ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Aplicação da ACV em blocos cerâmicos fabricados com adição do lodo de estações de tratamento de água

Application of Life Cycle Assessment in ceramic blocks manufctured with the addition of sludge from water treatment

Marcos David dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | marcos.david@ufpe.br
Adolpho Guido de Araújo
Universidade de Pernambuco | Recife | Brasil | adolpho.guido@ufpe.br
Dayvson Carlos Batista de Almeida
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | dayvson.almeida@ufpe.br
Igor Vieira Fernandes
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | igor.vfernandes@ufpe.br
Arnaldo Manoel Pereira Carneiro
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | arnaldo.carneiro@ufpe.br

Resumo

O estudo propôs a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na produção de blocos cerâmicos utilizando argila e lodo de estações de tratamento de água como matéria-prima. O objetivo principal consistiu em analisar as emissões de dióxido de carbono (CO_2) e a demanda de energia primária associada a diferentes proporções de lodo de Estação de Tratamento de Água incorporadas nos blocos cerâmicos. A metodologia concentrou-se nos indicadores de CO_2 e de energia incorporada. Os resultados revelaram a viabilidade na substituição parcial de argila por lodo, destacando a composição TA90L10 como a proporção ideal para a produção de blocos cerâmicos, equilibrando a eficiência na incorporação de lodo e os impactos ambientais. Além disso, a análise comparativa entre os processos de secagem por centrífuga e filtro prensa demonstraram que o último (filtro de prensa) foi mais sustentável em termos de emissões de CO_2 e demanda de energia primária, com uma redução de 5% e de 14%, respectivamente. Essas descobertas reforçaram a importância da seleção cuidadosa dos processos de produção e das composições de mistura para minimizar os impactos ambientais na fabricação de blocos cerâmicos.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida. Bloco cerâmico. Argila. Lodo. Estação de tratamento de água.

Abstract

The study proposed the application of Life Cycle Assessment in the production of ceramic blocks using clay and sludge from water treatment plants as raw materials. The main objective was to analyze carbon dioxide (CO_2) emissions and primary energy demand associated with different

Como citar:
Santos, M, D. et al. Aplicação da ACV em blocos cerâmicos fabricados com adição do lodo de estações de tratamento de água. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

proportions of Water Treatment Plant sludge incorporated into the ceramic blocks. The methodology focused on CO_2 and embodied energy indicators. The results revealed the feasibility of partially replacing clay with sludge, highlighting the TA90L10 composition as the ideal proportion for the production of ceramic blocks, balancing efficiency in sludge incorporation and environmental impacts. Furthermore, the comparative analysis between the centrifuge and filter press drying processes demonstrated that the latter (filter press) was more sustainable in terms of CO_2 emissions and primary energy demand, with a reduction of 5% and 14%, respectively. These findings reinforced the importance of careful selection of production processes and mixing compositions to minimize environmental impacts in the manufacture of ceramic blocks.

Keywords: Life cycle assessment. Ceramic block. Clay. Sludge. Water treatment station.

INTRODUÇÃO

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi usada para avaliar o impacto ambiental de um produto, processo ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até o descarte final [1]. Essa abordagem considerou todos os estágios do ciclo de vida, incluindo produção, transporte, uso e fim de vida, avaliando uma ampla gama de impactos ambientais, como emissões de gases de efeito estufa, consumo de recursos naturais, poluição do ar e da água, entre outros [1] [2] [3].

O setor da construção civil explorou novas alternativas para a reciclagem do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA). A aplicação desse resíduo na construção civil visou a reciclagem e o uso responsável de resíduos sólidos, contribuindo para a sustentabilidade e a redução do impacto ambiental [4] [5] [6].

Embora existam ACVs sobre a produção de blocos cerâmicos na construção civil, não foram identificados estudos específicos sobre a produção de blocos cerâmicos utilizando lodo de ETA, especialmente com ênfase em gastos energéticos e na emissão de CO_2. Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma ACV simplificada do lodo proveniente de ETAs, destinado à incorporação em blocos ou tijolos cerâmicos, com o intuito de analisar as emissões de dióxido de carbono e a demanda de energia primária associada.

O trabalho foi estruturado em quatro partes: a introdução, na qual foi apresentado a aplicação do lodo de ETA na construção civil e o histórico sobre a ACV, seguido por um breve referencial teórico; posteriormente foi apresentada a metodologia do trabalho; na sequência foram apresentados os resultados e discussão e por fim, a conclusão.

REFERENCIAL TEÓRICO

RESÍDUOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento e a disposição do lodo proveniente de ETAs evoluíram devido ao aumento das regulamentações ambientais, que restringiram o descarte em corpos d'água [7].

Diversas alternativas sustentáveis foram propostas, como sua aplicação no solo, disposição em aterros sanitários, incineração e uso em materiais de construção [8] [9]. Para viabilizar essas alternativas, foi importante desidratar o lodo, reduzindo seu volume e aumentando sua densidade, alcançado por meio de tecnologias como lagoas de secagem e dispositivos mecânicos [7] [10]. Além disso, foi essencial determinar as características físicas e químicas do lodo para otimizar a sua reciclagem, considerando os aspectos ambientais e regulatórios envolvidos [7].

