

WOOD FRAME, ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO DE CO₂: UMA ANÁLISE COMPARATIVA AO SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL

Eloise de Oliveira (1); Carla Rabelo Monich (3); Sergio Fernando Tavares (3)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, eloisedoliveira@gmail.com

(2) Engenheira Ambiental, Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, carlamonich@gmail.com

(3) Doutor, Professor do Departamento de Engenharia de Construção Civil, sergioft22@yahoo.com.br
Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Centro Politécnico, Cx Postal 19.011, Curitiba-PR, 81531-980, Tel.: (41) 3361 3110

RESUMO

A busca pelo alcance do desenvolvimento sustentável tem motivando estudos com o objetivo de identificar e reduzir os impactos ambientais associados às atividades de origem antropogênica. As atividades executadas pelo setor da construção civil estão entre as mais impactantes em termos de consumo energético e emissão de gases geradores do efeito estufa. Os altos impactos ambientais atribuídos à construção de edificações ou atividades ligadas a estas estão associados às duas primeiras etapas do ciclo de vida da edificação. No cenário brasileiro, a etapa pré-operacional da edificação se destaca devido ao sistema construtivo convencional. As edificações em alvenaria convencional incorporam materiais com alto requisito energético e contribuição de CO₂ durante o processo de fabricação e transporte. Neste estudo, foi comparado o sistema construtivo convencional brasileiro em alvenaria com o sistema construtivo wood frame. Através da aplicação da metodologia de ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) simplificada em edificações foi possível calcular a EE (Energia Embutida) e a emissão da CO₂ dos sistemas considerados. Foram levantados e quantificados os materiais que compõem a estrutura e vedação da residência em alvenaria convencional, calculou-se a EE e CO₂ embutido para cada material e para toda a edificação no escopo explicitado. O mesmo cálculo foi realizado para a residência em wood frame, onde se substituiu o envelope e o sistema estrutural convencional. Observou-se uma redução de EE e CO₂ embutido na edificação em wood frame devido à utilização de materiais com menores impactos ambientais em relação aos materiais empregados na edificação em alvenaria convencional. Materiais semelhantes que são empregados em ambas às edificações como portas, esquadrias, forro, pintura e revestimento cerâmico foram desconsiderados do cálculo. Este trabalho é uma colaboração inicial para o levantamento de dados ligados a Habitação de Interesse Social e alinhados ao alcance da sustentabilidade no setor da construção civil através da introdução de novas técnicas construtivas no Brasil.

Palavras-chave: wood frame, energia embutida, emissões de CO₂

ABSTRACT

The demand for the sustainable development has motivated studies in order to identify and reduce the environmental impacts associated with the anthropogenic activities. The activities from the construction sector are among the most impacting activities in terms of energy consumption and emission generators of greenhouse gases. The high environmental impacts attributed to the construction of buildings or activities related to these are associated with the first two stages of the building life cycle. In the Brazilian scenario, the pre-operational phase of the building stands out due to conventional building system. The buildings in masonry incorporate materials with high-energy consumption and high amount of CO₂ released to the environment during the manufacturing process and transportation. In this study compared the Brazilian conventional build system in the masonry construction system with Wood Frame. Through the application of LCA simplified methodology (Life Cycle Analysis) in buildings was possible to calculate the EE (Embodied Energy) and emission of CO₂ among the considered systems. Were listed and quantified the materials that make up the structure and sealing of the residence on conventional masonry, the EE and embedded CO₂ were calculated for each material and for the whole building in the explicit scope. The same calculation was done

for the residence in Wood Frame, where it replaces the envelope and the conventional structural system. It was noticed a reduction of EE and embedded CO₂ for the building in Wood Frame due to use of materials with lower environmental impacts associated with respect to materials used in the residence in conventional masonry. Similar materials are used for both buildings; doors, window frames, ceiling, paint and ceramic tiles were not considered in the calculation. This work is an initial collaboration to data collection linked to Social Housing and lined up to achieve sustainability in the construction industry, through the introduction of new construction techniques in Brazil.

