**COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA A QUANTIFICAÇÃO
DE EMISSÃO DE CO₂**

Bruna Schmitt Schuster(*), Vinicius Milhan Hipolito, Luiz Roberto Taboni Junior, Beatriz Falco Knaut, Juliana Elisabete Correia

*Universidade Estadual de Maringá – UEM, brunaschuster@hotmail.com.

RESUMO

O setor da construção civil por meio do consumo dos recursos naturais de modo exacerbado, pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) em seus processos produtivos é considerado o principal setor das atividades humanas que impacta negativamente o meio ambiente. Diante dessa perspectiva é necessário a adoção de alternativas mais sustentáveis, optando por materiais construtivos que causem menos impactos ambientais. O presente trabalho teve como objetivo quantificar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a execução de uma residência rural com 63,86 m², denominada Modelo Rural 63 do Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR). O estudo utilizou o método proposto por Tavares (2006), o qual aplica a Energia Embutida (EE) para a Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) dos materiais mais utilizados em Sistemas Verticais de Vedação Interno e Externo (SVVIE's) no Brasil: aço, areia, brita, cal, cerâmica vermelha e Cimento Portland. Devido ao alto índice de emissão de CO₂ na atmosfera, cerca de 1.076,56 kg, pelo material de vedação (cerâmica vermelha) selecionado para a execução da unidade habitacional realizou-se a substituição desse pelo bloco solo-cimento, material sustentável, afim de verificar se ao substituir o bloco proposto as emissões de CO₂ seriam inferiores. De acordo com os cálculos realizados a substituição da cerâmica vermelha pelo bloco solo-cimento reduz em 64,95% as emissões de CO₂, uma vez que para a fabricação desse bloco não é necessário queima-lo, além de dispensar a etapa de revestimento. Assim, a adoção do bloco solo-cimento em SVVIE contribui para que o ramo da construção civil gere menos impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação Ciclo de Vida, Sustentabilidade, Energia Embutida, cerâmica vermelha, bloco solo-cimento.

ABSTRACT

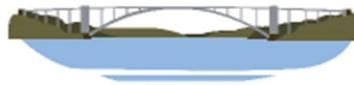
The construction sector, through the consumption of natural resources in an exacerbated way, by the emission of greenhouse gases (GHG) in their production processes is considered the main sector of human activities that negatively impacts the environment. Given this perspective, it is necessary to adopt more sustainable alternatives in this sector, thus opting for constructive materials that cause less environmental impacts. The objective of this study was to quantify carbon dioxide (CO₂) emissions for the implementation of a rural dwelling with 63.86 m², denominated Rural Model 63 of the National Rural Housing Program (NRHP). The study used the method proposed by Tavares (2006), which applies the Embodied Energy (EE) for the Life Cycle Energy Assessment (LCEA) of the most used materials in Internal and External Vertical Sealing Systems (IEVSS) in Brazil: steel, sand, gravel, lime, red ceramics and Portland cement. Due to the high CO₂ emission in the atmosphere, about 1,076.56 kg, the sealing material (red ceramics) selected for the execution of the housing unit was replaced by the soil-cement block, a sustainable material to verify if the CO₂ emissions would be lower when replacing the proposed block. According to the calculations made, the replacement of red ceramics by the soil-cement block reduces the CO₂ emissions by 64,95%, since it is not necessary to burn it for the manufacture of this block, in addition to dispensing with the coating step. Thus, the adoption of the soil-cement block in SVVIE contributes to the construction industry generating less environmental impacts.

KEY WORDS: Life Cycle Assessment, Sustainability, Embodied Energy, red ceramic, soil-cement block.

INTRODUÇÃO

Considerando as características da sociedade hodierna, a qual promove o uso inconsciente dos recursos naturais para suprir suas necessidades, assim causando impactos negativos ao meio ambiente (AMARAL, 2016). Como exemplo, de acordo com a United Nations (2015) a construção civil é responsável por cerca de 30% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e 40% do consumo mundial de energia, entretanto o seguimento vem buscando alternativas para minimizar esses efeitos de modo a contribuir para o desenvolvimento sustentável.

