materiais e a eventual substituição de elementos construtivos ao longo da vida útil estimada para o edifício.

Foi escolhida uma tipologia bastante comum nos centros urbanos, de altura e porte médios - sete pavimentos, estrutura de concreto armado, paredes de vedação em alvenaria, quatro apartamentos por pavimento, área total construída de 1.630,0 m². O projeto, assim como o consumo de materiais por etapa de obra, foram extraídos de Del Mar (2008). Algumas características dos materiais ou de partes da construção, como tempo de vida útil estimada e espessuras diversas de pisos e revestimento de parede, foram inseridas no programa. Outras, como densidade e condutividade térmica, fazem parte da base de dados do CoCon. As variações do estudo foram feitas para o tipo de piso dos apartamentos (madeira ou cerâmico), tipo de cobertura (telha cerâmica ou de concreto), tipo de esquadria (alumínio ou madeira) e tipo de bloco de alvenaria (cerâmico ou de concreto). Em todos os casos a estrutura do edifício é de concreto armado. O prédio adotado como referência (PR) é composto por:

- Pisos: laje de concreto armado revestida com piso cerâmico;
- Cobertura: telha cerâmica;
- Esquadrias: portas de madeira e janelas de alumínio com vidro duplo;
- Paredes de vedação: blocos cerâmicos.

¹ Consultar: <http://www.eosphere.fr/COCON-comparaison-solutions-constructives-confort.html>

A Tabela 1 mostra as áreas (m²) das partes do edifício consideradas nos cálculos de impactos.

Tabela 1- Áreas (m²) de partes do edifício.

Partes do edifício	Área
	m ²
Alvenaria	3.813,0
Cobertura	227,0
Laje com revestimento de piso	1.589,0
Esquadrias - janelas	112,0
Esquadrias - portas	294,0

O estudo de caso traz resultados de consumo de energia embutida e de emissão de CO₂ das etapas de extração de matéria prima até a entrega na obra. Não traz resultados do uso do edifício. Deve-se ressaltar, como limitação, que a base de dados da ferramenta CoCon não se aplica de modo direto ao cenário brasileiro. As adaptações a serem feitas, como inserção de fatores de cálculo de acordo com a matriz energética, distâncias de transporte e processos e fabricação dos materiais não serão objeto deste estudo. Os resultados, portanto, devem considerar esta ressalva, mas, por outro lado, sua proporcionalidade pode ser entendida como útil na pré-avaliação de materiais no momento da especificação, na fase de projeto do edifício. Além disso, o presente estudo tem como um dos objetivos trazer à tona a reflexão sobre o tema.

A partir do prédio de referência foram alterados os materiais de partes da obra para analisar os diferentes impactos da substituição em cinco casos. Nos prédios chamados P1, P2, P3, P4 e P5 foram mantidas as características do prédio de referência, trocando apenas:

- P1 - bloco de concreto no lugar de bloco cerâmico da alvenaria;
- P2 - telha de concreto no lugar de telha cerâmica;
- P3 - piso de madeira no lugar de piso cerâmico;
- P4 - janela de madeira no lugar de janela de alumínio;
- P5 - todas as partes estudadas foram trocadas.

Em todos os edifícios, incluindo o prédio de referência, considerou-se o mesmo material - madeira - para as portas. As etapas de fundação e instalações não foram incluídas nos cálculos.

Algumas características dos materiais adotados pelo programa para os cálculos são mostradas na Tabela 2. Para definir a estimativa de duração de vida de cada material, utilizaram-se valores da norma ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013), que define a Vida Útil Estimada como sendo “a durabilidade prevista para cada dado produto, inferida a partir de dados históricos do desempenho do produto ou de ensaio de envelhecimento acelerado”. Foi adotada vida útil de 100 anos para todos os materiais, exceto para os telhados e para os pisos e as janelas de madeiras, para os quais se adotou 60 anos.