O sistema de tratamento de água abrangeu diversos processos unitários para purificar a água bruta, tornando-a segura para consumo. Foram identificadas sete etapas do tratamento, a saber: captação, pré-cloração, coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção, com opções adicionais como correção de pH e adição de produtos químicos [8] [11] [12] [13] [14].

O lodo gerado em ETAs convencionais e não convencionais foi resultado dos processos de coagulação, floculação e decantação. Enquanto ETAs convencionais utilizaram tecnologias tradicionais como filtração e cloração, as não convencionais incorporaram métodos alternativos como membranas avançadas e tratamentos oxidativos [8] [12] [13] [14].

O tratamento do lodo incluiu etapas como sedimentação, adensamento, desidratação e disposição final, que pode variar de acordo com regulamentações ambientais e características do lodo tratado [7] [11] [13].

MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO MECÂNICA

Diversos equipamentos de desidratação foram disponibilizados no mercado brasileiro para produzir uma torta de lodo com pelo menos 20% de sólidos, utilizando princípios de separação por sedimentação e filtração [7] [10] [15] [16].

A centrífuga, por exemplo, aproveitou a força centrífuga para separar a água dos sólidos em duas etapas: clarificação e compactação [15] [17] [18]. No processo de secagem mecânica por centrífuga, a suspensão de lodo foi alimentada no tambor, onde a força centrífuga separou a água, deixando os sólidos desidratados para trás [7]. Embora eficaz na redução da umidade do lodo e no volume de resíduos, a secagem mecânica por centrífuga foi custosa em termos de manutenção, energia elétrica e necessidade de especialização [19].

O filtro prensa foi um equipamento amplamente utilizado na secagem mecânica de lodos em diversas aplicações industriais, incluindo o tratamento de águas residuais e lodos de ETA [7] [20]. No processo, a suspensão de lodo foi alimentada no equipamento e passou por placas filtrantes, retendo as partículas sólidas enquanto a água foi forçada a passar através delas. Após a filtração, as placas foram pressionadas para extrair mais água dos sólidos, formando um bolo de sólidos mais seco que foi removido manual ou automaticamente [7] [20].

LODO DE ETA E SUAS PECULIARIDADES

A análise das características do lodo de ETAs revelou sua forte influência pelo tipo de estação e processos adotados, sendo estes convencionais ou não, o que foi

intrinsecamente ligado às propriedades físicas e químicas, relacionadas ao manancial de origem e aos métodos de desidratação mecânica.

Esse cenário evidenciou um desafio persistente na disposição final do lodo, devido aos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado, como assoreamento de rios e contaminação do lençol freático, decorrente da solubilidade do resíduo [6] [21] [22] [23].

A revisão da literatura destacou a importância de consolidar o conhecimento existente, identificar metodologias eficazes e preencher lacunas identificadas nos estudos, oferecendo uma base sólida para soluções e pesquisas futuras [1] [2] [3].

Além disso, a análise de ciclo de vida foi importante para mensurar o impacto ambiental dos materiais alternativos que incorporaram o lodo de ETA, permitindo identificar áreas críticas para aprimorar a sustentabilidade na indústria da construção [24].

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO LODO DE ETA PELO SIDAC

O Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (Sidac) adotou uma abordagem simplificada na ACV, calculando dois indicadores de inventário, emissões de CO_2 e energia incorporada, ao invés de vários outros indicadores ambientais, visando reduzir a demanda por dados e custos de coleta [25].

O sistema manteve os princípios da ACV, exceto pela etapa de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), que não foi realizada. Seu propósito foi avaliar o desempenho ambiental de produtos de construção considerando processos e cadeias de valor existentes, utilizando uma abordagem atributiva, com divisão dos processos que desempenharam múltiplas funções [25] [26].

Os produtos foram analisados como sistemas compostos por processos elementares que realizaram funções específicas ao longo do ciclo de vida do produto, com o inventário do ciclo de vida quantificando apenas os fluxos de massa e energia necessários para calcular a energia incorporada e as emissões de CO_2 [25] [26].

