REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

# DESEMPENHO TÉRMICO DE BLOCOS CERÂMICOS E DE BETÃO EM EDIFICAÇÕES TROPICAIS

# THERMAL PERFORMANCE OF CERAMIC AND CONCRETE BLOCKS IN TROPICAL BUILDINGS

# DESEMPEÑO TÉRMICO DE BLOQUES CERÁMICOS Y DE HORMIGÓN EN EDIFICACIONES TROPICALES

**Jorge Nhambiu**
Prof. Doutor Eng., Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique
E-mail: nhambiu@gmail.com
**Ladino Jose Zunguze**
Eng., Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique
E-mail: ladinojosezunguze@gmail.com
**Fernando Chichango**
Meste Eng. Universidade Zambeze, Moçambique
E-mail: chichango@gmail.com

## Resumo

O presente estudo analisa comparativamente o desempenho de blocos cerâmicos e de betão utilizados em alvenarias de vedação em edificações tropicais, com foco no contexto moçambicano. A metodologia adoptada considera quatro critérios principais: impacto ambiental, desempenho térmico, desempenho acústico e custo do ciclo de vida, integrados por meio de um modelo multicritério decisional. Os blocos foram avaliados com base em normas internacionais e dados locais, utilizando simulações computacionais e ferramentas como o software SimaPro. Os resultados indicam que o bloco cerâmico apresenta vantagens significativas em três dos quatro critérios analisados. No impacto ambiental, destaca-se pela menor emissão de gases de efeito estufa (0,85 kg $CO_2$/kg) e menor consumo de recursos fósseis. No desempenho térmico, a estrutura porosa do bloco cerâmico proporciona maior resistência à transferência de calor (0,45 $m^2$·K/W), favorecendo o conforto térmico passivo. Em termos económicos, o bloco cerâmico revelou-se mais acessível, com menor custo ao longo do ciclo de vida (0,12 USD/kg). O bloco de betão apresentou

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

melhor desempenho acústico, com maior capacidade de isolamento sonoro, embora este critério tenha peso reduzido na análise global. A consolidação dos dados resultou num Índice da Melhor Alternativa (MA) de 0,520, confirmando a superioridade do bloco cerâmico como solução mais equilibrada e sustentável para construções em climas tropicais. O estudo contribui com subsídios técnicos para a escolha de materiais mais adequados ao contexto ambiental e económico de Moçambique, promovendo práticas construtivas alinhadas com os princípios da sustentabilidade. Recomenda-se a realização de estudos complementares em condições reais de uso, bem como a inclusão de critérios sociais e de durabilidade para enriquecer futuras análises multicritério.

**Palavras-chave:** Desempenho térmico; blocos cerâmicos; blocos de betão; ciclo de vida; construção sustentável.

## Abstract

This study presents a comparative analysis of ceramic and concrete blocks used in tropical building enclosures, focusing on the Mozambican context. The adopted methodology considers four main criteria: environmental impact, thermal performance, acoustic performance, and life cycle cost, integrated through a multicriteria decision model. The blocks were evaluated based on international standards and local data, using computational simulations and tools such as SimaPro software. Results show that ceramic blocks offer significant advantages in three of the four criteria. In terms of environmental impact, ceramic blocks emit less greenhouse gases (0.85 kg $CO_2$/kg) and consume fewer fossil resources. Regarding thermal performance, their porous structure provides higher resistance to heat transfer (0.45 m²·K/W), enhancing passive thermal comfort. Economically, ceramic blocks are more affordable, with a lower life cycle cost (0.12 USD/kg). Concrete blocks performed better acoustically, offering greater sound insulation, although this criterion had less weight in the overall analysis. The consolidated data resulted in a Best Alternative Index (MA) of 0.520, confirming the overall superiority of ceramic blocks as a more balanced and sustainable solution for tropical construction. The study provides technical guidance for selecting materials suited to Mozambique's environmental and economic conditions, promoting sustainable building practices. Future studies should include real-use conditions and additional criteria such as social impact and long-term durability.

**Keywords:** Thermal performance; ceramic blocks; concrete blocks; life cycle; sustainable construction.

## Resumen

Este estudio presenta un análisis comparativo de bloques cerámicos y de hormigón utilizados en cerramientos de edificaciones tropicales, con énfasis en el contexto mozambiqueño. La metodología adoptada considera cuatro criterios principales: impacto ambiental, rendimiento térmico, rendimiento acústico y coste del ciclo de vida, integrados mediante un modelo de decisión multicriterio. Los

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

bloques fueron evaluados según normas internacionales y datos locales, utilizando simulaciones computacionales y herramientas como el software SimaPro. Los resultados muestran que los bloques cerámicos ofrecen ventajas significativas en tres de los cuatro criterios. En cuanto al impacto ambiental, los bloques cerámicos emiten menos gases de efecto invernadero (0,85 kg $CO_2$/kg) y consumen menos recursos fósiles. En rendimiento térmico, su estructura porosa proporciona mayor resistencia a la transferencia de calor (0,45 m²·K/W), favoreciendo el confort térmico pasivo. Económicamente, los bloques cerámicos son más accesibles, con un coste de ciclo de vida inferior (0,12 USD/kg). Los bloques de hormigón mostraron mejor rendimiento acústico, con mayor capacidad de aislamiento sonoro, aunque este criterio tuvo menor peso en el análisis global. Los datos consolidados resultaron en un Índice de Mejor Alternativa (MA) de 0,520, confirmando la superioridad global del bloque cerámico como solución más equilibrada y sostenible para la construcción en climas tropicales. El estudio aporta orientación técnica para la selección de materiales adecuados a las condiciones ambientales y económicas de Mozambique, promoviendo prácticas constructivas sostenibles. Se recomienda que futuros estudios incluyan condiciones reales de uso y criterios adicionales como impacto social y durabilidad a largo plazo.

**Palabras clave:** Rendimiento térmico; bloques cerámicos; bloques de hormigón; ciclo de vida; construcción sostenible.

## 1. Introdução

O desempenho térmico de materiais de construção é um dos factores mais relevantes para garantir conforto ambiental e eficiência energética em edificações localizadas em regiões tropicais. Em países como Moçambique, onde as temperaturas elevadas e a forte incidência solar são constantes, a escolha dos materiais de vedação pode influenciar significativamente no consumo energético associado à climatização dos espaços interiores.

