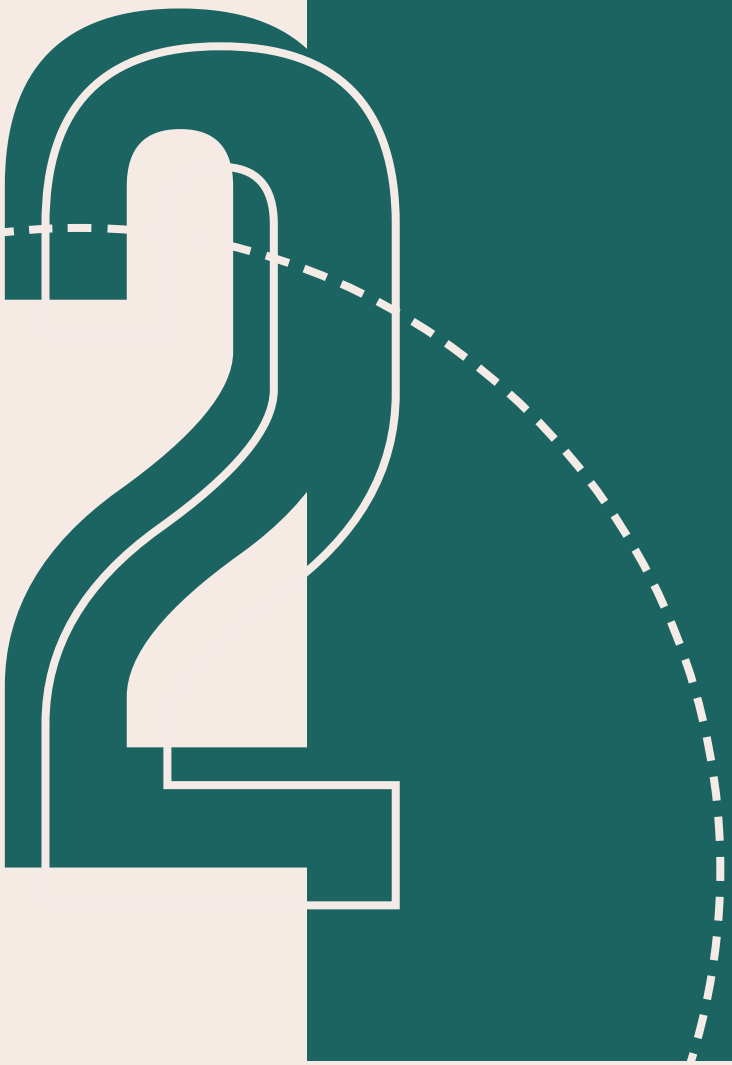
ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DA CERÂMICA VERMELHA

VON MÜHLEN, João Felipe
(Joao.muhlen@yandex.com)
Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil;

TAVARES, Sérgio Fernando
(sergioftavares@gmail.com)
Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil



PALAVRAS-CHAVE:

Avaliação do ciclo de vida, avaliação do ciclo de vida energético, energia embutida, emissão de CO_2, cerâmica vermelha.

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida Energético é uma abordagem na qual todos os insumos energéticos para um produto ou serviço são contabilizados, podendo ser utilizada para demonstrar benefícios de um projeto para otimização de energia operacional de uma edificação ou de um material de construção, como a cerâmica vermelha, por exemplo. O objetivo desta pesquisa foi realizar a Avaliação do Ciclo de Vida Energético da cerâmica vermelha, e quantificar suas emissões de CO_2. Foi realizado um estudo descritivo, o qual abrangeu a pesquisa bibliográfica complementada por estudo de caso. A unidade de análise foi a produção de uma olaria de Bom Princípio, RS, onde foi realizada a coleta de dados. Esta pesquisa limitou-se ao escopo portão-ao-portão, e, cinco passos foram seguidos: 1) identificação das etapas da produção; 2) identificação da massa em quilogramas da produção desta olaria; 3) elaboração das diretrizes para identificação dos insumos energéticos utilizados na produção da respectiva olaria; 4) identificação de todos os insumos energéticos dispendidos a cada etapa do ciclo de vida; e, 5) avaliação da quantidade de desperdícios nesse processo. Foram utilizadas a observação direta e a coleta documental como instrumentos de análise. A análise de dados dividiu-se em quatro etapas: 1) avaliar os dados coletados: 2) avaliar o percentual de cada insumo energético dessa produção, o que permitiu identificar o impacto das fontes de energia primárias e secundárias desta Avaliação do Ciclo de Vida Energético; 3) calcular a emissão de CO_2; e, 4) interpretar os resultados obtidos na segunda e terceira etapas. Para cada quilograma de telha natural fabricada, estima-se em 0,92 kg CO_2/kg enquanto que para a telha esmaltada, 1,31 kg CO_2/kg. Estes valores divergiram dos outros estudos, os quais encontraram 0,26 kg CO_2/kg e 0,17 kg CO_2/kg.

