

## **FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO PARA LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>: ESTUDO DE CASO**

### **TOOLS FOR PLANNING SURVEY INVENTORY OF CO<sub>2</sub> EMISSION: A CASE STUDY**

**Fernando Henrique Rodrigues Lobo**

Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Centro Politécnico  
Mestre em Construção Civil  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil  
Jardim das Américas, s/n  
Curitiba – PR, Brasil  
E-mail: [fhrlobo@gmail.com](mailto:fhrlobo@gmail.com)

**Adriana de Paula Lacerda Santos**

Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Centro Politécnico  
Doutora em Engenharia Civil  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil  
Jardim das Américas, s/n  
Curitiba – PR, Brasil  
E-mail: [adrianapls@ufpr.br](mailto:adrianapls@ufpr.br)

**Sérgio Fernando Tavares**

Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Centro Politécnico  
Doutor em Engenharia Civil  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil  
Jardim das Américas, s/n  
Curitiba – PR, Brasil  
E-mail: [sergioft22@yahoo.com.br](mailto:sergioft22@yahoo.com.br)

**RESUMO:** O artigo propõe o uso de ferramentas de controle consagradas no planejamento de obras para avaliação de impactos ambientais da atividade da construção civil. As técnicas tradicionais de planejamento são ferramentas com capacidade para mensuração e identificação de aspectos quantitativos da indústria da construção civil. Esta característica pode permitir a identificação de dados relevantes ao consumo de recursos naturais e emissões de resíduos. Neste contexto, este artigo apresenta avaliação dos impactos de emissão de dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> em um Estudo de Caso. Os dados de emissão foram levantados por meio de revisão bibliográfica e dados divulgados por instituições com credibilidade internacional. A emissão de CO<sub>2</sub> foi identificada por etapa construtiva e estes dados foram apresentados por meio de uso de ferramentas de planejamento como o histograma, a curva S e o gráfico de Pareto. A principal contribuição deste trabalho consiste em demonstrar um método para calcular a Energia Embutida e as emissões de CO<sub>2 eq</sub> a partir da planilha de serviços de uma obra vinculando os dados de insumos de energia embutida e emissão de dióxido de carbono. No decorrer da pesquisa apresenta-se uma ferramenta na qual se simula os valores de emissões de CO<sub>2 eq</sub> de uma edificação até a conclusão da obra. Os resultados apresentaram que o modelo selecionado tem requisitos energéticos de 4,23 GJ/m<sup>2</sup> e emissões de 0,57 tCO<sub>2 eq</sub>/m<sup>2</sup>. São propostas algumas medidas para redução de emissão de CO<sub>2</sub>, no final do artigo.

**Palavras chave:** Sustentabilidade ambiental. Emissão de CO<sub>2</sub>. Planejamento.

**ABSTRACT:** This paper proposes the use of planning control tools to evaluate the environment impacts from the civil construction sector. The traditional planning control techniques are able to measure and identify the quantitative aspects of the civil construction. This feature may allow the data identification relevant during the natural resource consumption and the waste emission. In this context, this paper presents the CO<sub>2</sub> emission impact in one case study. The emission data were collected through literature review and data released by institutions with international credibility. The CO<sub>2</sub> emission was identified for constructive stage and these data were presented by use of planning tools such as the histogram, the S curve and the Pareto chart. The main contribution of this paper is to demonstrate a method for calculating embodied energy and the CO<sub>2</sub> emissions from the services spreadsheet of the one building. During the text the CO<sub>2</sub> emission simulation tool was introduced. The results showed that the energetic resources searched 4,23 GJ/m<sup>2</sup> and the emissions 0,57 tCO<sub>2 eq</sub>/m<sup>2</sup>. Finally, the paper introduces some advices for the CO<sub>2</sub> emission decrease.

**Keywords:** Environment sustainability. CO<sub>2</sub> emission. Planning.

## **1 INTRODUÇÃO**

Este artigo propõe o uso de ferramentas consagradas no planejamento de obras para avaliação de impactos ambientais da atividade da construção civil em um estudo de caso. Será explorado o uso de tradicionais métodos de planejamento e controle de obras para mensuração e identificação de aspectos relevantes a recursos ambientais e de resíduos, em particular a emissão de dióxido de carbono. O propósito é identificar mecanismos que favoreçam aos responsáveis pela elaboração do planejamento medidas mitigatórias como neutralização do CO<sub>2</sub> liberado pelo plantio de árvores e possíveis responsabilidades de aquisição de créditos de carbono.

As atividades da indústria da construção consomem 75% dos recursos extraídos da natureza (AGOPYAN; JOHN, OLIVEIRA, 2008). Este ramo da economia também é responsável por grande emissão de CO<sub>2</sub>, somente a indústria de cimento do tipo *portland* deposita 6% de todas as emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>.

A escassez de matérias-primas eleva os custos de produção, onerando as empresas do setor como diminuindo suas margens de flexibilidade e lucro. Com este cenário em escala global é necessário que as empresas ligadas à construção criem fatores para agregar valor aos seus empreendimentos. Por estas razões há movimentos no sentido de identificar os danos ambientais causados pelo sistema de produção atual da indústria da construção civil e propor soluções que aumentem a competitividade com adaptações de práticas construtivas ao paradigma ambiental.