Entre os materiais mais utilizados na construção civil moçambicana destacam-se os blocos de betão e os blocos cerâmicos (Figura 1), ambos amplamente disponíveis no mercado nacional. No entanto, apresentam características térmicas distintas: os blocos cerâmicos, devido à sua estrutura porosa, tendem a oferecer melhor isolamento térmico, enquanto os blocos de betão contribuem para a inércia térmica das edificações (Cabeza et al., 2014; González-Castaño et al., 2019).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

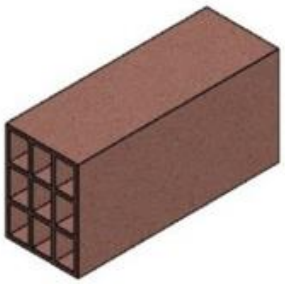
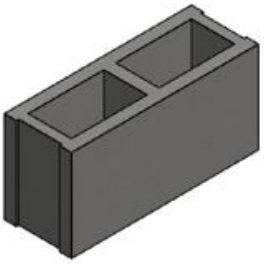
a)  b) 

**Figura 1:** Blocos analisados: a) ceramica e b) betão

A literatura internacional tem abordado o desempenho térmico de materiais de construção em diferentes contextos climáticos, mas são escassos os estudos que integram dados locais e aplicam metodologias de análise adaptadas à realidade tropical africana. Neste sentido, este artigo propõe uma abordagem baseada na resistência térmica equivalente, utilizando os princípios da transferência de calor por condução e convecção, conforme as leis de Fourier e Newton, para comparar o desempenho térmico dos blocos cerâmicos e de betão em configurações maciças e ocos.

A hipótese central do estudo é que os blocos cerâmicos apresentam melhor desempenho térmico em climas tropicais, contribuindo para a redução da carga térmica nas edificações e, consequentemente, para a diminuição do consumo energético. O objectivo principal é fornecer subsídios técnicos que orientem a escolha de materiais mais adequados ao contexto climático moçambicano, promovendo construções mais eficientes e sustentáveis.

A escolha do tema justifica-se pela sua relevância prática e científica, considerando o crescimento urbano acelerado em Moçambique e a necessidade de soluções construtivas que respondam aos desafios ambientais e energéticos contemporâneos.

## 2. Revisão da Literatura

A sustentabilidade é entendida como a capacidade de satisfazer as necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras, equilibrando os aspectos sociais, ambientais e económicos (WCED, 1987; Morelli, 2011). Este equilíbrio é representado pelas dimensões da equidade, habitabilidade e ecoeficiência (Raskin et al., 1998). A transição para uma sociedade sustentável exige acções

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

coordenadas entre governos, empresas e cidadãos, com mudanças nos padrões de consumo e produção (Nhambiu & Chichango, 2024).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido amplamente utilizada para comparar materiais de construção. Estudos como os de Duran et al. (2006) e Dixit (2019) mostram que o betão apresenta maior intensidade de emissões, principalmente devido à produção de cimento, enquanto a cerâmica tende a ter menor impacto ambiental, dependendo do processo produtivo e da matriz energética local. As fase da avaliação estão apresentadas na Figura 2.




**Figura 2:** Etapas da Avaliação de Ciclo de Vida

Fonte Pinheiro, 2014

A figura 2 apresenta as etapas da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de materiais, desde o inventário até à pontuação final. Mostra como os dados são organizados em categorias de impacto, caracterizados, normalizados e ponderados para gerar um perfil ambiental e uma pontuação final, que ajuda a comparar a sustentabilidade dos materiais analisados.

No que diz respeito ao desempenho térmico, autores como Cabeza et al. (2014) e González-Castaño et al. (2019) demonstram que os blocos cerâmicos, devido à sua estrutura porosa, oferecem melhor isolamento térmico em climas quentes. Por outro lado, os blocos de betão contribuem para a inércia térmica dos edifícios, sendo úteis em regiões com grande variação de temperatura diária.

Quanto ao desempenho acústico, o isolamento sonoro depende principalmente da massa específica e da espessura dos blocos. Blocos de betão proporcionam maior

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

isolamento a sons aéreos, enquanto blocos cerâmicos podem exigir complementos construtivos para atender aos requisitos de conforto acústico (Asdrubali et al., 2007; Carvalho, 2006).

Apesar das contribuições valiosas da literatura, são raros os estudos que integram simultaneamente as quatro dimensões — ambiental, térmica, acústica e económica — numa única análise comparativa aplicada ao contexto tropical e em desenvolvimento como o moçambicano. A maioria das pesquisas concentra-se em regiões de clima temperado, o que limita a aplicabilidade directa dos seus resultados à realidade local.

Deste modo, o presente trabalho propõe-se a preencher essa lacuna, realizando uma análise conjunta e contextualizada do desempenho dos blocos cerâmicos e de betão, com base em simulações computacionais e dados locais, contribuindo para decisões construtivas mais sustentáveis em Moçambique.

## 3. Materiais e Métodos

A pesquisa adoptou uma abordagem comparativa multidimensional para avaliar blocos cerâmicos e de betão utilizados em alvenarias de vedação, considerando quatro critérios principais: impacto ambiental, desempenho térmico, desempenho acústico e custo do ciclo de vida. A metodologia foi estruturada com base nas normas internacionais ISO 14040 e ISO 14044 (ABNT, 2006a; 2006b), e adaptada ao contexto climático tropical de Moçambique, utilizando dados locais, simulações computacionais e ferramentas de análise técnica.

### 3.1 Materiais Constituintes

Foram seleccionados blocos cerâmicos e de betão com dimensões padronizadas de 390 mm × 140 mm × 190 mm. O bloco de betão, com massa de 11,7 kg, é composto por cimento Portland, areia, brita e água, conforme a norma ABNT NBR 6136:2016 (ABNT, 2016) ilustracao na figura 3.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