METODOLOGIA

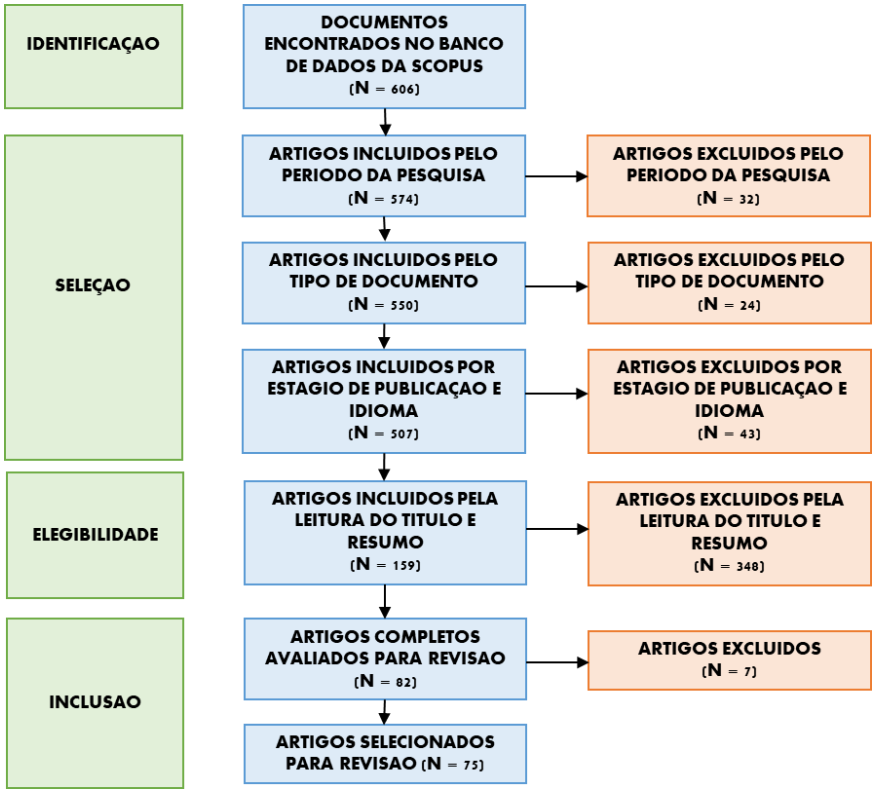
O arcabouço metodológico da pesquisa foi desenvolvido através do método misto composto por uma revisão sistemática da literatura e por uma pesquisa descritiva com abordagem quali-quanti sobre a avaliação do ciclo de vida em blocos cerâmicos.

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A pesquisa, utilizando a base de dados Scopus acessada pelo portal da CAPES, seguiu a metodologia PRISMA [27]. Foi realizada uma busca inicial na Scopus, com a palavra-chave "water treatment sludge". Na etapa de Identificação, obtiveram-se 606 documentos. Na Seleção, aplicaram-se seis critérios, incluindo data de publicação (1990 a setembro de 2023), tipo de documento, estágio de publicação, e idioma (inglês). A Elegibilidade envolveu a leitura de títulos e resumos, excluindo estudos

incompatíveis com materiais aplicados na construção civil. Na Figura 1, temos os critérios empregados para avaliar os documentos da revisão sistemática.

Figura 1: Critérios utilizados na metodologia PRISMA para a revisão.



Fonte: O autor.

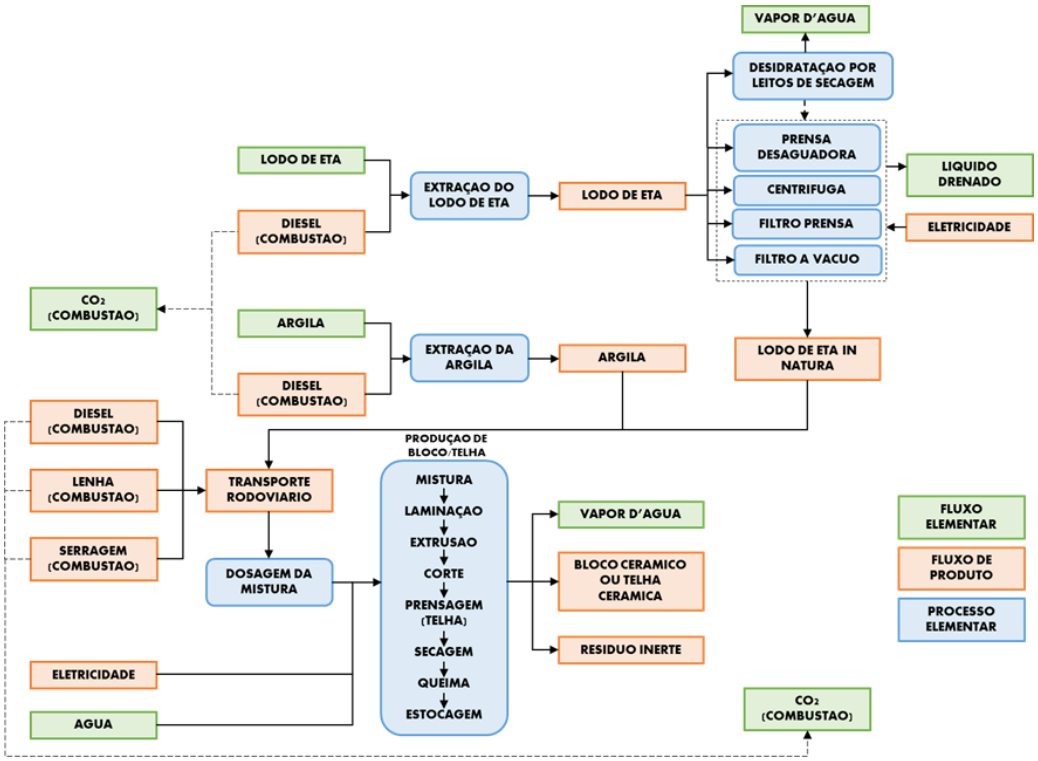
AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM BLOCOS CERÂMICOS

Para simplificar o modelo, considerou-se que a extração da argila e do lodo têm impactos ambientais similares devido à composição química dos materiais e limitações de projeto. O lodo, é composto por 95% de água e 5% de sólidos [14], além disso foi considerado um transporte de um caminhão de 2 eixos por um raio de até 30 km até a fábrica de blocos cerâmicos.

