



ENGENHARIA SUSTENTAVEL

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E
TECNOLOGIAS APLICADAS

ORGANIZADORES

*Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
Thianne Christina Freire de Carvalho
Thiago Aguiar Santos*

**ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE
RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS**



Organizadores

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

Thianne Christina Freire de Carvalho

Thiago Aguiar Santos

**ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE
RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS**

1.^a edição

MATO GROSSO DO SUL
EDITORA INOVAR
2026

Copyright © dos autores.

Todos os direitos garantidos. Este é um livro publicado em acesso aberto, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado. Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons



Editora-chefe: Liliane Pereira de Souza

Diagramação: Editora Inovar

Capa: Juliana Pinheiro de Souza

Revisão de texto: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alexsande de Oliveira Franco
Prof. Dra. Aldenora Maria Ximenes Rodrigues
Prof. Dr. Arlindo Costa
Prof. Dra. Care Cristiane Hammes
Prof. Dra. Carla Araújo Bastos Teixeira
Prof. Dr. Carlos Eduardo Oliveira Dias
Prof. Dr. Claudio Neves Lopes
Prof. Dra. Dayse Marinho Martins
Prof. Dra. Débora Luana Ribeiro Pessoa
Prof. Dra. Elane da Silva Barbosa
Prof. Dr. Francisco das Chagas de Loiola Sousa
Prof. Dr. Gabriel Mauriz de Moura Rocha
Prof. Dra. Geyanna Dolores Lopes Nunes
Prof. Dr. Guilherme Antônio Lopes de Oliveira

Prof. Dra. Ivonalda Brito de Almeida Morais
Prof. Dra. Janine Silva Ribeiro Godoy
Prof. Dr. João Vitor Teodoro
Prof. Dra. Juliana Borchardt da Silva
Prof. Dr. Leonardo Jensen Ribeiro
Prof. Dra. Lina Raquel Santos Araujo
Prof. Dr. Márcio Mota Pereira
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Marcus Vinicius Peralva Santos
Prof. Dra. Nayára Bezerra Carvalho
Prof. Dra. Roberta Oliveira Lima
Prof. Dra. Rúbia Kátia Azevedo Montenegro
Prof. Dra. Susana Copertari
Prof. Dra. Susana Schneid Scherer
Prof. Dr. Sílvio César Lopes da Silva

Este livro passou por avaliação e aprovação às cegas de dois ou mais pareceristas ad hoc.

E57

Engenharia sustentável: reaproveitamento de resíduos e tecnologias aplicadas / Organização de Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim, Thianne Christina Freire de Carvalho, Thiago Aguiar Santos. – Campo Grande/MS: Inovar, 2026. 171p. PDF

Vários autores.

ISBN 978-65-5388-381-9

DOI 10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9

1. Engenharia sustentável. I. Cutrim, Felipe Gabriel Santos Furtado (Organizador). II. Carvalho, Thianne Christina Freire de (Organizadora). III. Santos, Thiago Aguiar (Organizador). IV. Título.

CDD 620

Índice para catálogo sistemático:

I. Engenharia sustentável

Janaina Ramos – Bibliotecária - CRB-8/9166

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra assumem publicamente a responsabilidade pelo seu conteúdo, garantindo que o mesmo é de autoria própria, original e livre de plágio acadêmico. Os autores declaram, ainda, que o conteúdo não infringe nenhum direito de propriedade intelectual de terceiros e que não há nenhuma irregularidade que comprometa a integridade da obra. Os autores assumem integral responsabilidade diante de terceiros, quer de natureza moral ou patrimonial, em razão do conteúdo desta obra. Esta declaração tem por objetivo garantir a transparência e a ética na produção e divulgação do livro. Cumpre esclarecer que o conteúdo é de responsabilidade exclusiva dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião da editora, organizadores da obra ou do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

A coletânea **Engenharia Sustentável: Reaproveitamento de Resíduos e Tecnologias Aplicadas** reúne artigos técnicos e científicos que refletem a diversidade e a inovação presentes nas diferentes áreas da engenharia. Os trabalhos aqui apresentados abordam temas atuais e relevantes, como reaproveitamento de resíduos da construção civil, desenvolvimento de materiais alternativos, eficiência energética, conforto térmico, planejamento urbano e sustentabilidade aplicada.

Cada artigo foi desenvolvido com rigor acadêmico e foco na aplicabilidade prática, evidenciando o papel estratégico da engenharia na busca por soluções sustentáveis e eficientes. A coletânea contempla desde estudos experimentais com materiais reciclados até análises de viabilidade técnica e econômica, bem como aplicações de tecnologias voltadas à otimização de sistemas construtivos e energéticos.

Este livro é destinado a estudantes, professores, pesquisadores e profissionais que buscam compreender e acompanhar as transformações tecnológicas e ambientais que impactam o setor. Ao integrar diferentes abordagens e perspectivas, a obra convida o leitor a refletir sobre o uso consciente dos recursos naturais e a explorar alternativas inovadoras para os desafios contemporâneos da engenharia.

SUMÁRIO

- CAPÍTULO 1** **10**
AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO FILLER CALCÁRIO POR CINZA DE CAROÇO DE JUÇARA EM CONCRETO ASFÁLTICO
Ricardo de Jesus Paixão Lima
Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
Marcus Paulo Coelho Teixeira
Thiago Aguiar Santos
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Thianne Christina Freire de Carvalho
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_001
- CAPÍTULO 2** **27**
REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PISO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL NO CONCRETO
Luan Pinto Sodré
Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
Marcus Paulo Coelho Teixeira
Thiago Aguiar Santos
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Thianne Christina Freire de Carvalho
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_002
- CAPÍTULO 3** **40**
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS PARA USO GERAL
Hyttalo Vinicius Araujo Pinheiro
Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
Marcus Paulo Coelho Teixeira
Thiago Aguiar Santos
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Thianne Christina Freire de Carvalho
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_003
- CAPÍTULO 4** **57**
ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BLOCOS CERÂMICOS PARA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO NO CONCRETO
Euclides Lopes Araújo
Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

Marcus Paulo Coelho Teixeira
Thiago Aguiar Santos
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Thianne Christina Freire de Carvalho
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_004

CAPÍTULO 5 **72**
USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO CLASSE A EM MISTURAS SOLO PARA REFORÇO DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Helom Nogueira Gomes
Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
Marcus Paulo Coelho Teixeira
Thiago Aguiar Santos
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Thianne Christina Freire de Carvalho
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_005

CAPÍTULO 6 **90**
MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS CONSTRUTIVOS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Francisca Rayssa Alves Vitorino
Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
Marcus Paulo Coelho Teixeira
Thiago Aguiar Santos
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Thianne Christina Freire de Carvalho
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_006

CAPÍTULO 7 **106**
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CENTRO DE ENSINO EM SÃO LUÍS – MA

Marcos Wosniak
Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
Marcus Paulo Coelho Teixeira
Thiago Aguiar Santos
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Thianne Christina Freire de Carvalho
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_007

CAPÍTULO 8 **122**
PLANEJAMENTO URBANO E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL: UMA ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO BAIRRO DO JARACATY EM SÃO LUÍS - MA

Gabrielle Silva Marques

José Henrique Lopes Góes

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

Marcus Paulo Coelho Teixeira

Thiago Aguiar Santos

Ronnyel Carlos Cunha Silva

Thianne Christina Freire de Carvalho

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_008

CAPÍTULO 9 **140**
ANÁLISE DO EPS COMO ISOLANTE TÉRMICO PARA CONTAINER HABITACIONAL EM SÃO LUIS-MA

Lucas Silva Pinto

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

Marcus Paulo Coelho Teixeira

Thiago Aguiar Santos

Ronnyel Carlos Cunha Silva

Thianne Christina Freire de Carvalho

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_009

CAPÍTULO 10 **154**
ESTUDO DO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Brendha Victória Rodrigues Batista de Sousa

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

Marcus Paulo Coelho Teixeira

Thiago Aguiar Santos

Ronnyel Carlos Cunha Silva

Thianne Christina Freire de Carvalho

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-381-9_010

SOBRE OS ORGANIZADORES **167**
Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
Thianne Christina Freire de Carvalho
Thiago Aguiar Santos

ÍNDICE REMISSIVO **170**

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO FILLER CALCÁRIO POR CINZA DE CAROÇO DE JUÇARA EM CONCRETO ASFÁLTICO

EVALUATION OF LIMESTONE FILLER REPLACEMENT WITH JUÇARA SEED ASH IN ASPHALT CONCRET

Ricardo de Jesus Paixão Lima

Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
ricardojplima1@hotmail.com

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Avaliar a influência da substituição parcial e total do filler calcário pela cinza do caroço de juçara na produção de concreto asfáltico destinado a pavimentos flexíveis. **Metodologia:** O estudo foi conduzido por meio do método Marshall para determinação do teor ótimo de ligante e avaliação volumétrica das misturas asfálticas. **Resultados:** O teor ótimo encontrado foi de 4,5%. A substituição de 50% apresentou volume de vazios de 3,6%, RBV de 75 e estabilidade de 1109,9 kgf, atendendo à norma DNIT 031/2006. **Conclusão:** A substituição parcial demonstrou viabilidade técnica e potencial aplicação sustentável.

Palavras-chave: Concreto asfáltico; Pavimentação; Método Marshall; Resíduos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the influence of replacing limestone filler with juçara seed ash in asphalt concrete mixtures. **Methodology:** Marshall mix design method was used to determine optimum asphalt content and volumetric properties. **Results:** Optimum asphalt content was 4.5%. The mixture with 50% replacement achieved stability of 1109.9 kgf. **Conclusion:** Partial replacement proved technically viable and environmentally beneficial.

Keywords: Asphalt concrete; Marshall method; Pavement; Biomass ash.

1. Introdução

O cimento é um dos principais materiais utilizados na construção civil, sendo amplamente empregado na produção de concreto, argamassa e diversos outros materiais estruturais. Suas principais matérias-primas são calcário, argila, minério de ferro e gesso, que são processados e moídos até a obtenção de um material finamente pulverizado. Na pavimentação asfáltica, materiais finos podem atuar como filler, ou material de enchimento, cuja função é melhorar a distribuição granulométrica dos agregados e contribuir para o desempenho mecânico da mistura asfáltica.

Apesar de sua ampla utilização, a produção de cimento apresenta impactos ambientais relevantes, principalmente devido ao elevado consumo de energia e às emissões significativas de dióxido de carbono (CO₂) associadas ao processo produtivo. Nesse contexto, o desenvolvimento de alternativas que reduzam o consumo de matérias-primas naturais e as emissões atmosféricas tem se tornado uma importante linha de pesquisa na área de materiais de construção.

Uma das estratégias adotadas consiste na incorporação de resíduos e subprodutos industriais ou agrícolas em materiais de construção. As cinzas provenientes da queima de biomassa, quando adequadamente processadas, podem ser utilizadas como materiais substitutos ou complementares em diferentes aplicações. Além de contribuir para o reaproveitamento de resíduos, algumas cinzas apresentam propriedades pozolânicas, reagindo com compostos presentes no cimento e podendo melhorar características mecânicas e de durabilidade dos materiais.

No contexto da pavimentação asfáltica, a utilização de materiais alternativos como filler pode proporcionar benefícios técnicos, econômicos e ambientais, como a redução do consumo de recursos naturais e a destinação adequada de resíduos. Entretanto, a aplicação desses materiais requer investigação experimental que avalie seu

desempenho em misturas asfálticas e sua conformidade com as especificações técnicas vigentes.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da substituição parcial e total do filler calcário (cimento Portland) pela cinza do caroço da juçara em misturas de concreto asfáltico, analisando seu desempenho com base nos parâmetros estabelecidos pela norma DNIT 031/2006 ES para aplicação em pavimentos flexíveis.

2. Revisão de Literatura

2.1 Construção civil e sustentabilidade

A construção civil é um dos setores mais relevantes para o desenvolvimento econômico e social, sendo responsável pela implantação de infraestrutura urbana, edificações e sistemas de transporte. No entanto, esse setor também se destaca pelo elevado consumo de recursos naturais e pela significativa geração de resíduos e emissões atmosféricas (DARKO et al., 2017).

Estudos indicam que a construção civil é responsável por grande parcela do consumo global de energia, matérias-primas e água, além de contribuir significativamente para a emissão de gases de efeito estufa (SON et al., 2011). Diante desse cenário, cresce o interesse por tecnologias e materiais que reduzam os impactos ambientais associados às atividades construtivas, incluindo o uso de resíduos e subprodutos industriais ou agrícolas em materiais de construção (ROQUE; PIERRI, 2019).

2.2 Pavimentação rodoviária

A pavimentação rodoviária desempenha papel fundamental na infraestrutura de transportes, garantindo mobilidade, segurança e eficiência no deslocamento de pessoas e mercadorias. No Brasil, o

transporte rodoviário representa a principal forma de circulação de cargas e passageiros, o que torna a qualidade das rodovias um fator estratégico para o desenvolvimento econômico (GUIZZARDI, 2021).

Os pavimentos rodoviários são estruturas compostas por diferentes camadas de materiais, projetadas para suportar as cargas provenientes do tráfego e distribuí-las adequadamente ao subleito. Essas camadas incluem revestimento, base, sub-base e subleito, cada uma desempenhando funções específicas para garantir a durabilidade e o desempenho da via (DNIT, 2006).

Entre os materiais utilizados no revestimento, destaca-se o concreto asfáltico, constituído por agregados minerais e ligante asfáltico. Esse material apresenta propriedades de resistência, flexibilidade e impermeabilidade, sendo amplamente empregado em pavimentos flexíveis (BALBO, 2015).

2.3 Método Marshall

O método Marshall é um dos procedimentos mais utilizados para a dosagem de misturas asfálticas, sendo amplamente aplicado em projetos de pavimentação rodoviária. Esse método baseia-se na compactação de corpos de prova cilíndricos em laboratório, permitindo determinar parâmetros importantes como estabilidade, fluxo e características volumétricas da mistura (SILVA; GOMES, 2015).

Por meio da análise desses parâmetros, é possível identificar o teor ótimo de ligante asfáltico capaz de proporcionar equilíbrio entre estabilidade, durabilidade e resistência à deformação permanente. Dessa forma, o método Marshall constitui uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento e avaliação de misturas asfálticas (CARVALHO, 2018).

2.4 Utilização de resíduos na construção civil

A utilização de resíduos sólidos na construção civil tem sido amplamente investigada como alternativa para reduzir impactos ambientais e promover o reaproveitamento de materiais. No Brasil, milhões de toneladas de resíduos são geradas anualmente, sendo que parte significativa ainda é destinada de forma inadequada (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

Nesse contexto, a incorporação de resíduos em materiais de construção pode contribuir para a redução do consumo de matérias-primas naturais e para a diminuição da geração de resíduos sólidos (QUEIROZ, 2010).

Entre os resíduos com potencial de aplicação destaca-se o caroço da juçara (*Euterpe edulis*), subproduto gerado após o processamento do fruto. Esse material apresenta características físicas e químicas que permitem sua utilização em diferentes aplicações industriais, incluindo materiais de construção (FERREIRA, 2019).

2.5 Utilização de cinzas como filler em misturas asfálticas

A cinza proveniente da queima de biomassa é um subproduto rico em compostos minerais, como sílica e alumina, que podem contribuir para o desempenho de misturas asfálticas. Diversos estudos indicam que a incorporação dessas cinzas como filler pode melhorar a estabilidade e a resistência das misturas, além de promover o reaproveitamento de resíduos (LACERDA, 2013).

Além dos benefícios técnicos, a utilização de cinzas em pavimentação contribui para a redução do impacto ambiental associado ao descarte de resíduos e à extração de matérias-primas naturais, estando alinhada aos princípios da economia circular (CABRAL, 2007).

Nesse sentido, a substituição parcial de materiais convencionais por cinzas de biomassa representa uma alternativa promissora para o desenvolvimento de pavimentos mais sustentáveis, desde que sejam

realizados estudos experimentais que avaliem o desempenho das misturas e sua conformidade com as normas técnicas aplicáveis.

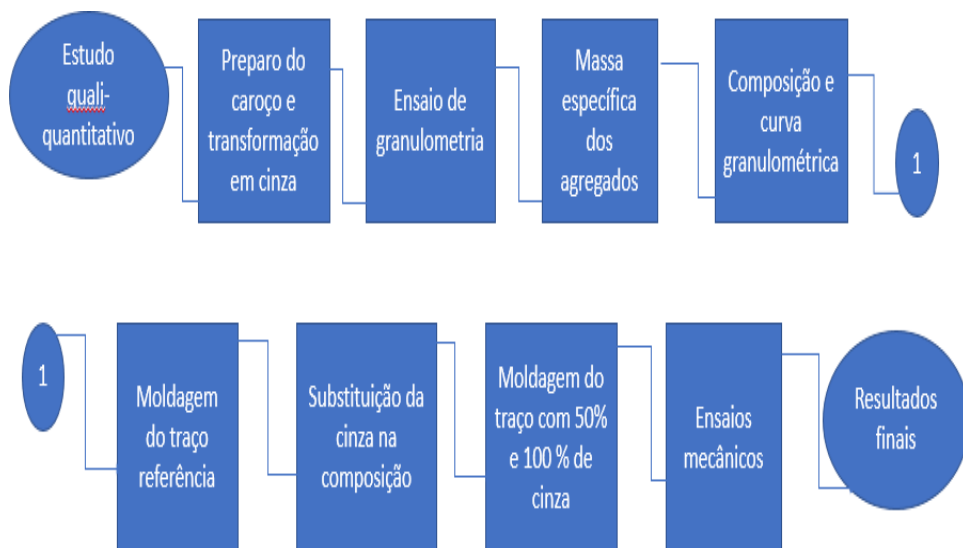
3. Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

O presente estudo possui caráter experimental, com abordagem quali-quantitativa, sendo desenvolvido no Laboratório de Materiais da Universidade Ceuma, campus Renascença, em São Luís – MA. A pesquisa baseou-se em revisão bibliográfica e na realização de ensaios laboratoriais para avaliar a influência da substituição do filler convencional em misturas de concreto asfáltico.

Os materiais utilizados nos ensaios foram brita 1", brita 0", pó de brita, areia e filler de cimento Portland CP-IV, fornecidos pelo laboratório da instituição. O resíduo de caroço de juçara foi coletado em feiras da região metropolitana de São Luís e posteriormente processado para obtenção da cinza utilizada como material substituto.

Inicialmente foi desenvolvido um traço de referência para determinação do teor ótimo de ligante asfáltico. A partir desse traço foram elaboradas misturas com substituição do filler convencional pela cinza de caroço de juçara nos percentuais de 50% e 100%, permitindo a avaliação comparativa do desempenho das misturas asfálticas. O fluxograma das etapas experimentais encontra-se apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Autores (2025)

3.1 Preparação do caroço da juraça

O resíduo de caroço de juraça foi coletado em feiras da região metropolitana de São Luís – MA e encaminhado ao Laboratório de Materiais da Universidade Ceuma para processamento. Inicialmente, o material foi lavado em água corrente para remoção de resíduos de polpa e posteriormente submetido à secagem ao ar.

Após a secagem, os caroços foram incinerados em forno mufla a 400 °C durante uma hora para obtenção da cinza. O material resultante foi resfriado por 24 horas, moído em almofariz e peneirado em malha de 0,075 mm, visando obter partículas com características adequadas para utilização como filler em misturas asfálticas.

3.2 Ensaio Laboratoriais

Os ensaios experimentais foram realizados conforme os procedimentos estabelecidos na norma DNIT 031/2006 – ES, para

avaliação do desempenho de misturas de concreto asfáltico destinadas a pavimentos flexíveis.

Foram realizados os seguintes ensaios de caracterização dos materiais:

- análise granulométrica dos agregados (DNER-ME 083/98);
- massa específica dos agregados miúdos (DNER-ME 194/98);
- absorção e massa específica dos agregados graúdos (DNER-ME 195/97);
- massa específica do material finamente pulverizado (DNER-ME 085/94);
- caracterização volumétrica das misturas (DNER-ME 043/95);
- ensaio de estabilidade Marshall (DNER-ME 043/95).

3.3 Dosagem das misturas asfálticas

A dosagem das misturas asfálticas foi realizada pelo método Marshall. Inicialmente foi definido um traço de referência utilizando filler de cimento Portland CP-IV. A partir do traço foram produzidas misturas com substituição do filler pela cinza de caroço de juçara nos percentuais 50% e 100%.

Os corpos de prova foram preparados a partir da mistura de agregados e ligante asfáltico em temperaturas previamente estabelecidas. Cada amostra foi compactada em moldes Marshall com 75 golpes por face, totalizando 150 golpes por corpo de prova.

3.4 Caracterização Volumétrica e estabilidade

Após a compactação e resfriamento, os corpos de prova foram submetidos à caracterização volumétrica por pesagem hidrostática, permitindo a determinação de parâmetros como densidade aparente, volume de vazios (Vv), vazios nos agregados minerais (VAM), vazios cheios de betume (VCB) e relação betume-vazios (RBV).

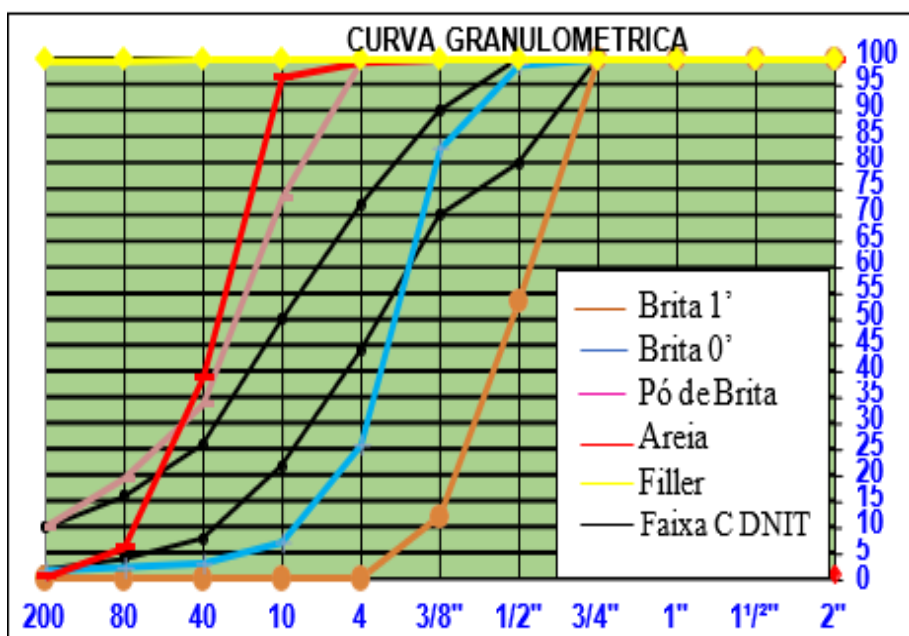
A resistência das misturas foi avaliada por meio do ensaio de estabilidade Marshall. Para isso, os corpos de prova foram condicionados em banho-maria a 60 °C e posteriormente submetidos à compressão até a ruptura, sendo registrada a carga máxima suportada pela amostra.

3.5 Resultados e discussão

3.5.1 Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica dos agregados utilizados na pesquisa indicaram comportamentos distintos entre os materiais graúdos e miúdos. As britas apresentaram maior retenção nas peneiras de maior abertura, enquanto o pó de brita e a areia apresentaram maior percentual de material passante nas peneiras de menor abertura, conforme se observa no gráfico 1.

Gráfico 1 – Análise Granulométrica



Fonte: Autores (2025)

A partir desses resultados foi definida a composição granulométrica da mistura, de modo a enquadrar a curva granulométrica na faixa “C” estabelecida pela norma DNIT 031/2006 para concreto asfáltico utilizado em camada de rolamento. O enquadramento granulométrico obtido indica que a combinação dos agregados apresenta distribuição adequada para aplicação em pavimentos flexíveis.

3.5.2 Massa específica dos agregados

Os ensaios de massa específica foram realizados para os agregados graúdos, miúdos, filler de cimento e cinza de caroço de juçara. Os valores obtidos apresentaram resultados compatíveis com os observados na literatura para materiais utilizados em misturas asfálticas.

Observou-se que a cinza de caroço de juçara apresentou massa específica inferior à do cimento Portland, característica esperada devido à natureza orgânica do material. Essa diferença pode influenciar na composição volumétrica da mistura asfáltica, sendo considerada no processo de dosagem.

3.5.3 Determinação do teor ótimo de ligante

A dosagem das misturas asfálticas foi realizada pelo método Marshall, utilizando diferentes teores de ligante asfáltico (3,5%, 4%, 4,5%, 5,% e 5,5%). A análise dos parâmetros volumétricos e da estabilidade Marshall permitiu identificar o teor de ligante que proporciona o melhor equilíbrio entre estabilidade, durabilidade e resistência à deformação, conforme se observa no quadro 1.

Quadro 1 – Traço Referência

TRAÇO REFERÊNCIA	Média do ensaio				
TEOR DE CAP	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Peso ao Ar do Cp (g)	1195,97	1192,06	1186,43	1181,25	1166,66
Peso imerso do cp (g)	715,11	716,92	713,77	709,54	700,14
Volume do Cp (ml)	480,86	475,14	472,66	471,71	466,52
Densidade aparente (g/cm ³)	2,487	2,509	2,510	2,504	2,501
Volume de vazio (%)	5,4	3,9	3,0	2,5	1,9
Densidade Teórica (g/cm ³)	2,630	2,610	2,589	2,568	2,548
Vazio cheio de Betumo (VCB)	8,45	9,74	10,97	12,16	13,35
Vazio de agregado mineral(VAM)	13,88	13,62	14,01	14,64	15,21
Relação de Betumo vazio(RBV)	60,88	71,54	78,25	83,05	87,81
Leitura (kg)	967,0	989,0	1141,5	939,5	750,5
fator de correcao	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06
Estabilidade Corrigida(kgf)	1015,4	1043,4	1210,0	995,9	795,5

Fonte: Autores (2025)

Os resultados indicaram que o teor de 4,5% apresentou o melhor desempenho geral, sendo definido como teor ótimo de ligante para a mistura de referência. A partir desse valor foram produzidos os corpos de prova com substituição do filler convencional pela cinza de caroço de juçara.

3.5.4 Avaliação das misturas com substituição de filler

A avaliação do desempenho das misturas asfálticas foi realizada comparando-se o traço de referência com as misturas contendo substituição de 50% e 100% do filler convencional pela cinza de caroço de juçara. O quadro 7 apresenta os resultados.

Quadro 7 – Traços com Substituição de Cinza

TRAÇOS COM % DE CINZA	50%	100%
TEOR DE CAP	4,5	4,5
Peso ao Ar do Cp (g)	1188,6	1186,4
Peso imerso do cp (g)	712,2	700,3
Volume do Cp (ml)	476,4	486,1
Densidade aparente (g/cm ³)	2,495	2,441
Volume de vazio (%)	3,6	5,7
Densidade Teórica (g/cm ³)	2,589	2,589
Vazio cheio de Betumo (VCB)	10,90	10,66
Vazio de agregado mineral(VAM)	14,53	16,40
Relação de Betumo vazio(RBV)	75,00	65,03
Leitura (kg)	1052,0	800,5
fator de correcao	1,06	1,04
Estabilidade Corrigida(kgf)	1109,9	832,5

Fonte: Autores (2025)

Para a mistura com substituição de 50%, foram obtidos valores de volume de vazios (Vv) de 3,6%, relação betume-vazios (RBV) de 75 e estabilidade Marshall de 1109,9 kgf. Esses valores atendem aos limites estabelecidos pela norma DNIT 031/2006 para misturas asfálticas utilizadas em pavimentos flexíveis.

