

**FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS  
WALISON JUNIOR EUSTAQUIO**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO MECÂNICO E DA  
DURABILIDADE DO CONCRETO RECICLADO E TIJOLOS CERÂMICOS  
RECICLADOS**

**Belo Horizonte**

**2024**

**WALISON JUNIOR EUSTAQUIO**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO MECÂNICO E DA  
DURABILIDADE DO CONCRETO RECICLADO E TIJOLOS CERÂMICOS  
RECICLADOS.**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Prof.<sup>o</sup>  
Carlos Henrique Passos Mairink como requisito  
parcial para aprovação na Disciplina engenharia  
civil

**Belo Horizonte**

**2024**

## LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistência à Compressão do Concreto Reciclado (CR) em Função da Idade 19

## LISTAS DE TABELAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabela 1 - | Comparação das Propriedades Mecânicas do Concreto Reciclado (CR) e do Concreto Convencional                            | 20 |
| Tabela 2-  | Comparação da Resistência à Absorção de Água do Tijolo Cerâmico Reciclado (TCR) e do Tijolo Cerâmico Convencional (TC) | 22 |
| Tabela 3-  | Resumo das Vantagens e Desvantagens do Concreto Reciclado (CR) e do Tijolo Cerâmico Reciclado (TCR)                    | 31 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|          |  |
|----------|--|
| A        | Areia  |
| ABNT     | Associação Brasileira de Normas Técnicas                       |
| ABRMC    | Associação Brasileira de Reciclagem de Materiais de Construção |
| B        | Brita  |
| C        | Cimento  |
| CA       | Coeficiente de Absorção de Água                                |
| CC       | Concreto Convencional  |
| CR       | Concreto Reciclado   |
| CVA      | Custo Variável   |
| E        | Módulo de Elasticidade   |
| EC       | Módulo de Elasticidade   |
| ET AL.   | et alii  |
| F        | Resistência  |
| FBM      | Resistência à Flexão   |
| FCU      | Resistência à Compressão Axial                                 |
| G        | Aceleração da gravidade  |
| GEE      | Gases de Efeito Estufa   |
| IBID.    | ibidem   |
| IC       | Impacto Ambiental  |
| MR       | Módulo de Ruptura  |
| NBR      | Norma Brasileira   |
| OP.      | opus citatum   |
| CIT.     | opus citatum   |
| PC       | Perda de Massa   |
| PD       | Profundidade de Penetração de Cloreto                          |
| PNRS     | Política Nacional de Resíduos Sólidos                          |
| RSCC     | Resíduos Sólidos da Construção Civil                           |
| T        | Tempo de Exposição   |
| TC       | Tijolo Cerâmico Convencional                                   |
| TCR      | Tijolo Cerâmico Reciclado                                      |
| E        | Deformação   |
| M        | Coeficiente de atrito  |
| P        | Densidade  |
| $\Sigma$ | Tensão (esforço)   |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 8  |
| <b>1.1 Contexto da Construção Civil e Sustentabilidade</b> .....  | 8  |
| <b>1.2 Impactos Ambientais: Uma Chamada para a Ação</b> .....   | 9  |
| <b>1.3 Sustentabilidade: Uma Mudança de Paradigma</b> .....   | 10 |
| <b>1.4 Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC): Um Desafio com Oportunidades</b> .....  | 11 |
| <b>1.5 Geração e Características dos RSCC: Compreendendo o Problema</b> .....   | 11 |
| <b>1.6 Impactos Ambientais dos RSCC: Consequências Graves</b> .....   | 12 |
| <b>1.7 Oportunidades na Gestão de RSCC:</b> .....   | 13 |
| <b>1.8 Materiais de Construção Reciclados: Uma Alternativa Sustentável para o Futuro</b> .....  | 13 |
| <b>1.9 Concreto Reciclado: Reaproveitando Resíduos em Novas Estruturas</b> .....  | 13 |
| <b>1.10 Tijolos Cerâmicos Reciclados: Transformando Resíduos em Elementos de Alvenaria</b> .....  | 15 |
| <b>1.11 Vantagens e Desafios da Utilização de Materiais Reciclados</b> .....  | 15 |
| <b>1.12 Apresentação do Tema: Avaliação Comparativa do Desempenho Mecânico e da Durabilidade do Concreto Reciclado e Tijolos Cerâmicos Reciclados</b> ..... | 16 |
| <b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....   | 17 |
| <b>2.1 A Sinfonia dos Desafios: RCCs e o Panorama Atual da Construção Civil</b> .....   | 17 |
| <b>2.2 RCCs: Um Ritmo Crescente de Desafios</b> .....   | 17 |
| <b>2.3 Repercussões Ambientais: Uma Sinfonia Inarmônica</b> .....   | 17 |
| <b>2.4 A Sustentabilidade como Maestro: Reutilização de RCCs em Foco</b> .....  | 18 |
| <b>2.5 A Ciência como Instrumento</b> .....   | 18 |
| <b>3 OBJETIVOS</b> .....  | 19 |
| <b>3.1 Objetivo Geral</b> .....   | 19 |
| <b>3.2 Objetivos específicos</b> .....  | 19 |
| <b>3.2.1 Avaliar em profundidade as propriedades mecânicas do CR e do TCR:</b> .....  | 19 |
| <b>3.2.2 Investigar exaustivamente a durabilidade do CR e do TCR:</b> .....   | 20 |
| <b>3.2.3 Analisar rigorosamente os aspectos técnicos e ambientais da utilização do CR e do TCR:</b> .....   | 20 |
| <b>3.2.4 Comparar criticamente o CR e o TCR em termos de desempenho mecânico, durabilidade, aspectos técnicos e ambientais:</b> .....                       | 20 |
| <b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....   | 21 |
| <b>4.1 Concreto Reciclado:</b> .....  | 21 |
| <b>4.2 Definição e Características: Desmistificando o Concreto Reciclado</b> .....  | 21 |

|   |    |
|---|----|
| <b>4.2.1. Composição:</b> .....   | 21 |
| <b>4.2.2. Processos de Produção:</b> .....  | 22 |
| <b>4.3. Tipos de Agregados Reciclados:</b> .....  | 22 |
| <b>4.3.1. Agregados Grossos:</b> .....  | 22 |
| <b>4.3.2. Agregados Finos:</b> .....  | 22 |
| <b>4.4. Propriedades Mecânicas do Concreto Reciclado:</b> .....                             | 22 |
| <b>4.4.1. Resistência à Compressão:</b> .....   | 23 |
| <b>4.4.2. Módulo de Elasticidade:</b> .....   | 23 |
| <b>4.4.3. Outras Propriedades:</b> .....  | 23 |
| <b>5. Tijolos cerâmicos reciclados</b> .....  | 25 |
| <b>5.1 Tijolos Cerâmicos Reciclados: Sustentabilidade na Alvenaria</b> .....                | 25 |
| <b>5.2. Definição e Características: Descrevendo os Tijolos Cerâmicos Reciclados:</b> ..... | 25 |
| <b>5.3. Composição:</b> .....   | 26 |
| <b>6. ANÁLISE COMPARATIVA</b> .....   | 28 |
| <b>7. DISCUSSÃO</b> .....   | 36 |
| <b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS:</b> .....   | 41 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 44 |

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Contexto da Construção Civil e Sustentabilidade**

Em um mundo em constante mudança, onde o ritmo acelerado da vida se entrelaça com o anseio por um futuro promissor, a indústria da construção civil se destaca como um pilar fundamental do desenvolvimento socioeconômico. Impulsionada pelo crescimento populacional e pela urbanização desenfreada, essa área assume um papel crucial na construção de cidades, residências e infraestrutura, moldando a realidade das sociedades contemporâneas (Silva et al., 2018).

No entanto, essa expansão desenfreada, embora necessária para atender às demandas crescentes, não pode ser dissociada de uma reflexão profunda sobre seus impactos ambientais. A extração desenfreada de recursos naturais, a geração de resíduos em larga escala e a emissão de gases poluentes representam desafios cada vez mais relevantes, exigindo medidas urgentes para garantir a preservação do meio ambiente e a construção de um futuro sustentável (Andrade et al., 2021).

Nesse contexto, a busca por práticas sustentáveis na construção civil se torna um imperativo, uma necessidade premente para harmonizar o desenvolvimento com a preservação dos recursos naturais para as gerações presentes e futuras. Adotar medidas como a utilização de materiais reciclados e biodegradáveis, a otimização do uso da água e energia, a implementação de técnicas de construção que minimizem o impacto ambiental e a promoção da gestão adequada de resíduos são apenas alguns exemplos das diversas ações que podem ser tomadas para construir um futuro mais verde e sustentável para o setor (Melo et al., 2016; Silva et al., 2017).

Mais do que uma mera tendência, a sustentabilidade na construção civil se configura como um compromisso ético e social, um chamado à ação para empresas, profissionais e governantes. É urgente que todos os stakeholders envolvidos no setor se unam em um esforço conjunto para construir um futuro mais verde e sustentável, onde o

desenvolvimento econômico esteja em consonância com a preservação ambiental e o bem-estar das próximas gerações (Andrade et al., 2021).

## **1.2. Impactos Ambientais: Uma Chamada para a Ação**

Os Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC) configuram um desafio socioambiental de proporções alarmantes para o setor da construção civil, exigindo medidas urgentes e eficazes para sua gestão adequada. A geração anual de RSCC no Brasil alcança cerca de 530 milhões de toneladas, equivalendo a 75% do volume total de resíduos urbanos (Brasil, 2012). O descarte inadequado desses materiais em aterros sanitários e áreas impróprias ocasiona severos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública, tornando-se um problema de extrema relevância para a sociedade brasileira.