Tabela 2 - Características dos materiais utilizados

Partes do edifício	Densidade	Condutividade térmica - λ	Espessura	Vida Útil estimada	Energia Cinza	Emissões de CO ₂
	kg/m ³	W/m.K	cm	anos	kWh/m ²	kg _{eq} CO ₂ /m ²
Alvenaria - Bloco Cerâmico						
Argamassa de cimento, cal e areia.	1600	0,7	2	100	20	6,87
Bloco cerâmico	663	0,25	10	100	47	13,2
Revestimento de cimento, cal e areia	1600	0,7	2	100	20	6,87
Alvenaria - Bloco de Concreto						
Argamassa de cimento, cal e areia.	1600	0,7	2	100	20	6,87
Bloco de concreto	1185	0,952	10	100	22	8
Revestimento de cimento, cal e areia	1600	0,7	2	100	20	6,87
Cobertura						
Telha cerâmica	1570	0,64	-	60	68	12,4
Telha de concreto	1400	0,146	-	60	39	10,47
Laje de Concreto Armado + Piso Cerâmico						
Concreto armado	2150	2,3	10	100	81	30,67
Argamassa de cimento	1850	1,4	2,5	100	24	8,58
Cola para revestimento cerâmico	1034	0,7	1	100	21	5,55
Piso cerâmico	2321	2,6	1	100	90	19,1
Laje de Concreto Armado + Piso de Madeira						
Concreto armado	2150	2,3	10	100	81	30,67
Argamassa de cimento	1850	1,4	2,5	100	24	8,58
Cola Vynilique D1 para madeira	850	0,1	1	100	1	0,12
Piso de madeira maciço, seco ao ar	650	0,18	2,5	60	16	2,38
Esquadrias						
Janela de alumínio com vidro duplo Uw=1,9 W/m ² K		400	0,133	100	786	212
Janela de madeira com vidro simples Uw=5,7W/m ² K		702	0,399	60	190	25,53
Portas de madeira de entrada 58 mm BEL'M		616	0,077	100	1281	217

9. RESULTADOS E ANÁLISE

A Figura 1 mostra o consumo de energia cinza (em kWh/m²) dos casos estudados. Como é possível observar, há uma redução na quantidade de energia cinza por metro quadrado dos edifícios, à medida que são substituídos materiais mais impactantes por outros menos impactantes, até se chegar a uma redução de quase 30% de energia, quando comparados o edifícios de referência com o edifício P5, para o qual foram feitas todas as substituições possíveis pensadas no presente estudo. A maior redução percentual (14,6%) para a

substituição de apenas uma parte da obra ocorreu para a troca de piso cerâmico por piso de madeira no edifício P3, seguida (7,9%) pela troca de bloco cerâmico por bloco de concreto para a alvenaria no edifício P1 e pela troca de janela de alumínio por madeira no edifício P4 (5,4%). A troca de telha cerâmica por telha de concreto representou redução de apenas 0,5%, comparando-se os edifícios PR e P2. Evidentemente, estes percentuais dependem das quantidades de serviço em cada etapa da obra.

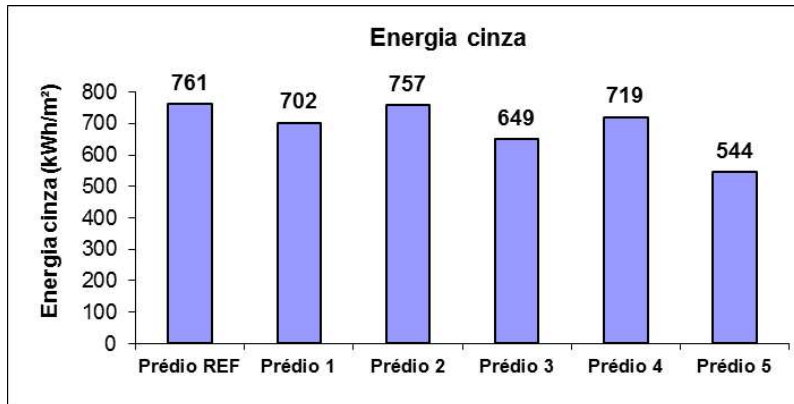


Figura 1- Consumo de energia cinza dos edifícios por m².

A Figura 2 mostra as emissões de CO₂ (em kg_{eq}CO₂/m²) por edificação. Observações muito parecidas com as que foram feitas para a energia podem ser feitas para as emissões de CO₂. Ao final, a redução (PR comparado com P5) total observada para as emissões de CO₂ por m², chegou a aproximadamente 26%.