O objetivo deste artigo é apresentar aos profissionais de planejamento um cenário mais holístico, no qual a demanda por construções mais sustentáveis exige soluções que minimizem o impacto ambiental e diferenciem o empreendimento. A pesquisa mostrará um estudo de caso de pequeno porte com técnicas construtivas tradicionais, proporcionando a identificação da emissão de CO<sub>2</sub> por meio de histogramas e curva S ao decorrer da execução.

## **2 A QUESTÃO DA SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Os primeiros sinais de escassez de recursos naturais a nível mundial foram dados pela crise do petróleo na década de 70, criando vários desdobramentos geopolíticos. Maior disputa por reservas de petróleo, substituição de matriz energética, investimentos em pesquisas no setor de energia e conscientização ambiental.

A revolução industrial introduziu consumo com crescimento exponencial de recursos disponíveis na natureza. Críticas sobre este modelo e suas possíveis consequências foram

realizadas por Arrhenius, no século XIX, sobre o aquecimento global pela liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Porém as primeiras medidas de proteção ao meio ambiente - excluindo criações de áreas de preservação - surgem após a crise do petróleo na década de 70 (CIB, 1999).

As primeiras mobilizações partiram da sociedade civil por meio de Organizações Não Governamentais – ONGs - na Europa e Estados Unidos. A redução de recursos tornou-se foco de discussões internacionais, culminando na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente que ficou conhecida por RIO 92. Com a presença de 178 países e de 112 chefes de estado foram discutidos os temas ambientais. Entre os resultados deste congresso destaca-se Agenda XXI, que determina metas para exploração de recursos naturais pelos países participantes (CIB, 1999).

Os desdobramentos destas discussões em âmbito internacional considerando o impacto da Construção Civil resultaram em outro documento a Agenda XXI para Construção Civil. O congresso Habitat II realizado em Istambul com a temática de assentamento humano sustentável produziu Agenda Habitat II. Esta é constituída de planos de implementação de políticas urbanas que estimulem o desenvolvimento sustentável (CIB, 1999).

A Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization* – ISO entidade responsável pela padronização e normalização de 158 países), conforme havia criado um padrão internacional de qualidade em 1991 cria o *Strategic Advisory Group on Environment* – SAGE. Resultado disso foi a criação da série ISO 14000 que avalia o ambiente de forma mais abrangente (ISO, 1997).

A necessidade de se adequar às legislações cada vez mais rigorosas e a procura por ganhos de produtividade no universo da Construção Civil otimizam os processos desta indústria. Estudos e práticas a fim de reduzir o desperdício e compreender os reais impactos ambientais são bem vindos. No início da década de 80, o conceito de sustentabilidade é definido pelo Relatório de *Brundtland* (1987) como suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas. Com a compreensão do caráter sistêmico com implicações sociais, econômicas e ambientais, o foco da pesquisa é a esfera ambiental da sustentabilidade, apesar das características sociais e econômicas também estarem presentes nas construções, sobretudo por esta face ser subsídio para outros pontos do desenvolvimento sustentável. Isto é explicado pelos sinais do processo de esgotamento dos recursos naturais (SILVA; SILVA, 1997).

O paradigma da sustentabilidade ganha força quando se trata dos possíveis mercados relacionados a crédito de emissão carbono (CO<sub>2</sub>). O risco de racionamento e as restrições eminentes de serviços essenciais ao funcionamento social são problemas gerados pela própria

sociedade. A indústria da construção civil apresenta papel fundamental para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e enxutas (HALLIDAY, 1997). O setor consome 66% do total de energia consumido no Reino Unido e nos Estados Unidos.

A matriz energética brasileira possui grande participação de usinas hidrelétricas e de uso de bicombustíveis. Entretanto, o Plano Decadal de Energia prevê um aumento na participação de usinas termoeletricas para geração de energia. O incremento da participação destas usinas cria uma perspectiva de aumento em emissão de  $14 \times 10^6$  toneladas equivalentes de  $\text{CO}_2$  em 2008 para  $39 \times 10^6$  de toneladas equivalentes de  $\text{CO}_2$  para o ano de 2017 (Brasil, 2009). A matriz energética setorial é baseada em fontes que não são consideradas limpas, com seis atividades da construção civil entre as 10 da lista de maiores consumidoras de energia do país, representando 75% do consumo energético de  $27347 \times 10^3$  tep – tonelada equivalente de petróleo - anuais.

Logo o paradigma da sustentabilidade é incorporado às tecnologias e aos processos relacionados à construção civil. O setor é responsável por significativos impactos ambientais e busca um melhor desempenho e reduções destes danos, por demanda social, legal e de produção.

A fim de atender a este objetivo é necessário desenvolver métodos e ferramentas para tornar as edificações mais eficientes e duráveis. Há uma diversidade de sistemas e metodologias para mensurar esses impactos, tais como licenciamentos e aprovações de caráter legal, pegada ecológica, sistema de certificação ambiental de edificações, Análise de Ciclo de Vida, análise energética e emissão de  $\text{CO}_2$  pelas atividades produtivas. A abordagem com foco na análise energética e seus desdobramentos, com a liberação de  $\text{CO}_2$ , na construção civil ainda apresenta outra característica da construção que é o uso maciço de energia, em geral de fontes não renováveis. O setor energético, ainda, apresenta parâmetros referenciados e tem claras implicações sociais, econômicas e ambientais.

### **3 A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO E CONTROLE NO GERENCIAMENTO DE PROJETOS**

Segundo PMI (1996) qualquer Projeto passa por duas grandes etapas: a de planejamento e a de acompanhamento e controle. Terminado o planejamento e iniciada a implementação, o acompanhamento e controle do andamento do Projeto tornam-se crucial, para que se possa concluí-lo com sucesso.