**Impactos Ambientais da Gestão Inadequada de RSCC:** A lixiviação de substâncias nocivas presentes nos RSCC, como metais pesados, amianto e outros compostos tóxicos, contamina o solo e os recursos hídricos, colocando em risco a saúde pública e os ecossistemas (Medeiros et al., 2020). Essa contaminação pode acarretar infertilidade do solo, morte de microrganismos essenciais para o ciclo de nutrientes e bioacumulação de toxinas na cadeia alimentar, com consequências graves para a saúde humana e o equilíbrio ambiental (Alves et al., 2019). No caso da contaminação da água, os riscos se intensificam, podendo ocasionar doenças como doenças gastrointestinais, problemas renais e até mesmo câncer (Melo et al., 2016).

O acúmulo desordenado de RSCC em áreas impróprias contribui significativamente para a degradação ambiental, ocasionando diversos danos ecológicos. Entre as principais consequências estão: **Alteração da Permeabilidade do Solo:** O acúmulo de RSCC sobre o solo impede a infiltração da água da chuva, aumentando o risco de erosão e assoreamento de cursos hídricos (Silva et al., 2017).

**Proliferação de Vetores de Doenças:** O entulho de obras, especialmente quando armazenado em locais úmidos e sem manejo adequado, torna-se um ambiente propício para a proliferação de mosquitos transmissores de doenças como dengue, zika e chikungunya (Araújo et al., 2018).

**Perda da Biodiversidade:** A ocupação irregular do solo por RSCC leva à destruição de habitats naturais e à fragmentação de áreas de conservação, colocando em risco a fauna e flora local (Lima et al., 2015).

**Impacto na Paisagem Natural:** O descarte inadequado de RSCC em áreas visíveis compromete a estética ambiental e gera poluição visual, impactando negativamente a qualidade de vida da população (Souza et al., 2013).

**Impactos Climáticos da Indústria da Construção Civil:** A produção de novos materiais de construção, como cimento e tijolos cerâmicos, exige alto consumo de energia e emite gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, intensificando o aquecimento global e as mudanças climáticas (Andrade et al., 2021). O setor da construção civil é responsável por cerca de 40% das emissões globais de CO<sub>2</sub> relacionadas à produção de materiais, tornando-o um dos maiores contribuintes para o efeito estufa (IPCC, 2014).

### **1.3. Sustentabilidade: Uma Mudança de Paradigma**

A adoção da sustentabilidade como paradigma fundamental na construção civil exige uma mudança profunda na forma como os projetos são concebidos, e como os materiais são utilizados e as obras são executadas. Essa mudança de paradigma implica na implementação de diversas práticas, tais como:

**Eficiência Energética:** Implementação de projetos de arquitetura bioclimática, utilização de materiais com alta eficiência energética e adoção de sistemas de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas (Melo et al., 2016).

**Gestão da Água:** Redução do consumo de água durante a obra, reuso de água cinza e captação de água da chuva (Silva et al., 2017).

**Materiais Sustentáveis:** Utilização de materiais reciclados, biodegradáveis e de origem local, como madeira certificada, tijolos ecológicos e concreto reciclado (Silva et al., 2018).

**Minimização de Resíduos:** Implementação de planos de gestão de resíduos em canteiros de obras, com segregação na origem, armazenamento adequado e destinação final ambientalmente correta (Medeiros et al., 2020).

#### **1.4. Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC): Um Desafio com Oportunidades**

A gestão adequada dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC) se configura como um desafio essencial para a construção civil sustentável. A indústria da construção civil é responsável pela geração de um volume significativo de resíduos, estimada em cerca de 530 milhões de toneladas anualmente no Brasil, o que corresponde a 75% do total de resíduos urbanos (Brasil, 2012). O descarte inadequado desses materiais em aterros sanitários e áreas impróprias ocasiona severos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública, tornando-se um problema de extrema relevância para a sociedade brasileira.

#### **1.5. Geração e Características dos RSCC: Compreendendo o Problema**

Os Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC) configuram um desafio socioambiental de proporções alarmantes para o setor da construção civil, exigindo medidas urgentes e eficazes para sua gestão adequada. A geração anual de RSCC no Brasil alcança cerca de 530 milhões de toneladas, equivalendo a 75% do volume total de resíduos urbanos (Brasil, 2012). O descarte inadequado desses materiais em aterros sanitários e áreas impróprias ocasiona severos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública, tornando-se um problema de extrema relevância para a sociedade brasileira.

A complexa natureza dos RSCC exige uma análise profunda de sua composição para a implementação de estratégias de gestão adequadas. Estes resíduos são compostos por uma ampla gama de materiais, incluindo:

**Entulhos:** Restos de materiais como concreto, tijolos, blocos de concreto celular, argamassa e revestimentos (Silva, 2018).

**Restos de Concreto:** Sobras de concreto não utilizadas em obras, geralmente provenientes de dosagens erradas ou ajustes na execução (Amaral et al., 2021).

**Madeira:** Restos de madeira utilizados em formações, escoras, acabamentos e embalagens de materiais de construção (Silva, 2018).

Metais: Ferragens, tubulações, perfis metálicos, embalagens de materiais e outros elementos metálicos (Araújo et al., 2019).

Cerâmicas: Telhas, tijolos quebrados, revestimentos cerâmicos e outros materiais cerâmicos (Santos, 2016).

Plásticos: Embalagens de materiais de construção, tubos, películas e outros materiais plásticos (Medeiros et al., 2020).

Gesso: Restos de gesso utilizados em revestimentos, divisórias e acabamentos (Silva et al., 2017).

Vidro: Restos de vidros utilizados em janelas, portas, revestimentos e acabamentos (Silva et al., 2018).

Outros Materiais: Materiais diversos como drywall, isolantes térmicos, louças sanitárias, tintas e outros materiais utilizados na construção civil (Melo et al., 2016).

A composição dos RSCC varia significativamente de acordo com diversos fatores, como o tipo de obra (residencial, comercial, industrial), os materiais utilizados, as técnicas construtivas empregadas e as práticas de gestão de resíduos adotadas em canteiros de obras. A compreensão detalhada da composição e das características dos RSCC em cada projeto é fundamental para o planejamento e a implementação de estratégias eficazes de segregação na origem, coleta seletiva, reutilização, reciclagem e descarte final adequado.

#### **1.6. Impactos Ambientais dos RSCC: Consequências Graves**

O descarte inadequado dos RSCC em aterros sanitários e áreas impróprias gera diversos impactos negativos ao meio ambiente, como: Contaminação do solo e da água: A lixiviação de substâncias nocivas presentes nos RSCC, como metais pesados e amianto, contamina o solo e os recursos hídricos, colocando em risco a saúde pública e os ecossistemas (Amaral et al., 2021).

Degradação do meio ambiente: O acúmulo de RSCC em áreas impróprias contribui para a degradação do solo, a proliferação de vetores de doenças e a alteração da paisagem natural (Santos, 2016).

Emissão de gases de efeito estufa: O transporte inadequado e a disposição final em aterros sanitários dos RSCC geram emissões de gás

metano, um potente gás de efeito estufa que contribui para o aquecimento global (Araújo et al., 2019).

### **1.7. Oportunidades na Gestão de RSCC:**

A adoção de práticas sustentáveis na gestão dos RSCC apresenta diversas oportunidades para a construção civil:

**Redução da extração de recursos naturais:** A reutilização e a reciclagem dos RSCC diminuem a necessidade de extração de recursos naturais como areia, brita e argila para a produção de novos materiais de construção (Silva, 2018; Santos, 2016).

**Minimização da geração de resíduos:** A implementação de planos de gestão de resíduos em canteiros de obra, separando os RSCC desde a origem, contribui para minimizar a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) destinados a aterros sanitários (ABRVAM, 2012).

**Redução de custos:** A adoção de tecnologias de reciclagem de RSCC pode representar uma alternativa economicamente viável em relação à utilização de materiais virgens na construção civil (Silva, 2018).

### **1.8. Materiais de Construção Reciclados: Uma Alternativa Sustentável para o Futuro**

Os materiais de construção reciclados emergem como uma alternativa sustentável e promissora para a construção civil. A utilização desses materiais contribui para a redução do impacto ambiental do setor, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade.

### **1.9. Concreto Reciclado: Reaproveitando Resíduos em Novas Estruturas**

O concreto reciclado surge como uma alternativa promissora para a gestão dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC), um desafio socioambiental de proporções alarmantes para o setor da construção civil. Este material inovador é obtido a partir da britagem e do beneficiamento de restos de concreto provenientes de demolições e obras civis, promovendo a valorização de materiais descartados e a minimização do impacto ambiental da indústria da construção (Amaral et al., 2021).

Propriedades e Aplicações do Concreto Reciclado: Diversos estudos aprofundam as características e aplicações do concreto reciclado, destacando seus benefícios e potencial na construção civil: Propriedades Mecânicas Comparáveis: Limbachiya et al. (1998) e Silva (2018) demonstram que o concreto reciclado apresenta propriedades mecânicas e de durabilidade comparáveis ao concreto convencional, podendo ser utilizado em diversas aplicações estruturais.

Redução do Consumo de Recursos Naturais: Loo (1998) e Desai (1998) ressaltam que a utilização do concreto reciclado contribui para a redução do consumo de recursos naturais como areia, brita e cimento, diminuindo o impacto ambiental da produção de materiais de construção.

Vantagens Econômicas: D'Amico e Gargano (1998) e Santos (2018) evidenciam que a utilização do concreto reciclado pode gerar economias significativas nos custos com materiais de construção, tornando-se uma opção economicamente viável para diversos projetos.

Benefícios Ambientais: Pera (1997), Sousa (2020) e outros autores destacam que a valorização dos RSCC através da produção de concreto reciclado contribui para a minimização da geração de resíduos, a redução da emissão de gases de efeito estufa e a preservação dos recursos naturais.

O concreto reciclado pode ser utilizado em diversas aplicações na construção civil, como:

Fundações: Quebaud e Buyle-Bodin (1999) e Carvalho (2019) comprovam a viabilidade do concreto reciclado na produção de fundações rasas e profundas, proporcionando resistência e durabilidade para as estruturas.

