2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

PRODUÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESEMPENHO DE PRODUTOS ECOEFICIENTES

VARELA, Kamila (1); RODRIGUES, Ana Paula (2); PEREIRA, Rondinelly

(1) Universidade Vale do Rio Doce, kamilamv.eng@gmail.com
(2) Universidade Vale do Rio Doce, anapaula@agqbrasil.com.br
(3) Universidade Vale do Rio Doce, rondipereira@hotmail.com

RESUMO

Com o avanço tecnológico e o emprego de novos materiais no ramo da construção civil, foi necessária à criação de condições para validar a qualidade das obras, surgindo em 2013, a ABNT NBR 15575, norma que estabelece requisitos, critérios e métodos de avaliação para a validação do desempenho das edificações habitacionais. Através da norma de desempenho é possível atender as mais variadas exigências dos usuários para esse tipo de ambiente; entre essas exigências, destaca-se àqueles referentes a sustentabilidade, que visam a especificação e a obtenção nas habitações de componentes, elementos e sistemas que contribuam para à mitigação dos impactos ambientais, a exemplo dos materiais ecoeficientes, como os tijolos de solo-cimento. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental que objetiva identificar a etapa que mais impacta o meio ambiente, sendo utilizada neste estudo como um método de avaliação aos requisitos de sustentabilidade. Com base nos resultados estimados, a Avaliação do Ciclo de Vida para os tijolos de solo-cimento se mostrou eficiente quanto ao objetivo proposto na pesquisa.

Palavras-chave: *NBR 15575, Tijolo ecológico, Gestão Ambiental, Sustentabilidade.*

ABSTRACT

With technological advances and the use of new materials in the field of civil construction, it was necessary to create conditions to validate the quality of the works, in 2013, the ABNT NBR 15575 emerged, a standard that requires requirements, criteria and evaluation methods for the validation of the performance of residential buildings. Through the performance standard it is possible to meet the most varied requirements of users for this type of environment; among these calls, those related to sustainability stand out, which aim at specifying and obtaining components, elements and systems in the homes that contribute to the mitigation of environmental impacts, an example of eco-efficient materials, such as soil-cement bricks. The Life Cycle Assessment (LCA) is an environmental management tool that aims to identify a stage that most impacts the environment, being used in this study as a method for assessing sustainability requirements. Based on the estimated results, the Life Cycle Assessment for soil-cement bricks is efficient as to the objective proposed in the research.

Keywords*: NBR 15575, Ecological Brick, Environmental Management, Sustainability.*

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento crescente de novas tecnologias, produtos e métodos para se construir, houve à necessidade de condições que validassem a qualidade das edificações, garantindo o atendimento às necessidades de seus usuários (POSSAN, 2013). Para este fim, surge em 2013 no cenário brasileiro, a norma NBR 15575 composta por seis partes e intitulada Desempenho de Edificações Habitacionais – ABNT NBR 15575:2013.

Com foco exclusivo em moradias, a norma transmite às exigências dos usuários, estabelecendo requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos) e métodos de avaliação (ABNT, 2013). É primordial que as habitações cumpram com as especificações de adequação ambiental propostas pela norma de desempenho. Uma forma de validar a adequação ambiental de um produto é pela avaliação do ciclo de vida (ACV) (ABNT, 2013).

A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental que auxilia na avaliação do impacto e na análise do desempenho ambiental de um determinado produto, o que torna tal ferramenta uma grande aliada para os profissionais do setor construtivo na busca por materiais de construção ecoeficientes[1] (ABNT, 2009).

Os tijolos de solo-cimento são rotulados como materiais de construção ecoeficientes, pois trata de um componente que dispensa o processo de queima da fabricação de materiais cerâmicos (MOTTA *et al*., 2014); além da possibilidade do emprego de diferentes tipos de resíduos em sua mistura, como apontam Oliveira, Amaral e Schneider (2014), tornando sua produção menos hostil ao meio ambiente.