1. INTRODUÇÃO

É notório nos estudos científicos sobre sustentabilidade a condição de grande agente poluidor da construção civil. Para efeito da avaliação de impactos ambientais as atividades da construção civil devem ser definidas aquelas relacionadas às edificações, contempladas em todo o seu ciclo de vida (TAVARES, 2006).

Consoante à norma ISO 14040(2009), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é a investigação do uso dos insumos de um processo que busca obter bens ou serviços, além de avaliar as suas consequências relativas aos impactos ambientais justamente em todo seu ciclo de vida. A ACV combina dois conceitos simples. O primeiro considera algum material ou produto de interesse para então mapear todas as atividades em relação a sua construção, operação e disposição. O segundo conceito refere-se a utilizar a lista deste mapeamento e verificar alguns dos impactos ambientais associados a estas atividades (KIRCHAIN JR.; GREGORY; OLIVETTI, 2017).

Porém, conforme explica Tavares (2006), uma ACV completa demanda muito tempo e recursos materiais e humanos para sua execução. Apesar de serem observados impactos de várias naturezas, o consumo de energia e a emissão de gases do efeito estufa tem sido estudados de forma mais apurada pela comunidade científica. Já a Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) é uma forma simplificada da ACV que contempla o consumo energético demandado em todo o processo da ACV. Com os valores de energia encontrados da ACVE é possível também efetuar o cálculo das emissões de CO_2 de todo o processo. O consumo energético observado na ACVE em sua fase pré-operacional pode ser denominado como energia embutida ou energia incorporada, e corresponde a energia consumida nas etapas da extração de matérias primas, transporte, manufatura, montagem, instalação (construção no local) (BALOUKTSI; LÎTZKENDORF, 2016). Além disso a ACVE é uma ferramenta que possibilita verificar e avaliar as emissões de CO_2 ao longo do ciclo de vida dos materiais de construção, como a cerâmica vermelha (TAVARES, 2006).

A indústria da cerâmica vermelha é considerada como um segmento altamente poluidor e necessita de um processo produtivo que busque a produção de materiais mais sustentáveis (KUZMA, 2016).

Dada a relevância do exposto, este estudo enfoca a ACVE da cerâmica vermelha e busca conhecer e quantificar o consumo energético e as emissões de CO_2 no ciclo de vida da cerâmica vermelha. No que tange às delimitações da pesquisa, ela abrange o escopo portão-ao-portão (*gate-to-gate)* e não contempla o consumo de água, ainda que haja relação com o consumo energético (TAVARES, 2006). Ressalta-se que não foi possível estimar os desperdícios nem considerar o desempenho energético do forno devido à carência de informações fornecidas pela empresa.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa é realizar a ACVE da Cerâmica Vermelha, no escopo portão-ao-portão, bem como quantificar suas emissões de CO_2.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as etapas da produção;
- Identificar a massa em quilogramas(kg) desta produção;
- Elaborar diretrizes para identificação dos insumos energéticos;
- Identificar os insumos energéticos a cada etapa da produção.

3. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Para atingir os objetivos propostos foi realizado um estudo descritivo, composto por uma pesquisa bibliográfica e, complementado por um estudo de caso.

As informações utilizadas no processo de cálculo foram obtidas na entrevista com o responsável da produção da olaria, objeto deste estudo. Essa olaria está localizada na cidade de Bom Princípio – RS e produz telhas de cerâmica vermelha, na modalidade natural e esmaltada, além de pisos de concreto. Os cálculos para obter a energia embutida dependem da qualidade das informações declaradas pela empresa, pois estes cálculos levam em consideração estes dados (MANFREDINI; SATTLER, 2005). Na tabela 1 – produção mensal de telhas, é possível verificar a quantidade em quilograma (kg) da produção desta olaria.

Telhas	Produção Mensal (kg)
Telhas Naturais	485.100,00
Telhas Esmaltadas	554.400,00
Total	**1.039.500,00**

Tabela 1. Produção mensal de telhas

3.1 ENERGIA EMBUTIDA

Devido à carência de informações, não foi possível determinar os valores dispendidos separadamente para a produção das telhas de cerâmica vermelha e dos pisos de concreto. Logo, para viabilizar os cálculos, os valores dos pisos de concreto foram estimados relacionando a produção em quilograma (kg) por 1,2 MJ/kg, índice

informado por Tavares e Bragança (2016). Essa estimativa do concreto foi subtraída do valor total energético da fábrica e com esse resultado foram feitos os cálculos para obtenção dos valores da cerâmica vermelha.