O planejamento mostra o que se pretende fazer. O acompanhamento mostra o que foi feito. Se colocados lado a lado, eles evidenciam as situações em que o desejado e o realizado

apresentaram variações, ou seja, desvios, permitindo identificar as situações em que a execução saiu do caminho originalmente traçado, e, portanto, onde ações de controle devem ser implementadas para deixar o trabalho de volta no rumo originalmente previsto (GASNIER, 2000).

Durante a administração de um projeto existem parâmetros que devem ser controlados para que o objetivo final seja atingido dentro dos padrões preestabelecidos (FORMOSO, 1991). Os métodos de controle podem ser divididos em três grupos (LIMMER, 1997):

- a) controles técnicos: referem-se a aspectos de qualidade dos materiais e da execução dos serviços, além da verificação da conformidade com as especificações estabelecidas;
- b) controles econômicos: referem-se a a verificação das quantidades de serviço realizadas e os custos incorridos para a sua realização;
- c) controles financeiros: são relacionados com o fluxo de caixa do empreendimento.

O Nível de controle a ser adotado deve seguir critérios de avaliação mensurados pela administração do empreendimento. Uma ferramenta de controle bastante utilizada é a curva de progresso. Estas curvas são comumente chamadas de curvas “S”, e constituem-se numa ferramenta importante para analisar as tendências e tomada de decisão. As curvas “S” são utilizadas com frequência sobre o gráfico de *Gantt* do empreendimento, de forma a identificar as atividades envolvidas com o progresso alcançado (VARGAS, 2000).

A curva de progresso planejado é obtida calculando-se os valores acumulados para os itens de controle adotados em cada unidade de tempo. Durante a realização do projeto, os progressos alcançados vão sendo plotados na curva de progresso real. A posição relativa entre esta curva e a curva de progresso planejado é utilizada para prever a situação do projeto como um todo (PRADO, 1998). Quando a linha de progresso realizado encontra-se sobre ou acima do planejado, a situação de progresso do empreendimento pode ser considerada satisfatória. Entretanto, se a curva de progresso realizado estiver abaixo da curva do planejado, o resultado é considerado insatisfatório, exigindo uma análise das causas que proporcionaram este suposto atraso de execução (Figura 1).

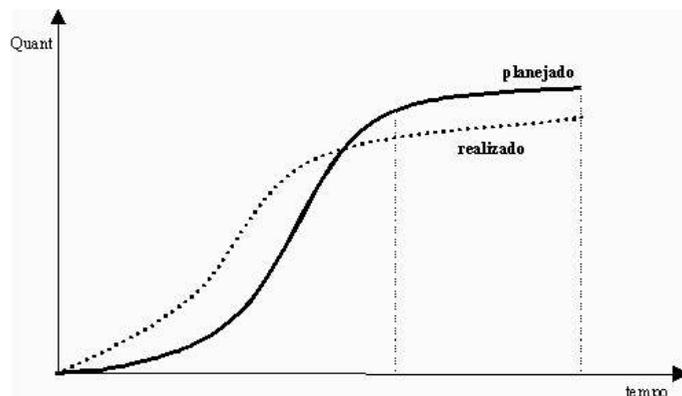


Figura 1 – Curva “S”  
 Fonte: Bernardes (2001)

Estas ferramentas de planejamento e controle podem ser úteis para os estudos de redução de consumo de CO<sub>2</sub>. O Planejamento e controle de produção são ferramentas capazes de proporcionar a introdução de melhorias nos aspectos organizacionais e temporais e por esta razão deveriam contemplar medidas de avaliação de impactos ambientais da AEC (BERNARDES, 2001). O maciço consumo energético da construção civil requer cerca de 40% da energia consumida no mundo, e taxas elevadas de desperdício, pois em outras indústrias o índice de desperdício médio varia 10% a 15% enquanto no setor da construção este número salta para uma taxa média de 20% (PICCHI, 1993; MEDINA, 2006; TAVARES, 2006), criam a oportunidade que ferramentas originárias de gestão e planejamento comecem a ser utilizados para avaliações ambientais.

A estratégia de levantamento de inventário dos parâmetros de emissões equivalente de CO<sub>2</sub> já é realizada por meio de uma planilha de serviços de edificações da construção civil. Esta abordagem se justifica por esta ser um instrumento convencional da construção civil e prático para avaliações quantitativas. Tavares (2006); Lobo, Tavares, Freitas (2009); Lobo *et al.* (2009), Lobo (2010); também adotaram esta tática para levantamento de Energia Embutida.

#### 4 Levantamento de inventário de emissões de CO<sub>2</sub> eq

Os inventários de emissões de gases de efeito estufa em geral são realizados por duas abordagens muito difundidas: a ascendente – *bottom up* – e a descendente – *top down*. Tal como em avaliações por análises energéticas também há combinações estabelecendo um procedimento híbrido. A abordagem *top down* permite o levantamento de dados de emissões de CO<sub>2</sub> com dados relativos à oferta de energia de um país, não são necessários maiores

detalhamentos quanto como são consumidos os combustíveis. São contabilizados os dados de entrada e saída de produção doméstica e de combustíveis primários (BRASIL, 2009).