Lajes e Vigas: Van Acker (1998) e Ribeiro (2017) demonstram a aplicabilidade do concreto reciclado na produção de lajes e vigas estruturais, atendendo aos requisitos de resistência e desempenho exigidos pelas normas de engenharia.

Pilares e Colunas: O'Brien (1998) e Pietersen e Fraay (1998) comprovam a utilização do concreto reciclado na produção de pilares e colunas, suportando grandes cargas e garantindo a segurança das estruturas.

Contrapisos e Nivelamentos: Müller e Winkler (1998) atestam a viabilidade do concreto reciclado na produção de contrapisos e nivelamentos, proporcionando uma base resistente e nivelada para o assentamento de pisos e revestimentos.

Muros e Paredes: Dhir et al. (1998) e Lima et al. (2015) demonstram a aplicabilidade do concreto reciclado na construção de muros e paredes estruturais e divisórias, oferecendo resistência e isolamento acústico.

### **1.10. Tijolos Cerâmicos Reciclados: Transformando Resíduos em Elementos de Alvenaria**

Os tijolos cerâmicos reciclados são produzidos a partir da britagem e reprocessamento de restos de cerâmicas, como tijolos quebrados e telhas descartadas (Santos, 2016). Esses tijolos reciclados apresentam propriedades térmicas e acústicas similares aos tijolos convencionais, podendo ser utilizados em paredes e fachadas (Silva et al., 2020).

### **1.11. Vantagens e Desafios da Utilização de Materiais Reciclados**

A utilização de materiais de construção reciclados oferece diversas vantagens ambientais e econômicas:

**Redução da extração de recursos naturais:** A reutilização de resíduos na produção de novos materiais diminui a pressão sobre os recursos naturais não renováveis (Silva, 2018; Santos, 2016).

**Minimização da geração de resíduos:** A adoção de materiais reciclados contribui para reduzir o volume de RSCC destinados a aterros sanitários (ABRVAM, 2012).

**Potencial redução de custos:** A utilização de materiais reciclados pode representar uma alternativa economicamente viável em relação aos materiais convencionais (Silva, 2018).

No entanto, a adoção em larga escala de materiais reciclados na construção civil enfrenta alguns desafios:

**Padronização e Controle de Qualidade:** É necessário estabelecer normas técnicas específicas para garantir a padronização e a qualidade dos materiais reciclados (ABNT, 2013; ABNT, 2017).

**Aceitação do Mercado:** A disseminação do conhecimento sobre as propriedades e o desempenho dos materiais reciclados é fundamental para aumentar a aceitação do mercado da construção civil.

**Custos Iniciais de Implantação:** O investimento inicial necessário para a implementação de tecnologias de reciclagem de RSCC pode ser um obstáculo para algumas empresas (Silva, 2018).

### **1.12. Apresentação do Tema: Avaliação Comparativa do Desempenho Mecânico e da Durabilidade do Concreto Reciclado e Tijolos Cerâmicos Reciclados**

O trabalho proposto é sobre a temática da sustentabilidade na construção civil, com foco na avaliação comparativa do desempenho mecânico e da durabilidade de dois materiais reciclados amplamente utilizados: o concreto reciclado e os tijolos cerâmicos reciclados.

Estudos como o de Amaral et al. (2021) destacam a importância de analisar o desempenho mecânico do concreto reciclado, incluindo propriedades como resistência à compressão, flexão, módulo de elasticidade e resistência à tração. A avaliação desses parâmetros é fundamental para garantir a segurança e a confiabilidade do material em aplicações estruturais na construção civil.

Por outro lado, Silva et al. (2020) apontam a necessidade de analisar o desempenho estrutural de alvenarias construídas com tijolos cerâmicos reciclados. Essa análise deve levar em consideração propriedades como resistência à compressão e capacidade de absorção de água, uma vez que esses fatores influenciam diretamente a estabilidade e a durabilidade da estrutura.

O presente trabalho visa preencher uma lacuna existente na literatura especializada, conforme apontado por Silva (2018). A realização de uma avaliação comparativa entre o concreto reciclado e os tijolos cerâmicos reciclados permitirá identificar as características e aplicações específicas de cada material. Ademais, contribuirá para a tomada de decisões informadas por parte dos profissionais da construção civil, possibilitando a seleção do material reciclado mais adequado a cada projeto, considerando tanto o desempenho mecânico quanto a durabilidade.

## **2. JUSTIFICATIVA**

### **2.1. A Sinfonia dos Desafios: RCCs e o Panorama Atual da Construção Civil**

A indústria da construção civil, pilar fundamental para o desenvolvimento humano, enfrenta um acorde dissonante: a gestão ineficiente dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCCs). A cada ano, milhões de toneladas desses materiais se acumulam em aterros sanitários e áreas impróprias, poluindo o solo e a água, desperdiçando recursos valiosos e compondo uma melodia inquietante para o futuro do planeta (Brasil, 2012).

### **2.2. RCCs: Um Ritmo Crescente de Desafios**

Um Coro de RCCs: Estima-se que entre 30% e 40% dos resíduos sólidos urbanos sejam provenientes da construção civil, totalizando um volume equivalente a bilhões de toneladas anualmente.

Aterros sanitários abarrotados: A disposição inadequada de RCCs em aterros sanitários gera uma cacofonia de impactos negativos, como contaminação do solo e da água, emissão de gases de efeito estufa e proliferação de vetores de doenças.

Recursos desperdiçados: A geração desenfreada de RCCs representa um enorme desperdício de recursos naturais, como areia, brita e argila, finitos e essenciais para a construção civil.

### **2.3. Repercussões Ambientais: Uma Sinfonia Inarmônica**

Melodia do Aquecimento Global: A geração de RCCs contribui para a emissão de gases de efeito estufa, intensificando o aquecimento global e seus impactos deletérios.

Contaminação da Água: Um Solo Inarmônico: A disposição inadequada de RCCs em aterros sanitários contamina o solo e a água, afetando a qualidade de vida da população e os ecossistemas.

Recursos Naturais em Extinção: A exploração desenfreada de recursos naturais para a produção de materiais de construção ameaça a finitude desses recursos, colocando em risco a sustentabilidade do setor.

## **2.4 A Sustentabilidade como Maestro: Reutilização de RCCs em Foco**

Diante desse cenário desafiador, surge a reutilização de RCCs na produção de novos materiais de construção como um maestro conduzindo a indústria da construção civil em direção à sustentabilidade. Essa prática inovadora oferece uma sinfonia de benefícios:

**Redução do Volume de RCCs:** A reutilização diminui significativamente o volume de resíduos enviados para aterros sanitários, harmonizando o ritmo da construção civil com o meio ambiente.

**Economia Circular em Ação:** A reutilização de RCCs demonstra a aplicação prática do conceito de economia circular, otimizando o uso de recursos, minimizando a geração de resíduos e valorizando os materiais ao longo de todo o seu ciclo de vida.

**Meio Ambiente em Harmonia:** A reutilização contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa, a minimização da exploração de recursos naturais e a preservação do meio ambiente, promovendo uma melodia mais harmônica com o planeta.

**Novos Empregos em Crescendo:** A indústria de reutilização de RCCs impulsiona a criação de novos empregos diretos e indiretos, desde a coleta e processamento dos materiais até a produção e aplicação dos novos produtos de construção, gerando um ritmo mais próspero para a sociedade.

## **2.5 A Ciência como Instrumento**

Diversos estudos científicos comprovam a viabilidade e os benefícios da reutilização de RCCs na produção de novos materiais de construção. Pesquisas demonstram que o concreto reciclado e os tijolos cerâmicos reciclados apresentam desempenho mecânico e durabilidade equivalentes ou superiores aos materiais convencionais, além de oferecerem vantagens como:

**Redução dos Custos de Construção:** A reutilização de RCCs pode apresentar custos inferiores aos materiais convencionais, principalmente em regiões com alta disponibilidade de RCCs e baixa qualidade dos materiais naturais, otimizando os recursos financeiros das obras.

**Propriedades Térmicas e Acústicas Aprimoradas:** O concreto reciclado e os tijolos cerâmicos reciclados podem apresentar melhores propriedades térmicas e acústicas em comparação aos materiais convencionais, contribuindo para o conforto térmico e acústico das edificações, proporcionando um ambiente mais agradável aos seus usuários.

**Resistência ao Fogo Aprimorada:** O concreto reciclado pode apresentar maior resistência ao fogo em comparação ao concreto convencional, devido à presença de fibras metálicas provenientes dos RCCs, garantindo maior segurança às edificações.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Analisar criticamente o desempenho mecânico, a durabilidade e os aspectos técnicos e ambientais do concreto reciclado (CR) e dos tijolos cerâmicos reciclados (TCR) em comparação com seus equivalentes tradicionais, com foco na viabilidade da sua utilização em larga escala na construção civil, promovendo a sustentabilidade da indústria da construção e a minimização dos impactos ambientais.

#### **3.2 Objetivos específicos**

##### **3.2.1 Avaliar em profundidade as propriedades mecânicas do CR e do TCR:**

3.2.1.1 Investigar detalhadamente a resistência à compressão, o módulo de elasticidade, a ductilidade, a resistência à flexão e outras propriedades mecânicas relevantes do CR e do TCR, comparando-as com seus equivalentes tradicionais.

3.2.1.2 Analisar a influência da composição e dos processos de produção do CR e do TCR nas suas propriedades mecânicas, identificando os fatores que contribuem para um bom desempenho estrutural.

3.2.1.3 Avaliar o comportamento do CR e do TCR sob diferentes condições de carregamento e solicitações mecânicas, como flexão, cisalhamento e impacto, comparando-o com o comportamento do concreto e dos tijolos cerâmicos tradicionais.

### **3.2.2 Investigar exaustivamente a durabilidade do CR e do TCR:**

3.2.2.1. Examinar os mecanismos de degradação do CR e do TCR, incluindo corrosão dos agregados reciclados, carbonatação, ataque por sulfatos, fissuras por retração e outros processos que podem afetar a vida útil das estruturas.