De modo à quantificar os impactos que um material proporciona ao meio ambiente e sob à estimativa de que tal ferramenta pode ser adotada como método de avaliação aos requisitos de sustentabilidade exigidos pela norma de desempenho, o objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho ambiental de uma produção de tijolos de solo-cimento, através da avalição do ciclo de vida de produto (ACVP), por meio de estudo com base nos indicadores estimados de emissões de CO_2; de consumo de materiais, de água e de energia elétrica, considerando um raio de até 250 Km para seu transporte.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento prático do estudo foi utilizada a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), que apresenta diretrizes necessárias à condução da avaliação do ciclo de vida.

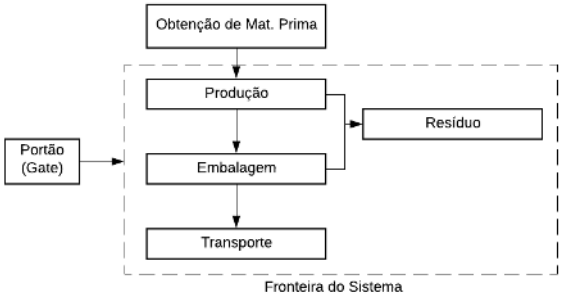
O foco deste estudo é avaliar a produção de uma empresa de tijolos de solo-cimento de pequeno porte do município de Governador Valadares-MG, que possui uma produção média de 200 tijolos/dia, com um turno de 8 horas. Foi adotada como unidade funcional, a quantidade de tijolos necessárias para produção de 1 m² de parede, desconsiderando a argamassa de assentamento. Para 1 m² de parede, são gastos 58 tijolos de solo-cimento do tipo vazado nas dimensões de 7,0x12,3x24,8 cm; com peso médio de 3,04 kg.

A fronteira da ACVP foi definida como do portão ao portão (*gate to gate*), considerando somente as etapas de produção e transporte dos tijolos de solo-cimento, conforme pode ser observado na Figura 1. Na análise do inventário do

[1] Materiais e produtos que visam minimizar o uso de recursos naturais, impactando menos o meio ambiente (CAVALCANTI *et al*., 2012).

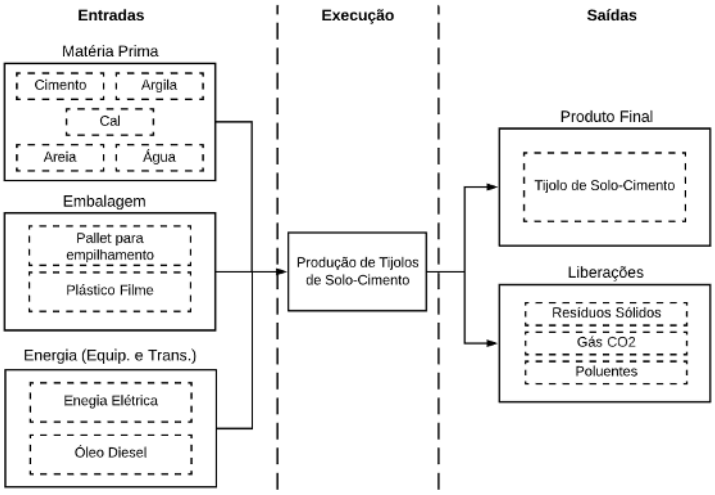
ciclo de vida do produto (AICVP) foram consideradas como entradas e saídas os tópicos descriminados na Figura 2:

Figura 1 – Fronteira do sistema.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Figura 2 – Inventário do ciclo de vida do tijolo de solo-cimento.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

O quantitativo do material foi realizado através das características físicas supracitadas. O consumo de água se deu através do levantamento dos insumos utilizados no traço. Para cada betonada, são gastos 23,0kg de cimento, 23,0kg de cal, 75,6kg de areia, 101,3kg de solo e 12,5kg de água. No consumo de água, foi considerada somente a quantidade utilizada na mistura. Segundo os fabricantes, os tijolos são embalados em fardos de 20 unidades com plástico filme para manter a umidade adequada para o processo de cura, dispensando o uso de água nessa etapa.