A utilização de métodos construtivos menos nocivos ao meio ambiente é imprescindível, uma vez que contribui para o equilíbrio das três dimensões do desenvolvimento sustentável: economia, sociedade e meio ambiente. A escolha dos



materiais utilizados no setor da construção civil possui um peso expressivo sobre os impactos ambientais. A energia consumida para a produção dos materiais e as emissões de dióxido de carbono (CO₂) resultantes da fabricação desses são extremamente relevantes para a análise do impacto ambiental causado pelo setor da construção civil. Diante dessa perspectiva, iniciaram-se pesquisas referentes à fabricação dos materiais, consumo direto de energia e matéria prima (AMARAL, 2016).

Uma das alternativas que pode ser utilizada para a redução dos impactos ambientais é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). De acordo com a ABNT NBR 14.040 (2001) a ACV é definida como um estudo do uso de todos os insumos referentes a fabricação de bens e serviços, bem como seus danos ambientais. Ao analisar o ciclo de vida deve-se considerar o consumo de energia, assim resultando em uma Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE), por meio dessa é possível analisar o consumo de energia para transporte e fabricação dos materiais, essa energia é chamada de Energia Embutida (JORGE FILHO, 2013).

Vechi (2015) considera ACV completa de uma edificação uma atividade complexa com resultados imprecisos devido à grande variedade de matérias e sistemas construtivos empregados. Por ser uma técnica de gestão ambiental a ACVE vem sendo difundida como política ambiental em países desenvolvidos bem como em desenvolvimento (GUINÉE *et al*, 2011). Alguns estudos, como os realizados por Tavares (2006) e Campos (2012), são propostos para simplificação desse instrumento, a qual permite analisar a energia empregada no ciclo de vida como um indicador do impacto ambiental, pois a sua produção gera grande percentual das emissões. Diante desse panorama, tem-se a ACVE, a qual se baseia na metodologia da ACV e considera todas as entradas de energia (HESTNES; SARTORI, 2007).

Essa pesquisa propõe realizar a ACVE ao aplicar a EE dos materiais nessa avaliação, assim quantificando as emissões de dióxido de carbono na fase de pré-uso (fundação, supraestrutura, alvenaria e revestimento) em dois cenários: sistemas construtivos que utilizam a cerâmica vermelha e o bloco solo-cimento para o SVVIE de habitações rurais.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral a avaliação do ciclo de vida energético (ACVE), por meio da energia embutida, de dois sistemas construtivos para alvenaria, cerâmica vermelha e bloco solo-cimento, utilizados para a construção de uma residência de interesse social localizada na zona rural do município de Cascavel – PR.

Os objetivos específicos são: quantificar os materiais que compõe os dois SVVIE utilizado na construção do Modelo Rural 63; desagregar o consumo de energia em fontes de matéria prima para mensurar as emissões de CO₂ para cada material utilizado; quantificar a emissão de CO₂ para a execução de uma unidade habitacional – Modelo Rural 63; comparação das emissões de CO₂ em dois cenários para a execução de SVVIE em: cerâmica vermelha (tijolo convencional) e bloco solo-cimento;

METODOLOGIA

O trabalho constitui-se de uma pesquisa quantitativa para comparar e analisar a emissão de CO₂ dos dois SVVIE em estudo. Para calcular as emissões de CO utilizou-se do método adotado por Tavares (2006). Cabe lembrar que essa análise visa apresentar os impactos ambientais resultantes do ciclo produtivo dos principais materiais da construção civil, bem como a substituição desses por sistemas construtivos mais sustentáveis.

O estudo foi realizado em uma residência unifamiliar rural localizada a dez quilômetros do perímetro urbano do município de Cascavel-PR, as margens da BR 369, na latitude S 24° 51' 52" e longitude O 53° 20' 18", em uma altitude de 781 metros. A residência rural é chamada de Modelo Rural 63 – com 63,86 m² - do Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR). A edificação é uma residência unifamiliar composta por três quartos, sala, cozinha, lavanderia e banheiro (Figura 1). O Modelo Rural 63 foi selecionado para o estudo, uma vez que esse é o modelo mais utilizado para as habitações rurais que se encaixam no PNHR. A partir da escolha do modelo da residência definiu-se os dois SVVIE's a serem estudados: alvenaria de bloco solo-cimento (alvenaria sustentável) e alvenaria de cerâmica vermelha (alvenaria comum).