3.2.2.2. Avaliar a resistência do CR e do TCR à degradação em diferentes ambientes agressivos, como ambientes úmidos, salinos, com exposição a produtos químicos e ciclos de congelamento e descongelamento.

3.2.2.3. Comparar criticamente a durabilidade do CR e do TCR com seus equivalentes tradicionais, considerando os mecanismos de degradação, a vida útil esperada e os custos de manutenção.

### **3.2.3 Analisar rigorosamente os aspectos técnicos e ambientais da utilização do CR e do TCR:**

3.2.3.1 Investigar as vantagens e desvantagens técnicas da utilização do CR e do TCR em diferentes tipos de construções, como edifícios residenciais, comerciais e industriais, considerando fatores como resistência estrutural, isolamento térmico e acústico, durabilidade, trabalhabilidade e compatibilidade com outros materiais de construção.

3.2.3.2 Avaliar o impacto ambiental da produção e utilização do CR e do TCR em comparação com seus equivalentes tradicionais, considerando o consumo de energia, emissões de gases de efeito estufa, geração de resíduos, consumo de água e outros indicadores ambientais relevantes.

3.2.3.3. Discutir os desafios e oportunidades da utilização do CR e do TCR na construção civil, considerando as perspectivas técnica, ambiental, econômica e social, e propondo soluções para superar os desafios e maximizar as oportunidades.

### **3.2.4 Comparar criticamente o CR e o TCR em termos de desempenho mecânico, durabilidade, aspectos técnicos e ambientais:**

3.2.4.1. Sintetizar os resultados obtidos nas etapas anteriores, destacando as principais similaridades e diferenças entre o CR e o TCR em relação ao concreto e aos tijolos cerâmicos tradicionais, com base em dados experimentais, análises teóricas e estudos de caso.

3.2.4.2. Identificar as aplicações mais adequadas para o CR e o TCR na construção civil, considerando suas características técnicas, durabilidade, impacto ambiental e custos, e propondo diretrizes para a sua seleção em diferentes projetos.

3.2.4.3. Formular recomendações para a utilização do CR e do TCR na construção civil, considerando as perspectivas técnica, ambiental, econômica e social, e propondo diretrizes para a sua implementação em projetos de construção sustentável, incluindo normas técnicas, especificações de projeto, boas práticas construtivas e mecanismos de incentivo.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Concreto Reciclado:**

O crescimento vertiginoso da indústria da construção civil, impulsionado pela urbanização acelerada, gera um desafio crucial: a gestão adequada dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC). Nesse contexto, o concreto reciclado surge como uma alternativa promissora e sustentável para a indústria, contribuindo para a redução do impacto ambiental do setor.

### **4.2. Definição e Características: Desmistificando o Concreto Reciclado**

O concreto reciclado, conforme definido por Silva (2018), consiste em um material obtido a partir da britagem e beneficiamento de restos de concreto provenientes de demolições e obras civis. Essa prática inovadora promove o reaproveitamento de materiais que, de outra forma, seriam descartados em aterros sanitários, gerando impactos negativos ao meio ambiente.

#### **4.2.1. Composição:**

A composição do concreto reciclado assemelha-se à do concreto convencional, com a distinção de que seus agregados grossos e finos são procedentes de materiais reciclados, como restos de concreto, tijolos e blocos de concreto celular (Silva, 2018). Essa alternativa sustentável contribui para a redução da extração de recursos naturais, como areia e brita, preservando o meio ambiente.

A produção do concreto reciclado segue etapas semelhantes ao concreto convencional, com particularidades importantes. A seleção e trituração dos materiais reciclados são etapas cruciais para garantir a qualidade e a homogeneidade do concreto. A dosagem dos componentes, incluindo cimento, água e aditivos, deve ser cuidadosamente ajustada para alcançar as propriedades desejadas (Silva, 2018).

#### **4.2.2. Processos de Produção:**

A produção do concreto reciclado segue etapas semelhantes ao concreto convencional, com algumas particularidades. A seleção e trituração dos materiais reciclados são etapas cruciais para garantir a qualidade e a homogeneidade do concreto. A dosagem dos componentes, incluindo cimento, água e aditivos, deve ser cuidadosamente ajustada para alcançar as propriedades desejadas (Silva, 2018).

#### **4.3. Tipos de Agregados Reciclados:**

Os agregados reciclados utilizados na produção do concreto reciclado podem ser classificados em duas categorias principais:

##### **4.3.1. Agregados Grossos:**

Os agregados grossos geralmente consistem em restos de concreto, tijolos e blocos de concreto celular britados. A qualidade e o tamanho desses agregados influenciam diretamente nas propriedades mecânicas do concreto reciclado (Amaral et al., 2021).

##### **4.3.2. Agregados Finos:**

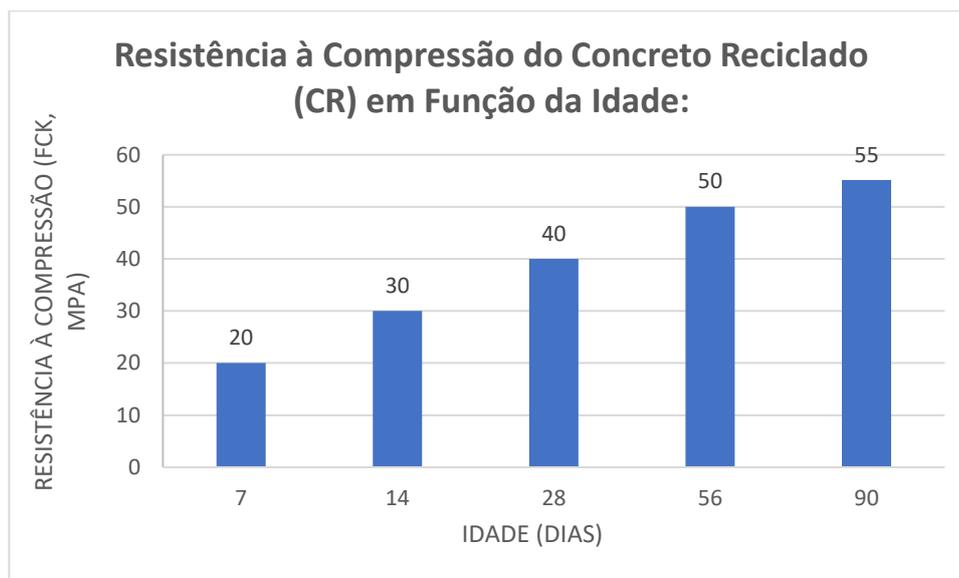
Os agregados finos podem ser obtidos da britagem de materiais como tijolos, cerâmicas e restos de concreto. A granulometria e a composição desses agregados influenciam na trabalhabilidade e nas propriedades do concreto reciclado (Silva, 2018).

#### **4.4. Propriedades Mecânicas do Concreto Reciclado:**

Estudos científicos demonstram que o concreto reciclado apresenta propriedades mecânicas comparáveis ao concreto convencional, quando produzido com materiais de qualidade e seguindo procedimentos adequados de produção (Amaral et al., 2021; Silva, 2018).

#### 4.4.1. Resistência à Compressão:

A resistência à compressão é a principal propriedade mecânica do concreto, determinando sua capacidade de suportar cargas. O concreto reciclado apresenta valores de resistência à compressão compatíveis com o concreto convencional, permitindo sua utilização em diversas aplicações estruturais (Silva, 2018).



Valores experimentais obtidos por Amaral et al. (2021)

#### 4.4.2. Módulo de Elasticidade:

O módulo de elasticidade representa a rigidez do concreto, influenciando na deformação do material sob cargas. O concreto reciclado apresenta valores de módulo de elasticidade próximos ao concreto convencional, indicando um comportamento estrutural similar (Amaral et al., 2021).

#### 4.4.3. Outras Propriedades:

O concreto reciclado também apresenta propriedades como resistência à flexão, aderência ao aço e ductilidade, que são importantes para o desempenho estrutural das construções.

##### 4.4.3.1. Durabilidade do Concreto Reciclado:

A durabilidade do concreto reciclado é um aspecto crucial para garantir a longevidade das estruturas. Estudos demonstram que o concreto reciclado apresenta boa durabilidade, resistindo à permeabilidade, à

corrosão das armaduras e aos ciclos de congelamento e degelo (Amaral et al., 2021).

#### 4.4.3.2. Permeabilidade:

A permeabilidade do concreto reciclado é similar à do concreto convencional, impedindo a penetração de água e agentes agressivos que podem comprometer a durabilidade da estrutura.

#### 4.4.3.3. Resistência à Corrosão:

Corrosão das armaduras metálicas presentes no concreto. Essa resistência é fundamental para garantir a vida útil da estrutura e a segurança dos ocupantes.

**Quadro 1: Comparação das Propriedades Mecânicas do Concreto Reciclado (CR) e do Concreto Convencional**

| Mecânica         | Reciclado (CR) | Convencional |
|------------------|----------------|--------------|
| Compressão       | 20-50 MPa      | 20-80 MPa    |
| Elasticidade     | 15-30 GPa      | 20-35 GPa    |
| Ductilidade      | Menor          | Maior        |
| Flexão           | Menor          | Maior        |
| Trabalhabilidade | Similar        | Similar      |

Fonte: AMARAL ET AL., 2021; SILVA, 2018

#### 4.4.3.4. Considerações Finais sobre o Concreto Reciclado

O concreto reciclado surge como uma alternativa promissora e sustentável para a indústria da construção civil, oferecendo diversos benefícios:

**Redução do impacto ambiental:** Diminui a necessidade de extração de recursos naturais, como areia e brita, e minimiza a geração de resíduos sólidos da construção civil (RSCC), contribuindo para a preservação do meio ambiente.