Keywords: wood frame, embodied energy, CO₂ emissions

1. INTRODUÇÃO

O cenário da construção civil brasileira é dominado pela utilização da alvenaria convencional. Com a alta demanda por moradias, os programas ligados as HIS (Habitações de Interesse Social) não incentivam em sua totalidade a introdução de tecnologias inovadoras que reduzam o prazo de execução de obra. O Brasil possui um alto potencial para o desenvolvimento e adoção de construções industrializadas, como a tecnologia wood frame, processo construtivo baseado na produção de painéis estruturais multicamadas a base de madeira. Em um período de escassez de recursos hídricos em uma série de regiões brasileiras, se faz necessário que o poder público verifique a viabilidade da aplicação de Sistemas de Construção a Seco, que empregam pouco ou nenhum recurso hídrico em seu processo construtivo.

A opção pela comparação do sistema de alvenaria convencional com o wood frame se justifica na medida em que o Brasil é referência internacional como produtor de madeira de florestas plantadas, principal insumo utilizado na tecnologia wood frame. Este fato minimiza os custos e impactos ambientais decorrentes do transporte da madeira, questão a que estão sujeitos alguns países que utilizam wood frame como sistema construtivo convencional.

Nos últimos anos as discussões sobre desenvolvimento sustentável têm se intensificado, o que motivou esforços para o alcance da sustentabilidade nos mais diversos setores. Na construção civil o alto impacto ambiental está relacionado à utilização de materiais com altos níveis de energia embutida e emissão de CO₂ durante o processo de fabricação. As Figuras 1 e 2 apresentam os valores de energia embutida e contribuição de CO₂ associados ao processo de manufatura dos insumos necessários para a construção de 1m².

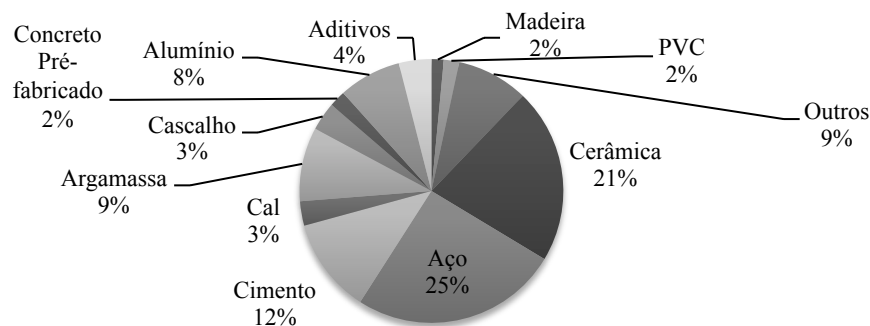


Figura 1 – Demanda de energia primaria para manufatura dos materiais necessários para construção de 1m²
Fonte: Adaptado de BRIBIÁN; CAPILLA; USÓN (2011)

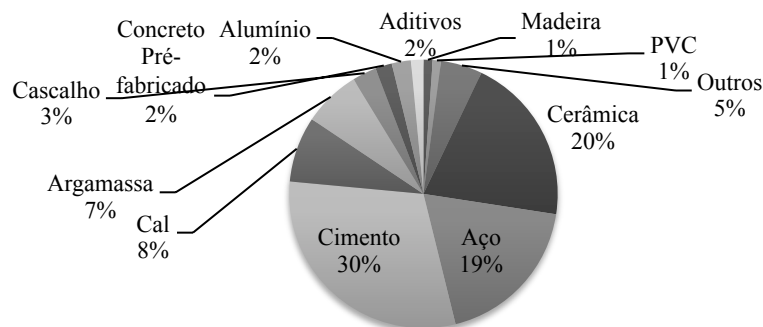


Figura 2 – Contribuição de CO₂ associada ao processo de manufatura dos materiais necessários para construção de 1m²
Fonte: Adaptado de BRIBIÁN; CAPILLA; USÓN (2011)