No processo de cálculo, foi considerado uma relação entre o total de energia consumida durante 30 dias e o total da produção de cerâmica vermelha, levando em consideração os processos de cada tipo de telha cerâmica. A Figura 1 demonstra o processo de fabricação da telha cerâmica esmaltada. A diferença entre a produção da telha cerâmica vermelha esmaltada e da telha natural consiste apenas na etapa Queima do Esmalte, etapa esta que não acontece na produção da telha de cerâmica natural.

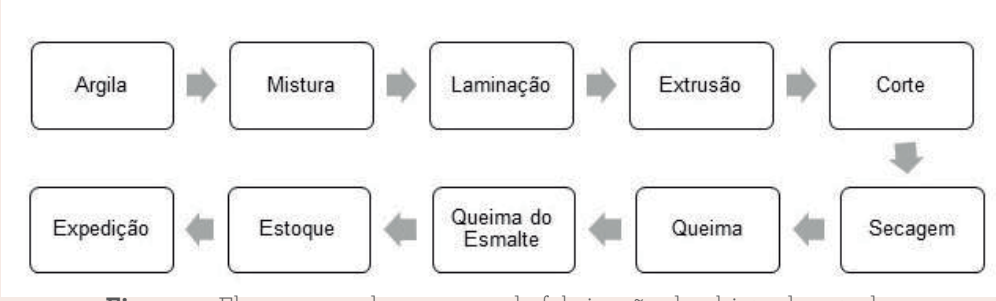


Figura 1. Fluxograma do processo de fabricação do objeto de estudo

A matriz energética da produção é composta por três combustíveis: 1) energia elétrica; 2) óleo diesel; e, 3) serragem residual de indústria moveleiras. A energia elétrica é fornecida pela rede de abastecimento não havendo nenhum tipo de geração de energia alternativa como energia eólica ou solar.

O combustível utilizado para abastecer os fornos nesta fábrica são resíduos de madeira da indústria moveleira. A fábrica não soube informar os modelos dos fornos utilizados, mas informaram que os fornos de secagem, queima e queima de esmalte utilizam as mesmas quantidades de combustíveis. O processo de secagem e queima tem duração de oito horas enquanto a queima de esmalte tem a duração de seis horas. O entendimento de que as telhas esmaltadas sofrem um processo de seis horas de queima a mais que as telhas naturais, viabilizou o cálculo do consumo energético das telhas em separado. Para isso, foi considerado que o consumo de eletricidade e de óleo entre as duas telhas foi idêntico.

Para transformar os valores volumétricos informados pela fábrica em valores energéticos, utilizou-se as informações da Tabela 2 – Peso e poder calorífico, multiplicando os volumes recebidos pela primeira e pela segunda colunas, e, após encontrar o valor em kcal foi convertido em kwh e, finalmente em MJ. Para isso, utilizou-se o índice 1 kcal = $1{,}16*10^{-3}$ 1 kwh e 1 kwh = 3,6 MJ (DE LUCENA; SIMÕES; LUCIANO, 2020).

Combustível	**Peso (kg/m³)**	**Poder Calorífico**
Óleo Diesel	852	9159 kcal/l
Serragem e Cavacos	550	2500 kcal/kg

Tabela 2. Peso e poder calorífico
Fonte: Adaptado de Manfredini e Sattler (2005).

Com os valores absolutos e percentuais, foram estimados o consumo energético em MJ/kg para a telha natural e para a telha esmaltada, bem como foi criada a tabela com os insumos energéticos em percentual para a telha natural e a telha esmaltada.

3.2 EMISSÃO DE CO2

Para se obter a estimativa de emissão de CO_2, deve se obter a relação entre a energia embutida (MJ/kg), consumo primário de energia por fontes (%MJ) e da geração de CO_2 por fontes de energia (kg/GJ) (TAVARES, 2006).

$$CO_2 = CP \times G \times EE$$

Sendo:

CO_2 - Estimativa de CO_2 liberada no processo

CP – Consumo Primário de Energia

G – Geração de CO_2 por fonte de energia

EE – Energia Embutida

O consumo primário de energia é o quanto de cada combustível é demandando no processo, a geração de CO_2 por fonte de energia é o quanto cada combustível libera no seu consumo e a energia embutida é o quanto de energia é gasto no processo de produção de determinado produto ou serviço (TAVARES; BRAGANÇA, 2016). Ou seja, cada produto tem em seu ciclo de vida um montante de combustíveis consumidos. Este montante pode ser relacionado em percentuais. Desta forma é possível identificar que, para cada kg de cerâmica vermelha, por exemplo, são consumidos de serragem, óleo e eletricidade, determinado valor. Então a quantidade de combustível utilizada é relacionada com suas próprias emissões de CO_2, permitindo assim, estimar qual a emissão CO_2 geradas no ciclo de vida avaliado, neste caso, a cerâmica vermelha.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados da pesquisa. Na Tabela 3 seguem demonstrados os valores absolutos de consumo energético por cada um dos três combustíveis para a produção mensal da olaria, enquanto que a Tabela 4 demonstra os valores por etapas de secagem e queima. As Tabelas 5, 6, 7, por sua vez,

demonstram o consumo energético das telhas de cerâmica vermelha, o consumo primário de energia por fontes, e o cálculo de emissão de CO_2, respectivamente.

Combustível	Volume (m^3)	Peso (kg)	Energia (kCal)	Energia (kwh)	Energia (MJ)
Eletricidade	-	-	-	927.950,00	3.288.616,37
Óleo Diesel	4,5	3834	35115606	47.933,36	169.873,84
Serragem	1800,0	990000	2475000000	2.878.409,02	10.200.962,37
Total	**-**	**-**	**-**	**-**	**13.659.452,59**

Tabela 3. Consumo energético mensal da fábrica

Telhas	Peso (kg)	Secagem	Queima	Esmalte	Total
Naturais	485.100,00	1.879.124,65	1.879.124,65	-	3.758.249,30
Esmaltadas	554.400,00	2.147.571,03	2.147.571,03	2.147.571,03	6.442.713,08
Total	**1.039.500,00**	**4.026.695,67**	**4.026.695,67**	**2.147.571,03**	**10.200.962,37**

Tabela 4. Consumo energético por etapas de secagem e queima (MJ)

Conforme demonstrado pela Tabela 5, o consumo energético da telha cerâmica esmaltada foi de 14,95 MJ/kg enquanto da telha cerâmica natural foi de 11,07 MJ/kg. Com estes valores foi possível efetuar a comparação com outros dois estudos. Em ambos os estudos, não foi considerado a telha esmaltada, apenas a natural. Na publicação de Hammond e Jones (2011), o escopo considerado foi do berço-ao-portão, que é um escopo mais amplo que o deste estudo, pois considera os gastos energéticos antes do portão, encontrou um gasto energético de 12MJ/kg. Já o segundo estudo, de Tavares e Bragança (2016), o valor da cerâmica vermelha não está identificado em produtos, e sim de forma ampla, e naquela pesquisa, o valor encontrado foi de 5 MJ/kg. O valor encontrado por Hammond e Jones (2011), está mais elevado devido ao escopo mais amplo. Já o valor desta pesquisa ter encontrado um número tão significativo, tem por principal hipótese o baixo desempenho dos fornos, devido a situação precária e sem reaproveitamento de calor.

Telha	Peso (kg)	Óleo Diesel (MJ)	Eletricidade (MJ)	Serragem (MJ)	Total (MJ)	Energia Embutida (MJ/kg)
Natural	**485.100,00**	79.274,46	1.534.687,64	3.758.249,30	5.372.211,40	**11,07**
Esmaltada	**554.400,00**	90.599,38	1.753.928,73	6.442.713,08	8.287.241,19	**14,95**
Total	1.039.500,00	169.873,84	3.288.616,37	10.200.962,37	13.659.452,59	**13,14**

Tabela 5. Consumo energético das telhas de cerâmica vermelha

Os valores percentuais encontrados na Tabela 6 são separados por combustíveis e demonstram a matriz energética necessária para a fabricação das respectivas telhas de cerâmica vermelha. Em Tavares e Bragança (2016), a cerâmica vermelha tem como matriz energética combustíveis que não foram encontrados neste estudo de caso, como gás natural, gás liquefeito do petróleo – GLP e lenha, tendo

em vista que a lenha não foi utilizada pela olaria e foi substituída por resíduos da indústria moveleira.