Ela envolve a contabilização da produção doméstica de combustíveis primários, das importações e exportações de combustíveis primários e secundários e da variação interna dos estoques desses combustíveis. A metodologia se baseia numa análise macroeconômica que avalia o consumo nacional de fontes energéticas. O CO<sub>2</sub> embutido dos combustíveis fósseis ou é liberado para atmosfera ou é retido pela combustão incompleta ou pelo aumento de estoque nacional (BRASIL, 2009).

A abordagem descendente confere uma boa precisão para avaliações de inventários nacionais baseados no sistema energético. Entretanto, não avalia emissões resultantes de outros processos que muitas vezes são significativos, como a emissão provocada pela fabricação de cimento e alumínio, nem para a avaliação de emissão de outros gases do efeito estufa que necessitam de informações complementares (BRASIL, 2009).

Em 1996, o IPCC divulgou seu Relatório sobre Metodologia de Inventário de Emissão de Gases do Efeito Estufa. Esse relatório é uma linha guia para o desenvolvimento de todos os inventários nacionais de CO<sub>2</sub> eq e possui cinco volumes explicando os procedimentos metodológicos necessários (ONU, 2007). Ações como a neutralização do carbono por estratégias de sequestro de carbono e compensação por plantio de árvores são outras possibilidades pelo documento. Para efeito de cálculo, o IPCC recomendou utilizar que uma árvore nativa plantada compensaria 5,14 tep (ONU, 2007). Esse relatório dá suporte às partes do Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (CQNUMC), bem como é utilizado pelo Banco Mundial e pelo PNUMA para ações internacionais de adaptação e mitigação das mudanças climáticas. Após 10 anos, em 2006, depois de alguns debates entre os colaboradores do IPCC foram revistos alguns procedimentos metodológicos e apresentado o Relatório Revisado de Emissão de Gases do Efeito Estufa (ONU, 2007).

A contabilidade energética sugerida pelo IPCC utiliza como referência o valor de 10 x 10<sup>3</sup> kcal/kg, que corresponde a uma tonelada equivalente de petróleo – tep. Os fatores de conversão podem ser obtidos por meio de relatórios emitidos por instituições como IEA (*International Energy Agency*) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2007). A conversão de energia em emissão de CO<sub>2</sub> eq segue seis passos recomendados pelos procedimentos do IPCC (ONU, 2007).

- a) estimar o consumo de combustível original por unidade;
- b) converter para unidade comum de energia;
- c) multiplicar por fatores de emissão para calcular o teor de carbono;

- d) computar o carbono armazenado;
- e) corrigir índice de carbono não oxidado;
- f) converter carbono oxidado em emissão de CO<sub>2</sub> eq.

Depois da publicação dessa revisão foram realizadas mais três correções; porém, o IPCC aponta que há outras atividades causadoras de liberação de gases do efeito estufa, além do setor energético (ONU, 2007).

No Brasil, os inventários de emissões vêm sendo realizados mediante convênios entre o Ministério de Ciência e Tecnologia e instituições de pesquisas.

As duas abordagens foram comparadas a fim de verificar e avaliar as metodologias ascendente e descendente e as possíveis incoerências destas nos inventários brasileiro de 1990 a 2004. Entre as conclusões deste estudo foram consideradas que para este período as duas abordagens apresentavam resultados satisfatórios, pela convergência dos resultados. A abordagem ascendente foi adotada no inventário brasileiro de emissões por queima de fontes fósseis em 2002. Em 2006, o Brasil optou por realizar inventários de emissões de CO<sub>2</sub> por queima de combustíveis pela abordagem descendente com adaptações dos modelos metodológicos do IPCC ao panorama nacional (BRASIL, 2006).

Os inventários de emissão de CO<sub>2</sub> eq apontam sempre a construção civil como uma peça importante no âmbito das mudanças climáticas.

#### **4.1 Inventários de emissão de CO<sub>2</sub> eq na construção civil**

Segundo Fay (1999), as análises energéticas fornecem muitos resultados para discussão, análise e dados para tomada de decisão. Entre essas análises têm destaque os estudos relacionados à emissão de CO<sub>2</sub>, por este ser um dos parâmetros de sustentabilidade mais difundidos e com potencial para negociação, para comercialização e criação de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. O conceito de carbono embutido é definido como a geração equivalente de CO<sub>2</sub> em uma determinada atividade (TAVARES; LAMBERTS, 2008). A discriminação do inventário energético e a identificação das fontes de energia permitem que por meio de uma análise energética se estabeleça o inventário de emissões de dióxido de carbono. Assim, o CO<sub>2</sub> embutido é utilizado como parâmetro de sustentabilidade em edificações (BUCHANAN; HONEY, 1994; SUZUKI; OKA, 1998; TAVARES, 2006).

O apelo social e razões econômicas em se racionalizar o uso intensivo dos recursos naturais, como já apresentado, a indústria da construção civil utiliza elevado número de fontes energéticas não renováveis com grande intensidade.

Estima-se que as fontes fósseis não renováveis representem 70% dos requisitos energéticos de origem de combustíveis fósseis não renováveis (Brasil, 2006). A mesma instituição informa que, das fontes renováveis, 4/5 da lenha e metade do carvão vegetal é extraído de matas nativas e por essa razão tem sua emissão incluída no inventário de emissão de CO<sub>2 eq</sub>.