Já a mistura com substituição total do filler apresentou volume de vazios de 5,7%, relação betume-vazios de 65 e estabilidade de 832,5 kgf. Embora a estabilidade permaneça acima do valor mínimo exigido pela norma (500 kgf), os parâmetros volumétricos indicaram desempenho inferior quando comparados à substituição parcial.

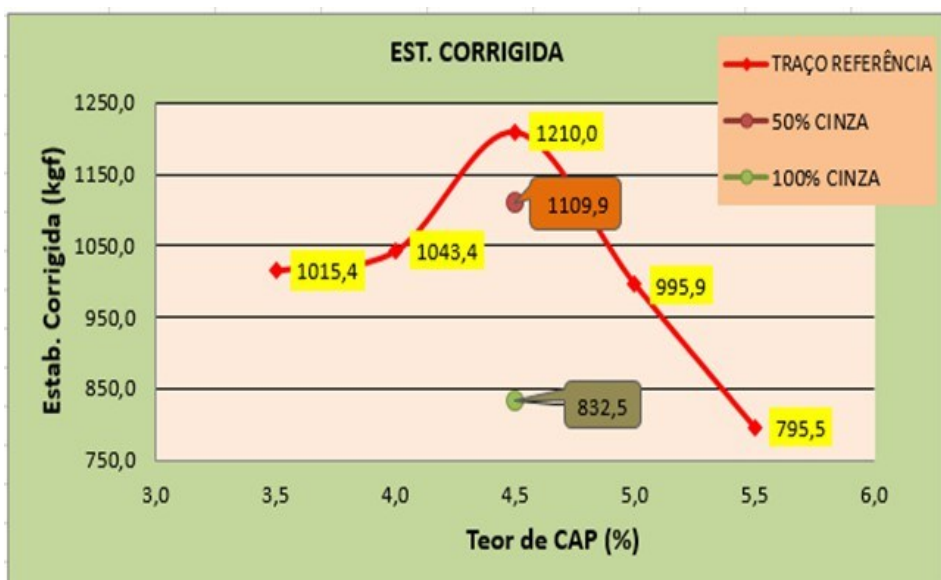
Os resultados indicam que a substituição parcial do filler por cinza de caroço de juçara apresenta desempenho satisfatório e potencial de aplicação em misturas asfálticas, contribuindo para o

reaproveitamento de resíduos e redução do uso de materiais convencionais.

3.5.4 Estabilidade

A estabilidade Marshall é um parâmetro utilizado para avaliar a resistência das misturas asfálticas à deformação permanente, sendo fundamental para a determinação do teor ótimo de ligante asfáltico (CAP). Os resultados obtidos são apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Estabilidades



Fonte: Autores (2025)

Observa-se que o traço de referência apresentou comportamento típico com curva convexa e valores de estabilidade superiores ao limite mínimo de 500 kgf estabelecido pela norma DNIT 031/2006. O ponto máximo da curva ocorreu no teor de 4,5% de CAP, definido como teor ótimo de projeto.

Com base nesse teor foram moldados os corpos de prova com substituição do filler por cinza de caroço de juçara. A mistura com 50% de substituição apresentou estabilidade de 1109 kgf, enquanto a

substituição 100% apresentou 832 kgf. Ambos os resultados atenderam aos requisitos da norma, indicando viabilidade técnica da utilização da cinza como filler em misturas asfálticas.

4 Considerações Finais

A utilização de materiais alternativos na construção civil tem ganhado destaque, especialmente na pavimentação, devido à necessidade de reduzir impactos ambientais e promover o reaproveitamento de resíduos. Neste estudo, avaliou-se a utilização da cinza do caroço de juçara como substituição do filler convencional em misturas asfálticas.

Os resultados indicaram que as composições granulométricas das misturas com 50% e 100% de substituição atenderam aos limites estabelecidos pela norma DNIT ES 031/2006, faixa "C". Entretanto, na análise dos parâmetros volumétricos, verificou-se que apenas a mistura com 50% de substituição apresentou resultados satisfatórios para volume de vazios (Vv) e relação betume-vazios (RBV).

Os valores de estabilidade Marshall foram superiores ao limite mínimo de 500 kgf para todas as misturas avaliadas, indicando que a incorporação da cinza não comprometeu a resistência da mistura asfáltica.

Dessa forma, conclui-se que a substituição parcial do filler por cinza de caroço de juçara apresenta viabilidade técnica, contribuindo para o reaproveitamento de resíduos e para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis na pavimentação. Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se avaliar teores intermediários de substituição entre 50% e 100%, a fim de verificar o enquadramento dos parâmetros volumétricos da mistura.

Referências Bibliográficas

- AFONSO, Márcia Isabel Lopes. *Pavimentos betuminosos permeáveis na mitigação e adaptação às alterações climáticas*. 2021.
- ALENCAR, L. H.; SANTANA, M. O. Análise do gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 1, n. 1, p. 74–92, 2011.
- ALVES, Nádia Bárbara Pedro. *Dimensionamento de pavimentos rodoviários: comparação entre diferentes metodologias*. 2016. Tese (Doutorado).
- ASSIS, M. V. L. *Análise de viabilidade técnica entre pavimento flexível e rígido para duplicação da rodovia BR-381*. 2018.
- BALBO, José Tadeu. *Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- BASTOS, Leopoldo Pacheco et al. Simulação com painéis de fibra de açaí para melhoria da inteligibilidade da fala em sala de aula. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 45-63, 2021.
- BOCK, André Luiz. *Efeitos da incorporação de cal hidratada em concretos asfálticos elaborados com ligante convencional e modificado*. 2012.
- BRASILEIRO, Luzana Leite; MATOS, José Milton Elias de. Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.
- BROCHADO, Matheus Matos Lapesqueur. *Estudo da viabilidade do asfalto pré-misturado a frio em rodovias de médio e baixo tráfego*. 2014.
- CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. *Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados*. 2007. Tese (Doutorado).
- CAVALCANTE, Amanda Alves. *Patologias em pavimentos flexíveis*. 2021.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. *Somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada*. 2022. Disponível em: <https://www.cnt.org.br>.
- CUNHA, Tayana Mara Freitas da et al. *Estudo do comportamento físico, químico e reológico de ligante asfáltico modificado com polímero*. 2011.

- DARKO, A. et al. Drivers for implementing green building technologies: an international survey of experts. **Journal of Cleaner Production**, v. 145, p. 386-394, 2017.
- DE ALMEIDA, L. C. *Técnicas de conservação e reabilitação para pequenas reparações de pavimentos rodoviários*. 2013.
- DE LACERDA, Evando. *Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar como biomassa e sua cinza como agregado miúdo em concreto*. 2013.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de pavimentação*. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006.
- FERREIRA, Taiana da Silva et al. Análise das propriedades tecnológicas da cinza do caroço de açaí na cerâmica vermelha. 2019.
- GUIZZARDI, J. E. *Projeto mecânico de carrossel de fadiga para avaliação de estruturas de pavimento rodoviário*. 2021.
- JOHN, Vanderley M. Materiais de construção e o meio ambiente. In: ISAIA, G. *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010.
- LOPES, Matheus Machado. *Comportamento físico-mecânico de solos reforçados com fibras de açaí*. 2019.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. Brasília, 2019.
- ROQUE, Rodrigo Alexandre Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 2, 2019.
- SILVA, Roberto Peres. *Utilização do caroço do açaí na produção de tijolos nas olarias da cidade de Imperatriz-MA*. 2018.
- SON, H. et al. Implementing sustainable development in the construction industry. **Sustainable Development**, v. 19, n. 5, p. 337-347, 2011.

CAPÍTULO 2

REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PISO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL NO CON- CRETO

*REUSE OF CERAMIC FLOOR WASTE AS MINOR AGGREGATE IN PARTIAL
REPLACEMENT IN CONCRETE*

Luan Pinto Sodré

Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
luan93947@ceuma.com.br

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Avaliar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduo de piso cerâmico triturado em concretos. **Metodologia:** Foram produzidos corpos de prova com substituições de 15%, 30% e 50%, avaliando-se a resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias. **Resultados:** Observou-se aumento de resistência com o incremento do teor de substituição, atingindo 29,25 MPa para 50% aos 28 dias. **Conclusão:** O uso do resíduo cerâmico mostrou-se tecnicamente viável, contribuindo para sustentabilidade e redução de resíduos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Concreto; Agregado reciclado; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the feasibility of partially replacing natural fine aggregate with crushed ceramic floor waste in concrete. **Methodology:** Specimens were produced with 15%, 30%, and 50% replacement, tested at 7, 14, and 28 days. **Results:** An increase in compressive strength was observed, reaching 29.25 MPa at 50% replacement after 28 days. **Conclusion:** The use of ceramic waste proved technically viable and environmentally beneficial.

Keywords: Solid waste; Concrete; Recycled aggregate; Sustainability.

1. Introdução

A construção civil desempenha papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, sendo responsável pela geração de empregos, infraestrutura e melhoria das condições habitacionais. Entretanto, o setor também se destaca pelo elevado consumo de recursos naturais e pela significativa geração de resíduos sólidos, especialmente os resíduos de construção e demolição (RCD).

O crescimento urbano acelerado e a constante demanda por novas edificações intensificam a produção desses resíduos, que, quando não recebem destinação adequada, são frequentemente

descartados de forma irregular em vias públicas, terrenos baldios e áreas ambientalmente sensíveis. Esse cenário contribui para problemas como poluição do solo, obstrução de sistemas de drenagem, proliferação de vetores de doenças e degradação da paisagem urbana.

Dentre os resíduos gerados pela construção civil, destacam-se os materiais cerâmicos provenientes de revestimentos, como pisos e azulejos, classificados como resíduos classe A, com elevado potencial de reutilização. Paralelamente, a crescente exploração de recursos naturais, como a areia utilizada como agregado miúdo no concreto, tem gerado preocupações quanto à sua disponibilidade futura, além de impactos ambientais associados à sua extração.

Nesse contexto, a reutilização de resíduos cerâmicos como agregados reciclados apresenta-se como uma alternativa promissora, alinhada aos princípios da sustentabilidade e da economia circular. A incorporação desses materiais em concretos pode reduzir a demanda por recursos naturais, minimizar o volume de resíduos destinados a aterros e contribuir para práticas construtivas mais sustentáveis.

Diversos estudos têm demonstrado que agregados reciclados podem apresentar desempenho mecânico satisfatório, dependendo das características do material e do teor de substituição empregado. No caso dos resíduos cerâmicos, sua composição mineralógica e sua textura superficial podem favorecer a aderência com a matriz cimentícia, influenciando positivamente propriedades como a resistência à compressão.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduo de piso cerâmico triturado na produção de concreto, analisando o comportamento mecânico por meio de ensaios de resistência à compressão. Busca-se, assim, contribuir para o desenvolvimento de soluções sustentáveis na construção civil, aliando desempenho técnico à redução de impactos ambientais.

2. Revisão de Literatura

2.1 Resíduos na construção civil

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002, os resíduos de construção e demolição (RCD) são aqueles provenientes de obras de construção, reformas, demolições, bem como de processos de escavação e movimentação de solo. Esses resíduos representam uma parcela significativa dos resíduos sólidos urbanos, sendo a construção civil responsável por cerca de metade de sua geração no Brasil.

Apesar do elevado potencial de reciclagem, estimado em até 98%, apenas uma pequena fração desses resíduos é efetivamente reaproveitada, evidenciando a necessidade de melhoria nos sistemas de gestão e reutilização (VG RESÍDUOS, 2020). O descarte inadequado desses materiais contribui para impactos ambientais relevantes, como degradação da paisagem urbana, obstrução de sistemas de drenagem, poluição do solo e proliferação de vetores de doenças (KARPINSKI et al., 2009).

Nesse contexto, a reciclagem de RCD surge como alternativa viável para reduzir os impactos ambientais e promover o reaproveitamento de materiais. A utilização de usinas móveis de reciclagem permite a transformação desses resíduos em agregados reutilizáveis, reduzindo custos operacionais e contribuindo para práticas mais sustentáveis na construção civil.

2.2 Classificação dos resíduos da construção civil

A classificação dos resíduos da construção civil é estabelecida pela Resolução CONAMA nº 307/2002, que os divide em quatro classes: A, B, C e D. Os resíduos de classe A incluem materiais reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como concreto, argamassa e materiais cerâmicos.

Essa classificação é fundamental para orientar o gerenciamento adequado dos resíduos, possibilitando sua reutilização em novas aplicações e reduzindo a necessidade de disposição final em aterros. No caso específico dos resíduos cerâmicos, sua classificação como classe A evidencia seu potencial para reaproveitamento em materiais de construção, especialmente como agregados reciclados.

2.3 Sustentabilidade na construção civil

A construção civil apresenta impactos ambientais em todas as etapas de seu ciclo produtivo, desde a extração de matérias-primas até a demolição das estruturas. Nesse cenário, a adoção de práticas sustentáveis torna-se essencial para reduzir o consumo de recursos naturais e minimizar a geração de resíduos.

A implementação de tecnologias construtivas mais limpas, como sistemas industrializados e processos que reduzem desperdícios, tem contribuído para a melhoria da eficiência do setor. No entanto, a adoção dessas práticas ainda ocorre de forma limitada no Brasil, sendo necessária maior integração entre inovação tecnológica e gestão ambiental.

Segundo Carneiro (2001), o desenvolvimento sustentável na construção civil depende de mudanças estruturais em toda a cadeia produtiva, incluindo a adoção de materiais alternativos e o reaproveitamento de resíduos.

2.4 Demanda por recursos naturais

A construção civil é responsável por elevado consumo de recursos naturais, sendo um dos setores que mais demandam matérias-primas no mundo. No Brasil, estima-se que cerca de 75% dos recursos naturais extraídos sejam destinados à construção civil (CBCS, 2007).

Entre esses recursos, destaca-se a areia, amplamente utilizada como agregado miúdo na produção de concreto. Estudos indicam que a demanda global por areia pode aumentar significativamente nas próximas décadas, o que pode levar à escassez desse recurso (LEIDEN UNIVERSITEIT, 2022).

Diante desse cenário, torna-se necessário desenvolver alternativas que reduzam a dependência de recursos naturais, como a utilização de materiais reciclados na produção de concretos.

2.5 Agregados na construção civil

Os agregados são materiais fundamentais na produção de concreto, representando a maior parte de sua composição. Esses materiais são responsáveis por conferir resistência mecânica, estabilidade dimensional e redução de custos ao concreto.

Os agregados miúdos, como a areia, desempenham papel essencial no preenchimento dos vazios entre os agregados graúdos, contribuindo para a compacidade e durabilidade do material. No entanto, a extração intensiva de areia tem gerado impactos ambientais significativos, reforçando a necessidade de alternativas sustentáveis.

2.6 Agregados reciclados

Os agregados reciclados são obtidos a partir do processamento de resíduos de construção e demolição, podendo ser utilizados em diversas aplicações na construção civil. De acordo com a ABNT NBR 9935/2011, esses materiais podem substituir parcial ou totalmente os agregados naturais, dependendo de suas características físicas e mecânicas.

A utilização de agregados reciclados contribui para a redução do volume de resíduos descartados e para a diminuição da extração de recursos naturais. Além disso, pode proporcionar benefícios

econômicos, uma vez que o reaproveitamento de resíduos pode reduzir custos de produção.

2.7 Reutilização de resíduos cerâmicos

Os resíduos cerâmicos, como pisos e revestimentos, são amplamente gerados na construção civil e apresentam elevado potencial de reaproveitamento. Esses materiais podem ser triturados e utilizados como agregados reciclados em concretos e argamassas.

De acordo com a classificação do CONAMA, os resíduos cerâmicos pertencem à classe A, podendo ser reutilizados ou reciclados. Sua utilização como agregado miúdo representa uma alternativa promissora para reduzir a demanda por areia natural e minimizar impactos ambientais.

Além disso, a reutilização desses materiais contribui para a economia circular, promovendo o reaproveitamento de resíduos e a redução do consumo de recursos naturais, alinhando-se às diretrizes de sustentabilidade na construção civil.

3. Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

3.1 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa possui caráter experimental, desenvolvida a partir de um estudo de caso no bairro Vila Palmeira, em São Luís–MA, área caracterizada pela ocorrência de descarte irregular de resíduos de construção civil .

Inicialmente, foi realizada revisão bibliográfica em livros, artigos científicos, dissertações e normas técnicas, com foco na reutilização de resíduos cerâmicos como agregados na produção de concreto. Em seguida, procedeu-se à coleta de resíduos de placas cerâmicas descartadas na área de estudo, os quais foram submetidos a processos de limpeza, secagem e beneficiamento.

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

O material coletado foi submetido à trituração manual e posterior peneiramento, obtendo-se agregado miúdo reciclado com granulometria entre 0,075 mm e 2,00 mm, compatível com sua aplicação em concretos.

Na sequência, foram definidos os traços experimentais com base em dosagem obtida por meio do software Dosador.exe, adotando-se a substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado reciclado (A.R.) nos teores de 15%, 30% e 50%, além de um traço de referência. A composição dos traços encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Traços utilizados para moldagem de corpos de prova

TRAÇO PARA CONCRETO UTILIZADO (1:1,63:2,94:0,49)					
Concreto	Cimento (g)	Areia natural (g)	Agregado Reciclado (g)	Brita 1 (g)	Água (L)
Referência	619	1008,97	0	1820	0,30
15% A.R.	619	857,62	151,35	1,820	0,30
30% A.R.	619	706,28	302,69	1,820	0,30
50% A.R.	619	504,49	504,48	1,820	0,30

Foram moldados 36 corpos de prova cilíndricos (10 × 20 cm), conforme a ABNT NBR 5738, utilizando traço 1:1,63:2,94:0,49 (cimento: agregado: brita: relação água/cimento). Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos à cura úmida e ensaiados à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 5739.

Os ensaios de compressão foram realizados conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 5739/2018, utilizando prensa hidráulica com acionamento elétrico, no laboratório de materiais da Universidade Ceuma.

3.2 Resultados e Discussão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão demonstraram influência direta do teor de substituição do agregado miúdo natural por resíduo cerâmico no desempenho mecânico do concreto, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado dos ensaios de compressão

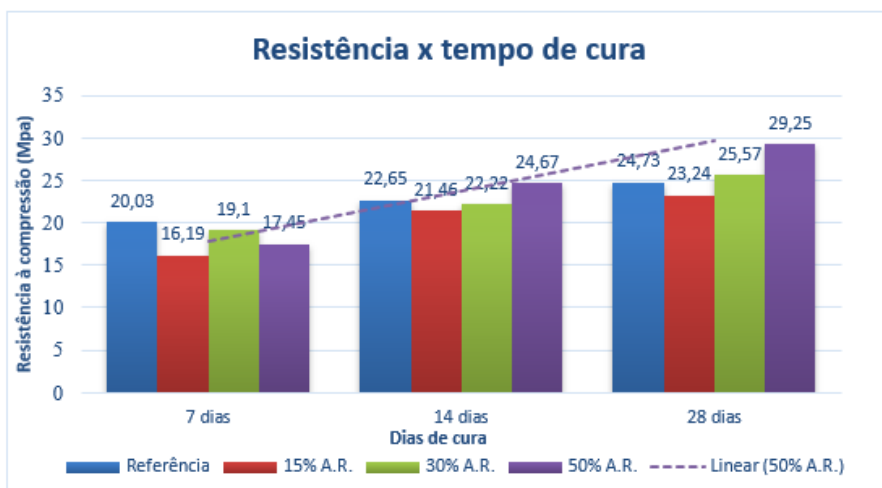
IDADE	TRAÇO	PESO INICIAL (g)	PESO PÓS-CURA (g)	MÉDIA DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPA)
7 dias	Referência	3807	3837	20,03
	15% A.R.	3770	3803	16,19
	30% A.R.	3780	3817	19,10
	50% A.R.	3713	3747	17,45
14 dias	Referência	3800	3830	22,65
	15% A.R.	3800	3833	21,46
	30% A.R.	3773	3810	22,22
	50% A.R.	3747	3777	24,67
28 dias	Referência	3817	3860	24,73
	15% A.R.	3820	3860	23,24
	30% A.R.	3777	3807	25,57
	50% A.R.	3723	3770	29,25

Observou-se aumento progressivo da resistência com o incremento do teor de substituição. Aos 7 dias, os valores já indicavam desempenho satisfatório para todas as misturas, com destaque para o traço com maior teor de resíduo.

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

Aos 14 dias, verificou-se continuidade no ganho de resistência, mantendo a tendência de superioridade das misturas com maior percentual de substituição. Esse comportamento se consolidou aos 28 dias, quando o traço com 50% de substituição apresentou resistência de 29,25 MPa, superior ao concreto de referência (24,73 MPa), conforme observa-se no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resistência obtida x o tempo de cura



O aumento da resistência pode estar associado às características físicas do resíduo cerâmico, especialmente sua maior rugosidade superficial, que favorece a aderência entre o agregado e a pasta de cimento.

Além disso, a granulometria do material reciclado contribuiu para melhor acomodação das partículas na matriz do concreto, promovendo maior compactação e redução de vazios.

A comparação entre os traços evidencia que a substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduo cerâmico não apenas manteve o desempenho do concreto, como também proporcionou melhoria em determinados teores.

O traço com 15% de substituição apresentou comportamento semelhante ao concreto convencional, enquanto os traços com 30% e 50% apresentaram ganhos progressivos de resistência.

Esse resultado indica que o uso do resíduo cerâmico é tecnicamente viável, especialmente em níveis mais elevados de substituição, sem comprometer as propriedades mecânicas do material.

Sob o aspecto ambiental, essa substituição contribui para a redução da extração de recursos naturais, como a areia, e para o reaproveitamento de resíduos que seriam descartados de forma inadequada.

4. Considerações Finais

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduo de piso cerâmico é tecnicamente viável na produção de concreto.

A análise dos ensaios de resistência à compressão indicou que, embora as misturas com agregados reciclados apresentem desempenho inicial inferior ao concreto convencional, ocorre ganho progressivo de resistência ao longo do tempo de cura. Aos 28 dias, os traços com 30% e 50% de substituição apresentaram resistência superior ao traço de referência, com destaque para o teor de 50%, que atingiu o melhor desempenho mecânico.

Esses resultados evidenciam que o resíduo cerâmico pode atuar de forma eficiente como agregado miúdo, contribuindo para a melhoria da aderência na matriz cimentícia e para a compacidade da mistura. Além disso, sua utilização representa uma alternativa sustentável, reduzindo a demanda por recursos naturais e promovendo o reaproveitamento de resíduos da construção civil.

Dessa forma, conclui-se que a incorporação de resíduo cerâmico em concretos apresenta potencial para aplicação em obras de engenharia, especialmente em níveis de substituição de até 50%, sem comprometimento das propriedades mecânicas.

Como recomendação para estudos futuros, sugere-se a investigação de propriedades adicionais, como durabilidade, absorção de água e comportamento em longo prazo, bem como a análise de teores de substituição superiores, visando ampliar o conhecimento sobre o uso de agregados reciclados na construção civil.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM). **Informações técnicas: definição e classificação**. Disponível em: <https://abceram.org.br>. Acesso em: 27 set. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739: concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9935: agregados – terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). **Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos da construção civil**. Disponível em: <https://abrecon.org.br>. Acesso em: 5 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO (ANEPAC). **Mercado de agregados: perspectivas para 2022**. Disponível em: <https://anepac.org.br>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.

CARNEIRO, Alex Pires; BURGOS, Paulo César; ALBERTE, Elaine Pinto Varela. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Salvador: EDUFBA, 2001.

CASA E OBRA. **Tipos de areia para a construção**. Disponível em: <https://casaeobra.com/areia-para-construcao>. Acesso em: 30 out. 2025.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Sustentabilidade na construção**. Disponível em: <https://cbcs.org.br>. Acesso em: 27 ago. 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br>. Acesso em: 28 maio 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011**. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br>. Acesso em: 28 maio 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 469, de 29 de julho de 2015**. Disponível em: <https://www.diariodasleis.com.br>. Acesso em: 28 maio 2025.

ECOMAT BRASIL. **Resolução CONAMA 307**. Disponível em: <https://www.ecomatbrasil.com.br>. Acesso em: 23 out. 2025.

HB AMBIENTAL. **Agregados reciclados de construção civil: posso utilizar?** Disponível em: <http://www.hbambiental.com.br>. Acesso em: 30 out. 2025.

KARPINSKI, Luisete Andreis et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: EDI-PUCRS, 2009.

NASCIMENTO, Francine. **Reutilização e reciclagem de resíduos sólidos gerados na construção civil**. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br>. Acesso em: 12 maio 2025.

PINTO, Tarcísio de Paula et al. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999.

TECNOSIL SOLUÇÕES ESPECIAIS. **Agregados para concreto: o que são e para que servem**. Disponível em: <https://tecnosilbr.com.br>. Acesso em: 27 abr. 2025.

UNIVERSITEIT LEIDEN. **Mudanças urgentes nas práticas de construção para enfrentar a crise global de areia**. Leiden, 2022. Disponível em: <https://www.universiteitleiden.nl>. Acesso em: 30 out. 2025.

VG RESÍDUOS. **Resíduos da construção civil: construindo valores de sustentabilidade**. Disponível em: <https://vgresiduos.com.br>. Acesso em: 4 jun. 2025.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS PARA USO GERAL

*ANALYSIS OF THE TECHNICAL FEASIBILITY OF THE USING GRANITE CUT-
TING WASTE IN PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE IN THE PRO-
DUCTION OF MORTARS FOR GENERAL USE*

Hyttalo Vinicius Araujo Pinheiro

Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
hyttalo104390@ceuma.com.br

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Avaliar o comportamento das propriedades mecânicas da argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos provenientes do corte de granito. **Metodologia:** Foram produzidas argamassas com diferentes teores de substituição (5%, 7,5% e 10%) do agregado miúdo por resíduo de granito, sendo realizados ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão axial em corpos de prova prismáticos, conforme normas técnicas vigentes. **Resultados:** Os resultados indicaram que todas as misturas apresentaram desempenho satisfatório, com destaque para o traço com 7,5% de substituição, que apresentou os maiores ganhos de resistência mecânica em todas as idades analisadas, atendendo aos requisitos normativos. **Conclusão:** Conclui-se que a incorporação de resíduos de granito como substituto parcial do agregado miúdo é tecnicamente viável, contribuindo para o aproveitamento de resíduos e para o desenvolvimento de soluções sustentáveis na construção civil.

Palavras-chave: construção civil; resíduos; granito; argamassa; sustentabilidade.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the behavior of the mechanical properties of mortar with partial replacement of fine aggregate by granite cutting waste. **Methodology:** Mortar mixtures were produced with replacement levels of 5%, 7.5%, and 10% of fine aggregate by granite waste. Flexural tensile strength and axial compressive strength tests were carried out on prismatic specimens in accordance with technical standards. **Results:** The results indicated satisfactory performance for all mixtures, with emphasis on the mixture containing 7.5% replacement, which achieved the

highest mechanical strength gains at all curing ages, meeting normative requirements. Conclusion: It is concluded that the incorporation of granite waste as a partial substitute for fine aggregate is technically feasible, contributing to waste reuse and the development of sustainable solutions in civil construction.