Figura 1: Modelo de Habitação Rural 63. Fonte: Silva (2017)

Levantamento das etapas e materiais quantificados

A quantificação das emissões de CO₂ foram realizadas nas etapas de fundação, alvenaria, supraestrutura e revestimento. Essas etapas são responsáveis por apresentarem os principais materiais utilizados pela construção civil: aço, areia, cerâmica vermelha, bloco solo-cimento, brita, cal e Cimento Portland.

Com o auxílio da planta baixa da edificação calculou-se a quantidade de materiais utilizados nas etapas em estudo. O levantamento da fundação e da supraestrutural foi executada com o auxílio do Programa Eberick V7. Por meio desse juntamente com dados fornecidos por Pini (2010) nas Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos obteve-se o consumo dos materiais de modo mais preciso.

Para a alvenaria considerou-se o comprimento das paredes em planta baixa, sendo que essas possuem pé direito de 2,80 m, para maior exatidão dos cálculos do consumo nessa etapa subtraía-se apenas os vãos com área maior que 2m². Já o chapisco, emboço e emboço serão realizados apenas no cenário em que utilizar da cerâmica vermelha, para o cálculo os valores dessas etapas devem ser multiplicados por dois, uma vez que essas etapas serão feitas em todas paredes internas e externas.

Levantamento das emissões de CO₂ por materiais

Para o levantamento das emissões de CO₂ utilizou-se como referência a pesquisa realizada por Tavares (2006) para estabelecer a EE de cada material utilizado na edificação. Por meio do consumo dos matérias e da EE relacionou-se o consumo de energia (fonte primária) para a fabricação desses materiais no Brasil. Para realizar a relação com o consumo de energia pela fonte primária é necessário o conhecimento do consumo de cada fonte específica, além da geração de CO₂ do processo.

Conforme apresentado por Tavares (2006), por meio da relação percentual do consumo das fontes primárias específicas de energia dos materiais fabricados no Brasil juntamente com os valores de emissão de CO₂ por cada fonte realizou-se a ACVE, afim de mensurar as emissões de CO₂ resultante dos processos de fabricação dos materiais empregados. Desse modo, a Tabela 1 apresenta a geração de CO₂ liberada por cada fonte de energia.

Tabela 1. Geração de CO por cada fonte de energia. Fonte: Tavares (2006)

Fonte	CO ₂ (kg/MJ)	Fonte	CO ₂ (kg/MJ)
Eletricidade	0,0181	Coque de carvão mineral	0,0915
Óleo combustível (diesel)	0,0798	Coque de petróleo	0,0726
Gás natural	0,0506	Carvão vegetal	0,051
GLP	0,0633	Lenha	0,0816



Inicialmente calculou-se a emissão de CO₂ por meio da EE de cada material utilizado na execução da residência de acordo com suas respectivas quantidades, conforme apresentado na Equação 1:

$$TCO_2 = \sum Q_M \times C_{P_M} \times G_M \times EE_M \quad \text{equação (1)}$$

Em que TCO₂ é a estimativa total da emissão de pelos materiais (kg); Q_M quantitativo dos materiais (m, m², m³, unid e kg); C_{P_M} o consumo primário de energia (kg CO₂/MJ); G_M é a geração de CO₂ (%MJ) e EE_M é a Energia Embutida dos materiais (MJ/m³).

Após quantificar as emissões de CO₂ dos principais materiais utilizados comparou-se as emissões em cada etapa do revestimento, como apresentado na Equação 2:

$$RCO_2 = \sum A_A \times C_A \times CO_2 \quad \text{equação (2)}$$

Em que RCO₂ é a estimativa total da emissão de CO₂ na etapa de revestimento e assentamento (kg); A_A é a área de alvenaria revestida (m²); C_A é o consumo de materiais (m³ e kg) e CO₂ a emissão de CO₂ por material (kg de CO₂/m³).