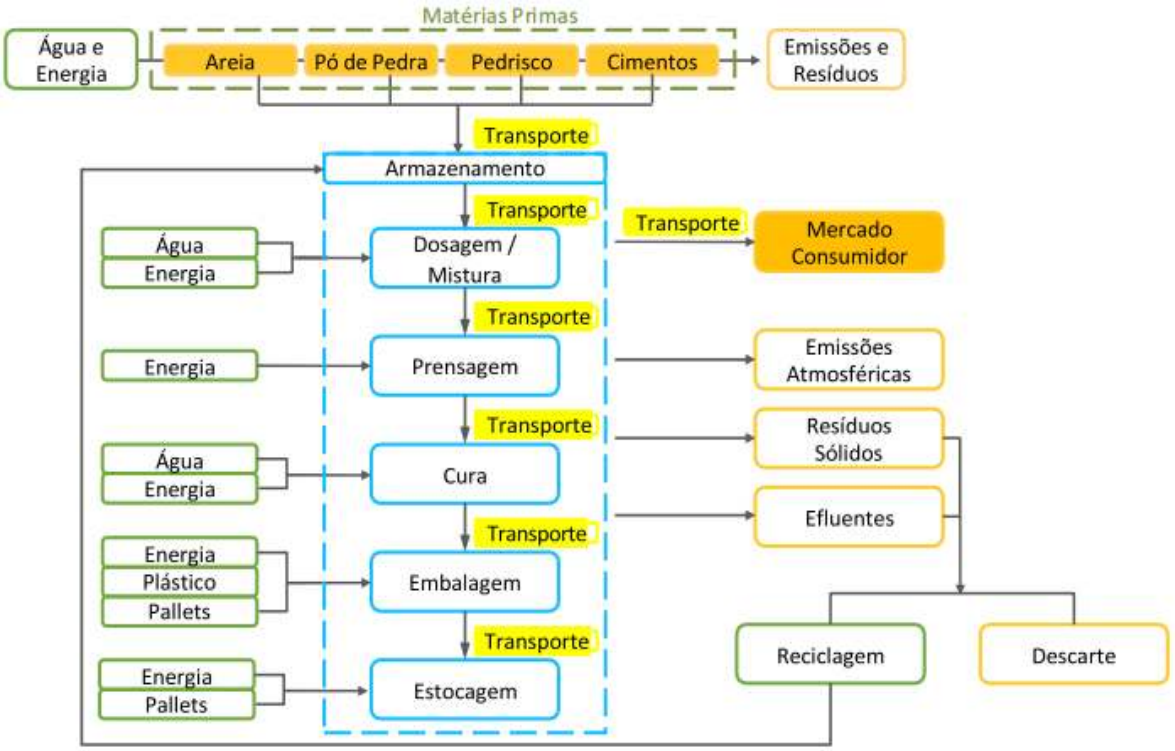



**Figura 3**: Fluxograma do processo de produção de blocos de betão

Fonte: Filho, 2007

A figura 3 mostra de forma simples o processo de produção de blocos de betão para construção. Começa com matérias-primas como areia e cimento, passa por etapas como mistura, prensagem e cura, e termina com o produto embalado e enviado ao mercado. Também indica os resíduos gerados e como podem ser reciclados ou descartados. É útil para entender os impactos ambientais e os recursos usados em cada fase.

Por outro lado, o bloco cerâmico, com massa de 6,3 kg, é fabricado a partir de argila vermelha, submetida a processos industriais de extrusão, secagem e queima, segundo a ABNT NBR 15270-1:2023 (ABNT, 2023) cujo o processo está apresentado na figura 4.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

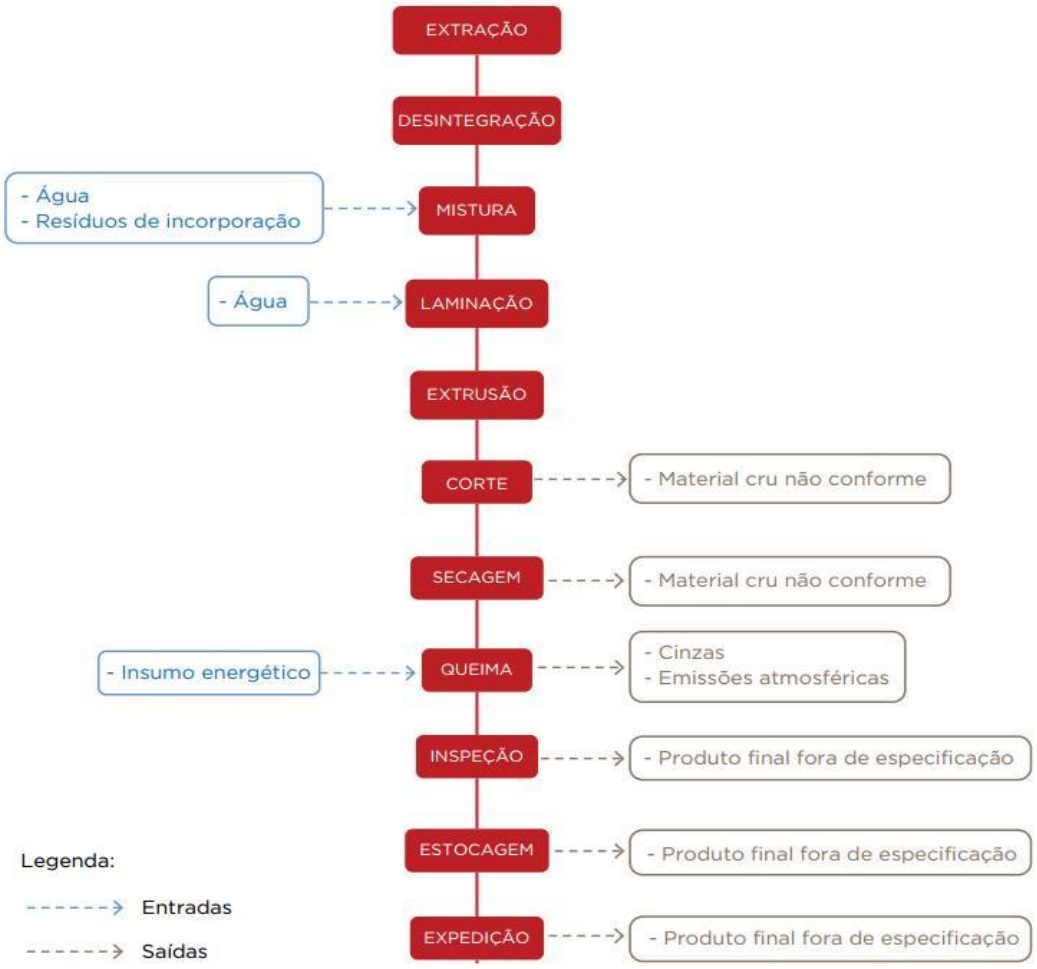



**Figura 4**: Fluxograma do processo produção de blocos de cerâmica

Fonte: FIEMG, 2013

A figura 4 apresenta um fluxograma simplificado do processo de fabrico de blocos cerâmicos, desde a extração das matérias-primas até à expedição do produto final. As etapas incluem desintegração, mistura com água e resíduos, laminação, extrusão, corte, secagem, queima, inspeção, estocagem e expedição. O diagrama também mostra os resíduos gerados em várias fases, como materiais não conformes, cinzas e emissões atmosféricas, além dos insumos energéticos utilizados. As linhas tracejadas indicam entradas no processo e as contínuas representam saídas. É útil para visualizar os pontos críticos de consumo e geração de resíduos na produção cerâmica.