Keywords: civil construction; waste; granite; mortar; sustainability.

1. Introdução

A construção civil desempenha papel fundamental no desenvolvimento econômico, contribuindo para a geração de empregos, renda e melhoria da qualidade de vida da população, por meio da expansão da infraestrutura, do setor habitacional e das atividades produtivas. Entretanto, esse setor também se caracteriza pelo elevado consumo de recursos naturais e pela significativa geração de resíduos sólidos provenientes de atividades de construção, reforma e demolição.

Entre os diversos resíduos gerados, destacam-se aqueles oriundos do processamento de rochas ornamentais, como granito e mármore, amplamente utilizados na construção civil devido à sua durabilidade, resistência e valor estético. Esses materiais são empregados em diferentes aplicações, como revestimentos, pisos, bancadas e elementos decorativos. Contudo, o processo de corte dessas rochas, geralmente realizado com o uso de serras e jatos de água, gera resíduos na forma de lama e fragmentos irregulares, conhecidos como casqueiros, que, em muitos casos, são descartados de forma inadequada, ocasionando impactos ambientais e sociais.

Diante desse cenário, a busca por alternativas sustentáveis tem se tornado essencial, especialmente no que se refere ao reaproveitamento de resíduos com características semelhantes às dos agregados convencionais. Nesse contexto, a engenharia civil desempenha papel relevante ao desenvolver soluções que possibilitem a reutilização desses materiais, visando reduzir a extração de recursos naturais, minimizar impactos ambientais e otimizar custos de produção.

O resíduo do corte de granito apresenta propriedades que o tornam potencialmente aplicável como substituto parcial do agregado miúdo em argamassas, além de ser um material de fácil obtenção em marmorarias. Dessa forma, sua utilização pode contribuir tanto para a redução de custos quanto para a mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento das propriedades mecânicas da argamassa com a substituição parcial do agregado miúdo por resíduos provenientes do corte de granito.

2. Revisão de Literatura

2.1 Propriedades características do granito

De acordo com Mármore e Granito (2023), o granito é uma rocha ígnea, também conhecida como rocha magmática, ela surge quando o magma se resfria ou solidifica nas profundezas da Terra, resultando em uma substância com alta dureza. O granito é uma ocorrência comum na natureza, o que o torna uma escolha acessível em termos de custo e, além disso, possui uma estrutura maciça e apresenta granulometria média, baixa porosidade, baixa capacidade de absorção, possui uma diversidade de cores e alta dureza chegando a 7 na escala Mohs.

Já o mármore é considerado um material mole, classificado como 3 na escala Mohs, por isso apresenta baixa resistência a riscos de materiais mais duros, possui alta porosidade, diversidades de cores e texturas, e alta resistência a ruptura.

2.2 Uso do resíduo de corte de mármore e granito na construção

A necessidade de redução dos impactos ambientais causados por atividades relacionadas a construção civil devido ao consumo de recursos não renováveis, desperdício de materiais e geração de grande quantidade de resíduos como é o caso das rochas ornamentais, faz

com que a engenharia busque solução técnicas e sustentáveis para a melhor forma de reaproveitamento, com isso, já foram realizados alguns trabalhos com o aproveitamento de resíduos do corte de mármore e granito em alguns materiais da construção civil, como é o caso da argamassa.

Moura (2002), diz em se estudo que a substituição do agregado miúdo por resíduos do corte de mármore na proporção de 10%, alcançou resistência mecânica à compressão em 17,7MPa aos 28 dias, maior do que os 17,2 encontrados nos corpos de prova de referência, isso utilizando um traço de 1:6 em ambos os casos.

Leite (2021), em seu estudo, utilizou resíduos de corte de mármore e granito em proporções de 0, 50 e 100% em substituição parcial e total do agregado miúdo no traço 1:3:0,545(1 de cimento para 3 de areia e água/cimento 0,545), e obteve redução na resistência à compressão de forma gradual, além disso, a relação água/cimento teve que ser alterada devido a difícil trabalhabilidade nos traços com 50 e 100% de substituição.

2.3 Considerações sobre argamassa de cimento Portland

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2023), a argamassa de cimento Portland é uma mistura homogênea composta por agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, que pode conter aditivos ou adições, possui também propriedades de aderência e endurecimento, essa mistura pode ser dosada no local da obra ou em uma instalação específica de argamassa industrializada. A Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP (2023), descreve o cimento com sendo um pó de granulometria muito fina que ao entrar em contato com a água, adquire propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes e que tem capacidade de endurecimento

2.3.1 Agregado miúdo e água

A areia é proveniente da desagregação de rochas devido a ação de ventos, água, erosão e microrganismos. Podem ser rochas de basalto, calcário, granito, gnaiss, quartzo e sílica. A areia usada na construção civil depende muito da composição das rochas em que são originadas, elas podem conter feldspato, mica, magnetita e quartzo. São logradas principalmente em fontes naturais que são as conhecidas como areias lavadas, extraídas em leitos de rios através de dragas, bombas e peneiramento, que lavam o material e fazem a separação de elementos orgânicos e pedras. Segundo a NBR 7225 (ABNT, 1993), a areia pode ser: Fina, com grãos entre 0,075 e 0,42 mm; média, com grãos entre 0,42 e 1,2 mm; E pode ainda ser grossa, com grãos entre 1,2 e 2,4 mm.

De acordo com a ABCP (2023), a água desempenha um papel importante para a confecção de argamassas e concretos, ela é necessária para a hidratação do cimento, onde ocorre o processo químico responsável por fortalecer a mistura. Para Neville (1997), a quantidade de água usada pode afetar nas propriedades nos estados fresco e endurecido, esse é um fator muito importante para a resistência, trabalhabilidade e durabilidade da argamassa e concreto, contudo, não é o mais importante, há de se observar condições como o grau de hidratação do cimento, as suas propriedades físicas e químicas e a temperatura durante a hidratação.

2.4 Ensaio

De acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022), o ensaio de granulometria para materiais com diâmetro inferior a 4,75 mm deve utilizar duas amostras de 300 g, previamente secas em estufa a 110 °C por 24 horas. Após o resfriamento, realiza-se o quartejamento e a desagregação de torrões.

A mesma norma recomenda o uso de peneiras da série normal (4,75 a 0,15 mm), com tampa e fundo. O peneiramento pode ser manual ou mecânico, sendo que, no método manual, cada peneira deve ser agitada por 2 minutos, seguido da pesagem do material retido em balança com resolução de 0,1%. O diâmetro máximo corresponde à peneira com retenção acumulada $\leq 5\%$, e o módulo de finura é obtido pelo somatório das retenções acumuladas dividido por 100.

Para o ensaio de massa unitária solta, a NBR 16916 (ABNT, 2021) orienta o uso de amostra seca equivalente a 150% do volume do recipiente, realizando a pesagem do recipiente (mr), o preenchimento em camada única, nivelamento e nova pesagem (mar).

Já a NBR 9776 (ABNT, 1987) estabelece que a massa específica deve ser determinada com 500 g de areia seca, 200 ml de água e frasco de Chapman, realizando movimentos circulares para eliminação de bolhas de ar até estabilização do material.

2.5 Preparo, moldagem, cura e propriedades da argamassa de cimento Portland

Para o preparo da argamassa, a NBR 16541 (ABNT, 2016) recomenda a pesagem de 2,5 kg de materiais secos e água, seguida da mistura manual do agregado miúdo com o cimento. Em seguida, a cuba deve ser acoplada ao misturador mecânico, adicionando-se 75% da água em velocidade baixa e os 25% restantes em velocidade alta.

Na moldagem dos corpos de prova prismáticos, a NBR 13279 (ABNT, 2005) especifica moldes de $160 \times 40 \times 40$ mm, divididos em três compartimentos. A argamassa deve ser aplicada em duas camadas iguais, com adensamento na mesa flow table por 30 golpes. A desmoldagem ocorre após 48 ± 24 horas, com cura ao ar até as idades de ensaio.

Para a determinação da densidade no estado endurecido, a NBR 13280 (ABNT, 2005) orienta a moldagem de quatro corpos de prova, que após 28 dias devem ser secos em estufa a 110°C até massa

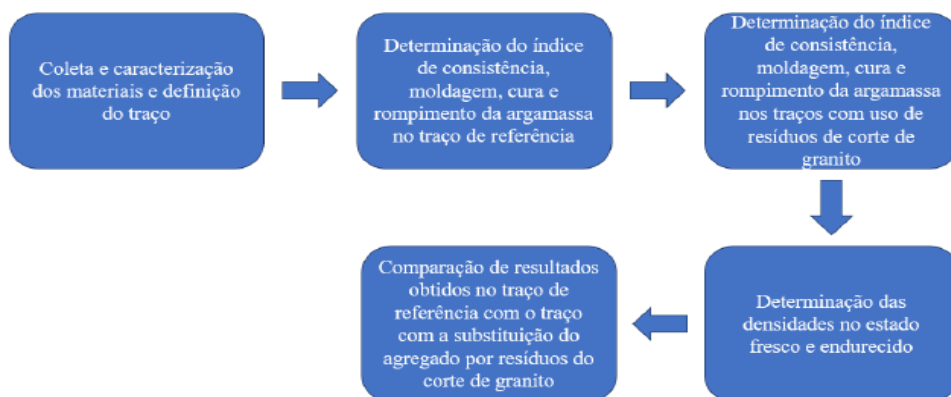
constante. Em seguida, medem-se suas dimensões com paquímetro para cálculo do volume e realiza-se a pesagem para obtenção da massa.

3. Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

3.1 Procedimentos Metodológicos

Este trabalho tem uma abordagem quali-quantitativa, com tipo de pesquisa experimental, onde foi testada a substituição parcial do agregado miúdo por proporções de 5, 7,5 e 10% de resíduos do corte de granito, fixando o valor do água/cimento encontrado após o ensaio de consistência realizado no traço de referência (100% areia), buscando um melhor meio de aplicação do resíduo do corte de granito, através da britagem das sobras laterais conhecidas como casqueiros, para se ter um material mais livre de impurezas e obter uma granulometria mais próxima com a do agregado miúdo, possibilitando melhoria nas propriedades mecânicas da argamassa. O estudo foi realizado no laboratório das engenharias da Universidade Ceuma e dividido em 5 etapas com a sequência representada na Figura 1:

Figura 1 – Fluxograma com as etapas da pesquisa.



Fonte: Autores (2023)

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

Na primeira etapa foi feita a coleta, identificação, caracterização dos materiais e definição do traço para a confecção da argamassa. Os materiais utilizados foram: Cimento Portland CP IV 32, da marca Poty, agregado miúdo, água e resíduos de corte de granito, os três primeiros foram fornecidos pelo laboratório de engenharias da Universidade Ceuma e o resíduo foi fornecido por uma marmoraria da cidade de Pinheiro – MA, onde o descarte desse material é feito diretamente sobre o solo e tem forma de lama e pedados de sobras de cortes laterais conhecidos como casqueiros, isso se dá após o processo de corte.

Em seguida, foi feita a britagem realizada de forma manual buscando-se obter uma granulometria próxima à da areia utilizada no laboratório para uma melhor substituição e interação entre os materiais secos. Já para a caracterização do material seco, foram utilizados os mesmos métodos, tanto para o agregado, como para o resíduo. Primeiro realizou-se a secagem em estufa à temperatura de 110°C por 24 horas, depois esse material passou por um processo de homogeneização através de um quarteador manual.

O ensaio de granulometria do material seco foi realizado para se entender melhor o comportamento do mesmo através da sua curva granulométrica, diâmetro máximo dos grãos e o seu módulo de finura, buscando uma melhor interação com os outros componentes da argamassa para que se mantenha o índice de consistência e se entenda melhor o comportamento desse material ao ser substituído parcialmente pelo resíduo do corte de granito.

Dando continuidade ao processo de caracterização, realizou-se o ensaio de massa unitária solta e massa unitária compactada, utilizando um recipiente onde primeiro determinou-se o volume. Para realizar-se o ensaio de massa unitária solta do material seco, após o volume do recipiente já ser conhecido, foi feita a separação de uma amostra de material referente a 150% do volume do recipiente de ensaio e foi adicionado o material em uma única camada até a borda do recipiente, realizando o seu nivelamento e a pesagem.

Para a massa unitária compactada, foi adicionado o material em 3 camadas aplicando 25 golpes em cada uma delas com o auxílio de uma haste. Após isso, realizou-se o nivelamento da superfície com uma

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

régua e depois foi feita a pesagem do recipiente com o material seco. Foi realizado também o ensaio de Chapman para determinar-se a massa específica da areia e do resíduo, utilizando o frasco de Chapman, onde foi adicionado 200 ml de água, 500 g de material seco e depois foram executados movimentos circulares com intuito de retirar o ar ainda presente entre os grãos de material seco. A seguir, na Figura 2, temos os registros da primeira etapa.

Figura 2 – Registros da Primeira Etapa



Fonte: Autores (2023)

A segunda etapa consistiu na determinação do índice de consistência, moldagem, cura e rompimento da argamassa no traço de referência (1:3:0,48). Inicialmente, foram pesados 2,5 kg de materiais secos e a água, seguida da homogeneização e mistura mecânica, com adição de 75% da água em baixa velocidade e 25% em alta.

A consistência foi determinada na mesa Flow Table, com aplicação da argamassa em três camadas (15, 10 e 5 golpes), seguida

de arrasamento e 30 quedas da mesa. A medida final foi obtida pela média de três diâmetros.

Na terceira etapa, o procedimento foi repetido para argamassas com substituição parcial da areia por resíduo de granito (5%, 7,5% e 10%), avaliando consistência e resistência mecânica.

A quarta etapa envolveu a determinação das densidades nos estados fresco e endurecido. No estado fresco, determinou-se o volume e a massa do conjunto com água. No estado endurecido, corpos de prova foram curados por 28 dias, secos em estufa a 110 °C até massa constante, medidos com paquímetro para cálculo do volume e pesados para obtenção da densidade.

3.2 Resultados e Discussão

Na granulometria do agregado miúdo, descobriu-se o apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Análise granulométrica do agregado miúdo

Análise Granulométrica do agregado miúdo									
Peneira (m)	Massa retida (g)			Massa retida (%)			Variação +ou- 4%	Média (%)	Acumulado (%)
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C			
4.75	0,4	0,7	0,6	0,13	0,23	0,20	0,10	0,19	0,2
2.36	4,1	4,6	3,8	1,37	1,53	1,27	0,26	1,39	1,6
1.18	25,2	27,6	26,8	8,42	9,20	8,96	0,78	8,86	10,4
0.6	81,6	82	80,8	27,27	27,33	27,01	0,33	27,20	37,6
0.3	159,3	159	159,8	53,24	53,00	53,41	0,41	53,22	90,9
0.15	21,7	20,7	21,4	7,25	6,90	7,15	0,35	7,10	98,0
Fundo	6,9	5,4	6	2,31	1,80	2,01	0,51	2,04	100,0
Total	299,2	300	299,2						

Fonte: Autores (2023)

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

Foram feitos os ensaios em 3 amostras de agregado miúdo, onde pode-se observar que a taxa de variação ficou abaixo dos 4%. Pode-se observar também que se trata de uma areia média fina, com maiores porcentagem de material retido nas peneiras de 0,3 e 0,6 mm. O diâmetro máximo dos grãos, foi de 2,36 mm e o módulo de finura de 2,39.

Com o britagem dos casqueiros, obteve-se 6026 g de resíduo para os ensaios. Assim como na areia, também foram feitos os ensaios em 3 amostras de resíduo, onde pode-se observar que a taxa de variação ficou abaixo dos 4%. Pode-se observar também que se trata de material de granulometria média, com maiores porcentagem de material retido nas peneiras de 0,3 a 1.18mm. O diâmetro máximo dos grãos, foi de 4,75 mm e o módulo de finura de 2,55. Os resultados de resistência à tração na flexão, foram observados no Quadro 2.

**ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E
TECNOLOGIAS APLICADAS**

Quadro 2 – Resistência à tração na flexão

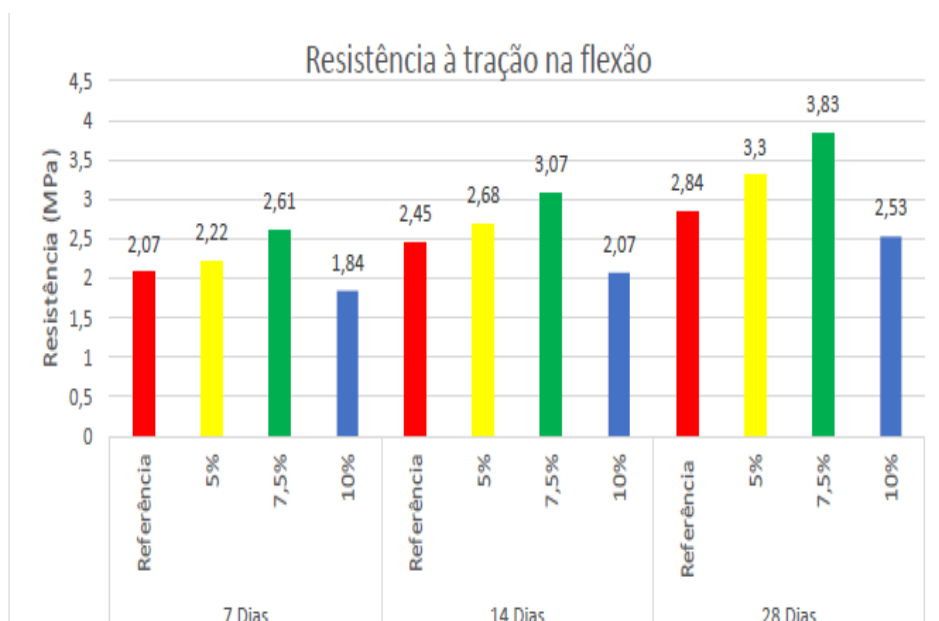
Resistência à tração na flexão											
Traço de referência											
Leitura 7 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)	Leitura 14 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)	Leitura 28 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)
784,53	1,84	2,07	0,23	980,67	2,3	2,45	0,15	1274,9	2,99	2,84	0,15
882,6	2,07			1078,7	2,53			1176,8	2,76		
980,67	2,3			1078,7	2,53			1176,8	2,76		
Traço com 5% de resíduo											
Leitura 7 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)	Leitura 14 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)	Leitura 28 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)
980,67	2,3	2,22	0,15	1176,8	2,76	2,68	0,15	1372,9	3,22	3,30	0,15
882,6	2,07			1078,7	2,53			1471	3,45		
980,67	2,3			1176,8	2,76			1372,9	3,22		
Traço com 7,5% de resíduo											
Leitura 7 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)	Leitura 14 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)	Leitura 28 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)
1078,7	2,53	2,61	0,15	1274,9	2,99	3,07	0,15	1569,1	3,68	3,83	0,15
1078,7	2,53			1274,9	2,99			1667,1	3,91		
1176,8	2,76			1372,9	3,22			1667,1	3,91		
Traço com 10% de resíduo											
Leitura 7 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)	Leitura 14 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)	Leitura 28 dias (N)	Cálculos (MPa)	Média (MPa)	DESV (MPa)
882,6	2,07	1,84	0,23	980,67	2,3	2,07	0,23	1176,8	2,76	2,53	0,23
784,53	1,84			882,6	2,07			1078,73	2,53		
686,47	1,61			784,53	1,84			980,67	2,3		

Fonte: Autores (2023)

Nas resistências a tração na flexão, o traço com substituição de 7,5% foi o que alcançou melhores resistências nas 3 idades de rompimentos. No traço de 5% de substituição, houve um ganho de

resistência em relação ao traço referência, mas ainda assim ficou atrás do traço com substituição de 7,5%. No traço com substituição de 10% houve perda de resistência nas 3 idades de rompimento em relação a todos os outros traços pode-se observar também que os resultados de desvio padrão ficaram em conformidade com o que diz a norma, abaixo de 0,3 MPa. Podemos identificar de maneira mais clara os ganhos de resistência no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Gráfico comparativo de resistência à tração na flexão



Fonte: Autores (2023)

Como pode-se observar no gráfico, o traço com a substituição de 7,5% foi o que alcançou as melhores resistências nos ensaios de tração na flexão nas 3 idades de rompimentos, alcançando 3,83 MPa aos 28 dias, houve um ganho de 34,86% em relação ao traço de referência.

No traço com 5% houve ganho de 16,28% na resistência em relação ao traço de referência. Já no traço com 10%, houve perda de resistência nas 3 idades de rompimento, chegando a ser 12,25% em relação ao traço de referência aos 28 dias de cura.

4. Considerações Finais

De modo geral, a pesquisa atingiu seu objetivo ao melhorar as propriedades mecânicas da argamassa, confirmando a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de corte de granito. Esse material apresentou menor porosidade, melhor granulometria e maior densidade que a areia, proporcionando melhor empacotamento das partículas e ganho de resistência.

Nos ensaios, os traços com 5% e 7,5% de substituição atenderam às normas de consistência e apresentaram os melhores resultados de resistência à tração na flexão e compressão, além de maiores densidades. Já o traço com 10% apresentou redução de resistência, possivelmente devido à baixa trabalhabilidade.

Apesar disso, todos os traços atenderam aos requisitos normativos, sendo classificados como R3 e R4 (tração na flexão) e AAEE (compressão). Como sugestão futura, recomenda-se investigar maiores teores de substituição com variação do fator água/cimento, visando otimizar a consistência e maximizar a resistência.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 5732/1991: **Cimento Portland comum.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 7215/2019: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 7225/1993: **Materiais de pedra e agregados naturais.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 13276/2016: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 13279/2005: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 13280/2005: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 13281-1/2023: **Argamassa inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 13281-2/2023: **Argamassa inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 16541/2016: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 16916/2021: **Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 17054/2022: **Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio.**

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO- AMN NM 248/2001: **Agregados – Determinação de composição granulométrica.**

DA MATTA, Vanessa Ribeiro Peixoto et al. **Efeitos da adição do resíduo de corte de mármore e granito (rcmg) no desempenho da argamassa de cimento Portland no estado endurecido.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 1, 2013.

LEITE, Ana Paula Mendes. **Utilização do pó de granito como substituição parcial do agregado miúdo, na fabricação de argamassas.** 2021.

MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A; ANDRE, A.C.; GODOY, A.M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.de. **Atlas de Rochas.** [on-line]. ISBN: 85-89082-12-1. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm>>. Acessado em: 20 de maio de 2023.

Mármore e Granito. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAW0YAL/marmore-granito?part=2>>. Acessado em: 18 de setembro de 2023.

MOURA, Washington A.; GONÇALVES, Jardel P.; LEITE, Rôneison Silva. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso**. Sítientibus, n. 26, 2002.

NEVILLE, Adam M., **Propriedades do concreto**. 2° ed. São Paulo: Pini, 1997. 828p.

PONTES, Ivan Falcão; VIDAL, Francisco W. Hollanda. Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil. **SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE**, v. 5, p. 117-27, 2005.

CAPÍTULO 4

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BLOCOS CERÂMI-
COS PARA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO NO CON-
CRETO**

*STUDY ON THE USE OF CERAMIC BLOCK WASTE AS COARSE AGGREGATE
REPLACEMENT IN CONCRETE*

Euclides Lopes Araújo

Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
euclideslopes222@gmail.com

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Avaliar a substituição do agregado graúdo por resíduos de bloco cerâmico, analisando o comportamento do concreto quanto às suas propriedades mecânicas. **Metodologia:** Os resíduos utilizados foram coletados em uma obra na fase de alvenaria de vedação, na cidade de São José de Ribamar – MA. Foram realizados ensaios de caracterização, análise granulométrica, determinação da massa específica, moldagem de corpos de prova e ensaios de resistência à compressão, conforme procedimentos da ABNT. **Resultados:** Os resultados indicaram desempenho satisfatório do concreto com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo cerâmico, evidenciando comportamento mecânico adequado. **Conclusão:** O uso de resíduos de bloco cerâmico como agregado graúdo é tecnicamente viável, contribuindo para a redução do descarte de resíduos e para a minimização dos impactos ambientais na construção civil.

Palavras-chave: resíduos da construção civil; agregado graúdo; reciclagem.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the replacement of coarse aggregate with ceramic block waste, analyzing the behavior of concrete in terms of its mechanical properties. **Methodology:** The waste materials were collected from a construction site during the masonry phase in São José de Ribamar – MA. Tests included material characterization, granulometric analysis, specific mass determination, specimen molding, and compressive strength tests, conducted according to ABNT standards. **Results:** The results showed satisfactory performance of concrete with partial replacement of coarse aggregate by ceramic waste, indicating adequate mechanical behavior. **Conclusion:** It is concluded that the use of ceramic block waste as coarse aggregate is technically viable, contributing to waste reduction and minimizing environmental impacts in civil construction.

Keywords: construction waste; coarse aggregate; recycling.

1. Introdução

A construção civil apresenta elevado consumo de materiais, especialmente na produção de concreto, que utiliza insumos como cimento, areia, brita e água, gerando preocupações quanto ao uso intensivo de recursos naturais. Nesse contexto, destaca-se também o amplo uso de blocos cerâmicos na construção, principalmente em alvenarias, fundações e reformas.

Entretanto, métodos construtivos tradicionais resultam em desperdício significativo desses materiais, gerando resíduos que, muitas vezes, são descartados de forma inadequada, causando impactos ambientais. Apesar da existência de normas para gestão desses resíduos, ainda há deficiências no seu reaproveitamento, seja por limitações técnicas ou falta de planejamento.

Além disso, a produção de concreto depende fortemente de agregados graúdos, como a brita, obtida a partir da extração de rochas, o que intensifica os impactos ambientais. Nesse sentido, cresce o interesse pelo reaproveitamento de resíduos cerâmicos, como blocos e telhas, como alternativa para substituição parcial desses agregados.

A utilização de resíduos de bloco cerâmico na produção de concreto pode contribuir para a redução do consumo de agregados naturais, diminuição de custos e mitigação dos impactos ambientais. Dessa forma, este estudo tem como objetivo avaliar a substituição do agregado graúdo por resíduos de bloco cerâmico, visando seu aproveitamento na construção civil.

2. Revisão de Literatura

2.1 Indústria da construção civil e seus resíduos

A indústria da construção civil é um importante setor da economia, com grande representatividade no PIB e elevado retorno

financeiro, destacando-se historicamente até os anos 1980 e mantendo relevância atual, com participação significativa na economia dos EUA (Halpin e Woodhead, 2004). Nesse contexto, a adoção de práticas inovadoras, especialmente na gestão de insumos, torna-se essencial para o equilíbrio econômico e o desempenho do setor (ABRAMAT, 2022).

Além disso, a geração de resíduos da construção civil nos municípios brasileiros varia conforme indicadores socioeconômicos, com produção per capita entre 168 kg e 760 kg por habitante ao ano, sendo a mediana cerca de 500 kg, o que evidencia a necessidade de políticas eficazes de gestão desses resíduos (ABRECON, 2020). Conforme a Resolução nº 307/2002 do CONAMA, os resíduos da construção civil são classificados em Classes A, B, C e D, de acordo com sua origem e características.