RESULTADOS

Levantamento do consumo dos materiais

Para calcular as emissões de CO₂, inicialmente, foi necessário fazer um levantamento quantitativo dos materiais empregados na execução no Modelo Rural 63, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Consumo de materiais para Modelo Rural 63. Fonte: Os autores

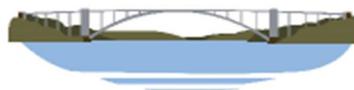
Etapa	Material	Unid.	Quant
Fundação	Aço (armadura)	kg	149,453
	Concreto	m ³	3,138
Supraestrutura	Aço (armadura)	kg	75,84
	Concreto	m ³	1,88
Alvenaria (cenário 1)	Bloco solo-cimento	m ²	151,23
Alvenaria (cenário 2)	Cerâmica Vermelha	m ²	151,23
Revestimento	Chapisco	m ²	300,44
	Emboço	m ²	300,44
	Reboco	m ²	272,32

Emissão de CO₂ por material

De acordo com os valores apresentados na 2, bem como os valores apresentados para a EE dos materiais foi possível calcular as emissões de CO₂ por cada material utilizado, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Emissão de CO₂ por material. Fonte: os autores.

Fonte de energia	Consumo primário (kg de CO ₂ /MJ)	Geração de CO ₂	EE _c (kg de CO ₂ /MJ)	EE (MJ/kg)	Emissão CO ₂ (kg de CO ₂ /m ³)
AREIA					
Óleo Diesel	0,0798	0,99	0,079002	0,05	0,0039501
Eletricidade	0,0181	0,01	0,000181		0,00000905
Total de emissões					0,0039592
BRITA					
Óleo Diesel	0,0798	0,85	0,06783	0,15	0,0101745
Eletricidade	0,0181	0,15	0,002715		0,00040725
Total de emissões					0,0105818
AÇO					
Óleo Diesel	0,0798	0,01	0,000798	30	0,02394
Eletricidade	0,0181	0,1	0,00181		0,0543
Coque	0,0915	0,71	0,064965		1,94895
Gás Natural	0,0506	0,06	0,003036		0,09108
Outros	0,0357	0,12	0,00428		0,12852
Total de emissões					2,24679
CERÂMICA VERMELHA					
Óleo Diesel	0,0798	0,04	0,003192	2,9	0,0092568
Eletricidade	0,0181	0,02	0,000362		0,0010498
Lenha	0,0816	0,7	0,05712		0,165648
Total de emissões					0,1759546
BLOCO SOLO-CIMENTO					
Óleo Diesel	0,0798	0,04	0,003192	0,6	0,0019152
Carvão Vegetal	0,051	0,61	0,03111		0,01867
Total de emissões					0,02058
CIMENTO PORTLAND					
Óleo Diesel	0,0798	0,03	0,002394	4,2	0,0100548
Eletricidade	0,0181	0,12	0,002172		0,0091224
Carvão Vegetal	0,051	0,61	0,03111		0,13066
Total de emissões					0,14984
CAL					
Óleo Diesel	0,0798	0,12	0,009576	3	0,028728
Eletricidade	0,0181	0,08	0,001448		0,004344
Lenha	0,0816	0,8	0,06528		0,19584
Total de emissões					0,228912



Conforme os resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que os insumos energéticos mais empregados para a fabricação dos insumos da construção civil é a eletricidade e o óleo diesel, sendo o óleo diesel grande emissor de GEE na atmosfera.

Analisando as emissões totais de CO₂ de cada material, observa-se que dentre todos, o aço é o que apresenta maior emissão, seguido da cal, cerâmica vermelha, cimento Portland, bloco solo-cimento, brita e areia. O aço é um material com elevada emissão de CO₂, uma vez que tem como principal fonte de combustível o coque. Já a cal apresenta elevada taxa de emissão devido a utilização do óleo diesel e da lenha como fontes de energia, assim há alta emissão de CO₂ uma vez que esses insumos ao entrarem em combustão liberam GEE.

Nessa prévia análise já é possível de identificar que o a utilização dos blocos solo-cimento para a execução dos SVVIE seria uma alternativa sustentável, uma vez que para sua fabricação há menor emissão de CO₂, uma vez que em seu processo produtivo não é necessário queima-lo conforme ocorre com a cerâmica vermelha.

Quantificação das emissões de CO₂ na fundação

Considerando a quantidade de CO₂ emitido pelos materiais em estudo utilizados para a construção da residência, é possível quantificar as emissões de CO₂ em cada etapa construtiva. Por meio dos dados apresentados na Tabela 2 foi possível realizar os cálculos para cada etapa construtiva. A primeira etapa quantificada foi a fundação, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Emissão de CO₂ na fundação. Fonte: Os Autores.