### 3.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

A análise de ciclo de vida foi conduzida com o software SimaPro 9.6.0.1, em conformidade com as normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2006a; 2006b). A fronteira do sistema adoptada foi “portão a portão”, abrangendo apenas as etapas de produção dos blocos. A unidade funcional definida foi 1 kg de bloco, permitindo uma comparação equitativa entre os materiais. Os dados de inventário foram obtidos de fontes locais e da base de dados Ecoinvent 3.9 (Silva & Librelotto, 2016).

### 3.3 Resistência Térmica

A avaliação térmica baseou-se na aplicação da Lei de Fourier para condução e da Lei de Resfriamento de Newton para convecção. Foram calculadas as resistências térmicas equivalentes para blocos maciços e ocos, considerando a geometria interna (Figura 5) e os coeficientes de transferência de calor. Os valores de condutividade térmica utilizados foram 1,4 W/m·K para o betão e 0,7 W/m·K para a cerâmica, conforme a norma ABNT NBR 10456:2009 (ABNT, 2009) e estudos complementares (Kreith et al., 2011; Fogiato, 2015; ).

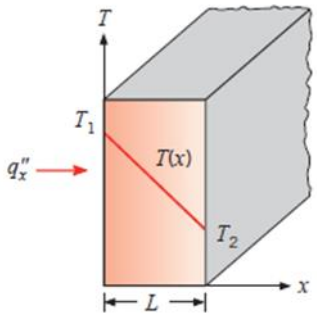



**Figura 5**: Distribuição unidimensional de temperatura e fluxo de calor em parede plana

Bergman et al., 2011

Na figura 5 observa-se a variação de temperatura de $T_1$ para $T_2$ ao longo da espessura *L* da parede, com o fluxo de calor $q_x''$ atravessando o material. Essa configuração permite calcular a resistência térmica equivalente dos blocos de vedação, considerando a condutividade térmica dos materiais (1,4 W/m·K para o betão e 0,7 W/m·K para a cerâmica) e a geometria interna dos blocos.

### 3.4 Desempenho Acústico

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

O desempenho acústico foi analisado com base na massa específica superficial dos blocos e na perda de transmissão sonora (PT), calculada em função da frequência, segundo a equação de isolamento sonoro proposta por Everest (2001), e aplicada em estudos recentes sobre blocos vazados (Anacleto, 2020). A análise abrangeu o intervalo de frequência entre 20 Hz e 20.000 Hz, com especial atenção ao comportamento dos materiais em frequências médias e altas.

Segundo Bistafa (2011), o desempenho acústico de elementos construtivos está fortemente relacionado à sua massa superficial e à capacidade de atenuar ondas sonoras em diferentes faixas de frequência. Esta abordagem foi utilizada para avaliar os blocos cerâmicos e de betão, considerando a equação de isolamento sonoro e os parâmetros físicos dos materiais. A estimativa de PT foi obtida pela Equacao 1:

$$PT = 20 \cdot log(f \cdot \rho_A) - 47\ (dB) \quad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:

*PT* - É a perda de transmissão [dB

*ρA* - É a massa específica superficial do bloco [kg/m$^2$];

*f* - É a frequência das ondas sonoras [Hz], f ϵ [20; 20000];

### 3.5 Custo do Ciclo de Vida (CCV)

O custo do ciclo de vida foi estimado com base nos custos unitários dos materiais e da energia empregada na produção dos blocos. A análise económica considerou os preços locais de matérias-primas, energia eléctrica, combustíveis e água, complementados por dados da base Ecoinvent 3.9 integrada ao SimaPro (Silva & Librelotto, 2016). A unidade funcional manteve-se como 1 kg de bloco.A estimativa do custo do ciclo de vida foi obtida pela Equação 2.

$$CCV = UF \cdot \sum_{i=1}^{n} ccv_{UFi}\,[MZN] \quad \text{(Eq. 2)}$$

Onde a massa da unidade funcional ($m_{UF}$) é obtida pela equação $m_{UF} = \frac{m_{bloco}}{UF}$

### 3.6 Modelo Matemático de Decisão

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

Foi criado um modelo multicritério para calcular o Índice da Melhor Alternativa (MA), atribuindo pesos de 40% para ACV, 30% para desempenho térmico, 15% para desempenho acústico e 15% para CCV. Os valores são normalizados e agregados, permitindo uma análise técnica para selecionar o material mais adequado. Cada critério tem peso $\mu_i$, cuja soma totaliza 1, evitando distorções na análise (Equação 3).

$$\boldsymbol{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1} \qquad \textbf{(Eq. 3)}$$

Onde $\mu_i \in [0; 1]$, indicando que cada peso é um valor entre 0 e 1, inclusive. Os pesos são definidos como:

- $\mu_1$ (ACV) = 40%;
- $\mu_2$ (Desempenho Térmico) = 30%;
- $\mu_3$ (Desempenho Acústico) = 15%;
- $\mu_4$ (CCV) = 15%.

### 3.6.1 Normalização e Quantificação da Vantagem ($\theta_i$)

Para cada critério, foi necessário quantificar o desempenho relativo dos dois blocos e normalizar esta diferença. Isto foi feito por meio de do factor $\theta_i$, que incorpora tanto qual bloco é superior para um dado aspecto, quanto a magnitude dessa superioridade. A estimativa para $\theta_i$ e dada pela Equacao 4:

$$\boldsymbol{\theta_i = \frac{1}{n} \cdot \left( \sum_{i=1}^{n} \left( 1 - \frac{1}{\beta_i} \right) \cdot S_i \right)} \qquad \text{(Eq. 4)}$$

Onde:

n - É o número de subcritérios analisados dentro de cada uma das quatro análises principais.

$S_i$ - É um indicador binário que define qual bloco é favorecido para o subcritério i:

$S_i$ = -1, se o subcritério i analisado favorece o bloco de betão.