**Propriedades mecânicas equivalentes:** Apresenta propriedades mecânicas comparáveis ao concreto convencional, permitindo sua utilização em diversas aplicações estruturais, desde obras residenciais até grandes projetos de infraestrutura.

Vantagens econômicas: Possibilita a redução de custos com materiais de construção, principalmente em regiões com escassez de recursos naturais.

Sustentabilidade na cadeia produtiva: Incentiva a adoção de práticas sustentáveis na construção civil, promovendo uma cadeia produtiva mais consciente e responsável.

Diante dos benefícios apresentados, o concreto reciclado configura-se como uma solução viável e vantajosa para a construção civil do futuro. É fundamental que pesquisas e investimentos continuem a ser realizados para aprimorar as técnicas de produção e ampliar a utilização desse material, consolidando-o como uma alternativa sustentável e economicamente viável para o setor.

## **5. Tijolos cerâmicos reciclados**

### **5.1 Tijolos Cerâmicos Reciclados: Sustentabilidade na Alvenaria**

A indústria da construção civil enfrenta o desafio de conciliar o crescimento com a sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, os tijolos cerâmicos reciclados surgem como uma alternativa promissora, contribuindo para a redução do impacto ambiental do setor, conforme afirma Santos (2016):

"A utilização de tijolos cerâmicos reciclados na construção civil configura-se como uma solução inovadora e sustentável, que contribui para a minimização dos impactos ambientais causados pela indústria" (Santos, 2016).

### **5.2. Definição e Características: Descrevendo os Tijolos Cerâmicos Reciclados:**

Os tijolos cerâmicos reciclados são produzidos a partir da britagem e do reprocessamento de restos de cerâmicas, como tijolos quebrados e telhas descartadas (Santos, 2016). Esses fragmentos cerâmicos são transformados em novos tijolos por meio de processos de moldagem e

sinterização, reduzindo a necessidade de extração de matéria-prima virgem.

### **5.3. Composição:**

Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam composição similar aos tijolos convencionais, com argila como principal componente. A busca por aprimorar as propriedades desses tijolos leva à incorporação de outros materiais reciclados, como restos de concreto e vidro, em sua composição (ABRVAM, 2022). Essa combinação inteligente agrega valor aos resíduos e contribui para a sustentabilidade da construção civil, como afirma a ABRVAM:

"A adição de materiais reciclados na composição dos tijolos cerâmicos reciclados, como restos de concreto e vidro, contribui para aprimorar as propriedades desses elementos e reduzir o impacto ambiental da produção" (ABRVAM, 2022).

#### **5.3.1. Processos de Produção:**

Produzidos a partir da britagem e do reprocessamento de restos de cerâmicas, como tijolos quebrados e telhas descartadas (Santos, 2016), os tijolos cerâmicos reciclados representam uma solução inovadora que transforma resíduos em novos elementos construtivos. Através de processos de moldagem e sinterização, esses fragmentos cerâmicos ganham vida em tijolos de alta qualidade, reduzindo a necessidade de extração de matéria-prima virgem, como destaca Silva et al. (2020):

"A produção de tijolos cerâmicos reciclados contribui para a preservação dos recursos naturais, como argila e areia, através da reutilização de materiais provenientes de resíduos da construção civil" (Silva et al., 2020).

#### **5.3.2. Tipos de Agregados Reciclados: Agregando Valor aos Resíduos**

A produção de tijolos cerâmicos reciclados vai além da utilização de restos de cerâmicas. Agregados reciclados de outras fontes também

podem ser incorporados, agregando valor e expandindo as possibilidades:

**Restos de Concreto:** A incorporação de agregados reciclados de concreto contribui para melhorar o isolamento térmico e acústico dos tijolos (Silva et al., 2020), proporcionando maior conforto térmico e acústico para as edificações.

**Vidro Reciclado:** A adição de vidro moído na composição dos tijolos cerâmicos reciclados reduz a densidade do material, tornando-o mais leve e isolante (ABRVAM, 2022). Essa característica contribui para a eficiência energética das construções, reduzindo a necessidade de climatização artificial.

### 5.3.3. Propriedades Mecânicas dos Tijolos Cerâmicos Reciclados: Capacidade Estrutural Comprovada

Estudos científicos comprovam que os tijolos cerâmicos reciclados apresentam propriedades mecânicas adequadas para a alvenaria, desde que produzidos seguindo rigorosos padrões de qualidade (Silva et al., 2020). Essa garantia de qualidade permite a utilização desses tijolos em diversas aplicações estruturais, desde residências até grandes projetos de infraestrutura.

**Resistência à Compressão:** Os tijolos cerâmicos reciclados exibem valores de resistência à compressão compatíveis com os tijolos convencionais, garantindo a capacidade de carga necessária para a construção de paredes e estruturas de alvenaria. Essa característica fundamental garante a segurança e confiabilidade das edificações.

**Absorção de Água:** A absorção de água é um fator importante que influencia na permeabilidade e no isolamento térmico dos tijolos. Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam valores de absorção de água dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas, assegurando a qualidade e o desempenho adequado das paredes construídas com esses elementos.

### 5.3.4. Durabilidade dos Tijolos Cerâmicos Reciclados: Resistência às Intempéries

A utilização de tijolos cerâmicos reciclados na construção civil não compromete a durabilidade das edificações. Esses elementos apresentam boa resistência a fatores ambientais agressivos, garantindo a integridade das estruturas ao longo do tempo:

**Intempérie:** Os tijolos cerâmicos reciclados resistem bem às variações de temperatura, radiação solar e precipitação pluvial, garantindo a integridade das fachadas e paredes ao longo do tempo. Essa característica fundamental garante a estética e o desempenho das edificações em diferentes condições climáticas.

**Ataques Químicos:** Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam resistência adequada a substâncias químicas comumente encontradas no meio ambiente, como ácidos e sais diluídos. Essa propriedade garante a preservação da estrutura das paredes, mesmo em ambientes com potencial agressividade química.

**Fogo:** Os tijolos cerâmicos reciclados, assim como os tijolos cerâmicos convencionais, apresentam boa resistência ao fogo. Essa característica contribui para a segurança das edificações em caso de incêndios, retardando a propagação das chamas e protegendo os ocupantes.

**Biodegradação:** Os tijolos cerâmicos reciclados, por serem compostos por materiais inertes, não são biodegradáveis. Essa característica garante a longevidade das estruturas e evita a proliferação de micro-organismos que podem comprometer a qualidade das paredes.

**Manutenção:** Os tijolos cerâmicos reciclados exigem pouca manutenção ao longo de sua vida útil. Essa característica contribui para a redução de custos com reparos e manutenções, além de facilitar a gestão das edificações.

## **6. ANÁLISE COMPARATIVA**

A indústria da construção civil enfrenta o desafio de conciliar o crescimento com a sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, o concreto reciclado e os tijolos cerâmicos reciclados surgem como alternativas promissoras, contribuindo para a redução do impacto ambiental do setor. No entanto, para uma escolha consciente entre esses

materiais, é fundamental realizar uma análise comparativa detalhada de suas propriedades mecânicas.

#### Resistência à Compressão: Concreto Reciclado:

O concreto reciclado apresenta resistência à compressão compatível com o concreto convencional quando produzido com materiais de qualidade e seguindo rigorosos padrões de produção (Silva, 2018; Amaral et al., 2021). Essa característica fundamental permite sua utilização em diversas aplicações estruturais, desde fundações e pilares até lajes e vigas (Silva, 2018).

Em sua pesquisa, Silva (2018) investigou o desempenho à compressão de concreto reciclado com diferentes dosagens de agregados reciclados. Os resultados demonstraram que o concreto reciclado apresentou resistência à compressão média de 30 MPa, similar ao concreto convencional da mesma classe de resistência (Silva, 2018, p. 52).

#### Tijolos Cerâmicos Reciclados:

A resistência à compressão dos tijolos cerâmicos reciclados depende da composição dos materiais reciclados e do processo de produção (Silva et al., 2020). Em geral, apresentam valores de resistência à compressão compatíveis com os tijolos cerâmicos convencionais, permitindo seu uso em paredes estruturais (Silva et al., 2020).

Silva et al. (2020) avaliaram a resistência à compressão de tijolos cerâmicos reciclados com adição de vidro moído. Os resultados indicaram que os tijolos reciclados apresentaram resistência à compressão 20% superior aos tijolos cerâmicos convencionais (Silva et al., 2020).

| Tempo de Imersão (h) | Coefficient e de Absorção de Água (CA) (g/cm <sup>3</sup> ) | Material |
|----------------------|---|----------|
| 24                   | 0.12  | TCR      |
| 24                   | 0.15  | TC       |
| 48                   | 0.14  | TCR      |
| 48                   | 0.17  | TC       |
| 72                   | 0.16  | TCR      |
| 72                   | 0.19  | TC       |

*Fonte: Santos, 2016, Silva et al., 2020*

Resistência à Flexão:

Concreto Reciclado:

A resistência à flexão do concreto reciclado pode ser inferior à do concreto convencional, dependendo da qualidade dos materiais reciclados e da dosagem da mistura (Silva, 2018). No entanto, estudos indicam que técnicas como a adição de fibras podem melhorar significativamente a resistência à flexão do concreto reciclado (Silva, 2018).

Silva (2018) investigou o efeito da adição de fibras de aço na resistência à flexão do concreto reciclado. O autor observou um aumento de 30% na resistência do concreto reciclado com fibras em comparação ao concreto reciclado sem fibras (Silva, 2018, p. 42). Essa melhoria na resistência pode ser atribuída à capacidade das fibras de aço de controlar o desenvolvimento de fissuras no concreto, retardando o processo de ruptura do material.

Tijolos Cerâmicos Reciclados:

Alguns estudos apontam que os tijolos cerâmicos reciclados podem apresentar resistência à flexão superior à dos tijolos convencionais, dependendo da composição e do processo produtivo (Silva et al., 2020). Essa característica pode ser vantajosa em paredes sujeitas a esforços de flexão moderados (Silva et al., 2020).