Os dados sobre o consumo de energia elétrica na secagem do lodo foram obtidos de [28]. A mistura de argila e lodo foi calculada, de forma teórica, para emissões de CO_2 e para demanda de energia primária para a produção de blocos cerâmicos. Foi utilizado o Sidac, variando a proporção do lodo nas misturas de 0% (TA100L0) a 100% (TA0L100), com incrementos de 10%.

A Figura 2 ilustrou como a abordagem do Sidac é aplicada na produção de blocos ou tijolos cerâmicos.

Figura 2: Processos elementares de extração da argila e do lodo e de produção de telhas e blocos cerâmicos. A etapa de prensagem ocorre apenas para as telhas cerâmicas.



Fonte: Adaptado de [29].

As Tabelas 1 e 2 apresentaram as informações de entrada e saída implementados na calculadora de produtos do Sidac para obter os dados de emissão de dióxido de carbono e demanda de energia primária para o LETA em centrífuga e filtro prensa. Na entrada, foram considerados a extração de 1 t de lodo até um raio de cerca de 30 quilômetros, sendo a centrífuga e o filtro prensa os métodos de desidratação mecânica empregados. Na saída, foram obtidos os dados de emissão de dióxido de carbono e demanda de energia primária, respectivamente.

Tabela 1: Produção de LETA *in natura* por centrífuga

Entrada		
Material/Processo	Quantidade	Unidade
Extração do lodo (Argila)	1,00	t
Transporte do lodo até local de desidratação	30,00	t.km
Desidratação por centrífuga	4,24	KW.h

Saída		
Lodo seco *in natura*	0,05	t
Efluente	0,95	m³
Impacto ambiental		
Emissão de CO_2	64,60	kg
Demanda de energia primária	1344 MJ	MJ

Fonte: O autor.

Tabela 2: Produção de LETA *in natura* por filtro prensa

Entrada		
Material/Processo	Quantidade	Unidade
Extração do lodo (Argila)	1,00	t
Transporte do lodo até local de desidratação	30,00	t.km
Desidratação por filtro prensa	0,32	KW.h
Saída		
Lodo seco *in natura*	0,05	t
Efluente	0,95	m³
Impacto ambiental		
Emissão de CO_2	59,12	kg
Demanda de energia primária	935,5	MJ

Fonte: O autor.

A Tabela 3 apresentou os valores mínimos e máximos de emissão de dióxido de carbono e demanda de energia primária para a confecção de um bloco cerâmico (9x19x19) cm de argila e de lodo in natura por centrífuga e filtro prensa.

Tabela 3: Dados de energia primária e emissão de CO_2 para um bloco cerâmico de argila e de lodo in natura por centrífuga e filtro prensa

Produção de bloco cerâmico VED15 (09 x 19 x 19) cm			
Material	**Argila**	**Lodo de ETA por centrífuga**	**Lodo de ETA por filtro prensa**
Quantidade (kg)	2,40	2,40	2,40
Emissão de CO_2 mínimo (kg)	0,14	3,24	2,98
Emissão de CO_2 máximo (kg)	0,32	3,42	3,16
Demanda de energia primária mínima (MJ)	5,35	69,86	50,26
Demanda de energia primária máxima (MJ)	9,30	73,82	54,21

Fonte: O autor.

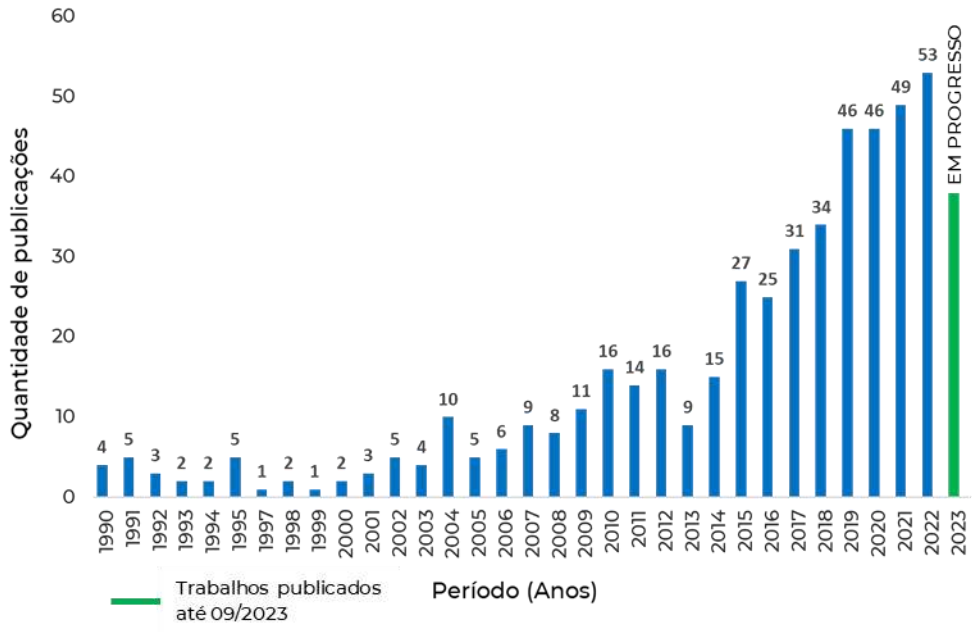
RESULTADOS E DISCUSSÃO

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

As publicações apresentaram um crescimento exponencial sobre a utilização do lodo na construção civil, totalizando 507 trabalhos na base de dados Scopus, desde 1990 até setembro de 2023 (Figura 3). Ratificado por [30], que identificaram um crescimento exponencial das publicações sobre sustentabilidade na última década.