Material	Unidade	Quantidade	CO ₂ por material (kg)	CO ₂ total (kg)
Areia média	m ³	0,719	0,00396	0,002847
Brita 1	m ³	0,337	0,01058	0,003565
Brita 2	m ³	0,337	0,01058	0,003565
Cimento Portland	kg	319	0,01918	6,11842
Total de emissões de CO ₂ para 1 m ³ de concreto				6,1284
Total de emissões de CO ₂ para 3,1376 m ³ de concreto				19,2266
Material	Unidade	Quantidade	CO ₂ por material (kg)	CO ₂ total (kg)
Aço	kg	149,453	2,11827	316,582
Total de emissões de CO ₂ pelo aço				316,582
Total de emissões de CO ₂ na fundação				335,809

Quantificação das emissões de CO₂ na supraestrutura

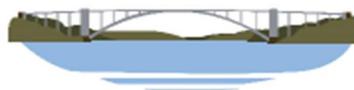
Posteriormente ao cálculo das emissões de CO₂ para a execução da fundação é necessário calcular as emissões referentes a supraestrutura. Os cálculos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Emissão de CO₂ na supraestrutura. Fonte: Os autores.

Material	Unidade	Quantidade	CO ₂ por material (kg)	CO ₂ total (kg)
Concreto	m ³	1,8796	*	11,5189
Aço	kg	75,84	2,11827	160,649
Total de emissões de CO ₂ na supraestrutura				172,1685

*Utilizou-se os valores obtidos na Tabela 4 para 1m³ de concreto.

Quantificação das emissões de CO₂ na alvenaria – cenário 1



A etapa em questão para quantificar se trata da alvenaria, então foi necessário calcular a emissão de CO₂ para o cenário 1 o qual utiliza como SVVIE o bloco solo-cimento, já o cenário 2 refere-se a cerâmica vermelha, desse modo os cálculos iniciaram-se pelo cenário 1. De acordo com Cunha (2016) o rendimento ao utilizar blocos solo-cimento é de 45 blocos/m² e a perda de materiais para a execução do serviço é de 1%. Os cálculos referentes ao quantitativo do cenário encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Quantitativo dos blocos solo-cimento para execução da residência. Fonte: Autores do Trabalho.

Material	Área (m ²)	Rendimento por m ²	Rendimento total
Bloco solo-cimento	151,23	45	6.805,35
Perda total de blocos solo-cimento	151,23	1%	68,05
Total de blocos solo-cimento			6.873,40

Considerando a quantidade de blocos utilizados para a execução da residência e a emissão de CO₂ referente ao bloco solo-cimento presente na Tabela 3 é possível calcular a emissão de CO₂ referente ao montante. Os cálculos estão presentes na Tabela 7.

Tabela 7. Emissão de CO₂ referente aos blocos solo-cimento. Fonte: Autores do Trabalho.

Material	Quantidade de bloco cerâmico	CO ₂ do material (kg)	CO ₂ total (kg)
Bloco solo-cimento	6.873,40	0,02058	141,4546
Total de emissões de CO ₂			141,4546

O bloco solo-cimento utilizado no estudo possui área de 0,0225 m², para a execução de 1 m² de alvenaria é necessário 45 blocos, totalizando 0,855 m² de blocos solo-cimento, desse modo é necessário 0,145 m² de junta, sendo que para a execução da junta utiliza-se 0,02175 m³ de argamassa por 1m² de alvenaria. Diante dos valores apresentados calcula-se a quantidade de argamassa para o assentamento dos blocos. Os cálculos referentes a argamassa e emissão dessa estão na Tabela 8.

Tabela 8. Emissão de CO₂ referente a argamassa de assentamento. Fonte: Autores do Trabalho.

Material	Unidade	Área	Consumo	Consumo Total	CO ₂ por material	CO ₂ total (kg)
Areia	m ³	151,23	0,027	4,0832	0,00396	0,01617
Cal	Kg	151,23	3,5235	532,8589	0,22891	121,9767
Cimento	Kg	151,23	3,5235	532,8589	0,14984	79,84358
Total de emissões de CO ₂						201,8365

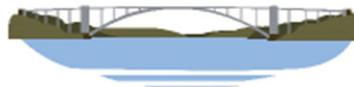
Considerando os valores obtidos por meio dos cálculos das emissões de bloco solo-cimento e argamassa de assentamento conclui-se que para a execução de paredes de vedação que utilizam blocos solo-cimento será emitido 343,29 kg de CO₂. Assim encerra-se os cálculos referentes ao cenário 1 que utiliza blocos solo-cimento.