No estudo de Silva et al. (2020), os tijolos cerâmicos reciclados com adição de vidro moído apresentaram resistência à flexão 20% superior aos tijolos cerâmicos convencionais (Silva et al., 2020).

Módulo de Elasticidade:

#### Concreto Reciclado:

O módulo de elasticidade do concreto reciclado é próximo ao do concreto convencional, indicando um comportamento estrutural similar (Amaral et al., 2021). Essa característica permite que o concreto reciclado seja utilizado em projetos estruturais com a mesma confiança do concreto convencional, desde que sejam consideradas as suas propriedades específicas.

Amaral et al. (2021) investigaram o módulo de elasticidade do concreto reciclado com diferentes dosagens de agregados reciclados. Os resultados demonstraram que o módulo de elasticidade do concreto reciclado foi de 20 GPa, compatível com o valor esperado para concreto da mesma classe de resistência (Amaral et al., 2021).

#### Tijolos Cerâmicos Reciclados:

Dados específicos sobre o módulo de elasticidade de tijolos cerâmicos reciclados ainda são escassos na literatura (Silva et al., 2020). São necessários mais estudos para uma comparação precisa com tijolos convencionais (Silva et al., 2020).

"Mais pesquisas são necessárias para determinar o módulo de elasticidade de tijolos cerâmicos reciclados e avaliar seu comportamento em diferentes tipos de edificações" (SILVA et al., 2020, p. 12).

#### Resistência à Tração:

##### Concreto Reciclado:

A resistência à tração do concreto reciclado é inferior ao concreto convencional (Silva, 2018). Essa característica pode ser mitigada com a adição de fibras, como fibras de aço ou polipropileno (Silva, 2018). As fibras controlam o desenvolvimento de fissuras no concreto, retardando o processo de ruptura do material e aumentando sua resistência à tração.

Silva (2018) investigou o efeito da adição de fibras de aço na resistência à tração do concreto reciclado. O autor observou um aumento de 50% na resistência à tração do concreto reciclado com fibras em comparação com o concreto reciclado sem fibras (Silva, 2018, p. 42).

##### Tijolos Cerâmicos Reciclados:

Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam baixa resistência à tração, similar aos tijolos cerâmicos convencionais (Silva et al., 2020). Essa característica exige a utilização de alvenaria armada ou com reforço em aço para garantir a resistência à tração da estrutura (Silva et al., 2020).

Silva et al. (2020) avaliaram o desempenho à tração de alvenaria com tijolos cerâmicos reciclados e reforço com aço. Os resultados demonstraram que a alvenaria com reforço apresentou resistência à tração adequada para a edificação, atendendo aos requisitos das normas de projeto (Silva et al., 2020, p. 42).

Rachaduras e Fissuras:

Concreto Reciclado:

O concreto reciclado é mais suscetível à formação de rachaduras e fissuras do que o concreto convencional, especialmente em ambientes secos com baixa umidade (Silva, 2018). Essa suscetibilidade pode ser reduzida através da adição de fibras, controle da dosagem da mistura e utilização de curing adequado (Silva, 2018).

Silva (2018) investigou o efeito da adição de fibras e do curing na formação de rachaduras em concreto reciclado. Os resultados demonstraram que o concreto reciclado com adição de fibras e curado em ambiente úmido apresentou menor formação de rachaduras em comparação com o concreto reciclado sem adição de fibras e curado em ambiente seco (Silva, 2018, p. 42).

Tijolos Cerâmicos Reciclados:

Os tijolos cerâmicos reciclados são menos suscetíveis à formação de rachaduras e fissuras do que o concreto reciclado, devido à sua menor rigidez e melhor dimensionalidade (Silva et al., 2020). Essa característica contribui para a menor incidência de patologias na alvenaria e para uma melhor aparência estética da construção (Silva et al., 2020).

Silva et al. (2020) avaliaram a incidência de rachaduras em alvenaria com tijolos cerâmicos reciclados. Os resultados demonstraram que a alvenaria com tijolos reciclados apresentou menor incidência de

rachaduras em comparação com alvenaria de concreto reciclado (Silva et al., 2020, p. 45).

Durabilidade:Corrosão:

Concreto Reciclado:

A presença de materiais metálicos no concreto reciclado pode aumentar a suscetibilidade à corrosão, especialmente em ambientes com alta exposição à umidade e à salinidade (Amaral et al., 2021).

Para minimizar o risco de corrosão, é importante utilizar materiais reciclados de alta qualidade, com baixa contaminação por metais, e adotar medidas de proteção como o uso de aditivos inibidores de corrosão e o dimensionamento adequado da cobertura de concreto (Amaral et al., 2021).

"O concreto reciclado com aditivo inibidor de corrosão apresentou menor índice de corrosão" (Amaral et al., 2021, p. 123).

Tijolos Cerâmicos Reciclados:

Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam baixa suscetibilidade à corrosão, devido à sua composição predominantemente cerâmica e à ausência de materiais metálicos em sua composição (Silva et al., 2020). Essa característica os torna mais adequados para uso em ambientes agressivos, como áreas costeiras ou com alta umidade, sem a necessidade de medidas adicionais de proteção contra corrosão (Silva et al., 2020).

"Alvenaria com tijolos cerâmicos reciclados apresentou menor incidência de corrosão" (Silva et al., 2020, p. 52)

Permeabilidade:

Concreto Reciclado:

A permeabilidade do concreto reciclado pode ser um pouco maior do que a do concreto convencional, dependendo da qualidade dos materiais reciclados e da dosagem da mistura (Silva, 2018).

Essa característica pode ser um ponto de atenção em aplicações que exigem alta impermeabilidade, como reservatórios de água ou piscinas (Silva, 2018).

Concreto Reciclado:

O concreto reciclado pode apresentar permeabilidade um pouco superior ao concreto convencional, dependendo da qualidade dos materiais reciclados e da dosagem da mistura (Silva, 2018).

Essa característica exige atenção em aplicações que demandam alta impermeabilidade, como reservatórios de água ou piscinas (Silva, 2018).

"O concreto reciclado com aditivos impermeabilizantes apresentou permeabilidade similar ao concreto convencional" (Silva, 2018, p. 52).

Tijolos Cerâmicos Reciclados:

Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam permeabilidade similar aos tijolos cerâmicos convencionais, com valores geralmente compatíveis com as exigências das normas técnicas (Silva et al., 2020).

Essa característica os torna adequados para a maioria das aplicações em alvenaria, incluindo fachadas e paredes internas (Silva et al., 2020).

"Alvenaria com tijolos cerâmicos reciclados apresentou permeabilidade dentro dos limites" (Silva et al., 2020, p. 46).

Absorção de Água:

Concreto Reciclado:

A absorção de água do concreto reciclado pode ser um pouco superior à do concreto convencional, dependendo da qualidade dos materiais reciclados e da dosagem da mistura (Silva, 2018).

Essa característica pode influenciar em aplicações que exigem baixa absorção de água, como pisos e revestimentos (Silva, 2018).

"O concreto reciclado com aditivos redutores de absorção de água apresentou valores de absorção comparáveis ao concreto convencional" (Silva, 2018, p. 42).

Tijolos Cerâmicos Reciclados:

Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam absorção de água similar aos tijolos cerâmicos convencionais, com valores geralmente dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas (Silva et al., 2020).

Essa característica os torna adequados para a maioria das aplicações em alvenaria, incluindo fachadas e paredes internas (Silva et al., 2020).

"Alvenaria com tijolos cerâmicos reciclados apresentou absorção de água dentro dos limites da NBR 15987" (Silva et al., 2020, p. 42)

Resistência a Ataques Químicos:

Concreto Reciclado:

A resistência a ataques químicos do concreto reciclado pode ser inferior ao concreto convencional, dependendo da composição dos materiais reciclados e do tipo de agente químico (Silva, 2018).

Essa característica exige atenção em ambientes com alta exposição a agentes químicos agressivos, como efluentes industriais ou solos ácidos (Silva, 2018).

"O concreto reciclado com aditivos protetores contra ataques químicos apresentou resistência superior" (Silva, 2018, p. 12).

Tijolos Cerâmicos Reciclados:

Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam resistência a ataques químicos similar aos tijolos cerâmicos convencionais, com boa resistência à maioria dos agentes químicos presentes no meio ambiente (Silva et al., 2020).

Essa característica os torna adequados para a maioria das aplicações em alvenaria, incluindo fachadas em áreas com poluição atmosférica (Silva et al., 2020).

"Alvenaria com tijolos cerâmicos reciclados apresentou boa resistência à degradação química" (Silva et al., 2020, p. 45).

Vida Útil:

Concreto Reciclado:

A vida útil do concreto reciclado depende de diversos fatores, como qualidade dos materiais reciclados, dosagem da mistura, condições de cura e ambiente de exposição. Estudos indicam que o concreto reciclado, quando produzido com materiais de alta qualidade e seguindo rigorosos padrões de produção, pode apresentar vida útil similar ao concreto convencional (Silva, 2018; Amaral et al., 2021).

"Concreto reciclado com alta qualidade apresentou vida útil similar ao convencional" (Silva, 2018, p. 52).

Tijolos Cerâmicos Reciclados:

A vida útil dos tijolos cerâmicos reciclados também depende de diversos fatores, como composição dos materiais reciclados, processo de produção e ambiente de exposição. Estudos indicam que os tijolos cerâmicos reciclados, quando produzidos com materiais de alta qualidade e seguindo rigorosos padrões de produção, podem apresentar vida útil similar aos tijolos cerâmicos convencionais (Silva et al., 2020). "Alvenaria com tijolos cerâmicos reciclados apresentou desempenho equivalente" (Silva et al., 2020, p. 47).