2.2 Cerâmica

A cerâmica é um dos materiais mais antigos produzidos pela humanidade, sendo amplamente utilizada por civilizações antigas na fabricação de tijolos a partir da argila, composta por minerais como quartzo, feldspato, mica e diversos metais (Pinheiro e Crivelaro, 2020).

A utilização de resíduos de blocos cerâmicos em substituição aos agregados convencionais no concreto pode influenciar suas propriedades físicas e mecânicas, dependendo da origem do material. Esses agregados reciclados podem ser aplicados em elementos pré-fabricados, alvenaria e pavimentação (Souza, Soriano e Patino, 2018).

Os tijolos cerâmicos mais comuns são de barro cozido, amplamente empregados em alvenaria de vedação e outras aplicações construtivas. Suas dimensões são padronizadas pela ABNT NBR 15270-1 (2017), variando conforme o tipo de bloco.

2.3 Agregado miúdo e graúdo

Segundo a ABNT 7211 (2022), o agregado miúdo, que inclui a areia, é definido de acordo com certas características. A areia pode ser de origem natural ou pode ser resultante do britamento de rochas estáveis. Além disso, pode ser uma mistura de ambas. A característica distintiva desses grãos de areia é que eles passam pela peneira com abertura de malha de 4,8 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,075 mm. Essa classificação garante a consistência e a qualidade do agregado miúdo para uso em várias aplicações na construção civil.

De acordo com Pinheiro e Crivelaro (2020), a brita, também conhecida como pedra britada, é um componente essencial na composição do concreto na CC, pois este material é o produto resultante da fragmentação de uma variedade de rochas, incluindo granito, gnaiss, basalto e calcário.

2.4 Cimento Portland

Segundo Castro (2021), o cimento é um material de tipo inorgânico com baixa granulometria, e quando é misturado junto a água adquire uma forma pastosa, que endurece ao decorrer do tempo devido suas reações e processos ao ser hidratado, a fim de manter em seu estado endurecido tal resistência.

De acordo com Castro (2021), o cimento tem sua formação por diversas reações químicas, em virtude da mistura de calcário (carbonato de cálcio) e argila (silicatos de alumínio e ferro), a partir desses materiais que é extraído os óxidos para sua hidratação. Após as misturas, o material é levado a fornos que chegam até 1450 C° graus celsius, em tal processo que chamado de clinquerização, ocorrem

várias reações físicas e químicas, passando depois pelo resfriamento, originando um material em partículas denominada de clínquer.

2.5 Concreto, traço de concreto e dosagem do traço

Segundo Bauer (2019), o concreto em seu estado fresco tem composição agregados miúdos e graúdos juntos em uma pasta de cimento e espaços compostos por ar, na qual é composta por água e cimento formando um conjunto de espaços com ar chamados de matriz. O ar pode ser se envolver na pasta em bolhas, ou em espaços intermediados, demonstrando diante de sua característica apresentada o nível de plasticidade da mistura.

Segundo Tecnosil (2023), o traço do concreto é a composição de materiais, como cimento, agregados graúdos (pedras), agregados miúdos (areia) e água, a fim de constituir uma proporção entres os materiais que o constituem, ainda sendo possível acrescentar em sua mistura aditivos, seja plastificante, pigmentos, fibras e sílica ativa, de modo que possa lhe proporcionar características ao projeto planejado.

O método de dosagem do traço de concreto, conforme a ABCP, é uma adaptação do método desenvolvido pelo American Concrete Institute. Este método foi aprimorado por meio de dosagens experimentais ao longo do tempo, provando ser simples e eficiente. No entanto, para se adequar às condições específicas do cenário brasileiro, foram necessários alguns ajustes.

A dosagem, de acordo com a ABCP é elaborada levando em consideração as características dos materiais disponíveis, isso inclui a resistência normal de compressão para o período de 28 dias e a marca do tipo de cimento a ser utilizado, além das dimensões dos agregados como dimensão máxima e fina. As massas unitárias, absorção e massa específica real para cada material também são consideradas, e o método ainda leva em conta o fator água/cimento, que é determinado considerando o grau de exposição da superfície do concreto e sua intensidade ou agressividade. Esses fatores são cruciais, pois influenciam diretamente a resistência e durabilidade do concreto.

3. Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

3.1 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa foi realizada em uma obra residencial unifamiliar de médio padrão, localizada em São José de Ribamar – MA, durante a etapa de alvenaria de vedação, onde foram coletados resíduos de bloco cerâmico (RBC). O material foi obtido em sua forma bruta, sem contaminação por argamassa, visando preservar suas características originais. A preparação consistiu na britagem manual dos resíduos, buscando granulometria semelhante à brita 1, etapa essencial para garantir a uniformidade e adequação do material ao estudo.

Após a preparação, foram realizados ensaios de granulometria para agregados miúdos, grãos e RBC, conforme a ABNT DNER-ME 083 (1998), utilizando peneiras padronizadas. Esses ensaios permitiram determinar a distribuição granulométrica dos materiais, fundamental para o desempenho do concreto. Em seguida, determinaram-se as massas específicas (aparente, real e unitária), conforme a ABNT DNER-ME 194 (1998), e as densidades solta e compactada, de acordo com a ABNT DNER-ME 195 (1997), com ensaios realizados no laboratório da Universidade Ceuma.

A dosagem do concreto referência (CR) e dos traços com RBC foi definida pelo método da ABCP (Torres, 2015). A moldagem dos corpos de prova seguiu a ABNT NBR 5738 (2015), totalizando 36 amostras, submetidas à cura por 7, 14 e 28 dias. Posteriormente, foram realizados ensaios de compressão conforme a ABNT NBR 5739 (2018).

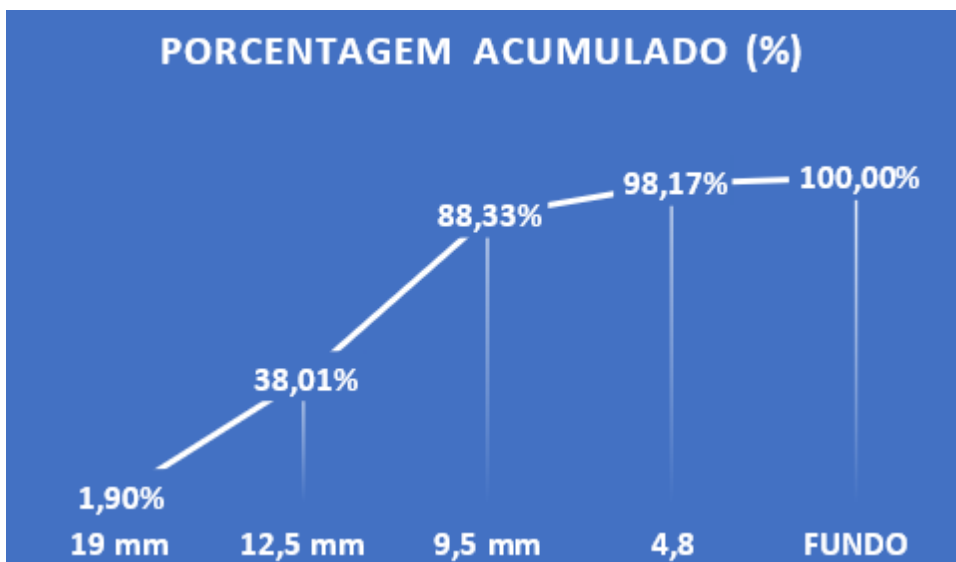
3.2 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos permitiram analisar propriedades como granulometria, massa específica, densidade e resistência mecânica,

avaliando a viabilidade do RBC em concretos estruturais e não estruturais, conforme a ABNT NBR 6118 (2023).

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de granulometria.

Figura 1 – Porcentagem retida acumulada da brita 1

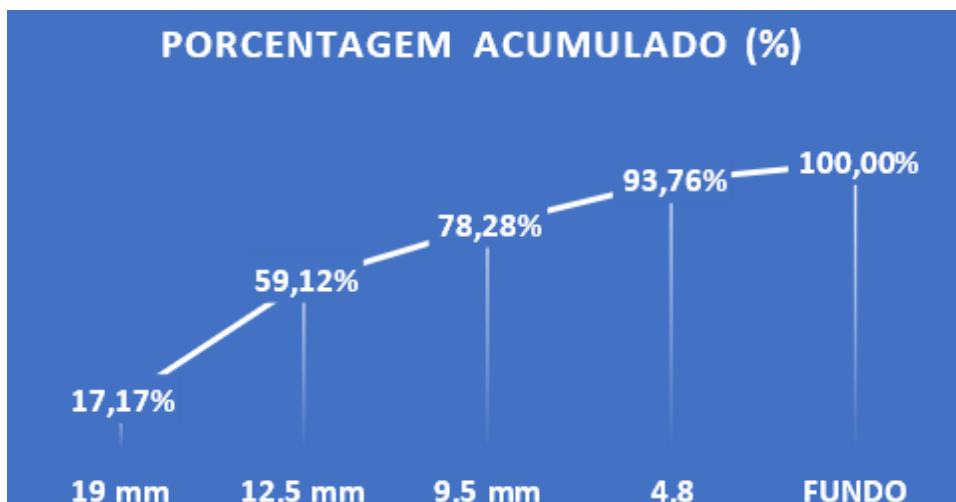


Fonte: Autores (2023)

Os resultados obtidos no ensaio para granulometria da brita 1, como pode ser visto na Figura 1 acima, apresentam a porcentagem retida acumulada nas peneiras durante o ensaio, na qual se verificou maior quantidade retida acumulada nas peneiras com abertura entre 12,5 mm e 4,8 mm, e dimensão máxima de 19 mm, logo o material é caracterizado como brita 1, segundo a ABNT NBR 7111 (2009).

Após o ensaio de granulometria da brita, foi feita a granulometria do RBC, de modo a comparar seus resultados obtidos com o da brita 1, logo abaixo na Figura 2 é possível observar a análise granulométrica do RBC.

Figura 2 – Porcentagem retida acumulada RBC



Fonte: Autores (2023)

Observa-se o percentual acumulado do RBC, verificando-se que as peneiras com aberturas entre 12,5 mm e 4,8 mm apresentaram os maiores valores. Em comparação com a brita 1, nota-se que os resultados apresentam pequenas variações percentuais. Além disso, o material apresentou diâmetro máximo de 25 mm, sendo que na peneira de 19 mm foi obtido um percentual de 17,17%, valor superior ao mínimo de 5% estabelecido pela ABNT.

Com base nos ensaios de massa específica e densidade dos agregados, foram determinados os valores para areia, brita 1 e RBC, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo. Esses dados permitiram uma melhor compreensão do comportamento dos materiais e auxiliaram na definição da dosagem. A seguir, o Quadro 1 apresenta os valores de massa específica da areia, brita 1 e RBC.

Quadro 1 – Massa específica aparente dos agregados

Agregado	Massa específica (Kg/m³)
Areia	2,63
Brita 1	2,77
RBC	2,15

Fonte: Autores (2023)

Conforme apresentado no Quadro 1, os resultados obtidos nos ensaios de massa específica dos agregados e do material RBC (em kg/m³) foram fundamentais para a análise de suas propriedades e para a avaliação da qualidade do concreto. Observa-se que os valores de massa específica da brita 1 (2,77 kg/m³) e do RBC (2,15 kg/m³) são relativamente próximos, sendo esses dados essenciais para o desenvolvimento das etapas subsequentes da pesquisa.

A determinação dos traços de concreto com adição de RBC foi realizada com base no método de dosagem da ABCP, conforme proposto por Torres (2015), conforme mencionado anteriormente. Inicialmente, a resistência característica de projeto aos 28 dias foi definida em 34 MPa, conforme a Equação 1. Em seguida, determinou-se o fator água/cimento (a/c) por meio da curva de Abrams, obtendo-se o valor de 0,457, a partir da relação entre a resistência de projeto e a resistência do cimento utilizado.

Após a definição do consumo de materiais para três corpos de prova (CPs), procedeu-se à ampliação da dosagem para nove CPs, multiplicando-se o traço obtido por três. Dessa forma, foi possível determinar o traço necessário para a moldagem dos corpos de prova de referência (CR), ensaiados nas idades de 7, 14 e 28 dias.

O traço calculado para o concreto de referência foi de 6,21:9,63:15,84:2,82. A partir desse valor, foram definidos os traços de

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

concreto com adição de RBC em substituição à brita 1, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Traços determinados para ensaio de moldagem de corpo de prova

TRAÇO	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Água (L)	RBC (kg)
C.R	6,21	9,48	15,84	2,82	0,00
RBC – 5%	6,21	9,48	15,04	2,82	0,792
RBC – 10%	6,21	9,48	14,25	2,82 [*]	1,58
RBC – 15%	6,21	9,48	13,47	2,82	2,37

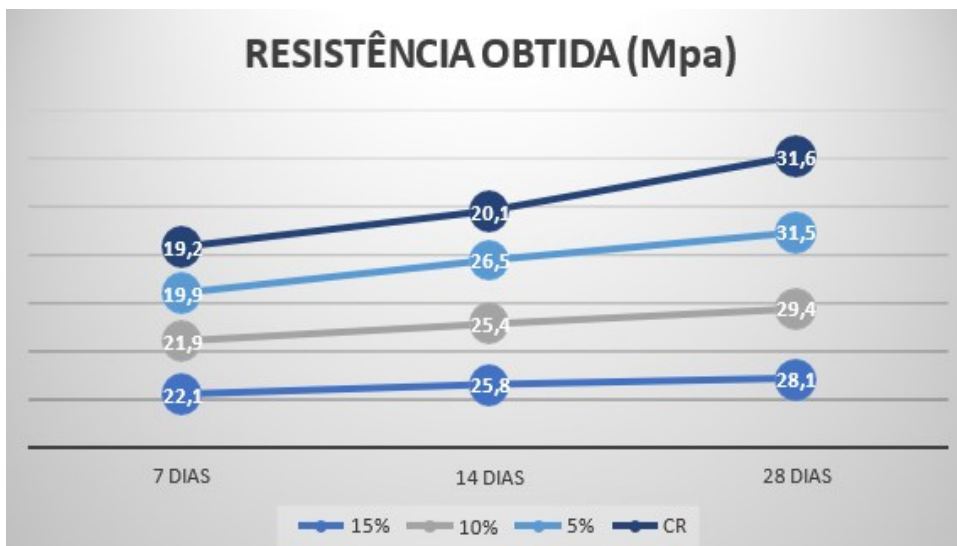
Fonte: Autores (2023)

Os ensaios de compressão dos corpos de prova (CPs) foram realizados para as famílias de traços de referência (CR) e com adição de RBC, nas idades de 7, 14 e 28 dias, seguindo os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 5739 (2018), com o auxílio e supervisão de técnico habilitado no laboratório de materiais.

Os resultados obtidos nos ensaios de rompimento apresentaram variações graduais ao longo dos períodos de cura (7, 14 e 28 dias), em comparação ao traço de referência. No Gráfico 1, apresentado a seguir, são demonstrados os valores de resistência em função do tempo de cura, permitindo uma análise comparativa entre os diferentes traços estudados.

A representação gráfica dos resultados possibilita uma avaliação mais clara das tendências de resistência ao longo do tempo, contribuindo para uma compreensão mais detalhada do desempenho mecânico dos materiais analisados.

Gráfico 1 – Rompimento em Mpa dos traços de CR, 5%, 10% e 15% de RBC



Fonte: Autores (2023)

Os resultados apresentados no Gráfico 1 evidenciam o comportamento dos diferentes traços analisados quanto à resistência à compressão nas idades de 7, 14 e 28 dias. No gráfico, o traço de referência (CR) está representado pela cor amarela, enquanto os traços com adição de RBC de 5%, 10% e 15% estão representados pelas cores cinza, laranja e azul, respectivamente.

Para a idade de 7 dias, os traços com adição de RBC apresentaram resistências superiores ao concreto de referência, destacando-se o traço com 15% de RBC, que atingiu 22,1 MPa. Aos 14 dias, todos os traços com RBC mantiveram desempenho superior ao CR, sendo o melhor resultado observado para o traço com 5% de substituição, que apresentou resistência de 26,5 MPa.

Na idade de 28 dias, o traço com 5% de RBC destacou-se ao apresentar resistência de 31,5 MPa, valor muito próximo ao do traço de referência (31,6 MPa). Os traços com 10% e 15% de RBC também apresentaram resultados satisfatórios, com resistências de 29,4 MPa e 28,1 MPa, respectivamente.

De modo geral, todos os traços com adição de RBC, nas idades de 14 e 28 dias, apresentaram resistências superiores ao valor mínimo de 25 MPa estabelecido pela ABNT NBR 6118 (2023), evidenciando seu potencial de aplicação na construção civil, tanto em elementos estruturais quanto não estruturais.

4. Considerações Finais

Este estudo avaliou a substituição do agregado graúdo convencional por resíduos de bloco cerâmico (RBC) em concreto, com o objetivo de reduzir impactos ambientais e o consumo de agregados naturais. Os resultados indicaram que o RBC foi eficaz em determinadas dosagens, apresentando resistências próximas ou superiores ao concreto de referência aos 14 e 28 dias, com destaque para o traço com 5%, que obteve melhor desempenho.

Os traços com 10% e 15% também apresentaram resultados satisfatórios, indicando a viabilidade do uso do RBC em concretos estruturais e não estruturais, conforme a ABNT NBR 6118 (2023), desde que complementados por novos estudos. Assim, o objetivo da pesquisa foi alcançado, contribuindo para o reaproveitamento de resíduos da construção civil e para a inovação tecnológica na área.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de ensaios complementares, como abatimento de cone, absorção, composição gravimétrica, além da avaliação de maiores teores de substituição (20%, 25% e 30%), visando ampliar a análise e aplicação do material em diferentes condições.

Referências Bibliográficas

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento: diferentes tipos e aplicações**. 2018. Disponível em: <https://abcp.org.br>. Acesso em: 15 ago. 2023.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Parâmetros da dosagem racional do concreto**. Disponível em: <https://abcp.org.br>. Acesso em: 17 set. 2023.

ABRAMAT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **Indicadores de faturamento**. 2022. Disponível em: <https://abramat.org.br>. Acesso em: 15 maio 2023.

ABRECON – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Pesquisa setorial**. 2020. Disponível em: <https://abrecon.org.br>. Acesso em: 14 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **DNER-ME 083: agregados – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **DNER-ME 194: agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **DNER-ME 195: agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739: concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211: agregados para concreto – requisitos**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1: componentes cerâmicos – blocos e tijolos para alvenaria – parte 1**. Rio de Janeiro, 2017.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CASTRO, V. G. **Cimento Portland**. In: **Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o futuro**. Mossoró: EdUFERSA, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786587108612.0002>. Acesso em: 15 jun. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 12 maio 2023.

HALPIN, D. W.; WOODHEAD, R. W. **Administração da construção civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2004.

PINHEIRO, A. C. F. B.; CRIVELARO, M. **Materiais de construção**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2020.

TECNOSIL. **O que é traço de concreto e por que ele deve ser seguido à risca?** Disponível em: <https://tecnosilbr.com.br>. Acesso em: 12 set. 2023.

TORRES, J. M. **Dosagem de traços de concreto para obras de pequeno porte pelo método ACI/ABCP e modelo proposto por Campiteli**. Garanhuns, 2015.

CAPÍTULO 5

**USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO CLASSE
A EM MISTURAS SOLO PARA REFORÇO DE BASE E SUB-
BASE DE PAVIMENTOS**

*USE OF CLASS A CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE IN SOIL MIX-
TURES FOR REINFORCEMENT OF PAVEMENT BASE AND SUB-BASE LAY-
ERS*

Helom Nogueira Gomes
Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
helomnogueira296@gmail.com

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira
IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos
IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva
IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Avaliar o uso de resíduos da construção e demolição (RCD) Classe A em misturas solo para aplicação em base e sub-base de pavimentos, visando reduzir a extração de recursos naturais e promover a destinação adequada de resíduos. **Metodologia:** Foram realizadas análises físicas e mecânicas dos materiais, incluindo ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC), para avaliar o desempenho das misturas. **Resultados:** A incorporação de RCD ao solo melhorou as propriedades mecânicas, apresentando desempenho satisfatório para uso em camadas de pavimentação. **Conclusão:** O uso de RCD reciclado mostrou-se técnica e ambientalmente viável, contribuindo para a redução de impactos ambientais e incentivando práticas sustentáveis, com potencial aplicação em obras urbanas como o BRT de São Luís.

Palavras-chave: resíduos da construção e demolição; pavimentação; solo; reciclagem.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the use of Class A construction and demolition waste (C&D waste) in soil mixtures for pavement base and sub-base layers, aiming to reduce natural resource extraction and promote proper waste disposal. **Methodology:** Physical and mechanical properties were analyzed, including compaction and California Bearing Ratio (CBR) tests, to assess the performance of the mixtures. **Results:** The incorporation of C&D waste improved the mechanical properties of the soil, showing satisfactory performance for pavement applications. **Conclusion:** The use of recycled C&D waste proved to be technically and environmentally viable, contributing to impact reduction and sustainable

practices, with potential application in urban projects such as the BRT-system in São Luís.

Keywords: construction and demolition waste; pavement; soil; recycling.

1. Introdução

Ao longo dos anos, o crescimento populacional nas regiões metropolitanas brasileiras tem impulsionado significativamente o setor da construção civil e demolição. Esse avanço, embora essencial para o desenvolvimento urbano, tem como consequência direta o aumento do consumo de recursos naturais e a intensificação da geração de resíduos sólidos. No Brasil, estima-se que apenas uma pequena parcela desses resíduos seja reciclada, enquanto a maior parte é destinada a locais diversos, muitas vezes de forma inadequada.

Nesse contexto, observa-se, na região metropolitana de São Luís – MA, a ocorrência frequente de disposição irregular de resíduos da construção e demolição (RCD) ao longo do ambiente urbano, configurando um problema ambiental, social e econômico relevante. Tal situação está diretamente relacionada ao fato de a construção civil ser uma das indústrias que mais consomem matérias-primas de origem natural, além de gerar grandes volumes de resíduos em suas diversas etapas, como construção, reforma, demolição e descarte, estabelecendo um ciclo contínuo de geração de impactos.

Diante desse cenário, torna-se fundamental a adoção de alternativas sustentáveis para a destinação adequada dos RCD Classe A, predominantes nos canteiros de obras. Entre as soluções, destaca-se sua utilização em obras de pavimentação, como no sistema BRT da região metropolitana de São Luís, contribuindo para a redução da extração de recursos naturais, o reaproveitamento de resíduos e a diminuição do descarte inadequado.

Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar o emprego de resíduos da construção e demolição (RCD) na pavimentação de vias, com foco na redução da extração mineral e na promoção de

práticas sustentáveis na região metropolitana de São Luís. Para tanto, será realizado um levantamento bibliográfico aliado a um estudo experimental, fundamentado em normas técnicas, legislações e literatura especializada, com o intuito de analisar os resultados obtidos e discutir sua aplicabilidade, culminando em conclusões que contribuam para o avanço do conhecimento e da prática na área.

2. Revisão de Literatura

2.1 Resíduos da Construção e Demolição (RCD)

A construção civil constitui uma das atividades mais antigas da humanidade e, ao longo de sua evolução, consolidou-se como um dos setores de maior relevância econômica e social. Entretanto, esse desenvolvimento está diretamente associado ao elevado consumo de recursos naturais e à significativa geração de resíduos sólidos, especialmente os resíduos da construção e demolição (RCD). Historicamente, práticas de reaproveitamento de materiais já eram observadas desde períodos antigos, como no Império Romano, porém foi após a Segunda Guerra Mundial que o uso de resíduos se intensificou, principalmente na reconstrução de cidades europeias, onde os entulhos passaram a ser utilizados como agregados alternativos (LEVY; HELENE, 1995; ABRECON, 2015).

Com o avanço da urbanização e o crescimento das demandas por infraestrutura, intensificou-se também a pressão sobre os recursos naturais. Nesse contexto, diversos autores destacam a necessidade de repensar os modelos tradicionais de produção na construção civil, uma vez que os recursos naturais são finitos e sua exploração indiscriminada pode comprometer o equilíbrio ambiental (JOHN, 2001; BARRETO, 2020). Assim, a busca por soluções sustentáveis tem incentivado o desenvolvimento de pesquisas voltadas à reutilização e reciclagem de resíduos, especialmente em aplicações geotécnicas e de pavimentação.

No Brasil, a gestão dos RCD é regulamentada por importantes instrumentos legais, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010, e a Resolução CONAMA nº 307/2002. Esses dispositivos estabelecem diretrizes para o gerenciamento adequado dos resíduos, incentivando práticas baseadas nos princípios da redução, reutilização e reciclagem. Tais normativas também atribuem responsabilidade aos geradores quanto à destinação final dos resíduos, contribuindo para a estruturação de uma política ambiental mais eficiente (BRASIL, 2010).

2.1.1 Conceito e Classificação dos RCD

Os resíduos da construção e demolição são definidos como materiais provenientes de atividades de construção, reforma, demolição e escavação, sendo compostos por uma ampla variedade de materiais, como concreto, argamassa, cerâmica, madeira, metais, plásticos e outros insumos (BLUMENSCHNEIN, 2007; MACENA; LEME, 2017). Essa heterogeneidade é uma característica marcante dos RCD e influencia diretamente suas propriedades e possibilidades de reaproveitamento.

No que se refere à classificação, a ABNT, por meio da NBR 10004 (2004), categoriza os resíduos sólidos em perigosos e não perigosos, sendo estes últimos subdivididos em inertes e não inertes. Complementarmente, a Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece uma classificação específica para os RCD, dividindo-os em quatro classes (A, B, C e D), de acordo com seu potencial de reutilização e reciclagem. Nesse contexto, os resíduos de Classe A se destacam por apresentarem maior potencial de reaproveitamento, sendo compostos predominantemente por materiais minerais recicláveis, como concreto e cerâmica, o que os torna particularmente adequados para aplicações em pavimentação.

2.2 Pavimentação de Vias

O sistema rodoviário desempenha papel fundamental na logística de transporte de pessoas e mercadorias no Brasil. No entanto, a baixa proporção de vias pavimentadas evidencia a necessidade de investimentos em infraestrutura, bem como a busca por soluções técnicas e economicamente viáveis (CNT, 2019). Nesse contexto, a pavimentação deve ser compreendida como uma estrutura composta por múltiplas camadas, projetadas para resistir às solicitações de tráfego e às condições ambientais, garantindo desempenho adequado ao longo de sua vida útil (BERNUCCI et al., 2008).

A estrutura do pavimento é formada por camadas sobrepostas, cada uma com função específica, incluindo o subleito, a sub-base, a base e o revestimento. Essas camadas devem apresentar propriedades geotécnicas adequadas, como resistência, deformabilidade e permeabilidade, de modo a assegurar a distribuição eficiente das tensões geradas pelo tráfego.

2.2.1 Aplicação de RCD em Pavimentação

A utilização de resíduos da construção e demolição em pavimentação tem sido objeto de estudo desde a década de 1980, apresentando resultados satisfatórios, especialmente em vias de baixo volume de tráfego (MOTTA, 2005). Os agregados reciclados provenientes de RCD podem ser empregados em diferentes camadas do pavimento, contribuindo para a redução da exploração de materiais naturais e promovendo a destinação adequada dos resíduos (ZORDAN, 1997).