Quantificação das emissões de CO₂ na alvenaria – cenário 2

Diante do exposto é necessário realizar o levantamento quantitativo do cenário 2 o qual utiliza a cerâmica vermelha (tijolo convencional) para a execução da alvenaria. Desse modo, deve-se considerar o material em questão possui rendimento de 50 blocos/m² e que para a execução do serviço há uma perda de 5% desse. Os cálculos para a quantificação do material estão na Tabela 9.

Tabela 9. Quantitativo das cerâmicas vermelhas para execução da residência. Fonte: Autores do Trabalho.

Material	Área (m ²)	Rendimento por m ²	Rendimento total
Bloco cerâmico	151,23	50	7.561,5
Perda total de blocos cerâmicos		5%	378,075
Total de blocos cerâmicos			7.183,425



Para a quantificação da emissão de CO₂ referente ao montante de cerâmica vermelha utilizada considerou-se o índice referente ao material presente na Tabela 3. Assim os cálculos referentes a emissão da quantia de cerâmicas vermelhas utilizadas na execução da residência apresentam-se na Tabela 10.

Tabela 10. Emissão de CO₂ referente às cerâmicas vermelhas. Fonte: Autores do Trabalho.

Material	Quantidade de bloco cerâmico	CO ₂ do material (kg)	CO ₂ total (kg)
Bloco cerâmico	7.183,425	0,1759546	1.263,9575
Total de emissões de CO ₂			1.263,9575

Considerando que a cerâmica vermelha ocupa uma área de 0,0171 m² e o rendimento desse sistema construtivo é de 50 blocos/m², para a execução de 1m² de alvenaria necessita de 0,0203 m³ de argamassa, assim os cálculos referentes a área toda da alvenaria estão na Tabela 11.

Tabela 11. Emissão de CO₂ referente a argamassa de assentamento. Fonte: Autores do Trabalho.

Material	Unidade	Área	Consumo	Consumo Total	CO ₂ por material	CO ₂ total (kg)
Areia	kg	151,23	0,0248	3,750504	0,00396	0,014852
Cal	kg	151,23	3,2886	497,334978	0,22891	113,8449
Cimento	m ³	151,23	3,2886	497,334978	0,14984	74,52067
Total de emissões de CO ₂						188,38

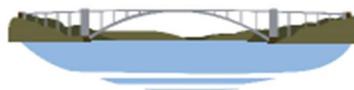
Desse modo para a execução da alvenaria do Modelo Rural 63 utilizando cerâmica vermelha há uma emissão de 1.453,34 kg de CO₂.

Quantificação das emissões de CO₂ no revestimento

O cenário 2, sistema construtivo com cerâmica vermelha, será revestido por três camadas (chapisco, emboço e reboco). As proporções dos materiais para a execução de cada foram especificadas por Cunha (2016), assim a quantificação dos materiais dessa etapa apresenta-se na Tabela 12.

Tabela 12. Materiais utilizados para a execução do chapisco, emboço e reboco. Fonte: Autores do Trabalho.

Material	Área (m ²)	Consumo unitário (kg/m ²)	Consumo total (kg)	CO ₂ por material	CO ₂ total (kg)
Areia	300,44	2,43	730,07	0,00396	2,891074
Cimento	300,44	1,2	360,528	0,14984	54,0215
Total de emissões de CO ₂ no chapisco					56,91259
Material	Área (m ²)	Consumo unitário (kg/m ²)	Consumo total (kg)	CO ₂ por material	CO ₂ total (kg)
Areia	300,44	2,43	730,07	0,00396	4,3354
Cimento	300,44	1,2	360,528	0,14984	81,0323
Cal	300,44	3,644	1.094,80	0,228912	250,6136
Total de emissões de CO ₂ no emboço					335,9813



Material	Área (m ²)	Consumo unitário (kg/m ²)	Consumo total (kg)	CO ₂ por material	CO ₂ total (kg)
Areia	272,32	0,94	255,981	0,00396	1,014
Cimento	272,32	1,825	496,984	0,14984	74,468
Total de emissões de CO ₂ no reboco					75,482
Total de emissões de CO ₂ no revestimento					468,376

Quantificação das emissões de CO₂ na residência

De acordo com os valores calculados das emissões de cada material e de cada etapa construtiva foi possível comparar as emissões de CO₂ para cada cenário estudado.