A contribuição de CO<sub>2 eq</sub> pelas atividades relacionadas à construção civil é um parâmetro de sustentabilidade particularmente relevante no Brasil. A matriz energética nacional é considerada limpa, enquanto setorialmente seja estimado um consumo de 73% de energia considerada não limpa (TAVARES; LAMBERTS, 2008). Excluindo as emissões de queima florestal no Brasil, as atividades da AEC em seu ciclo de vida chegam a representar 25% do total da liberação de gases responsáveis pelo efeito estufa (TAVARES, 2006).

Além disso, alguns insumos como cimento, cal e alumínio têm em sua fabricação reações químicas com grande emissão de dióxido de carbono. O IPCC (ONU, 2007) estimou que na produção de cimento seja liberada meia tonelada equivalente de dióxido de carbono por tonelada de clínquer produzido. Moura (2007) estima que a contribuição total da indústria da construção civil seja responsável por um terço das emissões globais de dióxido de carbono. O setor apresenta possibilidade na redução de 1,8 bilhões de toneladas de CO<sub>2 eq</sub> até o ano de 2010.

## **5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O estudo desenvolvido é de natureza aplicada, com caráter exploratório e experimental, com abordagem quantitativa por meio de aplicação em estudo de caso de ferramenta proposta. O modelo científico de explicação adotado tem por base a concepção de Robson (2002), o qual debate os métodos de pesquisa no mundo real. Esta pesquisa apresenta a aplicação de um método desenvolvido para levantar o inventário de Energia Embutida e emissão de CO<sub>2 eq</sub> para edificações até a etapa de conclusão da obra, incluindo extração de matéria-prima e transporte de materiais.

A contribuição desses gases será avaliada baseada na metodológica desenvolvida pela tese de Tavares (2006) e relatórios do IPCC e na ferramenta de levantamento de inventário de Energia Embutida e emissão de CO<sub>2 eq</sub> desenvolvida por Lobo (2010). A definição da metodologia para levantamento de dados de inventário de energia embutida e emissão de CO<sub>2 eq</sub> por meio da abordagem por Análise de Ciclo de Vida Energético (ACVE) requer a determinação de limites de avaliação do escopo.

A estratégia de levantamento de inventário dos parâmetros da ACVE foi realizada por meio de uma planilha de serviços de edificações da construção civil. A justificativa para esta abordagem se dá por esta ser um instrumento convencional da construção civil e prático para avaliações quantitativas. Tavares (2006); Lobo, Tavares, Freitas (2009); Lobo *et al*, (2009); também adotaram esta tática para levantamento de Energia Embutida.

Verifica-se que a estrutura do estudo foi estabelecida em quatro pontos principais a fim de atendimento do objetivo proposto: delimitação das fronteiras da pesquisa, protocolo de coleta de dados, estratégia de análise de dados e na demonstração de aplicação de ferramenta. O limite de análise energética adotado foi o 2º nível da IFIAS e o ciclo de vida da edificação foi avaliada até a fase de conclusão da obra. A delimitação de serviços analisados se deve a ferramenta proposta por Lobo (2010), que também determinou a planilha de referência e modelo a ser aplicado, por meio do quantitativo de sua obra.

### **6.1 Seleção de modelo de análise**

A seleção se deu em função de uma edificação pública que contemplasse serviços comuns, com sistemas construtivos tradicionais da realidade da construção civil regional. Entre estes serviços ordinários cita-se como fechamento em alvenaria chapiscada, rebocada, e emboçada e acabada com massa e pintura, estrutura em concreto armado e cobertura de telha cerâmica.

O modelo escolhido para aplicação da planilha para quantificar Energia Embutida de uma edificação foi um empreendimento de fim público de pequeno porte. Esta edificação é a Biblioteca Cidadã da Secretaria de Cultura do Estado do Paraná - SEEC, que consiste na construção de uma biblioteca com acervo estimado de dois mil livros e espaço de multimídia e internet.

O projeto utiliza a estratégia de modulação para eventuais ampliações. A flexibilidade proposta para o imóvel prevê a dinâmica da biblioteca com um equipamento urbano para fomento cultural e social.

O caimento dos planos do telhado, bem como a estrutura destes e as paredes de alvenaria que dividem a edificação permitem a implantação de novos módulos sem maiores transtornos durante a execução de eventuais ampliações. Estas paredes ainda são cegas em geral recebem tratamento plástico de artistas da região. A Figura 2 demonstra uma biblioteca concluída em 2008.



Figura 2 – Fotografia de uma Biblioteca Cidadã Concluída  
Fonte: Os autores

O projeto desta edificação é padrão, planejado em módulos para melhor aproveitamento do terreno e também para aproveitar as diferentes topografias. A área da biblioteca cidadã é de 184,00m<sup>2</sup>, e prevê futuras ampliações. A biblioteca analisada é composta de uma sala de leitura, sala de acervo, telecentro – espaço destinado aos computadores de livre acesso a internet, sala administrativa, apoio e sanitário masculino, sanitário feminino e sanitário pessoa com deficiência - PcD. A Figura 3 representa uma planta esquemática do projeto padrão da biblioteca. A organização espacial tem poucas áreas de circulação, com a finalidade de promover uma edificação mais compacta.