Entretanto, a aplicação desses materiais requer cuidados específicos, uma vez que a heterogeneidade dos RCD pode influenciar suas propriedades mecânicas. Dessa forma, torna-se essencial a realização de ensaios laboratoriais para avaliar o desempenho das

misturas e garantir sua adequação às exigências normativas (CARDOSO et al., 2016).

2.2.2 Propriedades e Ensaios dos Materiais

Os materiais utilizados em camadas de pavimentação devem apresentar propriedades físicas e mecânicas adequadas às condições de carregamento e ambientais. No caso dos resíduos da construção e demolição (RCD), especialmente os de Classe A, observa-se comportamento semelhante ao de materiais granulares naturais, com destaque para baixa plasticidade, boa capacidade de compactação e resistência ao cisalhamento. No entanto, devido à heterogeneidade desses materiais, torna-se indispensável a sua caracterização por meio de ensaios laboratoriais.

A análise granulométrica, realizada conforme a ABNT NBR 7181 (2016) e a DNER-ME 083 (1998), permite avaliar a distribuição das partículas e sua adequação às faixas granulométricas exigidas para uso em pavimentação. Complementarmente, os limites de consistência, determinados segundo as normas ABNT NBR 6459 (2016) e NBR 7180 (2016), possibilitam avaliar o comportamento dos materiais em função da umidade, sendo importantes principalmente em misturas solo-RCD.

O ensaio de compactação, conduzido de acordo com a ABNT NBR 7182 (2016), é fundamental para determinar a umidade ótima e a massa específica seca máxima, parâmetros essenciais para a execução das camadas de base e sub-base. Já o Índice de Suporte Califórnia (ISC), determinado conforme a ABNT NBR 9895 (2016) e a DNIT 172/2016-ME, é amplamente utilizado para avaliar a capacidade de suporte dos materiais, sendo um dos principais critérios para sua aplicação em pavimentação.

Dessa forma, a utilização de RCD em obras viárias depende da adequada caracterização geotécnica e do atendimento às exigências normativas, garantindo desempenho satisfatório e segurança estrutural.

3. Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, com abordagem experimental, sendo fundamentada em levantamento bibliográfico baseado em livros, normas técnicas nacionais, dissertações, teses e artigos científicos, com o objetivo de subsidiar a análise dos resultados obtidos em laboratório.

O desenvolvimento experimental consistiu na coleta, preparação e caracterização dos materiais, bem como na realização de ensaios físicos e mecânicos em amostras de solo, RCD e misturas solo-RCD, visando avaliar seu comportamento geotécnico e sua aplicabilidade em pavimentação.

3.1 Materiais

O solo utilizado na pesquisa foi coletado in loco em um trecho da obra do BRT, localizado na Avenida dos Holandeses (MA-203), no bairro Araçagy, município de São José de Ribamar – MA, integrante da região metropolitana de São Luís. Foram coletadas amostras representativas das camadas de base e sub-base em execução no local.

Os resíduos da construção e demolição (RCD) foram obtidos a partir de áreas de descarte irregular e de uma obra particular localizada no município de São Luís – MA. Foram selecionados apenas resíduos classificados como Classe A, conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002, compostos predominantemente por materiais cerâmicos, concreto, argamassa e elementos de alvenaria.

3.2 Métodos

A metodologia experimental consistiu na caracterização dos materiais e na avaliação do desempenho das misturas solo-RCD por

meio de ensaios laboratoriais, conduzidos de acordo com normas técnicas brasileiras. Inicialmente, as amostras passaram por processos de secagem, destorroamento e peneiramento, conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 6457/2016.

Foram realizados ensaios de caracterização física, incluindo análise granulométrica (ABNT NBR 7181/2016), teor de umidade (ABNT NBR 6457/2016) e determinação da massa específica aparente (ABNT NBR 6458/2016). Para a avaliação do comportamento plástico dos materiais, foram executados ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, conforme as normas ABNT NBR 6459/2016 e NBR 7180/2016, respectivamente.

A caracterização mecânica foi realizada por meio de ensaios de compactação, segundo a ABNT NBR 7182/2016, utilizando diferentes energias de compactação de acordo com a camada analisada, e do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), conforme a ABNT NBR 9895/2016 e DNIT 172/2016-ME, com o objetivo de avaliar a capacidade de suporte dos materiais.

A definição das proporções das misturas solo-RCD foi realizada com base no Método Gráfico de Rothfuchs, a partir das curvas granulométricas dos materiais, visando obter uma composição granulométrica adequada para uso em camadas de pavimentação.

As misturas resultantes foram submetidas aos mesmos ensaios realizados para os materiais individuais, incluindo compactação e ISC, permitindo a análise comparativa de desempenho e a verificação da viabilidade técnica do uso de RCD como material alternativo.

Os resultados obtidos foram posteriormente comparados com os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15115/2004 e ABNT NBR 15116/2004, que tratam da utilização de agregados reciclados em pavimentação.

Os ensaios foram conduzidos em laboratório de engenharia geotécnica de instituição de ensino superior localizada em São Luís – MA, apresentados no Quadro 1, garantindo condições controladas para obtenção de resultados confiáveis.

Quadro 1 – Descrição dos ensaios empregados e normatização abrangente

Ensaio com solo	Ensaio com o RCD	Ensaio com a mistura solo/RCD	Norma usada para execução do ensaio
Preparação para ensaio	Preparação para ensaio	Preparação para ensaio	ABNT NBR 6457
Granulometria	Granulometria	Granulometria	ABNT NBR 7181
Teor de umidade	-	Teor de umidade	ABNT NBR 6457
Massa específica aparente úmida	-	Massa específica aparente úmida	ABNT NBR 6458
Massa específica aparente seca	-	Massa específica aparente seca	ABNT NBR 6458
Límite de Liquidez	-	-	ABNT NBR 6459
Límite de Plasticidade	-	-	ABNT NBR 7080
Compactação	-	Compactação	ABNT NBR 7182
Índice de Suporte Califórnia	-	Índice de Suporte Califórnia	ABNT NBR 9895
-	Índice de Forma	-	ABNT NBR 7809

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Característica do solo da sub-base e base

Os resultados obtidos para o solo da sub-base indicam que o material apresenta comportamento típico de solo areno-siltoso,

classificado como A-2-4 segundo o sistema HRB. A ausência de limites de liquidez e plasticidade evidencia seu caráter predominantemente granular, o que favorece sua aplicação em camadas de pavimentação. A massa específica aparente seca foi de $1,935 \text{ g/cm}^3$, com umidade ótima de 9,20%.

Apesar dessas características favoráveis, o solo apresentou índice de grupo (IG) igual a 6, valor superior ao recomendado pela norma DNIT 139 (2010), que estabelece IG igual a zero para materiais destinados à sub-base. Ainda assim, considerando os limites de liquidez e plasticidade nulos, o material atende parcialmente aos critérios normativos.

No que se refere ao desempenho mecânico, o solo apresentou valor de CBR igual a 42,5%, superior ao mínimo exigido para sub-base (20%), além de expansão desprezível (-0,08%), indicando comportamento estável. Esses resultados demonstram que, embora não atenda plenamente a todos os critérios normativos, o material possui potencial de utilização em pavimentação.

Para o solo da base, os resultados indicam um material areno-argiloso, também classificado como A-2-4. O solo apresentou limite de liquidez de 18,5% e índice de plasticidade de 11,45%.

Embora o valor de LL esteja dentro dos limites normativos, o IP ultrapassa o valor máximo recomendado, indicando a presença de frações finas com comportamento plástico.

Entretanto, a análise granulométrica revelou que a fração arenosa é predominante (66,1%), o que contribui para o desempenho mecânico do material. Além disso, a relação entre os materiais passantes nas peneiras nº 200 e nº 40 atende aos critérios estabelecidos pelo DNIT 141 (2010), confirmando sua adequação para uso em camadas de base.

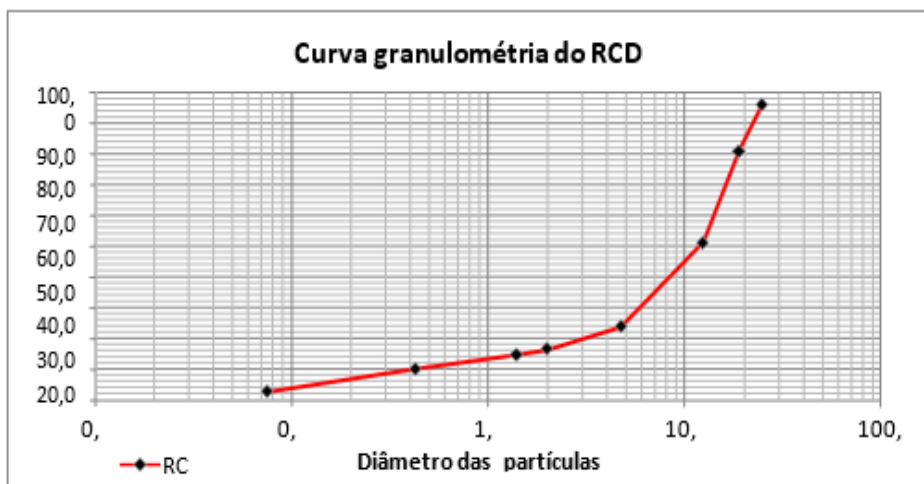
O ensaio de compactação indicou massa específica aparente seca de $2,22 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima de 7,58%. Já o CBR apresentou valor de 62,8%, superior ao mínimo exigido para base em vias de tráfego médio ($N < 5 \times 10^6$), com expansão de 0,46%, dentro dos limites normativos. Dessa forma, o solo apresenta condições adequadas para aplicação em camada de base.

3.3.2 Caracterização do RCD

A análise do RCD coletado evidenciou que o material é composto predominantemente por frações cimentícias, cerâmicas e rochosas, estando em conformidade com a classificação de Classe A da Resolução CONAMA nº 307/2002.

A curva granulométrica obtida demonstrou que o material atende às exigências da ABNT NBR 15115/2004, apresentando coeficiente de uniformidade (C_u) igual a 32,94, valor superior ao mínimo exigido ($C_u \geq 10$). Além disso, o percentual passante na peneira de 0,42 mm foi de 10%, atendendo ao intervalo normativo estabelecido, conforme observa-se no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Apresentação da Curva granulométrica do RCD



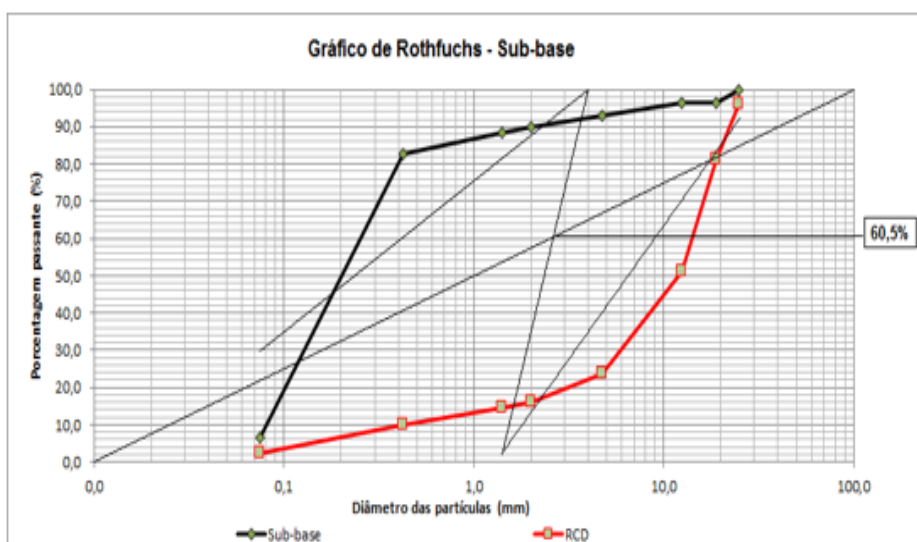
O diâmetro máximo dos grãos também se mostrou adequado, uma vez que o material foi previamente britado para dimensões inferiores a 25 mm. No entanto, o ensaio de índice de forma indicou que 30,5% dos grãos são lamelares, valor ligeiramente superior ao limite de 30% estabelecido pela norma.

Apesar dessa pequena inconformidade, os resultados gerais indicam que o RCD apresenta características adequadas para aplicação em pavimentação, especialmente considerando que a limitação observada está associada ao processo manual de britagem.

3.3.3 Dosagem das Misturas Solo-RCD

A definição das proporções das misturas foi realizada por meio do Método Gráfico de Rothfuchs, permitindo a obtenção de composições granulometricamente estáveis, conforme observa-se no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Dosagem da mistura do solo da sub-base/RCD Método Gráfico de Rothfuchs.



Para a sub-base, a mistura foi composta por 60,5% de solo e 39,5% de RCD. A curva granulométrica resultante apresentou melhor distribuição das partículas em relação aos materiais isolados, enquadrando-se na faixa E do DNER 303 (1997), adequada para vias de tráfego médio.

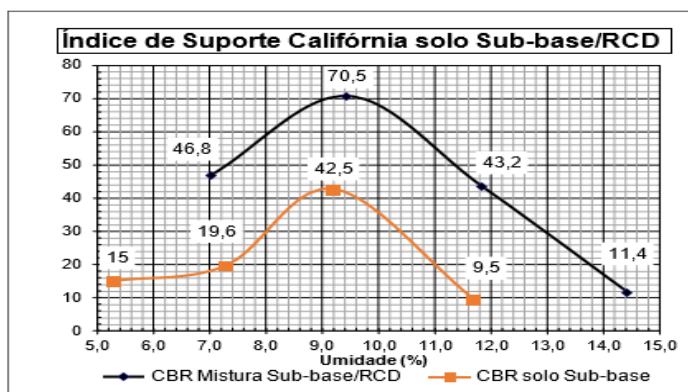
Para a base, a mistura foi composta por 68,5% de solo e 31,5% de RCD, apresentando enquadramento na faixa D da mesma norma, compatível com condições de tráfego mais elevado. Em ambos os casos, observou-se melhoria na graduação dos materiais, favorecendo o desempenho mecânico das misturas.

3.3.4 Desempenho da Mistura Sub-base/RCD

A incorporação de RCD ao solo da sub-base resultou em alterações nos parâmetros de compactação, com aumento da umidade ótima para 9,40% e leve redução da massa específica aparente seca para 1,904 g/cm³. Esse comportamento pode ser atribuído à maior absorção de água pelos agregados reciclados.

Entretanto, o ganho mais significativo foi observado no CBR que passou de 42,5% para 70,5%, conforme observa-se no Gráfico 3, representando um aumento expressivo na capacidade de suporte do material. Esse valor supera não apenas o limite para sub-base, mas também atende aos requisitos para base em vias de tráfego leve a médio.

Gráfico 3 - Representação do CBR da mistura sub-base/RCD e solo da sub-base



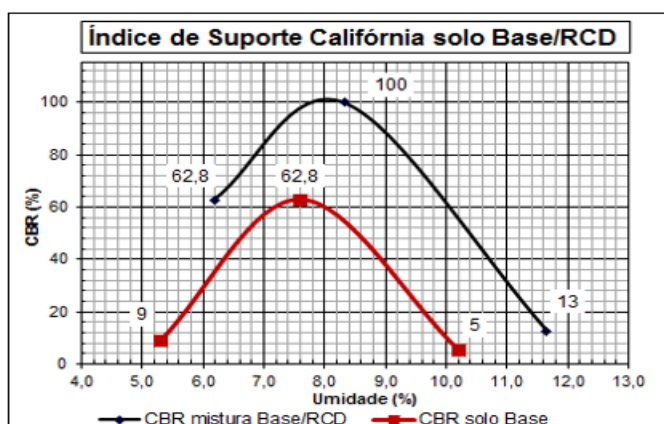
Além disso, a expansão foi nula, indicando excelente estabilidade volumétrica. Esses resultados evidenciam que a adição de RCD promove melhoria significativa no desempenho mecânico do solo, tornando a mistura tecnicamente viável para aplicação em camadas estruturais do pavimento.

3.3.5 Desempenho da Mistura Base/RCD

Para a mistura do solo da base com RCD, observou-se comportamento semelhante ao da sub-base, com aumento da umidade ótima (8,30%) e redução da massa específica aparente seca (2,10 g/cm³). Apesar dessa redução, a estrutura resultante apresentou melhor homogeneidade e maior resistência.

O valor de CBR obtido foi de 100%, conforme o Gráfico 4, representando um aumento significativo em relação ao solo natural (62,8%). Esse resultado indica excelente capacidade de suporte, atendendo com folga aos requisitos normativos para camadas de base, inclusive em condições de tráfego mais severas.

Gráfico 4 - Representação do CBR da mistura sub-base/RCD e do solo da sub-base



A expansão registrada foi de apenas 0,02%, valor muito inferior ao limite máximo permitido, confirmando a estabilidade da mistura. Dessa forma, os resultados demonstram que a adição de RCD não apenas melhora o desempenho do solo, como também amplia sua aplicabilidade em pavimentação.

4 Considerações Finais

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o agregado reciclado atendeu à maior parte dos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15115/2004, apresentando apenas uma pequena inconformidade relacionada ao índice de forma, a qual não compromete, de maneira significativa, sua aplicação em camadas de pavimentação.

A incorporação de resíduos da construção e demolição (RCD) às misturas com solo resultou em melhorias expressivas nas propriedades mecânicas dos materiais. As misturas definidas pelo Método Gráfico de Rothfuchs, com proporções de 60,5% de solo e 39,5% de RCD para a sub-base, e 68,5% de solo e 31,5% de RCD para a base, apresentaram valores de CBR de 70,5% e 100%, respectivamente. Esses resultados representam ganhos significativos em relação aos solos naturais, que apresentaram CBR de 42,5% (sub-base) e 62,8% (base), evidenciando o potencial do RCD como material de reforço.

Destaca-se que a mistura aplicada ao solo da sub-base atingiu desempenho suficiente para atender aos requisitos de camada de base em vias de tráfego leve a médio ($N < 5 \times 10^6$), ampliando sua aplicabilidade. Esse comportamento está associado à melhoria da distribuição granulométrica e à maior interação entre as partículas do solo e do agregado reciclado.

Sob o ponto de vista ambiental, a utilização de RCD contribui para a redução da extração de recursos naturais e para a destinação adequada de resíduos sólidos. Estima-se que a adoção das misturas propostas possa reduzir em aproximadamente 39,5% e 31,5% a

extração de solo para sub-base e base, respectivamente, além de promover o reaproveitamento de resíduos que seriam descartados de forma inadequada.

Dessa forma, conclui-se que o uso de RCD em misturas com solo é uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável para aplicação em pavimentação. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a realização de ensaios complementares, como abrasão Los Angeles, absorção de água, módulo de resiliência e análise de viabilidade econômica, visando ampliar a confiabilidade e aplicabilidade da solução proposta.

Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Utilização em pavimentação – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC)**. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, 2010.

CONAMA. **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT. DNIT 141/2010 – ES: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 2010.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2008.

JOHN, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. Salvador: EDUFBA, 2001.

LEITE, F. C. et al. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. Construction and Building Materials, 2011.

CARDOSO, R. et al. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. Waste Management, 2016.

TRANNIN, I. C. B.; PANCIERI, T. A. Uso de agregados reciclados de RCD como alternativa sustentável para pavimentação. Revista Sodebras, 2019.

CAPÍTULO 6

MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS CONSTRUTIVOS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

*MINIMIZATION OF CONSTRUCTIVE ENVIRONMENTAL IMPACTS THROUGH
THE USE OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE: A BIBLIOGRAPHIC
REVIEW*

Francisca Rayssa Alves Vitorino

Universidade CEUMA

São Luís – Maranhão

francisca74136@ceuma.com.br

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão

Pedreiras – Maranhão

felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão

Pedreiras – Maranhão

marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão

Açailândia – Maranhão

thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão

Pedreiras – Maranhão

ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Este estudo tem como objetivo analisar a utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) na produção de concreto sustentável como alternativa para redução dos impactos ambientais na construção civil. **Metodologia:** A pesquisa possui caráter exploratório e descritivo, baseada em revisão bibliográfica de artigos científicos selecionados em bases como Scielo e Google Acadêmico, considerando estudos experimentais sobre propriedades mecânicas do concreto com agregados reciclados. **Resultados:** Os resultados indicam que a substituição parcial dos agregados naturais por RCD apresenta desempenho satisfatório, com resistência mecânica compatível para aplicações não estruturais e, em alguns casos, estruturais com limitações. Entretanto, substituições totais tendem a reduzir significativamente a resistência do material. **Conclusão:** O uso de RCD na produção de concreto mostra-se uma alternativa viável sob o ponto de vista ambiental e econômico, contribuindo para a redução do consumo de recursos naturais e da geração de resíduos, desde que respeitadas as limitações técnicas do material.

Palavras-chave: Resíduos da construção e demolição; Sustentabilidade; Concreto; Agregados reciclados; Impacto ambiental.

ABSTRACT

Objective: This study aims to analyze the use of construction and demolition waste (CDW) in the production of sustainable concrete as an alternative to reduce environmental impacts in construction. **Methodology:** The research is exploratory and descriptive, based on a bibliographic review of scientific articles selected from databases such as Scielo and Google Scholar, focusing on experimental studies on mechanical properties of concrete with recycled aggregates. **Results:** Results indicate that partial replacement of natural aggregates with CDW presents

satisfactory performance, with mechanical strength suitable for non-structural and, in some cases, structural applications with limitations. However, total replacement significantly reduces strength. Conclusion: The use of CDW in concrete production is a viable environmental and economic alternative, contributing to reducing natural resource consumption and waste generation, provided technical limitations are respected.

Keywords: Construction and demolition waste; Sustainability; Concrete; Recycled aggregates; Environmental impact.

1. Introdução

O avanço da urbanização tem promovido o rápido adensamento dos centros urbanos e, conseqüentemente, a intensificação das atividades da construção civil. Esse crescimento está diretamente associado ao aumento do consumo de recursos naturais e à expressiva geração de resíduos da construção e demolição (RCD), configurando-se como um dos principais desafios ambientais contemporâneos. Nesse contexto, a construção civil destaca-se como uma das atividades humanas de maior impacto ambiental, tanto pela elevada demanda por insumos quanto pela significativa produção de resíduos sólidos.

A reutilização de resíduos da construção e demolição não é uma prática recente, havendo registros históricos de reaproveitamento de materiais provenientes de conflitos e processos de expansão urbana. No entanto, a complexidade atual dos centros urbanos e a diversidade dos materiais utilizados nas obras exigem políticas específicas para o gerenciamento adequado desses resíduos, cabendo ao poder público papel fundamental na regulamentação, fiscalização e incentivo a práticas sustentáveis.

A reciclagem de RCD apresenta diversas vantagens, destacando-se a redução dos custos associados à coleta e disposição final, além da possibilidade de produção de agregados reciclados para uso em concretos, especialmente em aplicações não estruturais. Do ponto de vista ambiental, entretanto, a disposição inadequada desses

resíduos ainda representa um dos principais problemas enfrentados pelos municípios brasileiros, sendo comum sua deposição em áreas irregulares, como margens de rios, terrenos baldios e áreas de preservação, contribuindo para a degradação ambiental e riscos à saúde pública.

Sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável, torna-se imprescindível dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, promovendo o uso racional dos recursos naturais e a minimização da geração de resíduos. A disposição irregular de RCD compromete a qualidade ambiental, favorece a poluição e impacta negativamente a biota, além de agravar problemas sanitários e urbanos, como a proliferação de vetores patogênicos. Esses impactos são intensificados pela utilização de métodos construtivos pouco eficientes, que contribuem para elevados índices de desperdício nas obras.

Diante desse cenário, destaca-se a necessidade de implementação de estratégias mais eficazes de gerenciamento de resíduos, incluindo o fortalecimento da fiscalização, a promoção da educação ambiental e a adoção de diretrizes voltadas à redução na geração de resíduos na fonte. Tais medidas são essenciais para a melhoria da gestão urbana e para a sustentabilidade do setor da construção civil.

Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar a utilização de resíduos da construção e demolição na produção de concreto sustentável, avaliando seu potencial como alternativa para a redução dos impactos ambientais associados às atividades construtivas.

2. Revisão de Literatura

2.1 Concreto Convencional

A resistência mecânica do concreto é amplamente reconhecida como sua principal propriedade, embora, em diversas aplicações práticas, características como durabilidade, impermeabilidade e estabilidade volumétrica também desempenhem papel fundamental.

Ainda assim, a resistência à compressão é frequentemente utilizada como indicador da qualidade do material, por estar diretamente relacionada à microestrutura da pasta de cimento.

O concreto pode ser considerado um material heterogêneo e, até certo ponto, anisotrópico, uma vez que suas propriedades dependem da interação entre seus constituintes. Além disso, apresenta comportamento predominantemente frágil, caracterizado por baixas deformações na ruptura, geralmente entre 0,001 e 0,005 (NEVILLE, 2015). Nesse contexto, a mecânica da fratura contribui significativamente para a compreensão dos mecanismos de falha do material.

A resistência à compressão, representada pelo parâmetro f_{ck} , é a principal propriedade mecânica utilizada no dimensionamento de estruturas. Sua determinação é realizada por meio de ensaios laboratoriais em corpos de prova cilíndricos, moldados e curados sob condições controladas. De forma geral, essa resistência depende principalmente da relação água/cimento e do grau de adensamento da mistura (CARVALHO, 2014).

Além disso, a presença de vazios no concreto influencia diretamente sua resistência, sendo desejável um adequado processo de adensamento para minimizar essa porosidade. Outras propriedades relevantes incluem a resistência à tração e o módulo de elasticidade, essenciais para a avaliação do desempenho estrutural do material.

A relação água/cimento é um dos principais parâmetros de controle tecnológico do concreto. Em baixos valores dessa relação, pode ocorrer dificuldade de adensamento, comprometendo o ganho de resistência. Por outro lado, valores elevados aumentam a porosidade, reduzindo a resistência e a durabilidade. Assim, o equilíbrio entre trabalhabilidade e desempenho mecânico é fundamental na dosagem do concreto (NEVILLE, 2015).

Adicionalmente, fatores como granulometria, forma e textura dos agregados, bem como suas propriedades mecânicas, influenciam significativamente o comportamento do concreto tanto no estado fresco quanto no endurecido.

ii. Resistência à Tração

A resistência à tração do concreto é significativamente inferior à resistência à compressão, sendo um parâmetro importante na análise de fissuração e durabilidade das estruturas. Os principais métodos de ensaio incluem a tração direta, a tração por compressão diametral e a tração na flexão (NEVILLE, 2015). Esses ensaios permitem avaliar o comportamento do material sob diferentes condições de carregamento.

iii. Propriedades dos Agregados

Os agregados constituem aproximadamente 75% do volume do concreto, sendo fundamentais para seu desempenho. Suas características físicas, como granulometria, forma e textura superficial, influenciam diretamente as propriedades do concreto.

Diferentemente do que se supõe, os agregados não atuam apenas como material de enchimento, mas participam ativamente do comportamento mecânico do concreto, tanto no estado fresco quanto endurecido (LISBOA, 2017). Assim, sua qualidade deve ser rigorosamente controlada.

2.2 Materiais Constituintes do Concreto

O concreto é composto basicamente por cimento, água e agregados (miúdos e graúdos), podendo ainda conter aditivos. A interação entre esses componentes resulta em um material com propriedades específicas, determinadas pelo traço adotado.