Nas emissões de CO_2, foram consideradas as etapas de produção (ECO_2P), de equipamentos (ECO_2EQ) e de transporte (ECO_2T). Para quantificar ECO_2P, foi utilizado os valores de energia embutida (EE) dos materiais apresentados por Tavares (2006), que considerou os valores para água, cal e tijolo de 20,00 MJ/m³, 4.500,00 MJ/m³ e 1.020,00 MJ/m³ respectivamente. Os valores do consumo primário de energia por fontes primárias apresentados por Tavares (2006) estão descriminados na Tabela 1. Na geração de CO_2 por fontes de energia, utilizou-se o valor de 0,0181 kg/MJ para energia elétrica e 0,0798 kg/MJ para combustível fóssil, que foram obtidos na tese defendida por Tavares (2006) e também apresentado por Cunha (2016).

Tabela 1- Consumo primário de energia por fontes (% MJ) em materiais de construção

Materiais	Óleo Diesel e Combustível	Eletricidade	Lenha
Cal	12	8	80
Cerâmica Vermelha	4	2	85

Fonte: Adaptado de Tavares (2006).

A Equação 1 a seguir apresentada por Cunha (2016), foi utilizada para calcular o valor das emissões de CO_2 oriundas dos processos de produção do tijolo de solo-cimento (ECO_2P) onde consideraram-se o consumo primário dos materiais (CP_m) em %MJ; a geração de CO_2 dos materiais (G_m) em $kgCO_2/MJ$ e a energia embutida (EE_m) em MJ/m^3:

$$ECO_2P = (\sum_{m=1}^{n} CP_m \,.\, G_m \,.\, EE_m)/1000 \quad (1)$$

A quantificação de ECO_2EQ, se deu através da Equação 2, apresentada por Albuquerque, Lira e Sposto (2018). Os equipamentos utilizados na produção dos tijolos de solo-cimento são: um triturador de 2 CV por 2horas/dia, uma betoneira de 2 CV por 5 h/dia e uma prensa de 5 CV por 8h/dia. Para o fator de emissões - $FelCO_2$, foi adotado o valor de 0,1548 $kgCO_2/kWh$ através dos resultados de outros trabalhos, apresentados por Albuquerque, Lira e Sposto (2018).

$$ECO_2EQ = (P.T.FelCO_2)/1000 \quad (2)$$

Na quantificação de ECO_2T, foi utilizada a Equação 3, apresentada por Caldas e Suposto (2017). As emissões de CO_2 por litro de diesel de 2,603 $kgCO_2/L$ foi obtido no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários feito pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA (BRASIL, 2014). O valor foi multiplicado pela média do fator consumo de combustível de 0,026 L/t.km, obtido através do resultado de outros trabalhos, apresentados por Caldas e Sposto (2017). Como resultado encontrou-se o fator final de emissões de CO_2 do transporte (F) de 0,068 $kgCO_2/t.km$. Esse valor também foi utilizado neste estudo.

$$ECO_2T = (F\frac{m}{a}D)/1000 \quad (3)$$

O raio da logística foi definido através do aplicativo *Google Earth*® (GOOGLE, 2020) como mostra a Figura 3. Como ponto de origem, foi considerado a própria fábrica e foram estabelecidos como destino, as cidades de Coroaci, Nova Era e Belo Horizonte, todas do estado de Minas Gerais (MG); localizadas respectivamente à 66,70 km, 181,00 km e 316,00 km de distância do ponto de origem, como mostra o *Google Maps*® (GOOGLE, 2020).

Figura 3 – Raio definido para a logística.



Fonte: Aplicativo Google Earth, 2020.