$S_i$ = 1, se o subcritério i analisado favorece o bloco de cerâmica.

$\beta_i$ - É uma métrica que quantifica quão superior um bloco é em relação ao outro para o subcritério i. O valor $\beta_i$ representa a relação entre a performance superior e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

a inferior para esse subcritério, de modo que $\beta_i \geq 1$. Assim ,$(1 - 1/\beta_i)$, mede o grau de superioridade.

### 3.6.2 O Índice da Melhor Alternativa (MA)

O índice da Melhor Alternativa (MA), é o resultado do modelo decisional. Ele agrega as contribuições ponderadas de cada critério para fornecer uma medida global da performance relativa entre os dois tipos de blocos. O MA é calculado pela soma ponderada dos factores $\theta_i$ de cada critério (Equação 5):

$$MA = \frac{1}{4} \cdot \left(\sum_{i=1}^{4} \theta_i \cdot \mu_i\right) \quad \text{(Eq. 5)}$$

Onde:

MA=-1 significa que o bloco de betão é 100% superior ao bloco de cerâmica em todos os critérios ponderados.

MA=1 significa que o bloco de cerâmica é 100% superior ao bloco de betão em todos os critérios ponderados.

MA=0 significa que os dois blocos apresentam um desempenho equivalente no geral, considerando todos os critérios e seus pesos.

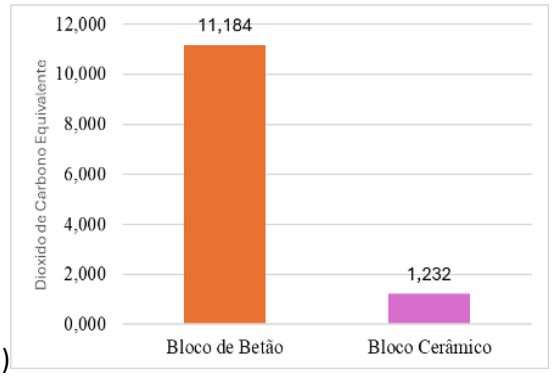
## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Impactos Ambientais

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), realizada com o software SimaPro e o método ReCiPe 2016 Midpoint (H), revelou que o bloco cerâmico apresenta menor impacto ambiental em categorias críticas como aquecimento global, formação de ozono e consumo de recursos fósseis, conforme ilustra a Figura 6.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

a) 

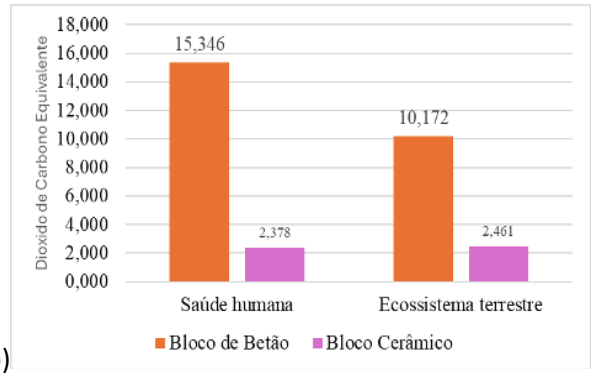
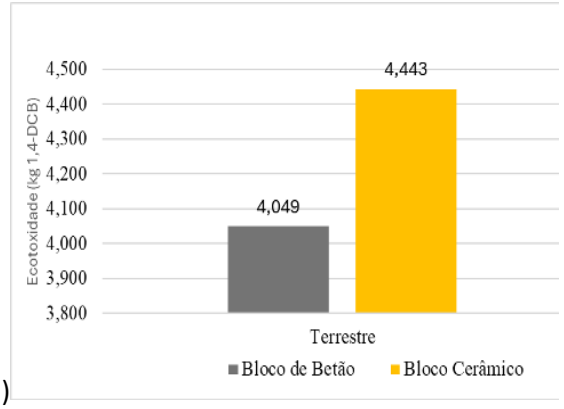

b) 


**Figura 6:** Impactos ambientais nas categorias de a) Aquecimento global e b) impacto na Saude humana e no ecossistema terrestre pela formação do ozono

Conforme mostra a Figura 6, na categoria de aquecimento global, o bloco de betão apresentou uma emissão de aproximadamente 11,18 kg $CO_2$ equivalente, enquanto o bloco cerâmico emitiu apenas 1,23 kg $CO_2$ eq — uma redução de cerca de 89%. No impacto à saúde humana, o bloco de betão registou 15,35 kg NOx eq, contra 2,38 kg NOx eq do bloco cerâmico, o que representa uma diferença de 84,5% a favor da cerâmica. Quanto ao impacto no ecossistema terrestre, os valores foram de 10,17 kg NOx eq para o betão e 2,46 kg NOx eq para a cerâmica, indicando uma redução de 75,8%. Já na categoria de formação de ozono, os impactos variaram entre os materiais, demonstrando comportamentos distintos.

Por outor lado, nas categorias como ecotoxicidade terrestre e toxicidade cancerígena, o bloco de betão demonstrou ligeira vantagem, com impactos inferiores conforme a figura 7.

a) 

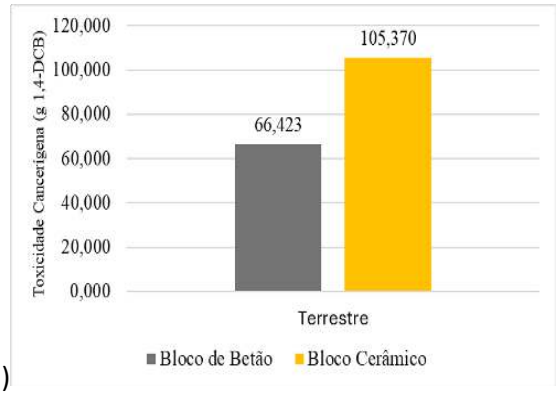

b) 