Identificar e avaliar os impactos ambientais de atividades de origem antropogênica é um estudo complexo. É possível estimar os requisitos energéticos e outros efeitos nocivos ao meio ambiente através da adoção de metodologias e ferramentas de avaliação, como a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que vem sendo utilizada a quantificação de impactos ambientais durante o ciclo de vida das edificações. Os estudos de ACV dividem o ciclo de vida das edificações em três etapas: pré-operacional, operacional e pós-operacional. Na etapa pré-operacional, considera-se a soma dos requisitos energéticos e impactos ambientais associados ao processo de extração, manufatura e transporte dos materiais empregados na edificação. Uma das metodologias de avaliação desta etapa é pelo método da Análise Energética. Esse tipo de avaliação pode ser utilizado, ainda que de forma grosseira, para estimar o impacto ambiental de diferentes atividades e, de um modo geral, quanto mais energia é utilizada, maior é o efeito sobre o meio ambiente (BAIRD; ALCORN; HASLAM, 1997).

No Brasil, a energia embutida de uma residência típica unifamiliar representa 30% do total de energia de todo o ciclo de vida da edificação (PAULSEN; SPOSTO, 2013). A utilização de materiais com alta energia embutida para a construção e manutenção das edificações brasileiras elevam os quantitativos energéticos da etapa pré-operacional do ciclo de vida. Sendo assim, a redução de impactos ambientais no setor da construção civil está diretamente relacionada à escolha de materiais mais duráveis e à técnicas construtivas com requisitos energéticos mais baixos e com menores emissões de gases poluentes. Acredita-se que para melhorar o desempenho energético das edificações brasileiras, é preciso incentivar novas técnicas construtivas com o objetivo de reduzir a energia embutida inicial e de manutenção e a emissão de CO₂ ao longo do ciclo de vida da edificação. O design aliado a processos mais industrializados e técnicas que aumentam a produtividade tem se mostrado uma forma eficaz de reduzir impactos ambientais, tempo e custo das edificações.

O sistema construtivo wood frame é o produto de um processo industrializado de fabricação de painéis estruturais para a montagem de edificações, sendo sua principal matéria prima a madeira proveniente de florestas plantadas. A madeira é um material orgânico que com frequência possui seus atributos relacionados à sustentabilidade, em especial, devido a sua habilidade de captar e atuar como reservatório natural de carbono. Estima-se que para cada 1 m³ de madeira aplicada em projetos de longa vida útil, como é o caso das edificações, 250 kg de carbono sejam fixados, o equivalente a cerca de 1 tonelada de dióxido de carbono retido (SANTOS, 2007). A madeira é ambientalmente sustentável, sendo considerado o único material de construção civil reciclável, renovável e biodegradável, além de ser um dos produtos que despende menor energia para a sua transformação (MARQUES, 2008). A utilização da madeira na construção civil, como alternativa a materiais aplicados na alvenaria convencional traz benefícios além da redução da energia embutida e emissão de gases geradores do efeito estufa na etapa pré-operacional do ciclo de vida das edificações. A manufatura dos produtos a base de madeira, além de requisitarem baixos níveis energia para sua fabricação, podem ser reutilizados e/ou reciclados. A aplicação do material em Habitações de Interesse Social (HIS) é uma estratégia para simplificar o processo habitacional, devido à flexibilidade do material e por ser passível de utilização em sistemas inovadores e industrializados. Em países como a Noruega, Suécia, Canadá e Austrália a madeira fundamenta 90% da construção civil (MONICH, 2012).

De acordo com o conteúdo apresentado, coloca-se o seguinte questionamento: o sistema construtivo wood frame aplicado no Brasil possui menos energia e carbono embutido se comparado à alvenaria convencional?

2. OBJETIVO

O objetivo dessa pesquisa é levantar novas possibilidades para a redução dos impactos ambientais associado às edificações através de um comparativo, em termos de energia embutida e CO₂ embutido, entre o sistema o construtivo convencional brasileiro e o sistema construtivo wood frame utilizado no Brasil, considerando apenas a parte estrutural e de vedação da edificação.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em cinco etapas principais:

1. Levantamento do quantitativo de materiais empregados na estrutura e vedação da edificação em alvenaria convencional.
2. Cálculo da energia embutida e CO₂ embutido nos materiais e na edificação em alvenaria.
3. Substituição da alvenaria convencional pelo sistema wood frame.
4. Cálculo da energia embutida, CO₂ embutido e fixação CO₂ de no sistema wood frame.
5. Cálculo da variável de energia embutida e CO₂ embutido entre os dois sistemas construtivos.