A quantificação do consumo energético foi levantada considerando o consumo na etapa de produção (EEP), do consumo dos equipamentos (EEEQ) e na etapa de transporte (EET), todas as fórmulas apresentadas por Tavares (2006). Na etapa de produção, foi definido o consumo energético através da Equação 4. O consumo dos equipamentos utilizados na fabricação (EEEQ) se deu através da Equação 5, os equipamentos considerados foram os citados anteriormente.

$$EEP = (\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot CEma\ t_i)/1000 \quad (4)$$

$$EEEQ = (\sum_{j=1}^{p} E_j)/1000 \quad (5)$$

Na etapa de transporte, o consumo energético (EET) foi definido através da Equação 6. Para o valor de CEtr, foi adotado neste trabalho o valor de 2044,5 kJ/t.km, que é a média dos valores apresentados por Guimarães *et al.* (2013, apud LEAL JUNIOR *et al.*, 2015), para o consumo energético.

$$EET = (\sum_{i=1}^{n} m_i . l_i \cdot CEtr)/1000 \quad (6)$$

A quantificação do resíduo gerado em fase de produção foi desconsiderada, pois como é apontado por Segantini e Wada (2011), os tijolos de solo-cimento quando quebram, podem ser triturados e sua "farofa" ser reutilizada na produção de novos tijolos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação do impacto

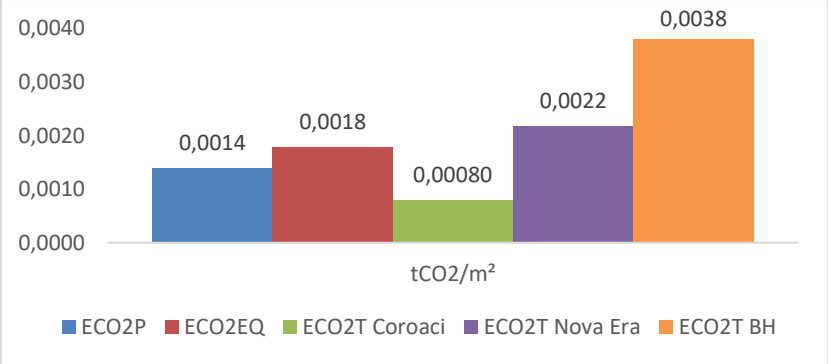
A partir da unidade funcional adotada, obteve-se o consumo de materiais no valor de **176,32 kg/m²**. Pode-se observar que o solo corresponde a 43,03% de todo material consumido. Um meio de reduzir os impactos referentes à extração de solo é através do acréscimo de resíduos inertes provenientes da construção civil para substituição de parte da matéria prima, como é apontado em diversos estudos.

O consumo total de água obtido foi de **10,82 L/m²**. Cada betonada produz em média 67 tijolos de solo-cimento e são consumidos 12,5 litros de água. Esse valor representa 5,31% do material consumido para produção de 1 m² de tijolos solo-cimento.

Na etapa de produção dos tijolos de solo-cimento, obteve-se o total de emissões ECO_2P no valor de **0,0139 tCO_2/m^2** de tijolos produzidos. O acréscimo de cal é responsável por 68% do valor de emissões de CO_2 relacionados a essa etapa; como a cal foi introduzida somente com fins estéticos, é possível desenvolver tijolos que contribuam com menos emissões de CO_2 na etapa de produção, desconsiderando-a na mistura.

Os valores de emissões totais pelo uso de equipamentos (ECO_2Q) foi de **0,00178 tCO_2/dia** por m² de tijolo de solo-cimento produzido. Do valor de emissões referente ao uso de equipamentos, 74% corresponde ao uso de prensa hidráulica; 18,6% ao uso de betoneira e 7,5% ao uso de triturador. Os valores estão relacionados às potências dos equipamentos. Os valores de emissões de ECO_2T encontrados para as cidades de Coroaci, Nova Era e BH, foram respectivamente **0.00080 tCO_2/m^2**, **0.00217 tCO_2/m^2** e **0.00379 tCO_2/m^2**. A partir da análise dos resultados obtidos, foi possível fazer um comparativo das emissões de CO_2 de todas as etapas avaliadas, esses valores estão apresentados no Gráfico 1 a seguir:

Gráfico 1 – Emissões de CO_2 de todas as etapas avaliadas.