Foi verificada uma diversidade de estudos sobre a reciclagem do lodo no período avaliado, abrangendo diversas aplicações na construção civil. Entretanto, não se identificou a aplicação da ACV nos artigos analisados. De acordo com [31] [32] [33] a ACV foi realizada apenas em blocos cerâmicos com a matéria-prima tradicional (argila) ou com outros materiais. Esses achados foram reafirmados pelas pesquisas de [34] [35] [36] [37] [38].

Figura 3: Quantidade de publicações por ano



Fonte: O autor.

A maioria desses trabalhos foram publicados nos últimos anos, representando cerca de 68,84% do total de trabalhos. Esse aumento expressivo foi atribuído, possivelmente, à implementação de leis, regulamentos e diretrizes nacionais e internacionais desde a década de 2000, refletindo um maior interesse e preocupação com o tratamento e disposição do lodo, bem como com as questões ambientais e a sustentabilidade, conforme [26] e [39].

ESTUDO DAS MISTURAS

A Tabela 4 apresenta as proporções de argila e lodo utilizadas no projeto das misturas para a produção de blocos cerâmicos, empregadas para a avaliação das emissões de CO_2 e dos gastos energéticos.

A variação de porcentagens de 0% a 100% de lodo com incrementos de 10% para os estudos de ACV em blocos cerâmicos fabricados com argila e lodo de ETA justificou-se pela necessidade de compreender de forma abrangente e detalhada o impacto ambiental em termos de emissões de CO_2 e demanda de energia primária em diferentes composições de mistura. Diversos estudos, como [40] [41], demonstraram que as variações nas proporções de lodos influenciaram significativamente as

propriedades físicas e mecânicas dos produtos cerâmicos, bem como os impactos ambientais associados ao processo de fabricação.

A escolha de incrementos de 10% proporcionou uma melhor análise das mudanças graduais nas emissões de CO_2 e na demanda de energia primária. Esta abordagem também facilitou a comparação com outros estudos que utilizaram diferentes faixas de proporções, como [42] [43], permitindo a harmonização de dados e a construção de um corpo de conhecimento robusto sobre o uso de lodo de ETA em materiais cerâmicos.

Tabela 4: Proporções de argila e lodo para fabricação dos blocos cerâmicos

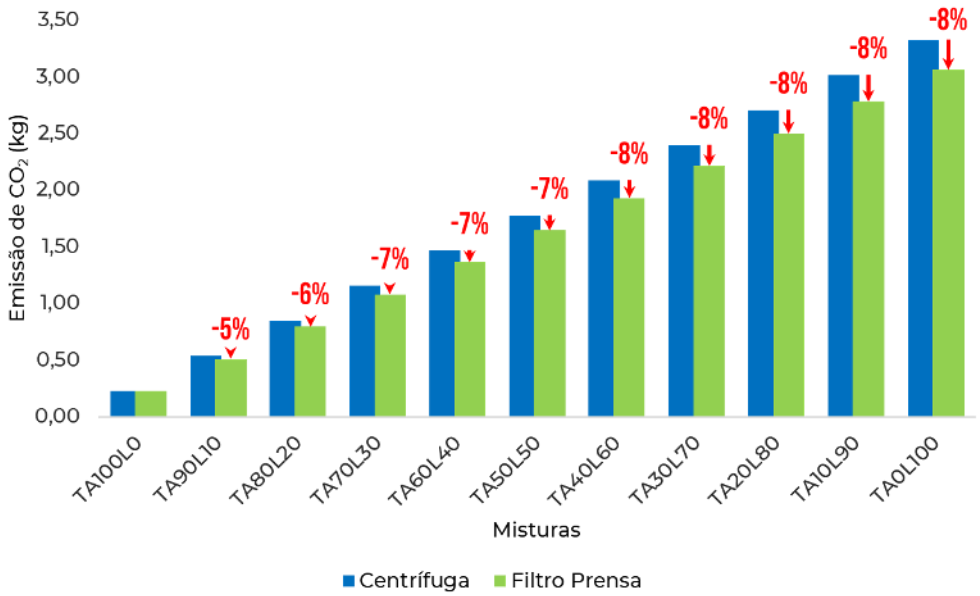
Misturas		
Proporções (%)		Nomenclatura
Argila	Lodo	
100	0	TA100L0
90	10	TA90L10
80	20	TA80L20
70	30	TA70L30
60	40	TA60L40
50	50	TA50L50
40	60	TA40L60
30	70	TA30L70
20	80	TA20L80
10	90	TA10L90
0	100	TA0L100

Fonte: O autor.