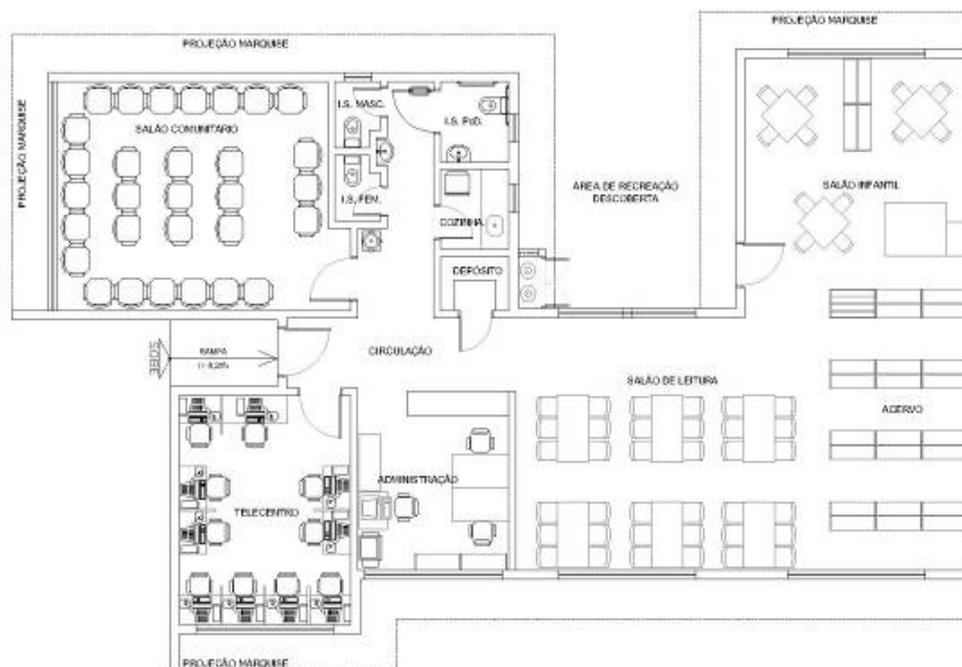


Figura 3 – Planta Ilustrativa do Projeto Padrão da Biblioteca Cidadã  
Fonte: Os autores

Os dados do modelo definido foram obtidos a partir de planilha de quantitativo do projeto padrão a ser implantado no município de Pranchita Biblioteca Cidadã elaborada pela Secretaria de Estado de Obras Públicas - SEOP. O cruzamento do quantitativo da edificação com os índices de consumo pela composição de cada serviço permite uma avaliação dos resultados por fases construtivas, que será apresentada na aplicação da ferramenta proposta, no item a seguir.

### 6.3 Análise dos resultados obtidos

Conforme apresentação usual em planilhas de orçamento as atividades construtivas foram reunidas em 12 etapas distintas do modelo selecionado para aplicação do método para levantamento de inventário de emissões de CO<sub>2</sub> eq. A concentração da participação destas etapas também é verificada no parâmetro de emissões de CO<sub>2</sub> eq, que se verifica na Tabela 1.

Tabela 1– Resultados de emissões de CO<sub>2</sub> eq

ETAPAS	EMISSIONES DE CO <sub>2</sub> EQ		
	Kg	Percentual	Acumulado (%)
1 Implantação	30169,81	28,65%	28,65%
2 Instalações preliminares	507,58	0,48%	29,13%
3 Concreto armado	17196,30	16,33%	45,46%
4 Alvenaria	25436,43	24,16%	69,62%
5 Esquadrias	622,39	0,59%	70,21%
6 Impermeabilização	7801,51	7,41%	77,62%
7 Cobertura	3046,76	2,89%	80,51%
8 Instalações elétricas e de lógica	3716,20	3,53%	84,04%
9 Instalações hidráulicas	2947,80	2,80%	86,84%
10 Revestimentos	13228,72	12,56%	99,40%
11 Pintura	580,19	0,55%	99,95%
12 Limpeza	40,29	0,05%	100%
TOTAL	105293,96	100%	

Fonte: Os autores

Quanto às duas etapas iniciais apresentadas, embora representem quase 20% da energia embutida, são desconsiderados por muitos estudos, pois representam modelos construtivos do padrão regional e, em geral, de uso residencial. A etapa de implantação também tem grande participação nas emissões de CO<sub>2</sub> eq com 30,16 toneladas. A etapa construtiva que apresenta a maior de emissão de CO<sub>2</sub> eq é a alvenaria. Ela é responsável por quase 2/5 (dois quintos) de toda energia embutida da Biblioteca Cidadã de Pranchita e contribui com a emissão de 17,19 toneladas de CO<sub>2</sub> eq na atmosfera, que corresponde a aproximadamente 25% do total. A etapa de concreto armado representa um percentual de 10,73% da energia embutida e 23,38% do CO<sub>2</sub> eq emitido pela obra, levando em consideração a definição de escopo desta pesquisa.

Em terceiro, ficaram as atividades ligadas à implantação da obra, que correspondem aos serviços de movimentação de terra, fechamentos e ligação das instalações prediais com as concessionárias. A distribuição é heterogênea e somente as etapas de Implantação, Concreto Armado, Alvenaria e Revestimentos se destacam como pode ser observado representam mais de 2/3 do total de energia embutida de construção (Figura 4).