**Figura 7**: Impactos ambientais na categoria de a) Ecotoxicidade terrestre b)Toxidade Cancerígena

REMUNOM
ISSN 2178-6925

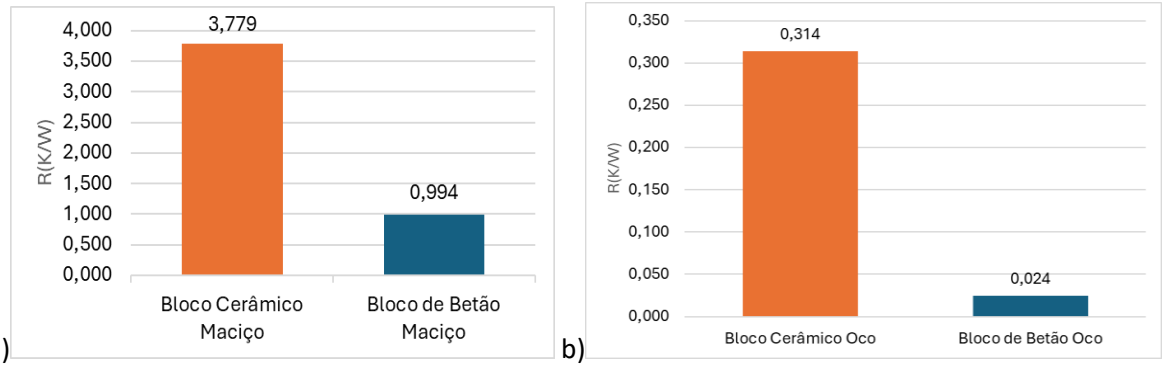
**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

A Figura 7 mostra que, na categoria de Ecotoxicidade Terrestre, o bloco de betão teve um impacto de 4,049 kg 1,4-DCB, ligeiramente inferior ao do bloco cerâmico, que registou 4,443 kg 1,4-DCB — uma diferença de cerca de 9%. Já na Toxicidade Cancerígena, o bloco de betão apresentou 66,423 g 1,4-DCB, enquanto o bloco cerâmico atingiu 105,370 g 1,4-DCB, o que representa uma redução de aproximadamente 40% a favor do betão. Estes resultados indicam que, embora o bloco cerâmico tenha vantagens em outras categorias, o bloco de betão demonstra menor toxicidade ambiental e risco cancerígeno.

Os resultados obtidos nesta análise confirmam tendências observadas em estudos anteriores que utilizaram o método ReCiPe 2016 Midpoint (H) para avaliar materiais de construção. A Avaliação do Ciclo de Vida demonstrou que o bloco cerâmico apresenta vantagens ambientais significativas em relação ao bloco de betão, com reduções expressivas nas emissões de $CO_2$, formação de ozono e consumo de recursos fósseis. Estes resultados estão alinhados com os resultados de Silva et al., (2021).

### 4.2 Desempenho Térmico

A análise térmica, baseada na resistência equivalente calculada por condução e convecção, mostrou que o bloco cerâmico possui desempenho térmico superior conforme a figura 8.




Fgura 8: Resistência térmica para blocos a) Maciço e b) Ocos

A Figura 8 mostra que o bloco cerâmico apresentou melhor desempenho térmico em ambas as configurações. Na versão maciça, a resistência térmica foi de 3,78 K/W, comparada com 0,99 K/W do bloco de betão. Na configuração oca, a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

diferença foi ainda maior: 0,31 K/W para o cerâmico contra apenas 0,024 K/W para o betão. Estes resultados confirmam que o bloco cerâmico é mais eficiente na retenção de calor, o que é vantajoso em climas tropicais, onde o conforto térmico passivo ajuda a reduzir o uso de sistemas de climatização. Esta observação está alinhada com os resultados por Cabeza et al. (2014).

### 4.3 Desempenho Acústico

No campo acústico, o bloco de betão apresentou melhor desempenho, com maior perda de transmissão sonora ao longo do espectro de frequências como mostra a figura 9.

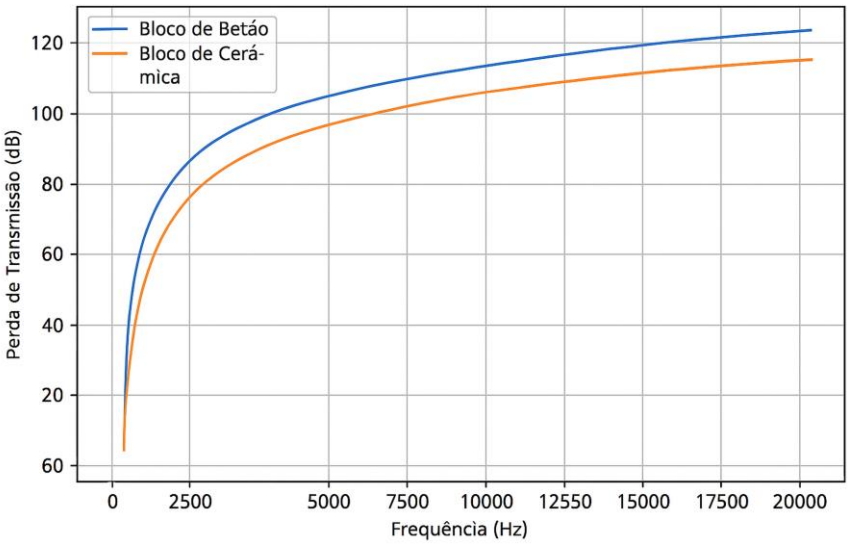



Figura 9: Perda de transmissão sonora

A Figura 9 apresenta a variação da perda de transmissão sonora em blocos de betão e cerâmica ao longo das frequências de 0 a 20.000 Hz. Em todo o intervalo analisado, verifica-se que o bloco de betão registra valores consistentemente mais elevados de perda de transmissão, refletindo uma eficiência superior no isolamento acústico. Por exemplo, na frequência de 10.000 Hz, o bloco de betão alcança aproximadamente 117 dB, enquanto o bloco cerâmico permanece próximo de 112 dB. Essa diferença, ainda que moderada, demonstra que o bloco de betão promove uma atenuação sonora mais eficaz, característica relevante sobretudo em contextos urbanos com significativa poluição sonora. No entanto, as propriedades

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

acústicas superiores do betão não compensam suas limitações térmicas e ambientais, razão pela qual o desempenho acústico é considerado um critério secundário na seleção global dos materiais, conforme também destacado por Berardi (2015). Este aspecto tende a ser secundarizado em edificações residenciais de baixa densidade, onde requisitos de conforto térmico e sustentabilidade ambiental prevalecem, como ocorre em Moçambique, cujas iniciativas estão alinhadas aos esforços de transição energética.

### 4.4 Custo do Ciclo de Vida (CCV)

A análise económica revelou que o bloco cerâmico é significativamente mais barato ao longo do ciclo de vida. O custo total por unidade funcional foi de 2,59 MZN para o cerâmico, contra 6,63 MZN para o betão (Figura 10).