O cimento é o principal material aglomerante do concreto, responsável pela coesão e resistência do material. Trata-se de um pó fino com propriedades hidráulicas, capaz de endurecer na presença de água, formando uma matriz sólida que envolve os agregados (BOTELHO; FERRAZ, 2016).

A água desempenha papel essencial no processo de hidratação do cimento, sendo responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas do concreto. A relação água/cimento deve ser

cuidadosamente controlada, pois influencia diretamente a resistência e a trabalhabilidade da mistura (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Os aditivos são substâncias adicionadas ao concreto com o objetivo de modificar suas propriedades. Eles podem melhorar características como trabalhabilidade, resistência, durabilidade e impermeabilidade, ou reduzir efeitos indesejáveis, como retração e permeabilidade (ADITIVOS, 2013).

2.3 Tipos de Concreto

O concreto pode ser produzido com diferentes características, de acordo com sua aplicação. Entre os principais tipos destacam-se:

a) Concreto de Alta Resistência Inicial: Atinge alta resistência em poucos dias de idade, podendo dar mais velocidade à obra ou ser utilizado em situações emergenciais;

b) Concreto Auto Adensável: Possui uma grande variedade de aplicações e pode ser obtido com aditivos superplastificantes, proporcionando maior facilidade no bombeamento, excelente homogeneidade, resistência e durabilidade;

c) Concreto Ciclópico: Possui adição de pedras em granulções maiores ao concreto pronto. Estas pedras são adicionadas posteriormente por não poderem ser misturadas dentro do caminhão betoneira;

d) Concreto Extrusado: Este concreto é aplicado para construção de guias e sarjetas;

e) Grout: Aplicação na recuperação de estruturas, na fixação de equipamentos, no reparo de pisos, entre outros;

f) Concreto para Pavimento Rígido: Possui maior resistência e durabilidade, menor custo de manutenção, menor risco de acidentes, menor temperatura superficial;

g) Concreto para Pisos Industriais: Por ser utilizado em local de trânsito intenso e sujeito a agentes agressivos;

h) Concreto Pré-Moldado: Pode ser qualquer um dos elementos estruturais que são moldados e adquirem certo grau de resistência antes do seu posicionamento definitivo;

i) Concreto Rolado: Possui baixo consumo de cimento e baixa trabalhabilidade, permitindo assim, sua compactação através de rolos compressores.

Dessa forma, para cada tipo de utilização há um determinado concreto específico desde o convencional até o de elevada resistência variando de acordo com cada necessidade (PORTAL DO CONCRETO, 2017).

2.4 Concreto Sustentável

A construção civil é responsável por elevado consumo de recursos naturais e significativa geração de resíduos, representando cerca de 25% dos resíduos sólidos urbanos. Nesse contexto, o desenvolvimento de concretos sustentáveis surge como alternativa para reduzir os impactos ambientais do setor.

O concreto sustentável pode ser obtido pela substituição parcial ou total de agregados naturais por materiais reciclados, como resíduos industriais e de construção. Estudos indicam que essa substituição pode reduzir custos e impactos ambientais, embora ainda existam limitações quanto ao uso estrutural (NOGUEIRA, 2013).

O uso de agregados reciclados pode afetar propriedades como trabalhabilidade e absorção de água. Devido à maior porosidade desses materiais, é comum a necessidade de ajustes na dosagem, como a utilização de aditivos plastificantes para manter o desempenho adequado do concreto.

2.4 Traço do Concreto

O traço do concreto define a proporção entre seus componentes e é fundamental para garantir suas propriedades. Pode ser expresso

em massa ou volume, sendo geralmente representado pela relação 1:a:b:água, correspondente a cimento, areia, brita e água, respectivamente.

2.5 Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

Os resíduos de construção e demolição são definidos como materiais provenientes de obras, reformas e demolições, incluindo concreto, cerâmica, madeira, metais e outros. Esses resíduos representam um grande desafio ambiental devido ao seu volume e à disposição inadequada.

A reciclagem de RCD contribui para a redução da extração de recursos naturais e para a sustentabilidade do setor da construção civil (ÂNGULO; JOHN, 2004).

De acordo com a NBR 10004:2004, os RCD são classificados como resíduos inertes (Classe II B). No entanto, sua composição heterogênea pode incluir materiais potencialmente contaminantes, exigindo controle adequado no manejo e destinação.

2.6 Resolução CONAMA 307/2002

A Resolução CONAMA 307 estabelece diretrizes para a gestão dos resíduos da construção civil, classificando-os e definindo responsabilidades para sua correta destinação. Essa norma representa um marco na regulamentação ambiental do setor.

2.7 Sustentabilidade e Resíduos Sólidos

A gestão adequada dos resíduos da construção civil é essencial para minimizar impactos ambientais e melhorar a qualidade de vida urbana. A reciclagem surge como a alternativa mais eficaz, contribuindo

para a redução de custos, aumento da vida útil de aterros e preservação ambiental.

Nesse contexto, a utilização de agregados reciclados no concreto destaca-se como uma solução promissora, alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável e à necessidade de redução dos impactos ambientais da construção civil.

3 Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

3.1 Procedimentos Metodológicos

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva, baseada em revisão bibliográfica, com o objetivo de analisar a viabilidade da utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) na produção de concreto sustentável. A investigação buscou compreender o comportamento mecânico desses materiais, especialmente quanto à resistência e rigidez, a partir de resultados experimentais disponíveis na literatura.

A metodologia foi estruturada em etapas sequenciais, iniciando-se pela seleção de estudos em bases de dados eletrônicas, tais como Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico, periódicos científicos e revistas técnicas especializadas. Em seguida, realizou-se um levantamento teórico dos principais conceitos relacionados ao concreto convencional e sustentável, bem como às propriedades dos agregados reciclados.

Para a busca dos trabalhos, foram utilizados os descritores: “concreto”, “tipos de agregados para concreto”, “resíduos da construção e demolição”, “resistência”, “compressão do concreto” e “sustentabilidade”. A coleta de dados ocorreu no período de janeiro a junho, sem delimitação temporal, em função da limitação de estudos específicos sobre o tema.

O levantamento inicial resultou em 27 artigos, dos quais cinco foram selecionados com base em critérios de relevância, aderência ao tema e presença de resultados experimentais. Entre os estudos

analisados, destacam-se trabalhos que abordam a resistência à compressão, comportamento mecânico e viabilidade técnica do uso de agregados reciclados em concretos.

A análise dos estudos selecionados foi conduzida de forma comparativa, considerando os métodos experimentais adotados, os parâmetros avaliados e os resultados obtidos. Foram examinadas propriedades como resistência à compressão, características dos agregados e desempenho do concreto produzido com substituições parciais ou totais de materiais naturais.

Adicionalmente, a interpretação dos resultados foi realizada à luz do conceito do tripé da sustentabilidade, contemplando aspectos ambientais, econômicos e sociais. Nesse sentido, buscou-se evidenciar o potencial do reaproveitamento de resíduos como alternativa técnica viável e ambientalmente adequada para a construção civil.

3.2 Resultados e Discussão

As atividades da construção civil apresentam elevado potencial de geração de impactos ambientais, especialmente quando associadas ao manejo inadequado dos resíduos gerados. Nesse contexto, a reciclagem de resíduos da construção e demolição (RCD) surge como alternativa viável para mitigação desses impactos, permitindo sua reutilização como matéria-prima na produção de concreto sustentável.

A análise dos estudos selecionados evidencia que a substituição de agregados naturais por agregados reciclados apresenta resultados promissores, sobretudo quando realizada de forma parcial. No estudo de Nogueira (2013), a utilização de RCD como substituto dos agregados naturais demonstrou que o concreto produzido pode atingir resistências compatíveis com aplicações estruturais de menor exigência, embora não seja recomendado para elementos que demandam elevados valores de f_{ck} , como estruturas principais.

Os ensaios realizados, conforme normas técnicas vigentes, indicam que o desempenho do concreto sustentável está diretamente relacionado às características dos agregados reciclados, incluindo

granulometria, absorção de água e composição. A maior porosidade desses materiais influencia negativamente a resistência mecânica, exigindo ajustes na dosagem e no controle tecnológico.

Resultados semelhantes foram observados por Costa e Rios (2017), que identificaram que substituições inferiores a 50% dos agregados naturais por RCD apresentam desempenho satisfatório, com resistência à compressão próxima ao concreto convencional. Por outro lado, substituições totais resultaram em redução significativa da resistência, evidenciando limitações quanto ao uso estrutural em altas proporções de material reciclado.

Adicionalmente, verificou-se que a substituição apenas do agregado graúdo em percentuais moderados pode apresentar melhor desempenho, uma vez que a manutenção do agregado miúdo natural contribui para a melhoria da trabalhabilidade e da resistência do concreto. Essa tendência reforça a importância do equilíbrio na composição do traço.

No estudo de Leme e Pereira (2019), os resultados experimentais indicaram redução média significativa da resistência à compressão em concretos produzidos com agregados reciclados, quando comparados ao concreto convencional. Apesar disso, observou-se que o concreto reciclado apresenta vantagens relevantes, como menor densidade e redução de custos, além de benefícios ambientais associados à diminuição da extração de recursos naturais e à destinação adequada dos resíduos.

De forma complementar, Xavier et al. (2016) destacam que a utilização de agregados reciclados apresenta viabilidade técnica para aplicações não estruturais, desde que sejam adotados processos adequados de beneficiamento, como britagem e controle granulométrico. Entretanto, a heterogeneidade dos resíduos e a presença de materiais cerâmicos podem comprometer o desempenho do concreto, exigindo tratamentos adicionais, como lavagem para redução de finos.

Os resultados obtidos por Galdino et al. (2019) corroboram essas observações, indicando que a combinação de RCD com outros materiais, como o pó de pedra, pode melhorar o desempenho do

concreto, especialmente em termos de resistência à compressão. Em alguns casos, essa combinação apresentou valores próximos aos do concreto convencional, evidenciando o potencial de otimização por meio da composição adequada dos materiais.

De modo geral, os estudos analisados apontam que o concreto produzido com agregados reciclados apresenta maior porosidade e menor trabalhabilidade, fatores que influenciam diretamente seu desempenho mecânico. Contudo, ajustes no traço, uso de aditivos e controle tecnológico adequado podem minimizar essas limitações.

Sob a perspectiva da sustentabilidade, o uso de RCD na produção de concreto representa uma alternativa eficiente para a redução dos impactos ambientais da construção civil, promovendo a economia de recursos naturais, a diminuição de resíduos e a redução de custos. No entanto, sua aplicação em elementos estruturais ainda requer cautela, sendo recomendada a realização de estudos adicionais relacionados à durabilidade, fluência, retração e comportamento a longo prazo.

Assim, verifica-se que o concreto sustentável, quando corretamente dosado e aplicado, pode atender a diversas demandas da construção civil, especialmente em aplicações não estruturais, consolidando-se como uma solução tecnicamente viável e ambientalmente adequada.

4. Considerações Finais

Os resultados analisados neste estudo evidenciam o potencial da utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) na produção de concreto, especialmente no que se refere à resistência à compressão. Verificou-se que substituições parciais dos agregados naturais por agregados reciclados, em faixas de 25% a 50%, apresentam desempenho satisfatório, com reduções moderadas de resistência, mantendo níveis adequados para diversas aplicações na construção civil.

Por outro lado, substituições totais dos agregados, tanto miúdos quanto graúdos, mostraram-se tecnicamente inviáveis em função da

significativa perda de resistência mecânica, limitando o uso do concreto reciclado em aplicações estruturais mais exigentes. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de cautela na definição dos teores de substituição, bem como a importância do controle tecnológico na produção desses concretos.

A análise da literatura indica uma tendência crescente de aceitação do uso de RCD na produção de concreto, sobretudo em aplicações não estruturais e em elementos de menor sollicitação. No entanto, ainda se fazem necessários estudos mais aprofundados relacionados ao comportamento a longo prazo do material, especialmente no que se refere à fluência, retração e durabilidade, aspectos fundamentais para sua aplicação em estruturas.

Do ponto de vista ambiental, o aproveitamento de resíduos da construção civil apresenta-se como uma alternativa sustentável, contribuindo para a redução da extração de recursos naturais e para a mitigação dos impactos associados ao descarte inadequado desses materiais. Além disso, destaca-se o potencial de redução de custos, tornando o concreto reciclado uma solução economicamente viável.

Os impactos ambientais decorrentes da construção civil são significativos, abrangendo desde o consumo intensivo de recursos naturais até a geração de grandes volumes de resíduos. Estima-se que esse setor seja responsável por parcela expressiva do consumo de recursos disponíveis, o que reforça a necessidade de adoção de práticas mais sustentáveis.

Nesse contexto, a reciclagem de RCD surge como estratégia fundamental para a gestão adequada dos resíduos sólidos, contribuindo para a redução de problemas urbanos, como deposições irregulares, obstrução de sistemas de drenagem e proliferação de vetores patogênicos.

Por fim, destaca-se que a solução dos problemas associados aos resíduos da construção civil exige uma atuação integrada entre poder público, setor privado e sociedade. A implementação de políticas públicas eficazes, aliada à conscientização ambiental e ao desenvolvimento tecnológico, é essencial para promover o

reaproveitamento dos resíduos e consolidar práticas sustentáveis no setor da construção civil.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15116: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739: concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211: agregados para concreto – especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248: agregados – determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2002.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2015.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P.; TUTIKIAN, B. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. In: IBRACON. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011.

CARVALHO, J. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. *Revista Tecnológica*, 2014.

BOTELHO, M. H. C.; FERRAZ, N. N. **Concreto armado: eu te amo**. São Paulo: Blucher, 2016.

NAGALI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos com agregados reciclados**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

COSTA, G. C.; RIOS, E. N. **Avaliação da resistência à compressão do concreto com RCD**. 2017.

NOGUEIRA, L. G. S. **Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável**. 2013.

OLIVEIRA, G. L.; PEREIRA, N. J.; LIMA, R. A. **Resistência do concreto utilizando RCD**. 2019.

GALDINO, G. E. C. et al. **Utilização de agregados alternativos: RCD e pó de pedra**. 2019.

XAVIER, K. S. et al. **Produção de concreto sustentável no sertão pernambucano**. 2016.

SILVA, L. S. et al. **Concreto sustentável com substituição de agregados**. 2015.

ARAÚJO, D. L. et al. **Influência de agregados reciclados nas propriedades do concreto**. 2015.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção civil**. São Paulo: USP, 2004.

CAPÍTULO 7

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CENTRO DE ENSINO EM SÃO LUÍS – MA

TECHNICAL AND FINANCIAL FEASIBILITY ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN AN EDUCATIONAL INSTITUTION IN SÃO LUÍS – MA

Marcos Wosniak

Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
marcos91119@ceuma.com.br

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Analisar a viabilidade técnica-financeira da implantação de um sistema fotovoltaico em um Centro de Ensino em São Luís – MA, visando à redução de custos com energia elétrica e à diversificação energética. **Metodologia:** A pesquisa, de caráter exploratório e estudo de caso, baseou-se na análise do consumo energético, dados solarimétricos da região, dimensionamento do sistema e avaliação econômica por meio de indicadores como payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Mínima de Atratividade (TMA). **Resultados:** Os resultados indicaram viabilidade técnica do sistema e retorno financeiro em aproximadamente 3 anos, 5 meses e 18 dias, considerando um investimento de R\$ 124.719,00. **Conclusão:** A implantação do sistema fotovoltaico é tecnicamente e economicamente viável, proporcionando economia média anual de energia e contribuindo para a sustentabilidade energética da instituição.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica; viabilidade técnica-financeira; sustentabilidade.

ABSTRACT

Objective: To analyze the technical and financial feasibility of implementing a photovoltaic system in an educational institution in São Luís – MA, aiming to reduce electricity costs and promote energy diversification. **Methodology:** The study, characterized as exploratory and a case study, was based on energy consumption analysis, regional solar data, system sizing, and economic evaluation using indicators such as payback, Net Present Value (NPV), and Minimum Attractiveness Rate (MAR). **Results:** The results indicated technical feasibility and a financial return period of approximately 3 years, 5 months, and 18 days, considering an investment of R\$ 124,719.00. **Conclusion:** The photovoltaic system is technically and economically viable, providing annual energy savings and contributing to the institution's energy sustainability.

Keywords: photovoltaic solar energy; technical and financial feasibility; sustainability.

1 Introdução

Diante do cenário atual de exploração intensiva de combustíveis fósseis e do crescimento da demanda energética, aumentam-se os impactos ambientais e a necessidade de alternativas sustentáveis. Nesse contexto, as fontes renováveis ganham destaque por contribuírem para a diversificação da matriz energética, redução de impactos ambientais e maior segurança energética

No Brasil, apesar da matriz elétrica ser majoritariamente renovável, a energia solar ainda possui baixa participação, mesmo apresentando grande potencial, especialmente em regiões como o Nordeste. Além disso, fatores como crises econômicas e hídricas têm impactado o custo da energia elétrica, reforçando a necessidade de soluções mais eficientes e economicamente viáveis.

Nesse cenário, a energia solar fotovoltaica se destaca como alternativa promissora, devido ao seu baixo impacto ambiental, flexibilidade de instalação e redução de custos nos últimos anos, impulsionada por avanços tecnológicos e incentivos governamentais.

Dessa forma, considerando o elevado consumo energético em instituições de ensino, torna-se relevante avaliar a aplicação dessa tecnologia como forma de reduzir custos operacionais e promover a sustentabilidade.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica-financeira da implantação de um sistema fotovoltaico em um centro de ensino, visando à redução de gastos com energia elétrica e à diversificação da geração energética.

2 Revisão de Literatura

2.1. Principais tipos de uso e dependência da energia elétrica

A importância da energia elétrica para o desenvolvimento e sobrevivência da sociedade contemporânea, evidencia que seu uso se tornou indispensável em setores fundamentais como agricultura, indústria, medicina, comércio, transporte e infraestrutura (BARROS, 2015). O crescimento populacional e a dependência energética aumentam a demanda por produção de energia de qualidade, que deve levar em conta fatores técnicos, sociais, econômicos, geográficos e ambientais (BARROS, 2015).

Segundo Moreira (2017), o consumo de energia está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico: países ricos conseguem atender melhor às necessidades energéticas de sua população, enquanto países pobres enfrentam limitações por fatores econômicos, tecnológicos ou geográficos.

A eletricidade impulsionou grandes avanços na humanidade, melhorando a qualidade de vida, a eficiência na produção e distribuição de alimentos, o desenvolvimento de dispositivos e tecnologias inovadoras, e o progresso em setores como comunicação, indústria química, metalurgia, transporte e agricultura (LABREN, 2020). Moreira (2017) também argumenta que a energia elétrica transformou a sociedade, dando origem a uma "Nova Ordem Mundial", com profundas mudanças nos modos de vida, cultura, produção e interações sociais, promovendo um desenvolvimento mais sustentável e equitativo.

2.2. Principais meios de produção de energia elétrica

Para que um país atenda às suas necessidades energéticas, é necessário considerar fatores como recursos naturais, localização geográfica, características técnicas e ecológicas, além da viabilidade técnica e financeira. Diversificar a matriz energética é essencial para reduzir a dependência de uma única fonte, prevenindo problemas causados por variações sazonais ou interrupções no fornecimento (BARROS, 2015).

O aumento da demanda energética impulsiona o desenvolvimento de novas formas de produção e conversão de energia,

refletindo a capacidade humana de adaptação e evolução ao longo da história, desde o uso do fogo até a eletricidade (BARROS, 2015).

2.2.1. Matriz elétrica brasileira

No século XX, o crescimento populacional e industrial no Brasil aumentou a demanda por energia elétrica, impulsionando o desenvolvimento do país, especialmente após a Segunda Guerra Mundial, com a construção de indústrias e infraestrutura (BRASIL, 2018). A matriz energética brasileira passou a depender fortemente da energia hidrelétrica a partir de 2000, enquanto a energia solar ainda tem baixa representatividade. No entanto, a Portaria ANEEL nº 482/2012 incentivou a micro e minigeração descentralizada, promovendo o aumento do uso de energia solar (BRASIL, 2018; BEN, 2021).

Tabela 1 - Geração elétrica por fonte no Brasil (GWh).

Fonte	2015	2020	Δ 2020/2015
Hidrelétrica	359.743	396.327	10.17 %
Biomassa	47.394	56.167	18.51 %
Gás Natural	79.490	53.464	- 32.74 %
Eólica	21.626	57.051	163.81 %
Carvão/Derivados	18.856	11.946	36.65 %
Nuclear	14.734	14.053	-4.62 %
Solar	0.42	7.747	1744.53 %

Fonte: Adaptado de BEN (2021).

2.3. Energia Solar

A energia solar é considerada uma fonte inesgotável e uma das alternativas energéticas mais promissoras para os próximos milênios. Seu potencial é tão elevado que, em apenas 12 minutos de radiação solar na Terra, seria possível gerar energia suficiente para suprir todas as necessidades globais de um ano, caso fosse totalmente aproveitado (CRESESB, 2019; RUTHER, 2019). O processo de conversão de energia solar em elétrica envolve o entendimento dos princípios de funcionamento de sistemas fotovoltaicos, os dispositivos e componentes utilizados, a escolha de locais favoráveis com maior potencial solar e métodos precisos de obtenção de dados solarimétricos.

2.3.1. Radiação Solar

A radiação solar que atinge a Terra está diretamente relacionada à órbita do planeta em torno do Sol e é influenciada por fatores atmosféricos e terrestres, que afetam sua intensidade, distribuição espectral e variabilidade angular, aspectos essenciais para determinar o fluxo de radiação em uma região específica (BARROS, 2015). Para este estudo, foram utilizados dados solarimétricos da região, que já incluem esses valores, suas coordenadas geográficas e ângulos de inclinação apropriados.

2.3.2. Dispositivos para medição da irradiação solar.

Os valores médios de radiação solar são registrados em bancos de dados monitorados por vários anos, essenciais para estudos de viabilidade técnico-financeira de projetos de aproveitamento da energia solar (EPE, 2019). A coleta de dados de irradiância instantânea permite escolher o melhor local para instalação de sistemas fotovoltaicos, dimensionar geradores, estimar o potencial de geração e reduzir custos

desnecessários (LABREN, 2020). Para garantir medições de qualidade, são utilizados equipamentos como pirômetros e piranômetros — sendo estes últimos do tipo termopilha ou fotovoltaico — que permitem medir a radiação solar global ou apenas a componente direta, conforme a configuração do sensor (CRESEB, 2019; EPE, 2019).

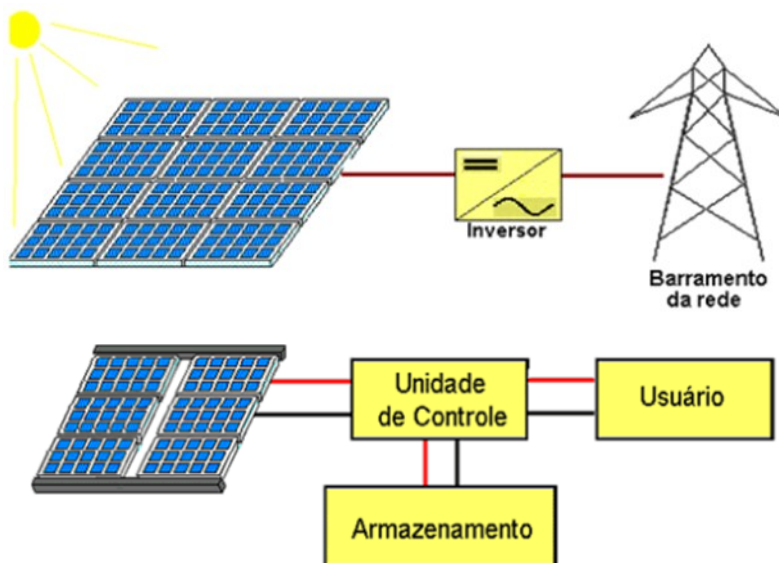
2.4. Geração de energia solar fotovoltaica

O efeito fotovoltaico permite a conversão da radiação solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, que podem ser feitas de silício cristalino (monocristalino e policristalino), silício amorfo hidrogenado ou telureto de cádmio, cuja eficiência depende da quantidade de radiação solar convertida em energia elétrica (CRESEB, 2014; PORTAL SOLAR, 2022). Inicialmente restrita a satélites devido ao alto custo, a tecnologia evoluiu, tornando-se acessível para diversas aplicações, especialmente em áreas remotas (CRESEB, 2019; RÜTHER, 2019).

A classificação dos sistemas fotovoltaicos (SFV), segundo a ABNT NBR-11704/2008, considera a interligação com a rede elétrica e a configuração do sistema. Quanto à interligação, existem:

- Sistemas isolados (SFI): não conectados à rede elétrica pública, exigindo baterias e equipamentos adicionais, o que aumenta o custo de implementação.
- Sistemas conectados à rede (SFCR): ligados à rede elétrica pública, sem necessidade de dispositivos adicionais de armazenamento, tornando-se mais acessíveis financeiramente, mantendo os mesmos componentes essenciais, como módulos fotovoltaicos e inversores (CRESEB, 2019).

Figura 1 - Configurações básicas dos sistemas fotovoltaicos conectado à rede (SFCR) e isolado (SFI), respectivamente.



Fonte: (CRESESB, 2014).

Quanto à configuração, os sistemas podem ser:

- Sistemas puros: utilizam apenas geradores fotovoltaicos como fonte de energia.
- Sistemas híbridos: combinam geradores fotovoltaicos com outras fontes de energia elétrica.

O foco do estudo recai sobre os SFCR, devido ao menor custo de implantação e maior viabilidade técnica e econômica.

2.4.1. Princípios de funcionamento das células fotovoltaicas.

A eficiência das células fotovoltaicas depende diretamente dos materiais utilizados em sua produção, sendo fundamental compreender suas propriedades (PORTAL SOLAR, 2022). As tecnologias de semicondutores podem ser divididas em dois grupos: **camadas cristalinas** e **filme fino**. O grupo cristalino (c-Si) inclui silício

monocristalino (mono-Si) e policristalino (multi-Si), enquanto o grupo de filme fino abrange silício amorfo (a-Si) e telureto de cádmio (CdTe), cujo custo de produção impacta diretamente o valor do sistema (PORTAL SOLAR, 2022).

As células de silício cristalino são as mais comuns, representando 99% dos painéis solares residenciais. O silício, abundante na natureza, é extraído do quartzo e purificado. **O Monocristalino (m-Si)** é produzido a partir de silício purificado monocristalizado, possui alta eficiência devido à estrutura de cristal único. Já **o Policristalino (p-Si)** é formado a partir de lingotes de silício fundido que cristalizam livremente, formando múltiplos cristais, resultando em eficiência ligeiramente inferior ao monocristalino devido à recombinação eletrônica (PORTAL SOLAR, 2022).

As Células solares de 2ª geração – Filme fino (Thin-Film) representam cerca de 12% da produção mundial e utilizam materiais semicondutores em camadas muito finas, permitindo menor consumo de material e energia, além de viabilizar formatos flexíveis. Os materiais mais comuns são **silício amorfo (a-Si)** e **telureto de cádmio (CdTe)** (CRESEB, 2019; RÜTHER, 2004). As células a-Si, inicialmente de baixa eficiência, podem atingir 6 a 9% com a técnica de empilhamento de placas (CRESEB, 2019; PORTAL SOLAR, 2022). A produção em larga escala de CdTe enfrenta limitações ambientais e de disponibilidade de recursos: o cádmio é tóxico e o telúrio é escasso, extraído como subproduto da produção de cobre. A reciclagem rigorosa é necessária para mitigar impactos ambientais (CRESEB, 2014).