SIDAC – AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM BLOCOS CERÂMICOS

A Figura 4 ilustrou os dados relativos à emissão de dióxido de carbono (CO_2) na produção de blocos cerâmicos com misturas de argila e lodo de ETA seco em centrífuga e filtro prensa.

Figura 4: Emissão de CO_2 (kg) de bloco cerâmico VED15 (09 x 19 x 19) cm de argila e lodo de ETA por centrífuga e filtro prensa



Fonte: O autor.

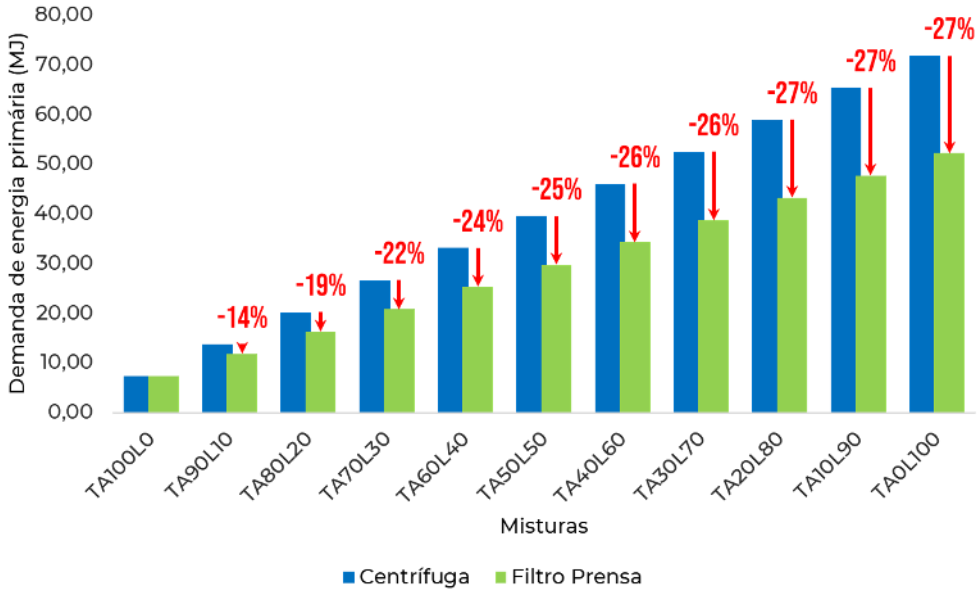
Observou-se que a emissão de CO_2 foi geralmente mais elevada no processo de centrífuga em comparação com o processo de filtro prensa, independentemente da composição da mistura de argila e lodo. Isso sugeriu que, em termos de emissões de CO_2, o filtro prensa foi uma opção mais sustentável para a produção de blocos cerâmicos.

Os dados indicaram que a emissão de CO_2 aumenta com o incremento da proporção de lodo na mistura, tanto para blocos secos em centrífuga quanto em filtro prensa, mantendo-se a diferença entre os dois processos constante. A maior emissão foi registrada em misturas com 100% de lodo (TA0L100), apresentando valores de 3,328 kg para o processo de centrífuga e de 3,065 kg para o processo de filtro prensa. Segundo [44] para um bloco cerâmico de 3 kg, a emissão total de CO_2 foi aproximadamente de 3,7164 kg, considerando os fatores de eletricidade, transporte, argila, lenha e bagaço de cana.

Além da composição da mistura, as emissões de CO_2 na produção de blocos cerâmicos foram influenciadas pelo método de processamento. A escolha do filtro prensa em vez da centrífuga foi uma estratégia eficiente para reduzir as emissões de CO_2.

Os dados apresentados na Figura 5 apresentaram a demanda de energia primária na produção de blocos cerâmicos com misturas de argila e lodo de ETA seco em centrífuga e filtro prensa.

Figura 5: Demanda de energia primária (MJ) de bloco cerâmico VED15 (09 x 19 x 19) cm de argila e lodo de ETA por centrífuga e filtro prensa



Fonte: O autor.

Os dados revelaram que a demanda de energia primária foi mais alta no processo de centrífuga (71,840 MJ para 100% de lodo) do que no filtro prensa (52,232 MJ para 100% de lodo). Isso sugeriu que, em termos de demanda de energia primária, o filtro prensa foi uma opção mais eficiente para a produção de blocos cerâmicos. [44] indicaram que o gasto energético para um bloco cerâmico de 3 kg foi dividido apenas entre lenha e bagaço de cana, totalizando 4,41 MJ por bloco.

A análise da composição da mistura revelou que a demanda de energia primária aumentou à medida que a proporção de lodo na mistura também aumentou, tanto para a centrífuga quanto para o filtro prensa. Isso demonstrou que misturas com maior teor de lodo tenderam a resultar em maior demanda de energia primária em ambos os processos de produção.

Estudos como os de [45] [46] destacaram a eficiência energética de métodos de fabricação que utilizaram fontes renováveis e processos otimizados, como a via seca. Comparativamente, o processo de filtro prensa foi mais eficiente energeticamente e emite menos CO_2 do que o processo de centrífuga, o que está alinhado com a observação de que a escolha do processo de produção pode reduzir significativamente os impactos ambientais.