Essa pesquisa limita-se a quantificar a energia embutida e CO₂ embutidos em uma edificação projetada em alvenaria convencional e em wood frame, no entanto existem outras variáveis que podem ser avaliadas no tocante da sustentabilidade. O escopo deste trabalho está na etapa pré-operacional do ciclo de vida da edificação, ou seja, é uma Análise Energética Preliminar, um método simplificado de análise de impactos realizada em uma etapa preliminar de desenvolvimento de projeto, desconsiderando a etapa operacional e pós-operacional. A energia embutida e CO₂ embutido de manutenção não foram consideradas, assim como os dados de transporte de material até o canteiro de obras. A ACV completa da edificação projetada em wood frame não foi o objetivo desse trabalho, mas poderá ser tema de trabalhos futuros.

3.1. Modelo de edificação residencial brasileira

O modelo de edificação residencial selecionado é uma tipologia bastante utilizada em programas de habitação no Brasil e foi retirado do trabalho realizado por Paulsen e Sposto (2013). A residência unifamiliar de 48m² possui dois quartos, sala de estar, cozinha e banheiro (Figura 3). O sistema construtivo é a alvenaria convencional, ou seja, blocos cerâmico e estrutura em concreto.

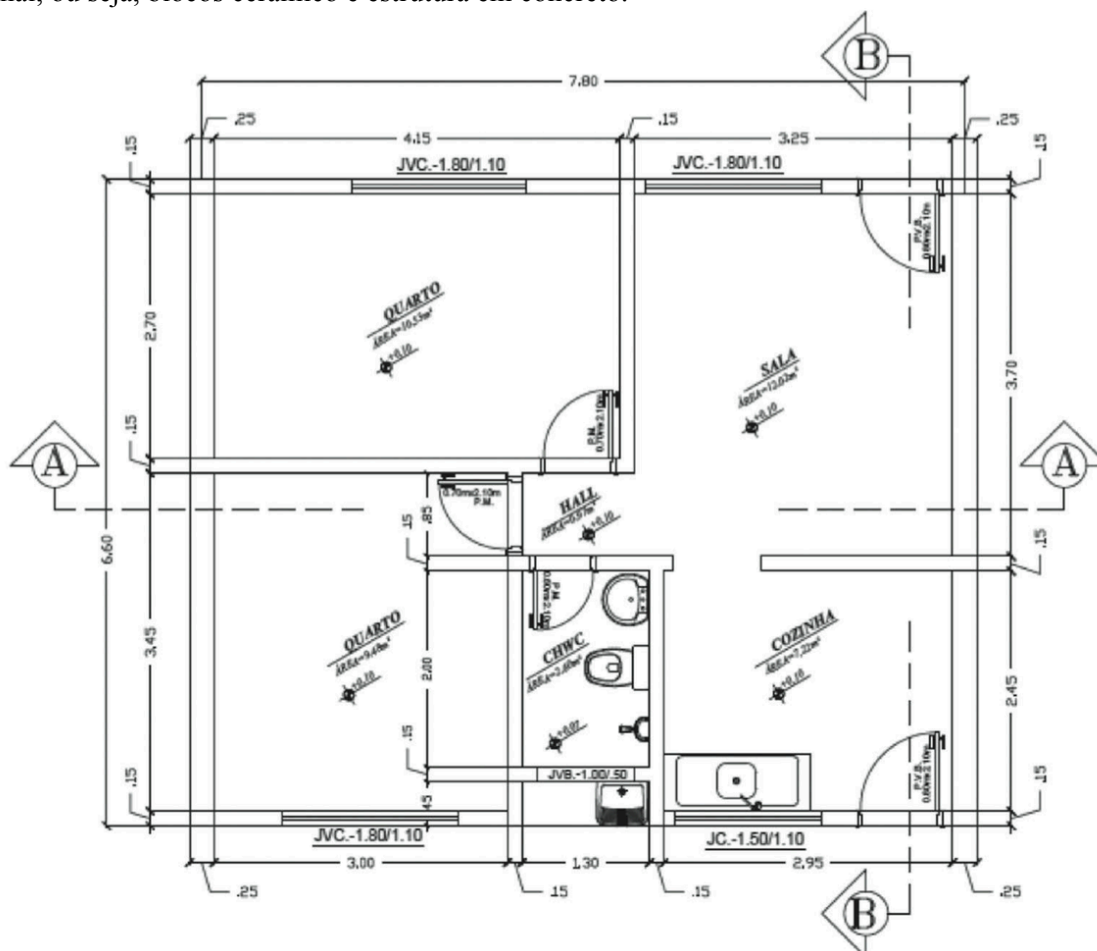


Figura 3 – Planta baixa da residência unifamiliar
Fonte: PAULSEN e SPOSTO (2013).

3.2. Edificação residencial em alvenaria convencional

A Energia Embutida inicial é calculada a partir da informação dos quantitativos de materiais utilizados para a construção da edificação. O quantitativo de material do modelo de habitação em alvenaria convencional foi adaptado do trabalho de Paulsen e Sposto (2013) e está ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantitativos de materiais para a residência em alvenaria convencional

Material	Aplicação	Quantidade (kg)
Argamassa	Paredes e revestimentos	14788
Bloco cerâmico	Paredes	10586
Concreto	Sistema estrutural	7360

Fonte: Adaptado de Paulsen e Sposto, 2013.

3.2.1. Cálculo de energia embutida e CO₂ embutido nos materiais da residência em alvenaria