Tabela 2 – Especificações de tipos de Células fotovoltaicas

Tipo de Célula	Tamanho	Forma	Eficiência	Espessura
Mono-Si	10 x 10 cm; 12,5 x 12,5 cm; 15 x 15 cm	Arredondado	15-18 %	0,3 mm

Tipo de Célula	Tamanho	Forma	Eficiência	Espessura
Poli-Si	10 x 10 cm; 12,5 x 12,5 cm; 15 x 15 cm	Quadrada	13-15 %	0,3 mm
a-Si	0,77 x 2,44 m; 2,00 x 3,00 m	Formato livre	6-9 %	1,00-3,00 mm
CdTe	1,20 x 0,60 m	Formato livre	9-16 %	3,00 mm (substrato) + 8 µm revestimento

Fonte: Adaptado NEOSOLAR (2022).

Observamos que os tipos de Mono-Si e Poli-Si são células rígidas de tamanho pequeno (cm), com diferença na forma e eficiência. Já a célula de a-Si é flexível, tamanho grande, eficiência menor, espessura maior e a célula de CdTe é uma tecnologia de filme fino, com substrato espesso e revestimento muito fino, eficiência intermediária.

3. Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

3.1 Procedimentos Metodológicos

O estudo foi desenvolvido por meio de um estudo de caso, com base em levantamento bibliográfico e análise de dados técnicos, visando compreender os fatores que influenciam a geração de energia solar fotovoltaica e propor soluções para sua implementação eficiente. A abordagem incluiu análise experimental, uso de métodos de tentativa e erro e interpretação de dados para resolução de problemas reais.

A pesquisa foi realizada em um centro de ensino localizado em São Luís (MA), considerando suas condições geográficas e estruturais. Inicialmente, foram coletados dados solarimétricos da região, fundamentais para avaliar a viabilidade do sistema fotovoltaico, com destaque para parâmetros como radiação solar e temperatura, que impactam diretamente o desempenho energético. Esses dados foram

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

obtidos por meio de plataformas especializadas, permitindo análises históricas e definição das horas de sol pleno (HSP).

Também foram analisadas as condições do local, especialmente em relação ao sombreamento e à configuração do sistema, comparando-se sistemas isolados (off-grid) e conectados à rede (on-grid), considerando aspectos técnicos e econômicos. A demanda energética foi determinada a partir do consumo da unidade, utilizando dados históricos de faturas de energia.

O dimensionamento do sistema envolveu o cálculo da potência do gerador fotovoltaico, definição da quantidade de módulos necessários, dimensionamento do inversor e das instalações elétricas em corrente contínua e alternada, conforme normas técnicas vigentes, especialmente a NBR 5410.

Por fim, foi realizada a análise de viabilidade econômico-financeira do projeto, utilizando indicadores como payback simples e descontado, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Taxa Mínima de Atratividade (TMA), permitindo avaliar o retorno do investimento e a viabilidade do sistema proposto.

A tabela abaixo descreve, sucintamente, essa metodologia de cálculo com o passo a passo:

Tabela 3 – Especificações da Metodologia de Cálculo

Etapa	Descrição	Cálculo / Fórmula
1	Levantamento de dados solarimétricos	Coleta de irradiação solar ($\text{kWh/m}^2.\text{dia}$) e determinação de HSP
2	Determinação da demanda energética	Consumo médio mensal = soma dos consumos / 12
3	Dimensionamento do gerador FV	$\text{EPM} = I_{\text{solar}} \times A \times \eta \times 30$
4	Quantidade de módulos FV	$\text{QMF} = \text{Consumo médio mensal} / \text{Energia por módulo}$

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

5	Dimensionamento do inversor	$P_{\text{inversor}} = \text{QMF} \times \text{Potência do módulo}$
6	Dimensionamento dos cabos	$S = \rho \times (D \times l) / \Delta V$
7	Payback simples	$\text{PBs} = \text{Investimento total} / \text{Economia anual}$
8	Payback descontado	$\text{PBd} = \ln(1 - (\text{IT} \times i)/A) / \ln(1 + i)$
9	Valor Presente Líquido	$\text{VPL} = \text{FC0} + \sum (\text{FCn} / (1+\text{TMA})^n)$

Fonte: Autores (2022).

3.2 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos a partir do dimensionamento e análise do sistema fotovoltaico demonstram a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema conectado à rede (SFCR) no Centro de Ensino analisado.

Inicialmente, com base nos dados solarimétricos fornecidos pelo CRESESB, verificou-se que a região de São Luís – MA apresenta irradiação solar média anual de 5,21 kWh/m².dia, valor considerado elevado e favorável à geração de energia fotovoltaica. Observou-se também uma variação sazonal, com menores índices no período chuvoso (abril: 4,65 kWh/m².dia) e maiores no período seco (setembro: 6,02 kWh/m².dia), o que impacta diretamente a produção energética ao longo do ano.

No que se refere à demanda energética, o consumo médio do Centro de Ensino foi de 2.519,271 kWh/mês, equivalente a 83,976 kWh/dia, apresentando variações ao longo do ano em função de fatores como período letivo e condições climáticas. Esse consumo serviu como base para o dimensionamento do sistema.

A partir desses dados, foi calculada a energia produzida por módulo fotovoltaico. Considerando a irradiação média, a área do módulo (1,984 m²) e sua eficiência (18,2%), obteve-se inicialmente

EPM = 56,438 kWh/mês. Aplicando um fator de desempenho de 0,8 (considerando perdas do sistema), chegou-se a EPM corrigida = 45,150 kWh/mês. Com base nesse valor, foi possível determinar a quantidade de módulos necessários para atender à demanda QMF = $2.519,271 / 45,150 \approx 55,8$ módulos. Arredondando para garantir atendimento da carga, foram adotados 56 módulos fotovoltaicos de 360 Wp, o que assegura a geração de energia suficiente para o consumo da unidade.

No dimensionamento do inversor, optou-se por um equipamento de 25 kW, compatível com a potência do sistema e permitindo futuras expansões. A configuração foi ajustada para equilibrar as strings de entrada, respeitando as limitações técnicas do equipamento.

Quanto ao dimensionamento dos condutores elétricos, o cálculo indicou uma seção mínima de 1,18 mm², sendo adotado o valor de 2,0 mm² por critérios de segurança e conformidade com normas técnicas. Esse ajuste contribui para reduzir perdas elétricas e garantir maior confiabilidade ao sistema.

A estimativa de geração anual de energia foi realizada considerando a variação mensal da irradiação solar. O sistema apresentou uma produção total de 68.833,49 kWh/ano. Esse valor, ao ser multiplicado pela tarifa de energia elétrica (R\$ 0,64/kWh), resultou em uma economia anual de aproximadamente R\$ 44.053,43.

Em termos de investimento, o custo total para implantação do sistema foi estimado em R\$ 124.719,00 (previsão orçamentária do projeto incluindo inversor, módulos, materiais, montagem, manutenções, etc.).

A análise de viabilidade econômica indicou um payback simples de 2,83 anos, evidenciando um retorno rápido do investimento. Quando considerada uma taxa de desconto de 10% ao ano, o payback descontado foi de 3,46 anos, valor ainda bastante atrativo para projetos desse tipo.

Ao longo da vida útil estimada do sistema (25 anos), a economia acumulada pode ultrapassar R\$ 1 milhão, demonstrando elevado potencial de retorno financeiro. Além disso, destaca-se a redução significativa dos custos com energia elétrica e a contribuição para a sustentabilidade ambiental.

**ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E
TECNOLOGIAS APLICADAS**

Tabela 4 – Dimensionamento Energético e Elétrico

DIMENSIONAMENTO ENERGÉTICO		
Etapa	Fórmula	Resultado
Energia por módulo (EPM)	$EPM = I \times A \times \eta \times 30$	56,438 kWh/mês
EPM corrigida	$EPM \times TD (0,8)$	45,150 kWh/mês
Quantidade de módulos	$QMF = Consumo / EPM$	56 módulos
Energia mensal (jan)	$E = P \times (dias \times HSP) \times TD$	5.486,628 kWh
Produção anual	Soma mensal	68.833,49 kWh/ano
Economia anual	Energia \times tarifa	R\$ 44.053,43
Payback simples	$PB = Investimento / economia\ anual$	2,83 anos
Payback descontado	$PBd (i=10\%)$	3,46 anos
DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO		
Parâmetro	Fórmula	Resultado
Seção do cabo	$S = \rho \times (D \times I) / \Delta V$	1,18 mm ² (adotado 2 mm ²)
Potência do inversor	$P = QMF \times Pot.\ módulo$	20,16 kW (adotado 25 kW)

Fonte: Autores (2026).

4. Considerações Finais

De acordo com os resultados das análises, a implantação do sistema fotovoltaico (SFV) como alternativa para redução dos gastos com energia elétrica e promoção da diversificação energética do Centro de Ensino mostrou-se viável para o período analisado de 25 anos. Considerando as condições do ambiente de aplicação, a configuração do sistema, a taxa de desempenho e as demais condicionantes, foi possível constatar a viabilidade técnico-financeira do investimento.

Verificou-se, ainda, que o sistema apresenta retorno do investimento em aproximadamente 3 anos, 5 meses e 18 dias, evidenciando sua viabilidade econômica. Além disso, estima-se uma economia média anual de R\$ 44.053,43, valor que pode ser reinvestido na melhoria da infraestrutura e da qualidade do ensino da instituição.

Adicionalmente, destacam-se os benefícios ambientais proporcionados pela utilização da energia solar fotovoltaica, considerada uma das principais fontes de energia renovável, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para a promoção da sustentabilidade

Referências Bibliográficas

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em 19/04/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704:** Sistemas fotovoltaicos - Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008.

BARROS, Benjamim Ferreira. **Eficiência energética:** técnicas de aproveitamento, gestão e fundamentos. São Paulo, 2015.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília, 2007.

BRASIL, MINISTÉRIO. **Novos empreendimentos solares devem gerar investimento de 8 bilhões**. 2018. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/web/quest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOz_MKwWb/content/novos-empreendimentos-solares-devem-gerar-investimento-de-r-8bilhoes>. Acesso em: 15/04/2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **BEN - Balanço energético nacional 2021** - ano base 2020. Brasília, 2018.

CRESESB. **Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**. Potencial solar - Sun Data. 2019. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/413460534/CRESESB-Centro-de-Referencia-Para-Energia-Solar-e-Eolica> Acesso em: 02/06/2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2020**: ano base 2019. Ministério de Minas e Energia – MME. Rio de Janeiro, 2020.

LABREN - **Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia**. Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. São Luís: Base de dados do Estado do Maranhão, 2017. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/MA_glo.html. Acesso em: 10 maio 2022.

MOREIRA, A. L. M.; OLIVEIRA, F. B. R. D. **Estudo de viabilidade de sistema fotovoltaico conectado à rede em uma instituição de ensino**. Gramado, p.7, 2018.

NEOSOLAR. **Painel solar fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br>. Acesso em: 08/05/2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB, p. 530, 2014.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso 17/05/2022.

RÜTHER, R., NASCIMENTO, L. R., CAMPOS, R. A. **Extreme solar overirradiance events in Brazil**. Solar Energy, 2019.

CAPÍTULO 8

**PLANEJAMENTO URBANO E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL:
UMA ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO BAIRRO
DO JARACATY EM SÃO LUÍS - MA**

*URBAN PLANNING AND ENVIRONMENTAL DEGRADATION: AN ANALYSIS OF
LAND USE AND OCCUPATION IN THE JARACATY NEIGHBORHOOD IN SÃO
LUÍS - MA*

Gabrielle Silva Marques
Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
gabrielle104224@ceuma.com.br

José Henrique Lopes Góes
Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
henrique.goes@ceuma.br

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim
IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira
IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos
IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Analisar o uso e a ocupação do solo no bairro Jaracaty, em São Luís – MA, avaliando as transformações territoriais decorrentes da urbanização desordenada e seus impactos ambientais e sociais. **Metodologia:** A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, com abordagem quali-quantitativa e caráter exploratório, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para o mapeamento das mudanças na cobertura do solo no período de 2010 a 2023. **Resultados:** Os resultados indicam a ocorrência de ocupações irregulares em áreas ambientalmente sensíveis, especialmente em regiões de manguezais, evidenciando processos de degradação ambiental e aumento da vulnerabilidade social. Observou-se também a expansão da área urbanizada e alterações significativas na dinâmica de uso do solo ao longo do período analisado. **Conclusão:** A ausência de planejamento urbano eficaz tem contribuído para a ocupação desordenada e degradação de ecossistemas frágeis. O uso de geotecnologias mostrou-se fundamental para o monitoramento territorial e pode subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas à conservação ambiental e ao ordenamento urbano sustentável.

Palavras-chave: urbanização; planejamento urbano; uso e ocupação do solo; políticas públicas; sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Objective: To analyze land use and occupation in the Jaracaty neighborhood, in São Luís – MA, evaluating territorial transformations resulting from disorderly urbanization and their environmental and social impacts. **Methodology:** The research is characterized as a case study with a qualitative and quantitative approach and exploratory nature, using geoprocessing and remote sensing techniques to map land cover changes between 2010 and 2023. **Results:** The results indicate the occurrence of irregular occupations in environmentally sensitive areas, particularly in mangrove regions, highlighting processes of environmental degradation and increased social vulnerability. It was also observed the expansion of urbanized areas and significant changes in land use dynamics during the analyzed period. **Conclusion:** The lack of effective urban planning has contributed to disorderly occupation and degradation of fragile ecosystems. The use of geotechnologies proved to be essential for territorial monitoring and may support the development of public policies aimed at environmental conservation and sustainable urban planning.

Keywords: urbanization; public policies; urban planning; land use and occupation; remote sensing.

1. Introdução

A urbanização promove transformações significativas na estrutura social e econômica das cidades, refletindo a interação entre crescimento populacional e desenvolvimento urbano. Em países em desenvolvimento, como o Brasil, esse processo, quando não acompanhado de planejamento adequado, resulta em mudanças na dinâmica socioespacial e impõe desafios ao desenvolvimento sustentável, evidenciando a necessidade de políticas urbanas eficazes.

Nesse contexto, o crescimento desordenado e as ocupações irregulares tornam-se recorrentes em áreas metropolitanas, especialmente em regiões costeiras, como o bairro Jaracaty, em São

Luís – MA. O processo de urbanização da cidade, intensificado ao longo do século XX, levou à ocupação de ecossistemas sensíveis, como os manguezais, fundamentais para a biodiversidade e o equilíbrio ambiental.

No bairro Jaracaty, a expansão urbana desordenada, associada à presença de habitações em áreas de mangue, como palafitas, tem provocado impactos ambientais significativos, incluindo a degradação de habitats naturais e o aumento da vulnerabilidade social. Esse cenário evidencia os desafios enfrentados pelo planejamento urbano em conciliar crescimento urbano e preservação ambiental.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar o uso e a ocupação do solo na região, com base na comparação com os planos diretores e na aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. A análise contempla os anos de 2010, 2020 e 2023, considerando aspectos como densidade populacional, expansão urbana e degradação ambiental.

Dessa forma, o estudo busca contribuir para a compreensão das dinâmicas territoriais locais, fornecendo subsídios para o planejamento urbano e para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação ambiental e à melhoria da qualidade de vida da população.

2. Revisão de Literatura

O meio ambiente urbano, que se refere ao ambiente modificado pela ação humana, é simbolizado pela cidade (MARQUES, 2010). Para Munford, a cidade está inserida em um contexto de interações entre o ser humano, o ambiente e os recursos urbanos. Ele a define como uma estrutura projetada para armazenar e difundir os valores da civilização, concentrando o máximo de facilidades em um espaço reduzido, mas ao mesmo tempo permitindo uma expansão que acolhe as necessidades em transformação e a crescente complexidade social e cultural da sociedade (MUNFORD, 1998). Essa visão vê a cidade como um

ambiente multifacetado, indo além de uma simples organização espacial de edifícios.

De acordo com (MUNFORD, 1998 p.39), para compreender melhor o conceito de cidade, é útil refletir sobre o que existia antes de sua formação. Assim como um organismo vivo que evoluiu e se adaptou ao longo de milhares de anos, a cidade também possui raízes distantes e ancestrais remotos.

Durante a evolução das cidades, tornou-se evidente a contínua modificação e segmentação dos espaços. Embora seja uma questão relativa determinar a quantidade exata de espaço que cada pessoa necessita para viver confortavelmente, o convívio em sociedade exige que todos respeitem tanto os espaços privados quanto os públicos. Para equilibrar esses interesses, existem leis e normas que regulam a organização e a ocupação urbana.

Desde o início, o planejamento urbano no Brasil foi influenciado pelo modelo europeu, onde os primeiros estudos sobre urbanismo começaram a se desenvolver. Com a Revolução Industrial, a Europa passou por grandes mudanças, tornando suas cidades insalubres e demandando intervenções urgentes para melhorar a qualidade de vida. Assim, surgiu a necessidade de criar soluções urbanas que adequassem o espaço às novas dinâmicas sociais (SANTOS, 2007, p.18).

Segundo (BENEVOLO, 2003), analisa o planejamento urbano a partir de 1930 como uma abordagem que busca segmentar as funções urbanas, designando áreas específicas para diferentes atividades. Nesse contexto, os planos reguladores começaram a estabelecer zonas residenciais, industriais, comerciais e institucionais, visando organizar a cidade de forma mais racional

A ideia de cidade está profundamente conectada ao acesso a bens e serviços, tornando-se especialmente atrativa para aqueles que vivem distantes dessas comodidades. A gestão dos fluxos migratórios é um desafio constante no planejamento urbano, pois, se o crescimento populacional não for acompanhado pela ampliação da infraestrutura, os recursos e serviços podem se tornar insuficientes, levando à falta de espaço e à exclusão de parte da população (SANTOS, 2007).

2.1 Plano Diretor e Planejamento Urbano

O planejamento urbano é um componente essencial para a organização e desenvolvimento das cidades, e o plano diretor é um dos principais instrumentos utilizados para essa finalidade. Este documento estabelece diretrizes que orientam o uso do solo, a ocupação do espaço urbano e a infraestrutura necessária para atender às demandas da população.

A partir de 1960, o Brasil iniciou o Movimento Nacional pela Reforma Urbana, que resultou em importantes conquistas, como a criação do Ministério das Cidades, a aprovação do Estatuto da Cidade (2001) e a Campanha do Plano Diretor. O movimento envolveu profissionais de diversas áreas e tinha como principal objetivo reverter o "padrão histórico de urbanização das cidades brasileiras, caracterizado por profundas desigualdades sociais e degradação ambiental" (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

Antes da promulgação da Constituição Federal de 1988, os Planos Diretores já estavam implementados em algumas cidades brasileiras, embora não fossem obrigatórios. Sua principal função era regulatória, atuando como instrumentos para controlar o uso e a ocupação do solo. A necessidade de estabelecer Planos Diretores no Brasil surgiu em resposta às transformações sociais e urbanas que ocorreram desde o período colonial até os dias atuais (COSTA; FERREIRA, 2015).

Os artigos 182 e 183 do capítulo dedicado à Política Urbana na Constituição Federal de 1988 estabelecem os princípios que sustentaram o Estatuto da Cidade (Lei 10.257 de 10 de julho de 2001) e orientaram as políticas e ações do Ministério das Cidades. Esses princípios visam garantir o direito urbano para todos os cidadãos, priorizar o interesse público sobre o individual, assegurar o direito de acesso à cidade e seus benefícios para todos, além de promover uma gestão democrática com a participação dos cidadãos nos processos de gestão urbana.

De acordo (MARQUES, 2012) a Constituição Federal estabeleceu que o Plano Diretor é obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes. Complementando essa diretriz, o Estatuto da Cidade, por meio da Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, amplia e detalha as diretrizes relacionadas à política urbana, ressaltando a importância da participação da população no processo de elaboração e implementação dessas políticas.

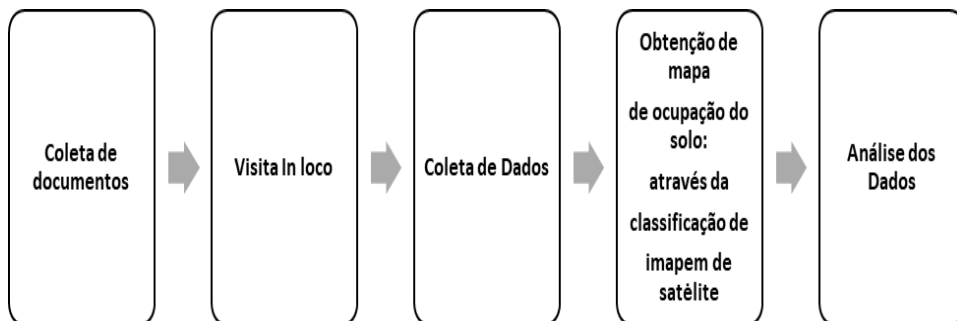
Após anos de crescimento desordenado, a correção dos problemas já existentes, especialmente nas grandes cidades, se torna uma tarefa ainda mais complexa. Contudo, é essencial envolver a sociedade no processo de reforma urbana, para que os cidadãos reconheçam seu papel como protagonistas em suas comunidades, em vez de meros espectadores das decisões sobre a política urbana (BRASIL, 2001).

3. Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

Este trabalho utiliza uma abordagem quali-quantitativa de caráter exploratório, sendo desenvolvido como um estudo de caso realizado no município de São Luís, MA. (PEREIRA et al:2018) destacam que os métodos quantitativos têm um enfoque matemático, focando na coleta de dados numéricos relacionados a um tema específico. Esses dados podem ser essenciais para a tomada de decisões gerenciais por autoridades públicas ou podem servir como referência para futuras pesquisas.

A metodologia da pesquisa abrange três classificações principais: bibliográfica, documental e estudo de caso, com análise de imagens de satélite, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Sequência de atividades da pesquisa.



Fonte: Autores (2024)

Na primeira etapa, o estudo fundamenta-se em um referencial teórico composto por fontes atualizadas, como livros, normas técnicas e artigos, que fornecem o embasamento necessário para a análise. A pesquisa documental é realizada de duas formas: por meio de documentos escritos e fontes orais. Embora esses documentos não possuam caráter científico, eles contribuem com informações históricas e dados sobre a região, essenciais para contextualizar o estudo.

O estudo de caso aprofunda-se na análise do ambiente local, possibilitando uma compreensão detalhada das dinâmicas urbanas e ambientais. A obtenção do mapa de uso e ocupação do solo permite analisar os seguintes aspectos: classificação do solo, distribuição espacial urbana, expansão urbana, ocupações irregulares e degradação de áreas naturais

Para alcançar esses objetivos, a pesquisa utilizará técnicas de geoprocessamento (GIS), e através dos softwares O QGIS (Quantum Geographical Information System), O QGIS é um programa de código aberto criado pela Open Source Geospatial Foundation (OSGEO), que permite a manipulação de imagens raster, dados matriciais e vetoriais, além da elaboração de mapas temáticos com base em informações georreferenciadas (LEITE; PINHEIRO; PAMBOUKIAN; 2019).

Dessa forma, a delimitação da pesquisa se concentra em um estudo abrangente das condições do bairro Jaracaty e sua relação com planejamento urbano e suas implicações socioambientais, sem propor soluções, mas buscando um entendimento profundo das interações entre ocupação urbana e ecossistemas costeiros.

3.1 Delimitação do Campo de Estudo

O trabalho foi desenvolvido na porção urbana do bairro do Jaracaty, em São Luís - MA, entre as coordenadas $-44^{\circ}19''$ e $-44^{\circ}22''$ de longitude e $-2^{\circ}32''$ e $-2^{\circ}35''$ de latitude. O bairro está inserido na microrregião metropolitana de São Luís, localizada na porção norte do Maranhão.

De acordo com (PFLUGER ; SALGADO; 2012) historicamente, o bairro Jaracaty tem suas raízes no processo de urbanização de São Luís, que se intensificou ao longo do século XX. A expansão urbana, impulsionada pelo crescimento populacional e pela migração de pessoas em busca de melhores condições de vida, levou à ocupação desordenada de áreas costeiras, incluindo manguezais.

3.2 Materiais

Para compreender o processo de formação e ocupação do espaço na região do bairro Jaracaty, foi necessário recorrer a publicações históricas, artigos, teses e dissertações, e livros além de dados do IBGE e arquivos públicos, de acordo com o (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015) os dados do IBGE são amplamente reconhecidos pela sua confiabilidade no geoprocessamento, resultado da rigorosa metodologia utilizada na coleta e análise das informações, bem como da atualização constante dos dados. Essa abordagem sistemática assegura que as informações sejam precisas e representativas, sendo essenciais para estudos e análises espaciais.

As imagens de satélite foram adquiridas por meio do software Google Earth Pro em de alta resolução do satélite Airbus/Pleiades para o ano de 2010, 2020, e 2023. O satélite Pléiades oferece imagens com resolução de 50 cm, o que permite uma análise detalhada e precisa de áreas específicas, sendo ideal para aplicações em planejamento urbano, monitoramento ambiental e gestão de recursos naturais (AIRBUS, 2023).

As imagens a serem analisadas foram processadas no software QGis 3.36, começando pelo georreferenciamento. Esse processo consiste em obter coordenadas de pontos específicos nas imagens, o que se realiza utilizando o método de pontos de controle ou modelo polinomial. Esse método utiliza uma função polinomial cujos parâmetros são definidos a partir das coordenadas de pontos homólogos, pontos como cruzamentos de ruas, construções e confluências de rios são opções comuns para pontos de controle. De acordo com a metodologia apresentada por BRASIL (2024), para a verificação da qualidade do georreferenciamento da imagem, devem ser selecionados 10 (dez) pontos de verificação. No caso das imagens da área do Jaracaty, foram utilizados como pontos de controle os cruzamentos de ruas e avenidas.

Foram utilizados dados vetoriais no formato shapefile, obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que incluem os limites dos municípios do estado do Maranhão. Para a definição das áreas de estudo, foi empregado um arquivo no formato KML.

Para obter os dados populacionais do IBGE, O primeiro passo foi acessar o site oficial do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), onde estão disponíveis diversas informações sobre a população e a estrutura territorial do Brasil.

Além dos shapefiles, foi coletado as tabelas alfanuméricas que contêm os dados populacionais. De acordo com o (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010) Para acessar esses dados, ele pode acessar a seção "Estatísticas" no site procurar pelos resultados do Censo Demográfico de 2010, especificamente os agregados por setores censitários. Os dados estão disponíveis em formatos como CSV ou Excel.

Sendo assim, para criar um mapa de densidade populacional na área foi calculada, conforme afirmam ROSÁRIO E ARAÚJO (2019), o adensamento populacional refere-se à proporção entre o número de habitantes de uma área específica dividida pela extensão territorial dessa área.