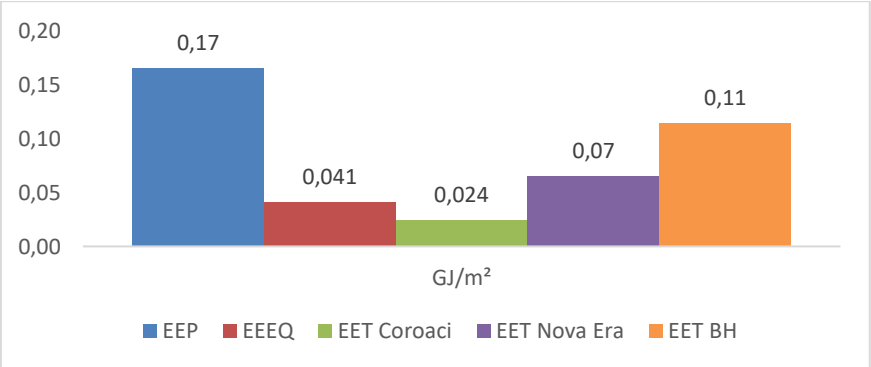


Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Através da análise dos resultados das emissões de CO_2, em relação as etapas de produção e uso de equipamentos, o gráfico apresenta que o uso de equipamentos é o que apresenta maior potencial de impacto de mudanças climáticas provenientes do CO_2. Observa-se que na etapa de transporte, o trajeto para Belo Horizonte foi o que apresentou maior valor de emissão de CO_2, já que consequentemente se trata do maior percurso simulado.

O valor de consumo energético na etapa de produção dos tijolos de solo-cimento foi de **0,17 GJ/m²**. O acréscimo da cal na mistura foi responsável pelo consumo energético de 36,1% do valor total no processo de produção. O consumo energético total de equipamento utilizado no processo de produção dos tijolos solo-cimento, se deu através do somatório de cada equipamento e obteve-se o resultado de **0,041 GJ/m²**. O uso de prensa hidráulica é responsável por 74,1% do consumo energético total dos equipamentos, na sequencia segue a betoneira e o triturador, respectivamente responsáveis por 18,5% e 7,4% do consumo energético. Na etapa de transporte, os valores de emissões de EET encontrados para as cidades de Coroaci, Nova Era e BH, foram respectivamente **24.04 MJ/m²**, **65.25 MJ/m²** e **113.91 MJ/m²**. A partir dos resultados de consumo energético, foi possível elaborar o Gráfico 2, para realização da análise comparativa dos resultados obtidos.

Gráfico 2 – Consumo energético de todas as etapas avaliadas.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Através da análise do gráfico, é possível observar a etapa da produção dos tijolos de solo-cimento como a principal fonte de consumo energético. Em relação ao ponto de origem e as distâncias percorridas de cada cidade selecionada, observa-se quanto maior o percurso maior o consumo energético; sob essa análise, pode-se afirmar que o trajeto simulado para entrega em BH é o que mais consome energia.

3.2 ACVP e o desempenho das edificações habitacionais

Através da quantificação de emissões e de consumo é possível realizar o comparativo do desempenho ambiental do tijolo solo-cimento com outros tipos de materiais ou até mesmo com outros métodos de produção do mesmo material analisado, o que torna a ACVP uma forma de amparar a tomada de decisão referente a escolha de componentes na fase de planejamento do projeto.

A análise de projeto é apontada pela NBR 15575 (ABNT, 2013) como veículo substancial para avaliação do desempenho, sendo de responsabilidade dos projetistas e das incorporadoras a especificação de componentes, elementos e sistemas que atendam ao nível mínimo exigido, que deve ser garantido pelos fornecedores dos produtos através de análises técnicas e relatórios de ensaios. Às construtoras e aos demais profissionais responsáveis pela execução das obras, a norma deposita a responsabilidade do cumprimento de todas as diretrizes do projeto, incluindo as indicadas no memorial descritivo.