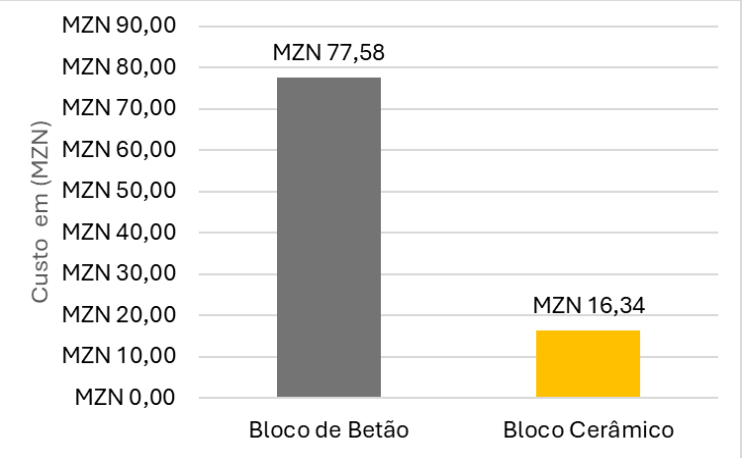



**Figura 10:** Custo de Ciclo de Vida Comparativo

A Figura 10 apresenta os resultados da análise comparativa do custo do ciclo de vida dos blocos cerâmico e de betão, evidenciando diferenças significativas. Esta vantagem económica do bloco cerâmico deve-se principalmente à sua menor massa, ao reduzido consumo energético durante o processo de fabrico e ao custo inferior das matérias-primas utilizadas. Estes factores tornam o bloco cerâmico uma alternativa mais acessível e sustentável, especialmente adequada ao contexto da construção civil em Moçambique, onde a eficiência económica e ambiental são determinantes para a adopção de tecnologias construtivas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

Estes resultados estão  alinhados baixo consumo energético no fabrico e ao custo reduzido das matérias-primas conferme confirmam também os estudos de Zabalza et al. (2011).

### 4.5 Índice da Melhor Alternativa (MA)

A integração dos resultados num modelo multicritério resultou num Índice da Melhor Alternativa (MA) de 0,488, indicando uma vantagem global do bloco cerâmico conforma a figura 11.

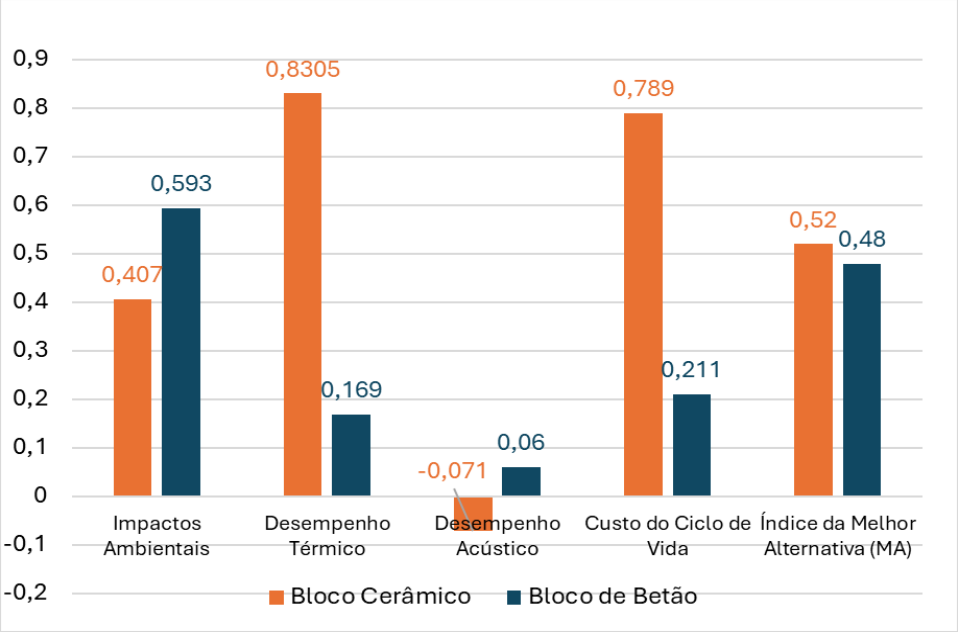



**Figura 11:** Índice da Melhor Alternativa (MA) por Critério

A Figura 11 apresenta os resultados da integração dos quatro critérios avaliados — impacto ambiental, desempenho térmico, desempenho acústico e custo do ciclo de vida — num modelo multicritério. O bloco cerâmico obteve desempenho superior em três dos quatro critérios, destacando-se no impacto ambiental ($\theta_i$ = 0,407), no desempenho térmico ($\theta_i$ = 0,8305) e no custo do ciclo de vida ($\theta_i$ = 0,789). O bloco de betão apresentou vantagem apenas no desempenho acústico ($\theta_i$ = -0,071), embora com impacto limitado na análise global.

A consolidação destes dados resultou num Índice da Melhor Alternativa (MA) de 0,520, confirmando a vantagem global do bloco cerâmico como solução mais equilibrada, sustentável e economicamente viável para a construção civil em

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

Moçambique. Este resultado reforça a importância de considerar múltiplos critérios técnicos e ambientais na escolha de materiais de construção.

## 5. Conclusão

A análise comparativa entre blocos cerâmicos e de betão, baseada em critérios técnicos e ambientais, revelou que o bloco cerâmico apresenta uma performance superior em três dos quatro critérios avaliados: impacto ambiental, desempenho térmico e custo do ciclo de vida. O bloco de betão destacou-se apenas no desempenho acústico, com uma ligeira vantagem em termos de isolamento sonoro.

A integração dos resultados num modelo multicritério resultou num Índice da Melhor Alternativa (MA) de 0,520, confirmando a vantagem global do bloco cerâmico como solução mais equilibrada e sustentável para a construção civil em Moçambique. Este desempenho é atribuído ao seu menor impacto ambiental, melhor eficiência térmica e viabilidade económica, factores essenciais para construções adaptadas ao clima tropical e aos desafios locais de desenvolvimento.

Assim, o bloco cerâmico mostra-se como uma alternativa técnica e ambientalmente mais adequada, contribuindo para práticas construtivas mais sustentáveis e alinhadas com os objectivos de eficiência energética e redução de impactos ambientais no sector da construção.