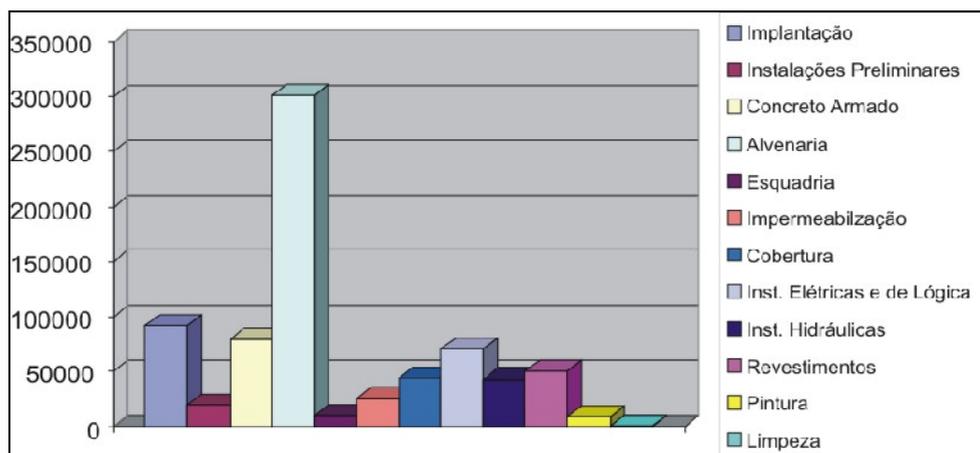


Figura 4 – Gráfico das etapas construtivas e seus respectivos consumos energéticos  
Fonte: Os autores

Considerando o parâmetro de emissões de CO<sub>2</sub> eq, verifica-se a concentração do percentual acumulado nas quatro primeiras etapas construtivas. Na Figura 5 verifica-se que as etapas de Implantação, Instalações Preliminares, Concreto Armado e Alvenaria representam aproximadamente 75% de todas as emissões de gases de efeito estufa.

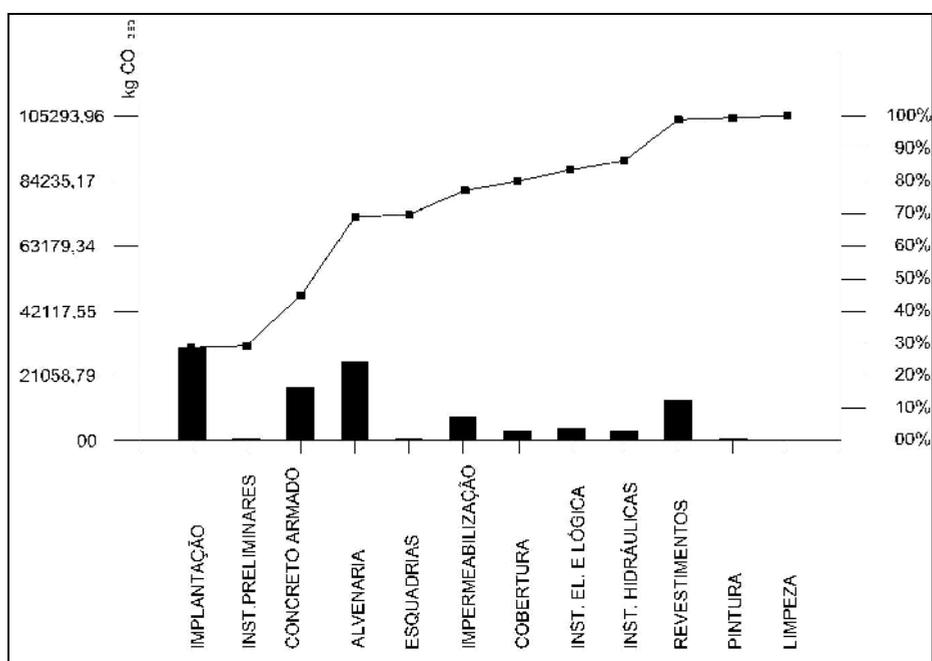


Figura 5 – Gráfico de Pareto de emissões de CO<sub>2</sub>eq por etapa construtiva  
Fonte: Os autores

## **7 PROPOSTA DE MELHORIAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NO ESTUDO DE CASO**

Uma das propostas mais discutidas é a abordagem na escolha por materiais de construção (SPIEGEL; MEADOWS,1999), pois estes são diretamente responsáveis pelo consumo de combustíveis que liberam os gases do efeito estufa.Outra alternativa é o uso de tecnologias mais sustentáveis e adequadas à região.

Novos processos e tecnologias possibilitam ganhos de produtividade e menor liberação de CO<sub>2</sub> como é o caso do concreto de alto desempenho, que além de mais durável também libera menores quantidade de gases devido a sua composição (MEHTA, 2003; JOHN,2003).

Reduções de emissões e uso de selos de certificação ambiental ganham apelo comercial e estratégico na diferenciação do produto. Ações como a neutralização do carbono por estratégias de sequestro de carbono e compensação por plantio de árvores são outras possibilidades.

Como proposta de mitigação utilizou-se o critério internacionalmente aceito da ONG *CARBON FREE*, para neutralização das emissões de CO<sub>2</sub> eq com plantio de árvores. Segundo, essa metodologia, para a neutralização do modelo avaliado seria necessário o plantio de 620 árvores. O custo estimado para neutralização somente com o plantio seria de R\$ 8.587,00.

## **8 CONCLUSÕES**

Avaliações de impacto ambiental por edificações são complexas e requerem a escolha de um parâmetro para análise quantitativa destas questões. Há diferentes metodologias e abordagens, a pesquisa adotou uma análise energética para levantamento de inventário de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa elegendo uma edificação como unidade de análise.