A Energia Embutida e CO₂ embutido nos materiais levantados para a edificação em alvenaria foram calculadas a partir do método proposto por Tavares (2006). Essa metodologia considera o percentual de consumo energético em suas fontes primárias e utiliza os dados do *Intergovernmental Panel on Climate Changes* (IPCC) e do Balanço Energético Nacional (BEN). A Tabela 2 apresenta como a eletricidade foi estimada com base nos dados do BEN (2014), com a discriminação dos conteúdos dos combustíveis responsáveis pela geração termoelétrica, fator de eficiência e percentagem. O CO₂ Embutido é calculado a partir da discriminação dos consumos energéticos em fontes primárias e respectivos fatores de contribuição de dióxido de carbono. A Tabela 3 ilustra a geração de CO₂ por tipo de fonte energética. A Tabela 4 apresenta a relação percentual do consumo de fontes de energia não renovável por material de construção fabricado no Brasil.

Tabela 2– Base de dados para estimativa de eletricidade

Termoelétrica	Matriz brasileira %	Eficiência	Fator	%	kg/CO ₂	kg CO ₂ /GJ
Carvão	2,60	0,20	5,00	13,00	91,50	11,90
Óleo	4,40	0,30	3,33	14,65	79,80	11,70
Gás Natural	11,30	0,70	1,40	15,82	50,60	8,00
						31,60

Fonte: Adaptado de Tavares (2006) e BEN (2014)

Tabela 3– Geração de CO₂ por tipo de fonte energética

Fonte	CO ₂ (kg/MJ)
Eletricidade ¹	0,0316
Óleo combustível	0,0798
Gás natural	0,0506
GLP	0,0633
Outros secundários de petróleo	0,0726
Coque de carvão	0,0915
Coque de petróleo	0,0726
Carvão mineral	0,0915
Carvão vegetal	0,0510
Lenha	0,0816
Outros	0,0357

Fonte: Adaptado de Tavares (2006) a partir de dados do IPCC (1996)

(1) A Tabela 2 ilustra o cálculo da eletricidade

Tabela 4– Percentual de fontes não renováveis por material de construção

Fonte	Eletricidade	Óleo combustível	Gás natural	GLP	Outros secundários de petróleo	Coque de carvão	Coque de petróleo	Carvão mineral	Carvão vegetal	Lenha	Outras
Argamassa	4	86					10				
Bloco cerâmico	2	4		8						85	1
Concreto	9	82					9				
Madeira	17	83									

Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Utilizando as tabelas apresentadas anteriormente, calculou-se a energia embutida e as contribuições de CO₂ por material quantificado na edificação em alvenaria convencional. Os cálculos foram realizados em três fases, conforme o método de Tavares (2006). Primeiramente, foram coletados os dados de energia embutida dos materiais e em seguida, foram levantados os percentuais de fontes não renováveis por material e as contribuições de CO₂ por fonte. Na última etapa, multiplicou-se o total de Energia Embutida pela emissão de CO₂ por material. A Tabela 5 apresenta os cálculos de energia embutida e CO₂ embutido para cada material e a Tabela 6, apresenta os valores totais e por m² para o modelo de edificação residencial em alvenaria convencional.

Tabela 5– Quantitativos de Energia Embutida e CO₂ Embutido nos materiais da residência em alvenaria convencional

Material	Quantidade (kg)	EE (MJ/kg)	Total de EE (MJ)	CO ₂ (kg/MJ)	Total de CO ₂ (kg)
Argamassa ⁽¹⁾	14788	2,10	31054	0,077152	2396
Bloco cerâmico ⁽¹⁾	10586	2,90	30699	0,078293	2404
Concreto ⁽¹⁾	7360	1,20	8832	0,074814	662

Fonte: (1)Tavares, 2006;

Tabela 6– Total de Energia Embutida e CO₂ Embutido na residência em alvenaria convencional

Sistema construtivo	Energia Embutida Total (MJ)	Energia Embutida (MJ/m ²)	CO ₂ Embutido Total (kg)	CO ₂ Embutido (kg/m ²)
Residência em alvenaria convencional	70586	1471	5460	114

3.3. Edificação residencial em wood frame

Os cálculos de energia embutida e CO₂ embutido da edificação em alvenaria convencional demonstraram que os materiais com maior impacto ambiental associado são a argamassa e o bloco cerâmico. Sendo assim, propõe-se substituir o sistema em alvenaria convencional pelo sistema construtivo wood frame aplicado no Brasil.

Nacionalmente, por se tratar de um sistema inovador, o sistema wood frame deve seguir os requisitos expostos na Diretriz SiNAT 005 (2011). O SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica – é uma iniciativa da comunidade técnica brasileira para operacionalizar a avaliação de produtos inovadores na construção civil brasileira. Para um produto inovador ser aprovado pelo SiNAT, este precisa apresentar um DATec – Documento de Avaliação Técnica – que deve ser redigido por uma Instituição Técnica Avaliadora (ITA) que indica o atendimento do sistema as normas nacionais e cumprimento dos requisitos de desempenho. Atualmente, somente um DATec foi aprovado nacionalmente para o sistema wood frame, o DATec nº 020 (2013). O estudo feito por Monich (2012) teve por objetivo uma habitação que não se enquadra nos requisitos do DATec e portanto não pode ser considerada, uma vez que a mesma também não passou por ensaios que validaram o seu desempenho frente a NBR 15575 (2013).

Para o cálculo de energia embutida e CO₂ embutido foi levantado um quantitativo do modelo com o sistema estrutural e de vedação em wood frame, os demais materiais relacionados à acabamentos não foram considerados, pois o objetivo deste trabalho é realizar um comparativo entre sistemas construtivos. O sistema leve tipo wood frame é estruturado em peças de madeira maciça serrada e autoclavada, proveniente de florestas plantadas com manejo sustentável, sendo utilizado para fechamento chapas delgadas tipo OSB (*Oriented Standard Board*) (MONICH, 2012). O quantitativo de materiais para o modelo foi adaptado do exposto no DATec nº 020 (2013), com detalhes retirados de Guia da Construção (2013) para uma edificação térrea em wood frame de 45 m² e encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7– Quantitativos de material para a residência em wood frame

Material	Aplicação	Quantidade (kg)
Drywall	Vedação	1169
Chapa cimentícia	Vedação	835
OSB	Contraventamento	1321
Madeira estrutural	Estrutura - montantes	1062

A Figura 4 ilustra os componentes da parede em wood frame conforme preconizado no DATec nº 020 (2013), em atendimento a NBR 15575 (2013).