Telha Natural	
Combustível	Valor percentual de composição
Eletricidade	1,48 %
Óleo Diesel	69,96 %
Serragem	28,57 %
Telha Esmaltada	
Combustível	Valor percentual de composição
Eletricidade	1,09 %
Óleo Diesel	77,74 %
Serragem	21,16 %

Tabela 6. Consumo primário de energia por fontes

Os valores de emissão de CO_2 encontrados para cada tipo de telhas são apresentados na Tabela 7. Para cada quilograma de telha natural fabricada, estima-se em 0,92 kg CO_2/kg enquanto que para a telha esmaltada, 1,31 kg CO_2/kg. De acordo com Hammond e Jones (2019), 0,26 kg CO_2/kg são encontrados para telhas de cerâmica, porém apresentadas de forma genérica. Em Tavares e Bragança (2016), 0,17 kg CO_2/kg são encontrados. Isso demonstra que o objeto de estudo deste trabalho está com emissões de CO_2 estimadas maiores que os outros trabalhos comparados. O alto valor das emissões encontrado neste trabalho pode ser justificado devido ao maior consumo energético que demanda um valor mais alto de combustível que, no caso deste estudo, foi a serragem.

Telhas Naturais	**Óleo Diesel**	**Eletricidade**	**Serragem**	**Total**
CP (%)	1,48%	28,57%	69,96%	100,00%
G (kg/GJ)	74,10	42,20	100,00	**-**
EE (MJ/kg)	11,07	11,07	11,07	-
CO_2 (kg CO_2/kg)	0,01	0,13	0,77	**0,92**
Telhas Esmaltadas	**Óleo Diesel**	**Eletricidade**	**Serragem**	**-**
CP (%)	1,09%	21,16%	100%	100,00%
G (kg/GJ)	74,10	42,20	14,95	-
EE (MJ/kg)	14,95	14,95		
CO_2 (kg CO_2/kg)	0,01	0,13	1,16	**1,31**

Tabela 7. Cálculo de emissão de CO_2

Nesta seção foram apresentados e discutidos os achados da presente pesquisa. Na próxima seção serão apresentadas as conclusões do estudo.

5. CONCLUSÃO

O objetivo geral desta pesquisa foi realizar a ACVE da cerâmica vermelha em um escopo portão ao portão de uma indústria cerâmica, bem como quantificar suas emissões de CO_2 e os achados permitiram estas estimativas. Foi possível verificar que os valores encontrados são maiores que o de publicações da literatura técnica às quais foram comparadas e isso pode ser explicado, provavelmente, ao baixo desempenho energético dos fornos. Contudo, salienta-se que mais pesquisas são necessárias para essa comprovação. Os objetivos específicos foram atendidos parcialmente, em função das limitações de informações., porém não comprometeram o entendimento geral dos resultados. Coloca-se finalmente que as ACVE's de materiais de construção são instrumentos importantes para verificação do cenário de emissões de Gases do efeito estufa, notadamente no contexto de cumprimento de acordos internacionais como o de Paris, do qual o Brasil é signatário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura**.** Rio de Janeiro.

Balouktsi, M.; Lîtzkendorf, T. (2016). Energy efficiency of buildings: the aspect of embodied energy. Energy Technology, v. 4, p. 31-43. https://doi.org/10.1002/ente.201500265

De Lucena, M. D.; Simões, M. C. S.; Luciano, B. A. (2020). Eficiência Energética de Módulos Fotovoltaicos Durante Ciclo de Vida em Campina Grande/PB. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE, v. 1, n. 1.

Hammond, G.; Jones, C. A. (2011). BSRIA guide: embodied carbon. In: Lowrie, F.; Tse, P. (Ed.). The inventory of carbon and energy. Disponível em:<http://www.organicexplorer.co.nz/site/organicexplore/files/ICE%20Version%201.6a.pdf >. Acesso em: 20 jul. 2021.

Hammond, G.; Jones, C. A. (2019). BSRIA guide: embodied carbon. In: Lowrie, F.; Tse, P. (Ed.). The inventory of carbon and energy. Disponível em: https://greenbuildingencyclopaedia.uk/wp-content/uploads/2014/07/Full-BSRIA-ICE-guide.pdf.

Kirchain, J. R., R. E.; Gregory, J. R.; Olivetti, E. A. (2017). Environmental life-cycle assessment. Nat Mater., v. 16, p. 693-697. doi: https://doi.org/10.1038/nmat4923

Kuzma, E. L. et al. (2016). Sustentabilidade em indústrias de cerâmica vermelha por meio da utilização de ecoinovações. Revista Gestão Industrial, v. 12, n. 3.

Manfredini, C.; Sattler, M. A. (2005). Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n.1, p. 23-37, jan./mar.

Tavares, S. F. (2006). Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 225f. 2006. Disponível em:<http://

www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Sergio_Fernando_Tavares.pdf.>. Acesso em: 10 mar. 2021.

Tavares, S. F.; Bragança, L. (2016). Índices de CO_2 para materiais de construção em edificações brasileiras. SBE série 16 Brazil & Portugal.