O resultado apresentou-se acima das médias de modelos encontrados na literatura a nível internacional e nacional. Estas diferenças são atribuídas pelas pesquisas não contemplarem o mesmo modelo de edificação, e nem a mesma metodologia. Porém fica evidente que etapas construtivas nem sempre abordadas, como as atividades de implantação e estudos preliminares da aplicação representavam 22,06%, que é um expressivo papel no percentual total.

A contribuição principal deste artigo é demonstrar um método para calcular a energia embutida na fase de execução de uma edificação a partir da planilha de serviços de uma obra.

Relacionando os insumos de cada serviço com a sua massa e os dados encontrados na revisão bibliográfica exploratória, consegue-se obter a energia embutida de cada obra.

Os resultados sugerem que os fatores de desperdício e perdas nas composições nacionais, e as fontes energéticas da cadeia produtiva da construção civil promovem resultados semelhantes à de outros países com outros requisitos tecnológicos para o setor.

A concentração das emissões é explicada pelo fato de algumas fases construtivas terem um percentual ainda maior de combustíveis fósseis. O uso intenso de cimento e de lenha, como fonte de energia por queima na fabricação da cerâmica vermelha dos blocos faz com que a etapa de alvenaria se destaque na emissão de CO<sub>2</sub> eq. Os dados desta etapa corroboram as informações do significativo papel de emissões de CO<sub>2</sub> eq por processos não energéticos que a fabricação de cimento apresenta.

As contribuições de emissões foram de 105.293,96kg CO<sub>2</sub> eq. Para fins de análise comparativa com a relação de área construída, o resultado foi de 4,23GJ/m<sup>2</sup> e 0,57tCO<sub>2</sub> eq.

A pesquisa elaborada contribuiu para estudos cuja temática seja a análise energética, de Energia Embutida relativa e emissão de CO<sub>2</sub> por edificações em sua fase pré-operacional, ou seja, execução. O estudo colabora em identificar as fases construtivas que possam promover redução de recursos energéticos e de emissões dos gases do efeito estufa. O estudo ainda abre o debate para discussão de transferência tecnológica em busca de uma construção civil mais sustentável e racional por meio de ferramentas de domínio tecnológico convencional do setor para avaliação de impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P. **Crítérios de sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes – uma perspectiva de países em desenvolvimento.** 2008. Disponível em: [http://pcc2540.pcc.usp.br/material%202006/vmjoh\\_n\\_agopyan\\_oliveira\\_05\\_v4\\_tradu\\_\\_o.pdf](http://pcc2540.pcc.usp.br/material%202006/vmjoh_n_agopyan_oliveira_05_v4_tradu__o.pdf). Acesso 20/11/2008.

BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento e Controle da Produção para Micro e Pequenas Empresas da Construção.** Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

BRASIL. **Brasil na COP 15.** Disponível em: <<http://www.cop15brasil.gov.br/pt-BR/?page=panorama/matriz-energetica-limpa>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

BRASIL. 2007. **Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional, 2007.** Brasília.

BUCHANAN, A.; HONEY, B. Energy and carbon dioxide implications of building construction. **Energy and Buildings**, v. 20, p. 205-217, 1994.

CIB, Conseil International du Bâtiment. **Agenda XXI on sustainable construction**. CIB Report Publications 237. Netherlands, 1999.

FORMOSO, C. **A Knowledge Based Framework for Planning House Building Projects Salford**: University of Salford - Dpto of Quantity and Building Surveying, Tese de Doutorado, 1991.

GASNIER, D. G. **Guia Prático para Gerenciamento de Projetos** – Manual de sobrevivência para os profissionais de projetos, São Paulo: Instituto IMAN, 2000.

HALLIDAY, S. P. **Architecture of habitat**: design for life. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v.335, n.1728, p.1389-1403, 1997.

ISO. **International Organization for Standardization ISO 14040**: Environmental management — life cycle assessment — principles and framework. Geneva, Switzerland, 1997.

LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 1997.

LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas**: Estudo de caso no Estado do Paraná. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

MEDINA, H. V. **Produção e Uso Sustentável de Materiais: Gestão Ambiental e Análise do Ciclo de Vida**. Rio de Janeiro. Comunicação Técnica Elaborada para o 61º Congresso Anual da ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

MEHTA, P. K. 2003. High-performance, high volume fly ash concrete for sustainable development. **International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology**, 2003.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Painel intergovernamental de mudança climática** - IPCC. Fourth Assessment Report: Climate Change. Cambridge: University Press UK, 2007.

PICCHI, F. A. **Sistema de qualidade**: uso em empresas de construção de edifícios. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PMI. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK)**, 1996.

PRADO, D. S. **Planejamento e Controle de Projeto**, Minas Gerais: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

SILVA, V. G. da; SILVA, M. **Análise do ciclo de vida aplicada ao setor da construção civil: Revisão da abordagem e estado atual**. Paris. CIB/CSTB. 2º International Conference: Building and the Environment, 1997.

SPIEGEL, R; MEADOWS, D. **Green Building Materials**: A Guide to Product Selection and Specification. Nova York: John Wiley & Sons. Inc., 1999.

SUZUKI, M.; OKA, T. Estimation of life cycle energy consumption and CO2 emission of office buildings in Japan. **Energy and Buildings**, n.28, p.33-41, 1998.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residências brasileiras**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

VARGAS, R. V. **Gerenciamento de Projetos** – Estabelecendo Diferenciais Competitivos, Rio de Janeiro: Brasport, 2000.