Figura 4– Composição da estrutura das paredes em wood frame
Fonte: Guia da Construção, 2013.

3.3.1 Cálculo de Energia Embutida e CO₂ Embutido nos materiais da residência em Wood Frame

Para os cálculos de energia e CO₂ Embutido foram utilizados dois diferentes inventários, optou-se preferencialmente pelo trabalho conduzido com dados brasileiros, realizado por Tavares (2006). No entanto, os materiais que não constam na bibliografia nacional foram retirados do inventário inglês Inventory of Carbon & Energy (2011).

O *Inventory of Carbon & Energy*, desenvolvido pela *University of Bath*, é um inventário de energia e emissões de dióxido de carbono provenientes do processo de manufatura dos materiais de construção. Os estudos que alimentam a base de dados do ICE são de fontes secundárias e, devem estar em conformidade com metodologias aceitas, adotar o padrão *Cradle-to-Gate* como limite do sistema e comprovar a origem e a idade dos de dados utilizados. A Tabela 8 apresenta os valores de Energia Embutida e CO₂ Embutido por material na residência em Wood Frame e a Tabela 9 apresenta os resultados parciais do total de Energia Embutida e CO₂ Embutido na residência em Wood Frame, desconsiderando o cálculo de carbono estocado nos materiais de madeira do sistema construtivo.

Tabela 8– Quantitativos de Energia Embutida e CO₂ Embutido nos materiais da residência em Wood Frame

Material	Quantidade (kg)	EE (MJ/kg)	Total de EE (MJ)	CO ₂ (kg/MJ)	CO ₂ (kgCO ₂ /kg)	Total de CO ₂ (kg)
Drywall ⁽¹⁾	1169	6,75	7892		0,38	444
Chapa cimentícia ⁽¹⁾	835	10,4	8684		1,09	910
OSB ⁽¹⁾	1321	15	19809		0,45	594
Madeira estrutural ⁽²⁾	1062	3,5	3717	0,071310		265

Fonte: (1) ICE, 2011; (2) Tavares, 2006;

Tabela 9– Total de Energia Embutida e CO₂ Embutido na residência em Wood Frame

Sistema construtivo	Energia Embutida Total (MJ)	Energia Embutida (MJ/m ²)	CO ₂ Embutido Total (kg)	CO ₂ Embutido (kg/m ²)
Residência em Wood Frame	40102	891	2214	49

3.3.2 Resultado do cálculo de carbono estocado

Partindo da teoria de sequestro de carbono realizado pelas árvores, pode-se estabelecer uma estratégia para minimizar os impactos ambientais associados ao processo de manufatura dos produtos em madeira. Segundo Oliver *et al.* (2014) assume-se que estes produtos contém 50% de carbono e, a partir da relação de 3,667 kg de CO₂ por kg de carbono pode-se estimar a fixação de CO₂. A Tabela 10 ilustra o quantitativo de carbono e CO₂ estocado nos materiais em madeira que compõe os sistema estrutural e de vedação da habitação em Wood Frame.

Tabela 10– Cálculo de carbono estocado

Material	Massa (kg)	Carbono fixado (kg)	CO ₂ fixado (kg)
Madeira estrutural	1062	531,025	1948
OSB	1321	660	2420

Dessa forma, pode-se afirmar que, dos 2214 kg de CO₂ embutido na parte estrutural e de vedação da residência em Wood Frame, 4368 kg são mitigados pelo processo natural de fixação de carbono realizado pelas árvores.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os cálculos realizados neste estudo demonstram que a Energia Embutida do modelo residencial em alvenaria convencional é de 1471 MJ/m². O mesmo modelo de habitação unifamiliar com sistema construtivo em Wood Frame obteve Energia Embutida de 891MJ/m². Se comparados, os sistemas construtivos possuem uma diferença de 39,4%. A alta energia embutida na residência em alvenaria convencional está relacionada à grande quantidade de materiais utilizados, pois observa-se que apesar destes terem uma energia embutida com menor requisito energético durante o processo de extração transporte e manufatura, o volume necessário é menor do que os utilizados no sistema construtivo alternativo.