No contexto da produção de blocos cerâmicos, os dados revelaram que o bloco TA90L10, com 10% de substituição de argila por lodo de ETA, foi identificado como a proporção ideal, justificado pelos menores valores registrados. Assim, o bloco TA90L10 destacou-se como uma escolha eficiente, equilibrando a incorporação de lodo e impactos ambientais, consolidando sua posição como uma opção viável na fabricação de blocos cerâmicos.

CONCLUSÃO

A pesquisa demonstrou com a aplicação da ACV que à medida que a quantidade de lodo de ETA aumentou na mistura, tanto a emissão de CO_2 quanto a demanda de energia primária também aumentaram. As emissões de CO_2 e a demanda de energia na produção de blocos cerâmicos foram influenciadas não apenas pela composição da mistura, mas também pelo método de secagem. Logo, a escolha do processo de secagem e misturas com menor teor de lodo foram medidas eficazes para reduzir os impactos ambientais estudados.

A secagem mecânica por filtro prensa apresentou menores valores tanto para a emissão de CO_2 quanto para a demanda de energia primária, mostrando-se mais eficiente e sustentável. E, o bloco cerâmico com 10% de substituição à argila (TA90L10) revelou-se como a proporção ideal para a produção de blocos cerâmicos, uma vez que foram registrados os menores valores de gastos energéticos e emissão de CO_2, quando comparado às demais misturas.

Nessa perspectiva, as aplicações das descobertas desta pesquisa, podem orientar os procedimentos e as práticas da construção civil na redução dos impactos ambientais, promovendo a sustentabilidade e a eficiência energética na produção de blocos cerâmicos. Essas informações reforçaram a importância de estratégias integradas tanto para a definição da composição das misturas quanto nos processos de secagem, buscando sempre a combinação mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (PPGEC), a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a Companha Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

REFERÊNCIAS

[1] COLTRO, Leda. **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. Campinas**. CETEA/ITAL, 2007.

[2] SEO, Emilia Satoshi Miyamaru; KULAY, Luiz Alexandre. **Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão**. 2006.

[3] HORNE, Ralph; GRANT, Tim; VERGHESE, Karli. Life cycle assessment: Principles, practice, and prospects. **Csiro Publishing**, 2009.

[4] KYNCL, M. Opportunities for Water Treatment Sludge Reuse. **GeoScience Engineering**, v. LIV, p. 11-22, 2008.

[5] ALQAM, M.; JAMRAH, A.; DAGHLAS, H. Utilization of cement incorporated with water treatment sludge. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 5, n. 2, p. 268-277, 2011.

[6] MYMRIN, V.; ALEKSEEV, K.; FORTINI, O.M.; CATAI, R.E.; NAGALLI, A.; RISSARDI, J.L.; MOLINETTI, A.; PEDROSO, D.E.; IZZO, R.L.S. Water cleaning sludge as principal component of composites to enhance mechanical properties of ecologically clean red ceramics. **Journal of Cleaner Production**, v. 145, p. 367-373, 2017.

[7] RICHTER, Carlos A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2001.

[8] ARAÚJO, Ana Paula Maria de. **Avaliação operacional e características do lodo gerado na indústria da água do litoral sul de Pernambuco**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

[9] ANDRADE, Cynthia Franco; SILVA, Cristina Mendes; OLIVEIRA, F. C. Gestão ambiental em saneamento: Uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Belo Horizonte, 2014.

[10] GIORDANO, Gandhi et al. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

[11] PROSAB. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Marco Antonio Penalva Reali (Coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 1999.

[12] PROSAB. **Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final**. Cleverson Vitório Andreoli (Coordenador). Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.

[13] TAVARES, Rosangela Gomes. **Problemas operacionais na indústria da água: consumo excessivo de cloro na linha tronco de distribuição do sistema Gurjaú e lodos gerados pelas 6 maiores estações de tratamento de água da região metropolitana do Recife**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

[14] MONTALVAN, Edy Lenin Tejeda. **Investigação do comportamento geotécnico de misturas de solo arenoso com lodo da estação de tratamento de água do município de Cubatão, SP**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

[15] SAMUDIO, Edgar Manuel. **Critério racional para dimensionamento de leitos de secagem de lodo de ete's convencionais e do reator uasb**. 1994. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

[16] SANTOS, Luís Carlos. **Análise da variabilidade do processo de filtração em filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual Paulista, Bauru.

[17] GONÇALVES, R.F. et al. Desidratação do lodo de esgotos. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. Cap. 3, p. 57-86.

[18] GONÇALVES, R.F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. Sludge thickening and dewatering. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.). Sludge Treatment and Disposal. Londres: **IWA Publishing**, 2007. Cap. 5, p. 76-119.

[19] LISBOA, Alana Pessutto. **Avaliação da adaptação de macrófitas em wetland construído para tratamento de lodo, alimentado com lodo de esgoto sanitário de reatores em bateladas sequenciais (RBS), em escala real**. 2018.

[20] MIKI, Marcelo Kenji. **Utilização de polímeros para condicionamento do lodo de ETE para desidratação em filtro prensa de placas**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.