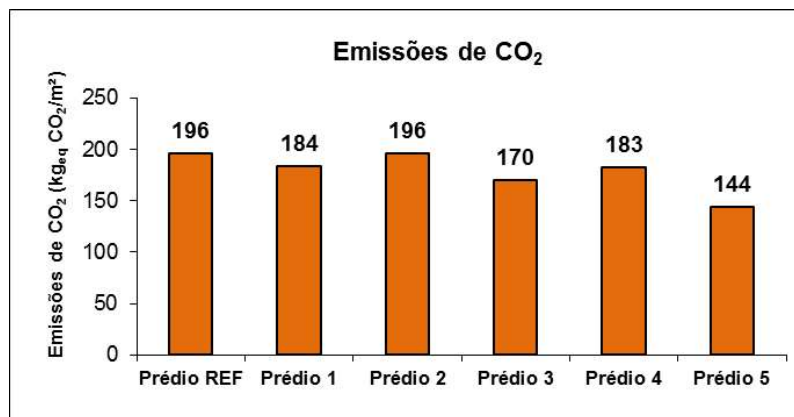


Figura 2 - Emissões de CO₂ dos edifícios por m²

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos ambientais gerados pela construção civil podem ser observados em toda a cadeia produtiva - desde a extração de recursos até o descarte final. Ao se aplicar estratégias de sustentabilidade nas fases de concepção e projetos, é possível uma intervenção no desempenho das edificações. Assim, a especificação de materiais é especialmente importante no ciclo de vida, pois os impactos relacionados à energia embutida podem ser irreversíveis. A França é uma das maiores referências em legislação,

normas, bases de dados públicas e uso de ferramentas computacionais para cálculo de impactos ambientais de edifícios. Há uma grande lacuna na realidade brasileira nessa área, mas, nem por isso, devem-se privar os projetos de cálculos comparativos entre soluções construtivas na fase de especificação de materiais. O estudo apresentado neste trabalho com uma ferramenta e dados europeus teve como objetivo mostrar uma estratégia a ser adotada nas comparações. Por meio da ferramenta CoCon, aplicada em um edifício com características convencionais, mostrou-se que a simples substituição de materiais nas etapas de alvenaria, cobertura, revestimento de piso e esquadrias pode representar redução de impactos de até 30% para a energia embutida e até cerca de 26% para as emissões de CO₂. Para que estudos mais completos sejam realizados com números adaptados ao cenário brasileiro, é necessário desenvolver e trabalhar com base de dados de materiais com características, propriedades e processos produtivos da construção civil nacional. Ao mesmo tempo, programas computacionais devem ser criados ou adaptados para cálculos que permitam simulações para decisões ainda na fase de projeto.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais, 2013d.
- Antón, Laura Álvarez; DÍAZ, Joaquín. Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index*, v. 89, p. 1345-1349, 2014.
- Arene, Guide Bio-tech: *L'énergie grise des matériaux et des ouvrages*. ICEB, 2012.
- Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: *Relatório Síntese Rio de Janeiro*: EPE, 2015.
- Bribrián, I. Z. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential, *Building and Environment*, Volume 46, Issue 5, May 2011, Pages 1133-1140
- Del Mar, C. P. Orçamento exato – Prédio estrutural de baixo padrão. *Guia da Construção – Construção Mercado*. 83 ed. São Paulo: Editora PINI, 2008.
- Dixit, M. K. Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review, *Energy and Buildings*, Volume 42, Issue 8, August 2010, Pages 1238-1247
- Hammond, G. P. and Jones, C. I. (2008) Embodied energy and carbon in construction materials. Proc. Instn Civil. Engrs: *Energy*, in press.
- Irribarén, D., Marvuglia, A., Hild, P., Guiton, M., Popovici, E., & Benetto, E. (2015). Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external walls. *Journal of Cleaner Production*, 87, 707-716.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Le Grenelle Environnement - *Loi Grenelle 2*. 2010. Disponível em: http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Grenelle_Loi-2.pdf. Acessado em 26/07/2016.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. *Bilan énergétique de la France pour 2014*. 2015. Disponível em: http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/References/2015/ref-bilan-energie-2014-juillet2015-b.pdf. Acessado em 26/07/2016.
- Miyazato, Tarsila; Oliveira, C.T. de A. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): aplicações e limitações no setor da construção civil. *V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*, v. 49, 2009.
- Molle, D.; Patry, P-Manuel. RT 2012 et RT Existant - *Réglementation thermique et efficacité énergétique*. 2. ed. Paris, Eyrolles, 2013.
- Monahan, J. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 1, January 2011, Pages 179-188.
- Silva, V. G.; Silva M. G. Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. Edifício Ambiental. São Paulo: *Oficina de Textos*, 2015. p. 129-151.