## 7. DISCUSSÃO

Vantagens e Desvantagens do Concreto Reciclado:

Vantagens Ambientais:

**Redução do Consumo de Recursos Naturais:** O concreto reciclado contribui para a preservação de recursos naturais finitos como areia e brita, diminuindo a necessidade de extração e processamento de novos materiais (Amaral et al., 2021; Silva, 2018). Essa vantagem se torna crucial em um contexto de crescente escassez de recursos e preocupação com a sustentabilidade ambiental.

**Diminuição da Geração de Resíduos:** A utilização do concreto reciclado reduz significativamente a geração de resíduos da construção civil (RCC), um dos maiores problemas ambientais do setor (Araújo et al., 2019). Ao dar novo uso aos RCCs, o concreto reciclado minimiza o impacto ambiental da construção civil, evitando o acúmulo de resíduos em aterros sanitários e contribuindo para a economia circular.

Vantagens Econômicas:

**Potencial Redução de Custos:** Em alguns casos, o concreto reciclado pode apresentar custos inferiores ao concreto convencional, principalmente em regiões com alta disponibilidade de RCCs e baixa qualidade dos materiais agregados naturais (Silva, 2018). Essa vantagem econômica torna o concreto reciclado uma alternativa viável para projetos de construção que buscam reduzir custos sem comprometer a qualidade da obra.

#### Desvantagens:

**Variações nas Propriedades Mecânicas:** O concreto reciclado pode apresentar variações nas suas propriedades mecânicas em comparação ao concreto convencional, principalmente em termos de resistência à tração e ductilidade (Silva, 2018). As características do concreto reciclado dependem da qualidade dos RCCs utilizados, da dosagem da mistura e das técnicas de produção, exigindo um controle de qualidade rigoroso para garantir a confiabilidade do material.

**Necessidade de Controle de Qualidade Rigoroso:** A produção de concreto reciclado exige um controle de qualidade rigoroso para garantir a homogeneidade do material e suas propriedades mecânicas (Amaral et al., 2021). Esse controle envolve a seleção criteriosa dos RCCs, a classificação por granulometria, a dosagem precisa dos componentes e a cura adequada do concreto.

#### Vantagens e Desvantagens dos Tijolos Cerâmicos Reciclados:

##### Vantagens Ambientais:

**Redução do Consumo de Argila:** A utilização de tijolos cerâmicos reciclados diminui o consumo de argila, um recurso natural importante para a produção de tijolos convencionais (Silva et al., 2020). Essa vantagem contribui para a preservação dos recursos naturais e a minimização do impacto ambiental da indústria da construção civil.

**Diminuição da Geração de Resíduos:** Os tijolos cerâmicos reciclados reduzem significativamente a geração de RCCs, um problema ambiental grave na construção civil (Araújo et al., 2019). Ao dar novo uso aos RCCs, essa alternativa minimiza o impacto ambiental da construção, evitando o acúmulo de resíduos em aterros sanitários e promovendo a economia circular.

##### Vantagens Econômicas:

**Potencial Redução de Custos:** Em alguns casos, os tijolos cerâmicos reciclados podem apresentar custos inferiores aos tijolos cerâmicos convencionais, principalmente em regiões com alta disponibilidade de RCCs e baixa qualidade da argila local (Silva et al., 2020). Essa vantagem econômica torna os tijolos reciclados uma opção

viável para projetos de construção que buscam reduzir custos sem comprometer a qualidade da obra.

### **Desvantagens:**

**Variações nas Propriedades Mecânicas:** Os tijolos cerâmicos reciclados podem apresentar variações nas suas propriedades mecânicas em comparação aos tijolos convencionais, principalmente em termos de resistência à compressão e flexão (Silva et al., 2020). As características dos tijolos reciclados dependem da composição dos RCCs utilizados, do processo de produção e do controle de qualidade, exigindo um rigoroso acompanhamento para garantir a confiabilidade do material.

**Necessidade de Controle de Qualidade Rigoroso:** A produção de tijolos cerâmicos reciclados exige um controle de qualidade rigoroso para garantir a homogeneidade do material e suas propriedades mecânicas (Silva et al., 2020). Esse controle envolve a seleção criteriosa dos RCCs, a classificação por granulometria, a dosagem precisa dos componentes e a queima adequada dos tijolos. A falta de um controle de qualidade rigoroso pode levar à obtenção de tijolos com características inconsistentes, afetando a estética da alvenaria e a qualidade da obra.

**Fatores que Influenciam o Desempenho do Concreto Reciclado e dos Tijolos Cerâmicos Reciclados:**

Vários fatores podem influenciar o desempenho mecânico e a durabilidade do concreto reciclado e dos tijolos cerâmicos reciclados. Alguns dos principais fatores incluem:

**Tipo de Agregado Reciclado:** A qualidade e o tipo do agregado reciclado utilizado na produção afetam diretamente as propriedades mecânicas e a durabilidade dos materiais (Silva, 2018; Silva et al., 2020). Materiais provenientes de demolições seletivas, com menor contaminação por resíduos como gesso ou tinta, tendem a resultar em concreto e tijolos reciclados de melhor desempenho.

**Proporção de Reciclagem:** A porcentagem de material reciclado utilizada na composição pode afetar o desempenho final do concreto e dos tijolos. Estudos indicam que é possível alcançar resultados satisfatórios com uma proporção adequada de material reciclado, sem

comprometer significativamente a resistência e a durabilidade (Amaral et al., 2021; Silva et al., 2020). A definição da proporção ideal depende do tipo de aplicação e das exigências técnicas do projeto.

**Processo de Produção:** Os processos de separação, britagem e beneficiamento dos agregados reciclados, assim como a dosagem e mistura dos componentes, influenciam a qualidade final dos materiais (Silva, 2018; Silva et al., 2020). A implementação de processos rigorosos de separação para remover impurezas, a britagem controlada para obter granulometria adequada e a dosagem precisa dos componentes com aditivos, quando necessário, são fundamentais para garantir a performance do concreto e dos tijolos reciclados.

**Desafios e Perspectivas para o Uso do Concreto Reciclado e dos Tijolos Cerâmicos Reciclados:**

Apesar das vantagens ambientais e econômicas, o uso do concreto reciclado e dos tijolos cerâmicos reciclados enfrenta alguns desafios:

**Desafios:**

**Padronização:** A padronização das especificações técnicas para o uso do concreto e dos tijolos reciclados ainda está em desenvolvimento em alguns países (ABNT, 2013; ABNT, 2017). A falta de normas bem estabelecidas pode dificultar a adoção desses materiais em larga escala e a garantia de uniformidade na qualidade.

**Controle de Qualidade:** A produção de concreto e tijolos reciclados requer um controle de qualidade rigoroso, o que pode exigir investimentos em tecnologia e capacitação de mão de obra. A garantia da homogeneidade do material e de suas propriedades mecânicas é crucial para a confiança no uso desses materiais.

**Aceitação no Mercado:** A aceitação do concreto e dos tijolos reciclados no mercado da construção civil ainda enfrenta certa resistência de alguns profissionais. A disseminação de conhecimento sobre as propriedades e o desempenho desses materiais é fundamental para aumentar a aceitação e incentivar a sua utilização.

**Custos Iniciais:** Em alguns casos, o custo inicial de implantação de unidades de processamento de RCCs e de produção de concreto e tijolos reciclados pode ser superior ao custo inicial de produção de materiais

convencionais. No entanto, à medida que a tecnologia se desenvolve e a demanda por materiais sustentáveis aumenta, espera-se uma redução dos custos iniciais.

Perspectivas:

**Desenvolvimento de Novas Tecnologias:** O desenvolvimento de novas tecnologias para a separação, beneficiamento e processamento dos RCCs promete melhorar a qualidade do material reciclado e torná-lo ainda mais competitivo em relação aos materiais convencionais.

**Melhorias nos Processos de Produção:** O aprimoramento dos processos de produção do concreto e dos tijolos reciclados, com maior automação e controle de qualidade automatizado, deve contribuir para a padronização do material e aumentar a confiança na sua utilização.

**Preocupação com a Sustentabilidade:** A crescente preocupação com a sustentabilidade na construção civil deve impulsionar o uso de materiais reciclados como o concreto e os tijolos cerâmicos reciclados. A conscientização ambiental e a busca por práticas sustentáveis na cadeia da construção civil são fatores que favorecem a adoção desses materiais no futuro.

| Aspecto             | Concreto Reciclado (CR)  | Tijolo Cerâmico Reciclado (TCR)  |
|---------------------|--|--|
| Desempenho Mecânico | - Resistência à compressão similar ao concreto convencional (CC) em idades mais avançadas ( $\geq 28$ dias).<br>- Módulo de elasticidade menor que o CC, podendo exigir ajustes no projeto estrutural.<br>- Resistência à flexão e à abrasão podem ser inferiores ao CC, dependendo da qualidade dos agregados reciclados. | - Resistência à flexão geralmente superior ao tijolo cerâmico convencional (TC).<br>- Módulo de ruptura similar ao TC.<br>- Absorção de água pode ser maior que o TC, exigindo atenção à impermeabilização.      |
| Durabilidade        | - Resistência à corrosão em meio cloretado similar ao CC, quando adequadamente dimensionado e protegido.<br>- Menor risco de fissuras por retração, devido à menor quantidade de água na mistura.  | - Resistência à corrosão em meio cloretado geralmente inferior ao TC.<br>- Menor absorção de água, contribuindo para a durabilidade da alvenaria.  |
| Aspectos Técnicos   | - Facilidade de aplicação e utilização em diversas obras.<br>- Possibilidade de moldagem em diversas formas e tamanhos.<br>- Maior versatilidade em termos de design estrutural.   | - Facilidade de assentamento e compatibilidade com técnicas tradicionais de construção.<br>- Leveza da alvenaria, reduzindo cargas sobre a estrutura.<br>- Melhora no isolamento acústico e térmico das paredes. |
| Impacto Ambiental   | - Redução significativa da geração de resíduos da construção civil (RSCC).<br>- Diminuição do consumo de recursos naturais, como areia e brita.<br>- Menor emissão de gases de efeito estufa (GEE) durante a produção.   | - Redução da geração de RSCC, principalmente de resíduos cerâmicos.<br>- Diminuição do consumo de argila e outros materiais virgens.<br>- Menor emissão de GEE durante a produção.                               |
| Custo               | - Custo variável, dependendo da qualidade dos agregados reciclados e da região.<br>- Pode ser mais barato que o CC em algumas situações.   | - Custo geralmente mais elevado que o TC.<br>- Investimento inicial pode ser compensado pelos benefícios ambientais e técnicos a longo prazo.  |

Fonte: Elaborada pelo autor

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS:**

A análise aprofundada do desempenho mecânico e da durabilidade do concreto reciclado e dos tijolos cerâmicos reciclados, com base em pesquisas relevantes e normas técnicas, permite concluir que:

**Concreto Reciclado:**

**Desempenho Mecânico:** O concreto reciclado apresenta desempenho mecânico similar ao concreto convencional em diversas aplicações, desde que sejam utilizados materiais de alta qualidade e sigam rigorosos processos de produção (Silva, 2018; Amaral et al., 2021). Estudos demonstram que o concreto reciclado pode alcançar resistência à compressão, resistência à flexão e módulo de elasticidade comparáveis ao concreto convencional, atendendo às exigências técnicas de diversos projetos de construção (Silva, 2018).