O sistema construtivo Wood Frame apresenta o OSB como principal colaborador em termos de energia embutida na residência, além da grande quantidade de energia requisitada para o processo de fabricação do material. Ressalta-se que os valores utilizados pertencem a uma base de dados inglesa e que os mesmos podem possuir uma realidade diferente da praticada nacionalmente.

O sistema construtivo leve de painéis de madeira demonstrou um vantagem significativa em relação à alvenaria convencional no tocante da emissão de gases geradores do efeito estufa. A estratégia de utilizar a madeira como material alternativo se fundamenta na redução de CO₂ emitido durante o processo de fabricação dos materiais em madeira e na fixação natural de carbono realizada pelas árvores. Se comparados, os sistemas construtivos obtiveram uma diferença de 56,75% de emissão de CO₂, isto desconsiderando-se a quantidade de carbono mitigado pelas árvores.

5. CONCLUSÕES FINAIS

Wegner *et al.* (2010) afirma que embora o armazenamento de carbono em produtos de madeira abatida ainda não seja reconhecido como uma forma de compensar as emissões de CO₂ no âmbito do Protocolo de Quioto, o IPCC reconhece essa prática como uma importante diretriz para o alcance da sustentabilidade. Sendo assim, este estudo confirma, com base nos resultados apresentados, que o sistema construtivo Wood Frame possui menor impacto ambiental associado à etapa pré-operacional da edificação se comparado à alvenaria convencional. Os impactos ambientais associados as demais etapas do ciclo de vida da edificação não foram avaliados, mas sugere-se que trabalhos futuros incluam as variáveis de Energia Embutida e CO₂ Embutido nas etapas operacional e pós-operacional em comparação com o sistema de alvenaria convencional. Espera-se que os valores apresentados neste trabalho auxiliem na composição de uma base de dados de sistemas construtivos em território nacional. Estima-se que este trabalho incentive o desenvolvimento e a introdução de técnicas construtivas alternativas às praticadas tradicionalmente no Brasil.

É importante salientar que apesar de os materiais que compõem a parte estrutural e de vedação da habitação em wood frame possuírem maiores níveis de requisito energético em relação a alvenaria, são empregados menores volumes de materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIRD, G.; ALCORN, A.; HASLAM, P. 1997. **The energy embodied in building materials – update New Zealand coefficients and their significance.** IPENZ Transactions, 24: No. 1/ CE.
- Brasil, Ministério de Minas e Energia. 2014. **Balanco Energético Nacional.** Brasília
- BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN A. 2011. **A Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential.** Building and Environment, 46: 1133-1140.
- DATec nº 020. **DATec nº 020 - Sistema Construtivo TECVERDE: "Sistema leve em madeira",** 2013.
- Diretriz SiNAT 005. **Diretriz SiNAT nº 005 - Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing"),** 2011.

GUIA DA CONSTRUÇÃO. 2013. **MCMV de madeira**. Guia da Construção, 146: 16 – 21.

ICE 2.0, **Inventory of Carbon & Energy**. University of Bath, Inglaterra, 2011.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. **IPCC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneva.

MARQUES, L. E. M. M. O papel da madeira na sustentabilidade da construção. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, 2008.

MONICH, C. R. 2012. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

OLIVER, C. D.; NASSAR, N. T.; LIPKE, B. R.; MCCARTER, J. B. 2014. **Carbon, fossil fuel and biodiversity mitigation with wood and forests**. Journal of Sustainable Forestry, 33: 248-275.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R.M. 2013. **A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”**. Energy and Buildings, 57: 95-102.

SANTOS, J. A. Estudo de modelos e caracterização do comportamento mecânico da madeira. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Guimarães, 2007.

TAVARES, S. F. 2006. **Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residenciais brasileiras**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

WEGNER, T.; SKOG, K.E.; INCE, P. J.; MICHLER, C. J. 2010. **Uses and desirable properties of wood in the 21st century**. Journal of Forestry.