Para aprofundar os resultados obtidos, recomenda-se que futuros estudos considerem a análise de desempenho dos blocos em condições reais de uso, incluindo testes em campo com variações climáticas e de humidade típicas do ambiente tropical moçambicano. Além disso, seria pertinente expandir a avaliação para incluir outros materiais alternativos disponíveis localmente, bem como incorporar critérios sociais e de durabilidade a longo prazo. A aplicação de métodos multicritério mais robustos, como AHP ou PROMETHEE, também pode enriquecer a tomada de decisão técnica, permitindo uma abordagem mais abrangente e adaptada às necessidades da construção sustentável em contextos regionais.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

**Referências**

ANACLETO, M. G. Análise do desempenho mecânico e acústico de blocos vazados de concreto com adição de resíduos de estação de tratamento de água. 2020. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020

ASDRUBALI, F.; et al. Sound insulation properties of sustainable building elements. Building Acoustics, v. 14, n. 1, p. 1–12, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6136:2016 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040:2006 – Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2006a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14044:2006 – Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2006b.

BERARDI, U. Green buildings and acoustic performance: An overview. Building and Environment, v. 85, p. 202–212, 2015.

BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S.; INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2011.

BISTAFA, S.R. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

CABEZA, L.F.; RINCÓN, L.; VILARIÑO, V.; PÉREZ, G.; CASTELL, A. Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Energy Analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 29, p. 394–416, 2014.

CARVALHO, A.; MATOS, H.A.; GANI, R. SustainPro – a tool for systematic process

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

analysis, generation and evaluation of sustainable design alternatives. Computers & Chemical Engineering, v. 50, p. 8-27, 2013.

CARVALHO, R.P. Acústica arquitetónica. 1. ed. Brasília: Thesaurus Editora, 2006.

ÇENGEL, Y.A. Heat and Mass Transfer: A Practical Approach. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

COELHO, L.F.S.; SILVA, V.F.R.M. Análise cienciométrica sobre conforto acústico em edificações. Anápolis, 2018.

COSTA, L.H.L. Avaliação do ciclo de vida de blocos estruturais e cerâmicos utilizados em alvenaria na construção civil. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semiárido, 2019.

CTA. Relatório Económico Anual. Maputo: CTA, 2022.

DIXIT, M.K. Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 79, p. 390–413, 2019.

DURAN, et al. Eco-efficiency analysis of building materials using Life Cycle Assessment. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 11, n. 3, p. 173–182, 2006.

EVEREST, F. A. The Master Handbook of Acoustics. New York: McGraw-Hill, 2001. [loc.gov]

FIEMG. Guia Técnico Ambiental da Indústria da Cerâmica Vermelha. Belo Horizonte/MG: Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, 2013.

FILHO, J.A.S. Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas. Universidade de São Carlos, 2007.

FOGIATO, A. Avaliação da condutividade térmica de materiais alternativos para construção civil. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, v. 2, n. 1, p.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

55–68, 2015. (Exemplo de formatação; título e periódico podem variar conforme fonte original).

GONZÁLEZ-CASTAÑO, J.; et al. Thermal behavior of lightweight and heavyweight masonry systems: Experimental analysis and numerical modeling. Energy and Buildings, v. 199, p. 142–154, 2019.

GOODLAND, R. The Concept of Environmental Sustainability. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 26, p. 1-24, 1995.

IEA. Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Paris: IEA, 2021.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (Livre Docência) – USP, São Paulo, 2000.

KREITH, F.; MANGLIK, R.M.; BOHN, M.S. Principles of Heat Transfer. 7. ed. Stamford: Cengage Learning, 2011.

MAIA, P.A. O ruído nas obras da construção civil e o risco de surdez ocupacional. Campinas, 1999.

MIMOSO, A.F.; CARVALHO, A.; MENDES, A.N.; MATOS, H.A. Roadmap for Environmental Impact Retrofit in chemical processes through the application of Life Cycle Assessment methods. Journal of Cleaner Production, v. 90, p. 128-141, 2015.

MORELLI, J. Environmental Sustainability: A Definition for Environmental Professionals. Journal of Environmental Sustainability, v. 1, p. 19-27, 2011.

NHAMBIU, J.; CHICHANGO, F. Comprehensive analysis of the energy transition in Mozambique: opportunities and challenges for achieving the established global goals. Journal of Energy Technologies and Policy, v. 14, n. 2, p. 45–65, 2024. DOI: https://doi.org/10.7176/JETP/14-2-04

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

NUNES, et al. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. Revista Tecnológica, Maringá, v. 17, n. 1, 2008.

ONU. Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nações Unidas, 2015.

PINHEIRO, M.D. Lectures. Impactes Ambientais, MEGI, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2014.

PRÉ CONSULTANTS. Disponível em: http://www.pre-sustainability.com. Acesso em: 2025.

RASKIN, P.; GALLOPIN, G.; GUTMAN, P.; HAMMOND, A.; SWART, R. Bending the Curve: Toward Global Sustainability. Stockholm Environmental Institute. Global Scenario Group, 1998.

REZENDE, M.S.; FILHO, J.C.G.M.; NASCIMENTO, N.L.F.N. O desempenho acústico segundo a norma de desempenho ABNT NBR 15575 - Isolamento sonoro contra ruído aéreo de vedações verticais internas medido em campo. Goiânia, 2014.

RIZZATTI, E. Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria. Revista Materia, 2011.

SILVA, M. A.; LIBRELOTTO, J. C. Aplicação da base de dados Ecoinvent na modelagem de inventários do ciclo de vida. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, v. 10, n. 2, p. 45–58, 2016.

SILVA, M. A.; SOUZA, R. M.; LIMA, T. C. Avaliação ambiental de blocos cerâmicos e de concreto. Revista Engenharia Sustentável, v. 8, n. 2, p. 45–58, 2021.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Life Cycle Management: A Business Guide to Sustainability. UNEP and Danish Standards, 2007.

WBCSD. ESG and the Built Environment: A Framework for Action, 2022.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 20/10/2025 - **Accepted:** 03/11/2025
**Vol**: 20.01
**DOI**: 10.61164/s9gkp513
**Pages:** 1-23

WCED. Report of the World Commission on Environment and Development - Our Common Future. Oslo, 1987.

ZABALZA BRIBIÁN, I.; VALERO CAPILLA, A.; ARANDA USÓN, A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. Building and Environment, v. 46, n. 5, p. 1133–1140, 2011.