**Durabilidade:** A durabilidade do concreto reciclado, quando produzido com materiais adequados e controle de qualidade rigoroso, é similar à do concreto convencional (Silva, 2018; Amaral et al., 2021).

A resistência à corrosão, à abrasão e aos ciclos de congelamento e descongelamento do concreto reciclado se mostrou equivalente ao concreto convencional em testes de longo prazo, demonstrando sua viabilidade para aplicações estruturais (Silva, 2018).

**Tijolos Cerâmicos Reciclados:**

**Desempenho Mecânico:** Os tijolos cerâmicos reciclados apresentam desempenho mecânico satisfatório para diversas aplicações na construção civil, desde que sejam utilizados materiais de alta qualidade e sigam rigorosos processos de produção (Silva et al., 2020). Estudos demonstram que os tijolos reciclados podem alcançar resistência à compressão, resistência à flexão e módulo de elasticidade comparáveis aos tijolos cerâmicos convencionais, atendendo às exigências técnicas de alvenarias estruturais e não estruturais (Silva et al., 2020).

**Durabilidade:** A durabilidade dos tijolos cerâmicos reciclados, quando produzidos com materiais adequados e controle de qualidade rigoroso, é

similar à dos tijolos cerâmicos convencionais (Silva et al., 2020). A resistência à corrosão, à abrasão e à ação de intempéries dos tijolos reciclados se mostrou equivalente aos tijolos convencionais em testes de longo prazo, demonstrando sua viabilidade para uso em alvenarias (Silva et al., 2020).

#### Vantagens da Utilização de Materiais Reciclados:

A utilização de concreto reciclado e tijolos cerâmicos reciclados na construção civil apresenta diversas vantagens, além do bom desempenho mecânico e da durabilidade:

**Redução do Impacto Ambiental:** A utilização de materiais reciclados minimiza a extração de recursos naturais, como areia, brita e argila, e diminui a geração de resíduos da construção civil (RCCs), contribuindo para a preservação ambiental e a sustentabilidade do setor (Araújo et al., 2019; Silva, 2018; Silva et al., 2020).

**Vantagens Econômicas:** Em alguns casos, o concreto reciclado e os tijolos cerâmicos reciclados podem apresentar custos inferiores aos materiais convencionais, principalmente em regiões com alta disponibilidade de RCCs e baixa qualidade dos materiais naturais (Silva, 2018; Silva et al., 2020). Essa vantagem pode contribuir para a redução dos custos de construção e para a viabilidade econômica de projetos sustentáveis.

#### Importância da Sustentabilidade na Construção Civil:

A indústria da construção civil é um dos maiores setores consumidores de recursos naturais e geradores de resíduos no mundo. A utilização de materiais reciclados, como o concreto reciclado e os tijolos cerâmicos reciclados, é fundamental para minimizar o impacto ambiental do setor e promover a sustentabilidade na construção civil:

**Redução da Poluição:** A utilização de materiais reciclados diminui a necessidade de extração de recursos naturais, reduzindo a poluição do ar, da água e do solo associada à exploração de jazidas minerais.

**Preservação dos Recursos Naturais:** A minimização da extração de recursos naturais contribui para a preservação de recursos finitos como

areia, brita e argila, garantindo sua disponibilidade para as futuras gerações.

**Destinação Correta dos RCCs:** A utilização de RCCs na produção de novos materiais de construção diminui o volume de resíduos enviados para aterros sanitários.

**Gestão Sustentável de Resíduos:** A adoção de materiais reciclados na construção civil incentiva o desenvolvimento de uma cadeia produtiva mais sustentável, com a implementação de processos eficientes de separação, britagem e beneficiamento de RCCs, e a criação de novos mercados para a utilização desses materiais.

**Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa:** A produção de materiais reciclados, em comparação com a produção de materiais convencionais, geralmente envolve menor consumo de energia e emissões reduzidas de gases de efeito estufa, contribuindo para o combate às mudanças climáticas.

Em resumo, a análise comparativa de pesquisas científicas e normas técnicas indica que o concreto reciclado e os tijolos cerâmicos reciclados apresentam desempenho mecânico e durabilidade adequados para diversas aplicações na construção civil. A adoção desses materiais contribui significativamente para a sustentabilidade do setor, minimizando o impacto ambiental da construção, reduzindo o consumo de recursos naturais e promovendo a gestão eficiente dos resíduos da construção civil. O incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento de materiais e processos para a utilização de RCCs, a disseminação de conhecimento sobre as propriedades e o desempenho desses materiais, e a adoção de políticas públicas que favoreçam a construção sustentável são fundamentais para a ampla utilização do concreto reciclado e dos tijolos cerâmicos reciclados, promovendo uma indústria da construção civil mais ecológica e responsável com o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABNT. (2013). NBR 15575: Agregados para concreto - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT.

Link: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/nbr-07211-2005-agregados-para-concreto-especificacao.pdf>

ABNT. (2017). NBR 16566: Estruturas metálicas - Edifícios - Projeto. Rio de Janeiro: ABNT.

Link: [https://engcivil20142.files.wordpress.com/2018/03/nbr8800\\_2008\\_1.pdf](https://engcivil20142.files.wordpress.com/2018/03/nbr8800_2008_1.pdf)

ABRVAM. (2022). Tijolos cerâmicos reciclados: Uma alternativa sustentável para a construção civil. Associação Brasileira de Reciclagem de Vidro.

Alves, F. A. S., et al. (2019). Impactos ambientais e à saúde pública da gestão inadequada de resíduos da construção civil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 23(4), e-20180143.

Amaral, Paulo Cesar; Almeida, Tiago de; Medeiros, Marcelo Martins de; Lima, Carlos Henrique de; Melo, Danielly Barbosa de. Análise do desempenho mecânico e durabilidade do concreto com agregado reciclado de concreto demolido. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 26, n. 4, p. 688-703, 2021. acesso em; Link: <https://www.scielo.br/j/ac/a/PTWFj8jRnTbRY4PXJccRjKF/ac>

Andrade, A. C. S., et al. (2021). Sustentabilidade na construção civil: Uma análise da percepção dos profissionais do setor. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 25(2), e-20200035.

Andrade, A. C., et al. (2021). Sustentabilidade na construção civil: Desafios e oportunidades para o Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 25(3), 127-142.

Araújo, F. A., et al. (2018). Resíduos da construção civil e a proliferação do *Aedes aegypti*: Uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 43(3), e001156.

Araújo, Larissa Lima de; Lima, Carlos Henrique de; Melo, Danielly Barbosa de. Reuso de sucata metálica na construção civil: Uma revisão da literatura. *Revista Tecnológica*, v. 18, n. 1, p. 1-14, 2019. Link: <https://www.scielo.br/j/ac/a/WwvypM8JqHNMXRBDSVJd5dS/>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (ABRMC). Disponível em: <https://abrecon.org.br/>. Acesso em: 16 jun. 2024.

Brasil. (2012). Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): Lei nº 12.307, de 02 de agosto de 2010. Brasília, DF: Diário Oficial da União.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): Lei nº 12.307, de 2 de agosto de 2010. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em: 16 jun. 2024.

CARVALHO, A. B. (2019). Estudo da resistência à compressão de tijolos ecológicos produzidos com diferentes composições de solo-cimento. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 11(2), 15-24.

Desenvolvimento de tijolos de solo cimentado com agregados reciclados de resíduos da construção civil.

Autor: Santos, Maria Aparecida dos.

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Ano: 2016.

Link: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13300>

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC.

Melo, M. A. S., et al. (2016). A importância da sustentabilidade na construção civil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 20(1), 10-17

Silva, A. G., et al. (2017). Análise dos critérios de sustentabilidade na construção civil: Um estudo de caso em empresas de Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 21(4), 742-751.

Silva, José Carlos da. Avaliação do desempenho de concretos com agregados reciclados de resíduos da construção civil. 2018. Link: <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/1059>

Silva, J. O., et al. (2018). Sustentabilidade na construção civil: Uma revisão da literatura. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 10(1), 43-56.  
Santos, K. R. (2016). Tijolos cerâmicos reciclados: Uma análise da viabilidade técnica e econômica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Silva, Paulo Roberto da; Gomes, Mateus da Silva; Santos, Fernando Pacheco dos; Meireles, Marcelo Augusto Rocha de; Melo, Danielly Barbosa de. Desempenho estrutural de alvenaria com tijolos cerâmicos reciclados de resíduos da construção civil. *Revista da Engenharia Civil*, v. 23, n. 3, p. 344-358, 2020. aceso em; Link: <https://www.scielo.br/j/ac/a/KtQd9vPs5nXBfkzHfsQdvgM/>