4 CONCLUSÕES

A metodologia definida possibilitou o atendimento ao objetivo proposto, sendo possível analisar o desempenho ambiental de uma produção de tijolos de solo-cimento, através da ACVP. Diante dos dados apresentados, constatou-se que o uso de equipamentos para a produção e o percurso mais longo estudado contribuíram para maiores emissões de CO_2. Mediante os valores obtidos, verificou-se que a etapa de produção e o percurso mais longo estudado contribuíram significativamente para o maior consumo energético. Através desses resultados é possível direcionar a escolha de alternativas que podem favorecer a mitigação dos impactos.

Podemos concluir que o tijolo de solo-cimento se mostrou apto a ser considerado um material ecoeficiente e que a ACVP desenvolvida pode ser utilizada como instrumento de validação desses componentes aos requisitos e critérios estipulados pela norma de desempenho e que o estudo de ACV pode ser utilizado como um dos métodos de avaliação da adequação ambiental das edificações.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Hiago Ribeiro; LIRA, Júlia; SPOSTO, Rosa Maria. Emissões de CO_2 de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, p. 377-393, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v18n4/1678-8621-ac-18-04-0377.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575 - 1:** Desempenho de Edifícios Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR ISO 14040:** Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL, MMA. 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013–Ano-base 2012: Relatório final. **MMA, Brasília, DF, Brasil**, 2014. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/inventario_de_emissoes_por_veiculos_rodoviarios_2013.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2020.

CALDAS, Lucas Rosse; SPOSTO, Rosa Maria. Emissões de CO_2 referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e

de concreto. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 91-108, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v17n4/1678-8621-ac-17-04-0091.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2019.

CAVALCANTI, Ana Luisa Boavista Lustosa et al. Design para a Sustentabilidade: um conceito Interdisciplinar em construção. **Projetica**, v. 3, n. 1, p. 252-263, 2012. Disponível em: <http://www.uel.br/seer/index.php/projetica/article/download/12384/11341>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CUNHA, Iasminy Borba da et al. Quantificação das emissões de CO_2 na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais. 2016. Disponível em: < http://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/6884/2/DISIASMINYBORBADACUNHA COMPLETO.pdf>. Acesso em: 03 de nov. 2019.

GOOGLE. Google Earth. [Terra]. Disponível em: < https://www.google.com.br/earth/ download/gep/agree.html>. Acesso em: 10 mar. 2020.

GOOGLE. Google Maps. [Mapa]. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-18.9141245,-41.9890617,15z?hl=en>. Acesso em: 10 mar. 2020.

LEAL JUNIOR, Ilton Curty *et al*. ANÁLISE DA MATRIZ DE TRANSPORTE BRASILEIRA: CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÃO DE CO_2. **Revista Uniabeu**, v. 8, n. 18, p. 49-64, 2015. Disponível em: <https://revista.uniabeu.edu.br/index.php/RU/article/view/1509 >. Acesso em: 12 fev. 2020.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva *et al*. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **e-xacta**, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014. Disponível em:< https://revistas.unibh.br/dcet/article/viewFile/1038/665>. Acesso em: 02/03/2020.

OLIVEIRA, Josiane Rodrigues de; AMARAL, Adriana Garcia do; SCHNEIDER, Roselene Maria. **Incorporação de Resíduos Sólidos na Fabricação de Tijolos Solo-Cimento**. Nativa, v. 2, n. 1, p. 53-57, 2014. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/ view/1370>. Acesso em: 28 out. 2019.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista técnico-científica**, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: <http://creaprw16.creapr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/view/14/10>. Acesso em 04 nov. 2019.

SEGANTINI, AA da S., & WADA, PH (2011). <b> **Uma avaliação da composição de tijolos de cimento no solo com resíduos de construção e demolição** </ b & gt; - doi: 10.4025 / actascitechnol.v33i2.9377. *Acta Scientiarum. Technology* , *33* (2), 179-183. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i2.9377>. Acesso em: 28 jan. 2020.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Florianópolis, 2006. 225 p. Tese (Doutorado em Tecnologia). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89528/236520.pdf?sequence>. Acesso em: 28 out. 2019.