Tabela 13. Quantificação das emissões de CO₂ de cada cenário. Fonte: Autores do Trabalho.

Etapa	Cenário 1 - Bloco solo-cimento	Cenário 2 – Cerâmica Vermelha
Fundação (kg de CO ₂)	335,809	335,809
Alvenaria (kg de CO ₂)	343,29	1.452,34
Supraestrutura (kg de CO ₂)	172,1685	172,1685
Revestimento (kg de CO ₂)	-	468,376
Emissão total (kg de CO ₂)	851,2675	2.428,694

Considerando as etapas construtivas pesquisadas, observa-se que a etapa construtiva com maior impacto na construção civil refere-se à alvenaria, especificamente a cerâmica vermelha, tal fato é resultado das fontes de energia primária utilizadas no processo de fabricação desse material, uma vez que na sua produção ocorre a queima do material, assim liberando CO₂. Ademais, por dispensar revestimento o cenário 1 esse fator contribui para que o bloco solo-cimento seja considerado um material mais sustentável.

CONCLUSÕES

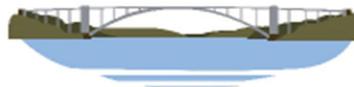
O uso do bloco solo-cimento contribui para a construção sustentável, já que apresenta melhores resultados quando comparado ao sistema de alvenaria de cerâmica vermelha, pois em seu processo construtivo dispensa-se o cozimento, etapa em que ocorre grande parte da emissão de CO₂ presente na fase de pré-uso da cerâmica vermelha.

Deste modo o cenário 1, o qual utiliza bloco solo-cimento para a execução da alvenaria, mostra-se mais sustentável de acordo com as dimensões analisadas, uma vez que há uma redução de 64,95% na emissão de CO₂ quando comparado ao cenário 2, que faz o uso da cerâmica vermelha para a execução da alvenaria.

Considerando as etapas construtivas estudadas, a maior taxa de variação de resultado está presente na etapa de revestimento, pois o SVVIE com bloco solo-cimento dispensa essa etapa, por se tratar de um sistema modular de construção. Cabe lembrar que outros parâmetros como a classificação dos resíduos e consumo de água também devem ser analisados a fim de se obter uma avaliação mais abrangente dos cenários em estudo, contudo estes parâmetros não fazem parte do escopo deste trabalho. Outrossim, considerando o que foi apresentado é possível concluir que a busca pela preservação ambiental deve-se iniciar a partir da concepção dos projetos até sua fase final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, M. C. **Avaliação dos efeitos da incorporação de resíduo de lama de cal nas propriedades e microestruturas de uma mistura de solo-cimento.** Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.
2. CAMPOS, F. H. A. **Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.



3. CUNHA, I. B. **Quantificação das emissões de CO na construção de unidades habitacionais unifamiliares com diferentes materiais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) -Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
4. GUINÉE, J. B., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., ZAMAGNI, A., MASONI, P., BUOMANICI, R., EKVALL, T., RYDBERG, T. Life cycle assessment: Past, presente and future. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n.1., p. 90-96, 2011.
5. HESTNES, A. G.; SARTORI, I Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 249-257, 2007.
6. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040: **Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, 2001.
7. JORGE FILHO, H. O. **Análise do ciclo de vida energético de um aviário convencional para região do Oeste do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.
8. SILVA, R. F. **Avaliação do ciclo de vida energético de uma habitação rural de interesse social com diferentes materiais de vedação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.
9. TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
10. UNITED NATIONS – UM. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.** New York, 2015. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>> Acesso em: 28 de março de 2019.
11. VECHI, M. **Relatório Interno:** Avaliação do ciclo de vida de sistemas de aquecimento de água para aprimoramento do processo de etiquetagem do RTQ-R. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 145 p.