[21] SALES, A. et al. Lightweight composite concrete produced with water treatment sludge and sawdust: Thermal properties and potential application. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 12, p. 2446-2453, 2010.

[22] ACHON, Cali Laguna; CORDEIRO, João Sérgio. Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA-Lei 12.305/2010. **Anais do XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento**, 2015.

[23] MARCHIORI, L. et al. Geotechnical characterization of water treatment sludge for liner material production and soft soil reinforcement. **Materials Science Forum**, v. 1046, p. 83-88, 2021.

[24] CURRAN, M. A. Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products. **John Wiley & Sons**, 2012.

[25] EUROPEAN COMMISSION - JOINT RESEARCH CENTRE - INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance**. 1st ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.

[26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. São Paulo, 2009.

[27] MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **International Journal of Surgery**, v. 8, n. 5, p. 336-341, 2010.

[28] VIEIRA, Ana Paula Ferreira. **Avaliação de desempenho dos equipamentos de secagem de lama instalados na linha sólida da ETA: Centrífuga vs Filtro prensa**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Minho, 2021.

[29] SILVA, Fernanda Belizário; REIS, Daniel C.; CALDAS, Lucas R.; DEGANI, Clarice R. M.; JOHN, Vanderley M.; PUNHAGUI, Katia R. G.; PACCA, Sérgio A.; OLIVEIRA, Lidiane Santana. Sidac: Uma ferramenta simples para gestão do desempenho ambiental da construção brasileira. **Concreto & Construções**, v. 105, p. 71-74, 2022.

[30] ARAÚJO, Adolpho Guido; CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; PALHA, Rachel Perez. Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120350, 2020.

[31] DA SILVA, L.; LIBRELOTTO, R. Avaliação do ciclo de vida da cerâmica vermelha - Blocos cerâmicos. **Anais do IV Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Florianópolis**, 2016.

[32] CARVALHO, et al. Avaliação do inventário do ciclo de vida de bloco cerâmico produzido no sul da Bahia. **Anais do VI Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (GCV)**. Brasília, 2018.

[33] MUNERON, et al. Comparison of the environmental performance of ceramic brick and concrete blocks in the vertical seals' subsystem in residential buildings using life cycle assessment. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 5, 2021, p. 100243.

[34] ZIMELE, et al. (2019). Life Cycle Assessment of Foam Concrete Production in Latvia. **Environmental and Climate Technologies**. 23. 70-84. 10.2478/rtuect-2019-0080.

[35] CARVALHO, Beatriz Temtemples; ALBERTO, Eduarda; SILVOSO, Marcos Martinez. Avaliação do ciclo de vida (ACV) de sistemas de alvenaria de blocos de solo-cimento com diferentes dosagens. **Anais do Encontro Latino Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, 2021. p. 250-265.

[36] FĄFARA, Marta et al., 2022. Life Cycle Assessment (LCA) and environmental comparison the selected construction methods of residential buildings in traditional and straw cubes technology – a case study. **Archives of Civil Engineering**. 2022. Vol. 68, p. 241–255. DOI 10.24425/ace.2022.141883.

[37] AGUIAR, G. J. A.; ALMEIDA, L. R.; FERNANDES, B. S. et al. Use of life cycle assessment as a tool to evaluate the environmental impacts of textile effluents: a systematic review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 76455-76470, 2023.

[38] DORMOHAMADI, et al. (2023). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of different walling materials with an environmental approach (comparison between earth-based vs. conventional construction techniques in Iran). **The International Journal of Life Cycle Assessment**. 29. 1-25. 10.1007/s11367-023-02259-6.

[39] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

[40] SVERGUZOVA, S. V.; SAPRONOVA, ZH. A.; FOMINA, E. E. V. The use of water treatment sludge containing clay with adsorbed copper and nickel ions in the production of ceramic bricks. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 753, n. 5, p. 052009, 2020.

[41] NOR, M.A.M. et al. Properties and performance of water treatment sludge (LETA)-clay bricks. **Jurnal Teknologi**, v. 77, n. 32, p. 83-93, 2015.

[42] KIZINIEVIČ, O.; ŽURAUSKIENE, R.; KIZINIEVIČ, V.; ŽURAUSKAS, R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 464-473, 2013.

[43] GENCEL, O.; KAZMI, S.M.S.; MUNIR, M.J.; SUTCU, M.; ERDOGMUS, E.; YARAS, A. Feasibility of using clay-free bricks manufactured from water treatment sludge, glass, and marble wastes: An exploratory study. **Construction and Building Materials**, v. 298, 2021.

[44] BARBOSA, et al. Análise dos impactos ambientais da produção de blocos cerâmicos. **Anais do III Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**, 2012.

[45] SOMBRIO, Catarina Moraes de Oliveira. **ACV de painéis de blocos cerâmicos e concreto armado: um exercício de aplicação do manual do ILCD**. 2015. xvi, 138 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

[46] CONTARTESI, Flavia; MELCHIADES, Fábio G.; BOSCHI, Anselmo O. Avaliação do ciclo de vida (ACV) - Uma ferramenta para a redução do impacto ambiental dos revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 24, n. 2, p. 30-44, 2019.