3.3 Resultados e Discussão

A utilização de materiais alternativos na construção civil tem ganhado destaque, especialmente na pavimentação, devido à necessidade de reduzir impactos ambientais e promover o reaproveitamento de resíduos. Neste estudo, avaliou-se a utilização da cinza do caroço de juçara como substituição do filler convencional em misturas asfálticas. urbanização, evidenciada pela construção de residências, shoppings e imóveis comerciais, além de outras obras de infraestrutura urbana. A análise das imagens de satélite revela que, em 2010, uma grande parte da área ainda era composta por vegetação mista e solo exposto, incluindo áreas de mangue onde o desmatamento estava ausente, conforme observa-se na Figura 2. No entanto, essa situação começou a mudar rapidamente com o crescimento populacional e a demanda por espaço urbano.

Figura 2. Imagem aérea do bairro Jaracaty em 2010.



Fonte: Google Earth Pro 2010.

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

Através da Figura 2 com as delimitações das áreas de interesse é possível observar como se dava a ocupação da região no ano de 2010.

De acordo com as análises e dados disponibilizados pelo IBGE, como visto no mapa 5 é possível ver a densidade populacional em diferentes regiões do bairro, conforme os resultados do Censo Demográfico de 2010.

Em 2010, conforme mostrado na Tabela 1 abaixo, observa-se a área urbanizada da região.

Tabela 1 - Área por classe (2010)

Área por Classe (2010)	m ²	% do total
Área Urbanizada (incluindo ruas)	98.814,87	19,19%
Área de Solo Exposto	329.489,66	63,90%
Área de Vegetação Mista	87.222,09	16,91%
Área total	515.526,62	100%

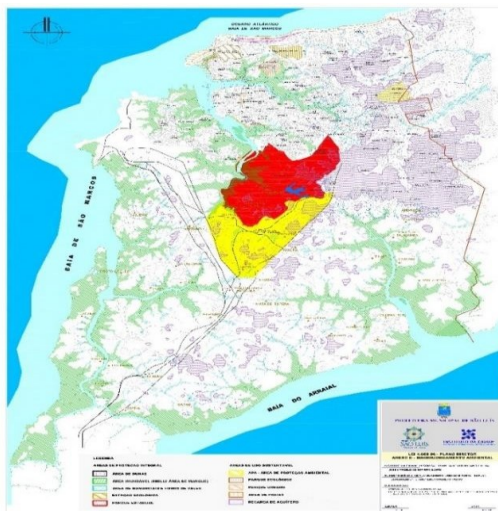
Fonte: Autores (2024).

O Plano Diretor de São Luís, instituído pela Lei nº 4.669 de 2006, estabelece diretrizes claras para a preservação de áreas ambientais de acordo com a Figura 3, incluindo os manguezais, que são ecossistemas essenciais para a biodiversidade e a proteção costeira. No entanto, após as análises do uso e ocupação do solo, baseadas em imagens de satélite, visualmente revelam uma preocupante degradação dessas áreas, especialmente no Jaracaty, onde a urbanização avançou de forma acelerada.

Apesar das disposições do plano que visam garantir a conservação ambiental e o controle da expansão urbana, como a necessidade de respeitar as zonas de proteção ambiental e evitar a degradação dos recursos naturais a prática tem demonstrado um descompasso entre as normas estabelecidas e a realidade observada.

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

Figura 3 - Mapa de Macrozoneamento Ambiental do Plano Diretor de São Luís (2006).



Fonte: SÃO LUÍS. Plano Diretor. Lei nº 4.669, de 11 de outubro de 2006

Como consequência natural da urbanização, ocorreu uma redução significativa na área de vegetação mista e solo exposto. Em 2020, como mostrado na Figura 4 abaixo, a urbanização da região já está consolidada, com um expressivo aumento da área construída.

Figura 4 - Imagem aérea do bairro Jaracaty em 2020



Fonte: Google Earth Pro 2020.

O Plano Diretor de São Luís, atualizado em 2023, deveria abordar essas questões ao estabelecer diretrizes para o uso do solo e a proteção ambiental. No entanto, a persistência de áreas urbanizadas em detrimento da vegetação sugere que as políticas implementadas ainda não são suficientes para conter o crescimento desordenado e as ocupações irregulares. O bairro Jaracaty exemplifica esses desafios, onde a ocupação irregular de áreas de mangue compromete ecossistemas vitais e expõe a população a riscos ambientais.

Portanto, é crucial que o não apenas estabeleça diretrizes, mas também envolva a participação da comunidade na sua implementação, garantindo que as necessidades locais sejam atendidas e contribuindo para a preservação dos recursos naturais e melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

4 Considerações Finais

O rápido processo de urbanização em São Luís, intensificado especialmente após 2010, instiga uma análise sobre a relação entre o avanço urbano e a conservação ambiental, um assunto de crescente importância em um cenário global em contínua mudança. Ao acompanhar a expansão da cidade, torna-se evidente como as escolhas de planejamento urbano influenciam não apenas a estrutura física, mas também o cotidiano das pessoas que ali residem.

A urbanização acelerada do bairro analisado tem evidenciado uma rápida mudança, com áreas antes dominadas por vegetação e solo natural dando lugar a construções e infraestrutura. Esse cenário resulta diretamente do crescimento populacional e da crescente necessidade de moradias, mas também expõe um desalinhamento entre as políticas de planejamento urbano e as condições enfrentadas pela comunidade local.

O Plano Diretor, que deveria atuar como orientador para um desenvolvimento equilibrado, muitas vezes se mostra insuficiente para conter a expansão desordenada. A continuidade da substituição da

vegetação nativa por áreas urbanizadas indica que as normas planejadas não estão sendo devidamente aplicadas ou seguidas.

Além disso, ao observar o crescimento desigual entre os bairros — com algumas áreas se desenvolvendo rapidamente enquanto outras permanecem negligenciadas — é evidente que precisa ser mais inclusivo e equitativo. A valorização do espaço urbano tem gerado uma disparidade no acesso à habitação digna e aos serviços básicos. As políticas habitacionais frequentemente favorecem os interesses das grandes construtoras em detrimento das necessidades reais da população local.

É fundamental que haja uma mudança de paradigma no planejamento urbano em São Luís, isso envolve não apenas a criação de políticas mais robustas que integrem aspectos ambientais e sociais, mas também uma abordagem mais criteriosa no setor da construção civil. É necessário promover práticas construtivas sustentáveis, como a adoção de tecnologias limpas, materiais de baixo impacto ambiental e planejamento que priorize a manutenção de áreas verdes e recursos naturais.

Além disso, a participação comunitária no processo decisório é essencial, garantindo que as demandas da população sejam consideradas. A fiscalização deve ser intensificada para assegurar que os empreendimentos sigam as diretrizes ambientais e urbanísticas, contribuindo para um crescimento urbano que seja verdadeiramente inclusivo e sustentável.

Referências Bibliográficas

ASSAD, E. D. & SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura.** Brasília: Embrapa, 434p. 1998

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil.** São Paulo: Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1986.

ALBUQUERQUE, Emília Z.; DIEHL, Elena; SILVA, Rogério R. **Structure of ground-dwelling ant communities in burned and unburned**

areas in **Brazilian subtropical grasslands**. Entomological Science, 2017.

ALBUQUERQUE, Pedro Joaquim da Silva. **A restrição ao direito de propriedade na gleba Rio Anil: a (in)constitucionalidade da cobrança da taxa de ocupação, do foro e do laudêmio**. São Luís, 2017. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/1789/1/Pedro%20Joaquim%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 28 set. 2024.

DE ALMEIDA, Cláudia Maria. **Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional**. arq. urb, n. 3, p. 98-123, 2010.

AIRBUS. **Pléiades | Very High-Resolution (50cm) Satellites Imagery**. Disponível em: <https://www.airbus.com/en/space/earth-observation/earth-observation-portfolio/pleiades>. Acesso em: 23 nov. 2024.

BENEVOLO, Leonardo. **História da cidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2003.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Estatuto da Cidade. Diário Oficial da União, Brasília**, 11 jul. 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2001/l10257.htm. Acesso em: 30 out. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Turismo do Maranhão. **Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS): Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico**. Brasília: Editora, 2009.

BRASIL. **metodologia de conversão de dados geoespaciais da spu - georreferenciamento**. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/arquivos-antigos-privados/programa-de-modernizacao/linha-do-tempo/31-georreferenciamento-apostila.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2024.

COSTA, João; PEREIRA, Ana. **Planejamento urbano no Brasil: uma análise crítica dos Planos Diretores**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ccrh/a/hRsSMYBmhDSLPHY8L3VLS3Rx/>. Acesso em: 18 nov. 2024

COSTA, 2019; LIRIO; MOURA, 2018. Os impactos das deficiências no planejamento urbano, incluindo a poluição e a degradação ambiental disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/impactos-da-urbanizacao-1.1852397>. Acesso em: 18 nov. 2024.

CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. Introduction to remote sensing. 5. ed. Nova Iorque: Guilford Press, 2011.

DINIZ, C.; CORTINHAS, L.; NERINO, G.; RODRIGUES, J.; SADECK, L.; ADAMI, M.; DOUZA-FILHO, P. W. M. **Status dos manguezais: três décadas de análise de dados por satélite**. Remote Sensing, v. 11, n. 7, p. 808, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11070808>. Acesso em: 23 nov. 2024.

DONATO, Marina et al. **Análise Sobre A Regularização E Aprovação De Obras Residenciais Da Construção Civil**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 04, Vol. 09, pp. 22-59. Abril de 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/obras-residenciais>. Acesso em: 30 out. 2024.

DOS SANTOS, Saulo Ribeiro; HARDT, Letícia Peret Antunes; HARDT, Carlos. Aspectos didáticos da evolução urbana de São Luís, Maranhão, Brasil. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 15, n. 10, p. 11296-11322, 2023.

EVERLYN, Chris Maciel Nunes et al. **Ocupação urbana e a impermeabilização do solo**. Anuário Acadêmico-científico da UniAraguaia, p. 50-56, 2018.

ELACHI, C.; VAN ZYL, J. **Physics and techniques of remote sensing**. 3. ed. Hoboken (Nova Jérsei), Wiley, 2021

GASPARINETTI, P.; **The values of ecosystem services of Brazilian mangroves, economic instruments for their conservation and the case study of Salgado Paraense**. Conservation Strategy Fund (CSF), 2018.

Google. 2024. **Google Earth Pro**. <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.htm> Acesso em: 30 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico em geociências: avaliação da qualidade de dados geoespaciais**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101669.pdf> Acesso em: 21 nov. 2024.

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

IBGE. Dados sobre o Município de Barreirinhas. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 set. 2011. Acesso em: 25 nov. 2024.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): Software para processamento de informações geo-referenciadas (SPRING 3.5), <www.dpi.inpe.br/spring> 2001

ROSÁRIO, R. C., & ARAÚJO, R. C. Estudo da expansão urbana da cidade de São Luís-MA. **Revista Engenharia e Tecnologia**. Disponível em: <https://www.revistas2.uepg.br> Acesso em: 10 set. 2024.

CAPÍTULO 9

**ANÁLISE DO EPS COMO ISOLANTE TÉRMICO PARA CONTAI-
NER HABITACIONAL EM SÃO LUIS-MA**

**ANALYSIS OF EPS AS THERMAL INSULATION FOR HOUSING CONTAINERS
IN SÃO LUÍS-MA**

Lucas Silva Pinto

Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
lucassilva7796@gmail.com

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Analisar o desempenho térmico de um container habitacional metálico, avaliando o uso do EPS (poliestireno expandido) como material isolante, visando à melhoria do conforto térmico. **Metodologia:** A pesquisa é exploratória e foi realizada por meio de simulações no software EnergyPlus, avaliando diferentes configurações de isolamento térmico em um container metálico localizado no bairro São Raimundo, em São Luís – MA. **Resultados:** Os resultados obtidos por meio das simulações permitiram avaliar o comportamento térmico do container e identificar o potencial do EPS como isolante térmico, contribuindo para a melhoria das condições internas de conforto. **Conclusão:** A utilização de EPS como material isolante em containers habitacionais é uma alternativa viável para o aprimoramento do desempenho térmico, contribuindo para soluções construtivas mais sustentáveis e eficientes.

Palavras-chave: conforto térmico; container habitacional; EnergyPlus; EPS; sustentabilidade.

ABSTRACT

Objective: To analyze the thermal performance of a metallic housing container, evaluating the use of EPS (expanded polystyrene) as an insulating material, aiming to improve thermal comfort. **Methodology:** The research is exploratory and was conducted through computational simulations using the EnergyPlus software. Different thermal insulation configurations were evaluated for a metallic container located in the São Raimundo neighborhood, in São Luís – MA. **Results:** The simulation results allowed the evaluation of the container's thermal behavior and identified the potential of EPS as an insulating material, contributing to improved indoor thermal comfort conditions. **Conclusion:** The use of EPS as an insulating material in housing containers is a viable alternative for enhancing thermal performance, contributing to more efficient and sustainable construction solutions.

Keywords: thermal comfort; housing container; EnergyPlus; EPS; sustainability.

1. Introdução

A evolução tecnológica na construção civil tem possibilitado o reaproveitamento de materiais que anteriormente eram descartados, transformando-os em alternativas viáveis para novas soluções habitacionais. Esse avanço está associado não apenas à busca por maior produtividade e redução de custos, mas também à necessidade de promover práticas mais sustentáveis, reduzindo os impactos ambientais decorrentes da extração excessiva de recursos naturais.

Nesse contexto, os containers, tradicionalmente utilizados para o transporte de cargas, passaram a ser incorporados como alternativa construtiva na área habitacional. Essa aplicação tem se destacado por apresentar vantagens como rapidez de execução, flexibilidade e redução de custos, além de contribuir para a sustentabilidade quando comparada aos métodos convencionais de alvenaria.

Entretanto, a utilização de containers metálicos como habitação apresenta desafios, especialmente no que se refere ao conforto térmico, uma vez que o metal possui alta condutividade térmica, favorecendo o acúmulo de calor e tornando o ambiente interno desconfortável. Dessa forma, torna-se necessário o estudo de materiais isolantes que sejam eficientes, economicamente viáveis e de fácil aplicação.

Diante disso, o poliestireno expandido (EPS) foi selecionado como material de estudo, considerando seu potencial como isolante térmico. O presente trabalho busca avaliar suas propriedades, desempenho e viabilidade de aplicação em containers habitacionais, especialmente em regiões de clima tropical.

Assim, por meio de simulações realizadas no software EnergyPlus, pretende-se analisar estratégias que contribuam para a melhoria do conforto térmico em construções com containers. O estudo tem como objetivo avaliar a eficiência do EPS como isolante térmico em um container habitacional localizado no bairro São Raimundo, na cidade de São Luís – MA, fornecendo subsídios para o

desenvolvimento de soluções sustentáveis e eficientes na construção civil.

2. Revisão de Literatura

2.1 Definição de Container

Segundo Lafaete (2015), um container é uma estrutura retangular de aço ou alumínio usada para transportar grandes cargas. A ideia surgiu em 1937 com Malcolm McLean, que buscava agilizar o carregamento manual de mercadorias. Ele criou caixas metálicas padronizadas, predecessoras dos containers modernos. Os primeiros modelos, com portas de madeira e às vezes telhados, foram enviados internacionalmente em 1966 para o porto de Roterdã, marcando a primeira viagem marítima desse tipo de transporte.

2.2 Tipos de Container

Atualmente, os principais modelos de containers utilizados para moradia e escritórios são o Dry High Cube e o Dry Standard. O Dry High Cube possui maior altura, tornando-o mais adequado para habitações, enquanto o Dry Standard é mais baixo. Os containers mais empregados na construção civil têm 20 e 40 pés, com portas em duas laterais, largura de aproximadamente 2,44 m, e capacidade de suportar entre 22 e 27,3 toneladas, dependendo do modelo. O High Cube de 40 pés destaca-se por sua altura de 2,80 m e comprimento de 12 m, oferecendo maior robustez e espaço interno para edificações.

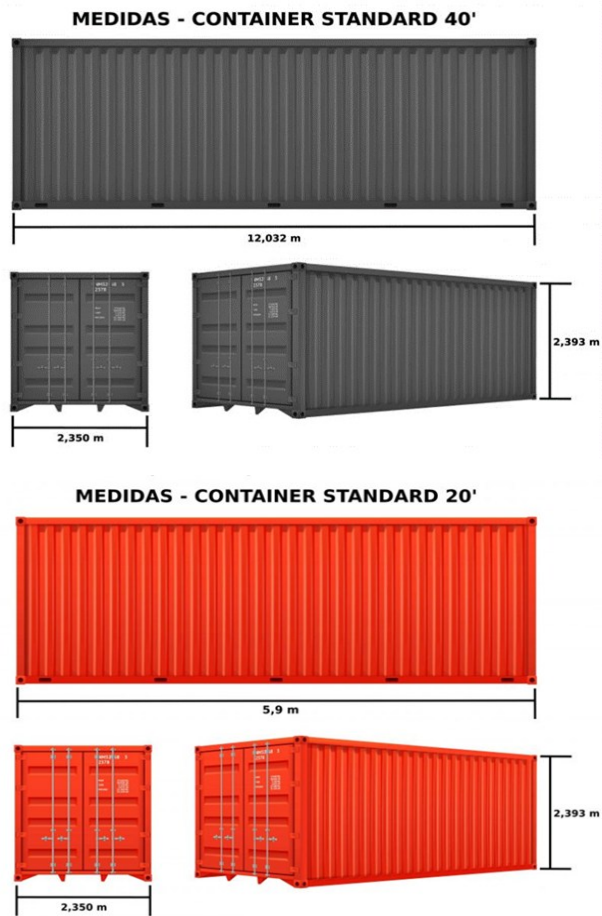
2.2.1 Dry Standard de 40' e 20'

O container Standard, antes usado apenas para transporte, passou a ser empregado na construção civil como depósito, moradia e em outras adaptações. Sua durabilidade, baixo custo e facilidade de transporte e adaptação garantem versatilidade e agilidade. Os modelos

ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E TECNOLOGIAS APLICADAS

Dry Standard ou Dry Box de 20 e 40 pés (Figura 1) são os mais usados para transporte de cargas secas e perecíveis, possuindo uma porta na face menor e sendo totalmente fechados.

Figura 1: Container Standard 40' e Container Standard 20'.



Fonte: OMDN (2018).

2.2.2 Dry High Cube de 40'

Os modelos de containers Dry High Cube de 40' apresentam características semelhantes aos modelos Dry Standard de 40', sendo ambos utilizados para o transporte de cargas secas e perecíveis. No entanto, diferenciam-se principalmente pela altura interna, sendo o modelo High Cube aproximadamente 30 cm mais alto que o modelo Standard (DICAS DE ARQUITETURA, 2017).

Devido à maior altura disponível, o container High Cube de 40' mostra-se mais adequado para aplicações na construção civil, especialmente na execução de habitações e edificações, por proporcionar maior conforto espacial e melhor aproveitamento interno.

2.3 Aplicação na construção civil

Containers são utilizados na construção civil de diversas formas, podendo ser temporários ou permanentes, habitacionais ou comerciais, e servindo como banheiros, escritórios ou apoio em canteiros de obras (CALORY, 2015). Composição de aço, alumínio e fibra, eles se destacam pela resistência e fácil manutenção, com avanços tecnológicos que permitem uma utilização mais ampla (LAFIETE, 2016). Construtoras podem comprá-los ou alugá-los, sendo o aluguel vantajoso devido à reutilização e ao espaço ocupado. Originalmente temporários, os containers têm ganhado destaque como moradias fixas (CONSTRUÇÃO MODERNA, 2015). No entanto, é essencial conhecer sua procedência, pois cargas anteriores podem representar riscos biológicos ou radioativos, sendo necessário laudo técnico que comprove a segurança, como os fornecidos pelo Institute of International Container Lessor (IICL) (ABAD, 2018).

2.4. EPS - Poliestireno Expandido

Descoberto na Alemanha por Fritz Stasny e Karl Buchholz (1949), o EPS, conhecido no Brasil como isopor, trouxe inovações para a construção civil, substituindo materiais pesados e tornando as estruturas mais leves, com maior desempenho, agilidade e menor custo (NETO, 2008). Recentemente, o EPS mostrou-se eficiente na isolação térmica de casas de alvenaria e containers metálicos, como observa-se na Figura 2, reduzindo significativamente a transferência de calor devido à sua composição sólida e bolsas de gás que dissipam o calor (CASA CONTAINER, 2010).

Além disso, materiais anti-chama e de responsabilidade destacam-se pelo baixo custo, alta capacidade térmica e propriedades recicláveis, inertes e seguras ao meio ambiente, tornando o EPS uma opção amplamente utilizada para isolamento térmico de containers no Brasil (CONNOR, 2019).

Figura 2 - EPS sendo instalado dentro de um container



Fonte: Casa Container.

2.5. Conforto Térmico

Segundo a NBR 15220, conforto térmico é a satisfação psicofisiológica do ser humano em relação às condições térmicas do ambiente. O clima impacta diretamente a segurança, execução, conforto e desempenho termoenergético das edificações (SIQUEIRA, 2015), tornando essencial o estudo climático em todas as fases do projeto. Pesquisas nacionais e adaptações de ferramentas internacionais têm promovido o uso de simulações para orientar o design das edificações (MENDES ET AL., 2005).

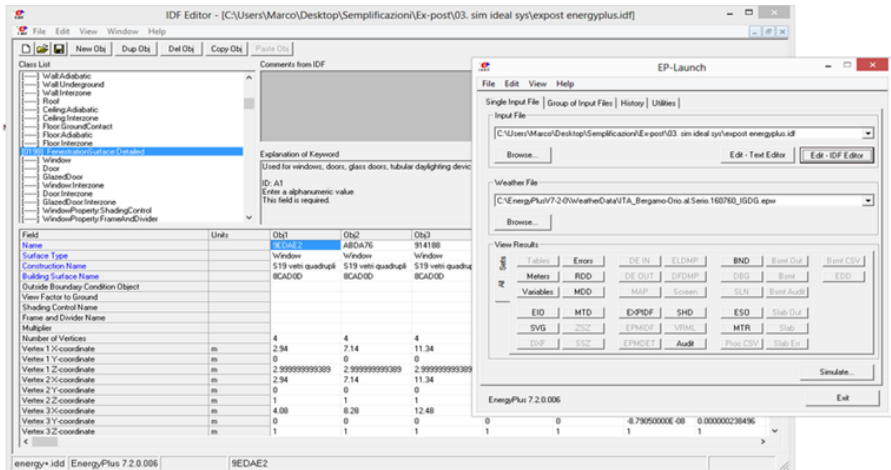
Em São Luís, o clima tropical gera temperaturas elevadas e desconforto nas moradias, exigindo atenção especial às peças metálicas de containers, devido à sua alta condução térmica, e a criação de medidas que aumentem a resistência das vedações (BIOCLIMATISMO, 2005).

A arquitetura e a orientação geográfica são essenciais para otimizar a ventilação e o desempenho térmico de estruturas metálicas, permitindo avaliar a necessidade de refrigeração, seja por softwares na fase de projeto ou medições durante a execução (GALVÃO E VOLTANI, 2019).

2.6. EnergyPlus

O software EnergyPlus é utilizado por engenheiros, arquitetos e pesquisadores para simular construções, avaliando estratégias de aquecimento, resfriamento e ventilação ao longo de dias, meses ou ano. Sua interface simples e biblioteca de elementos construtivos permitem diversificação no uso e geração de relatórios sobre diferentes situações cotidianas, conforme Figura 3. Por meio de módulos que calculam a energia necessária para cada edificação, o software oferece soluções para variadas condições ambientais, orientando na escolha de materiais, localização da edificação e estratégias de eficiência energética (ENERGYPLUS MANUAL, 2022).

Figura 3 - Painel do EnergyPlus



Fonte: Researchgate.

3 Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

3.1 Procedimentos Metodológicos

O presente trabalho analisa o uso do poliestireno expandido (EPS) como material isolante térmico em um container metálico, visando sua aplicação como habitação. Inicialmente, foram realizadas revisões de normas técnicas, bem como estudos sobre os materiais do container e aspectos de sustentabilidade. Também foram definidos o planejamento e as estratégias de aplicação do EPS para melhorar o conforto térmico.

Em seguida, foi desenvolvido o projeto arquitetônico do container habitacional por meio do software SketchUp (2017), permitindo a elaboração das plantas e vistas. Posteriormente, foram definidos o tipo de container, suas dimensões e a forma de implantação, além da análise da zona climática de São Luís – MA, conforme parâmetros normativos de conforto térmico.

Com base nesses dados, foram realizadas simulações computacionais para avaliar o comportamento térmico do container antes e após a aplicação do EPS. O estudo de caso foi conduzido no bairro São Raimundo, em São Luís – MA, em um terreno com área de 92,65 m² e coordenadas geográficas de 3°24'4" S e 45°46'26" W, cuja localização foi obtida via Google Earth.

Os dados climáticos utilizados foram extraídos do banco do EnergyPlus, considerando um período anual e os horários de maior carga térmica. A partir dessas informações, foram definidas estratégias bioclimáticas adequadas ao local. A análise do desempenho térmico foi realizada por meio da integração dos softwares SketchUp, OpenStudio e EnergyPlus.

A pesquisa possui abordagem quantitativa, baseada em simulações computacionais e análise de dados numéricos, permitindo avaliar o desempenho térmico do sistema proposto.

3.2 Resultados e Discussão

3.2.1 Modelagem

Para a simulação, foi elaborado um projeto em 3D de uma casa container no SketchUp Pro 2017, seguindo coordenadas e diretrizes exigidas pelos softwares EnergyPlus e OpenStudio, conforme a Figura 4. O modelo considerou zonas térmicas, passagens de ar e materiais utilizados, garantindo precisão na análise. A correta modelagem permite que os simuladores forneçam respostas sobre o comportamento térmico do ambiente considerando o clima local e as cargas térmicas internas.

Figura 4 - Planta 3D da casa container



Fonte: Autores (2024).

3.2.2 Cargas internas: pessoas e iluminação.

O ganho de calor interno foi obtido por meio de pesquisas e análises de trabalhos acadêmicos similares. No EnergyPlus, foi definido um cronograma de ocupação considerando uma família de três pessoas (pai, mãe e filho(a)), incluindo atividades e iluminação, para calcular as cargas internas dos ambientes. Eletrodomésticos foram descartados. O software considera o cenário total, adotando a condição mais crítica automaticamente. O projeto utilizou lâmpadas LED de 10 W por ambiente, com o EnergyPlus calculando frações radiantes, visíveis e convecção, considerando rotina de ocupação e calendário de uso (ENERGYPLUS, 2017).

3.2.3. Resultados da Simulação

Abaixo, na Tabela 1, seguem os resultados obtidos por meio dos dados levantados na modelagem e também os arquivos climáticos cedidos pelo próprio software EnergyPlus. Foi possível obter outros dados acerca do comportamento dentro da edificação, sua área total condicionada, localização e zonas de resfriamento e aquecimento do local. O software com seu extenso banco de dados nos permitiu testar e simular a modelagem da casa container em dois cenários sendo eles com isolamento térmico EPS e sem o isolante.

Tabela 1 - Informações de zonas térmicas com e sem isolante EPS

INFORMAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO DE ZONA COM E SEM ISOLANTE TÉRMICO EPS								
Zona	Fluxo com EPS {m ³ /s}	Data/Hora Pico com EPS	Temp com EPS {°C}	Fluxo sem EPS {m ³ /s}	Data/Hora Pico sem EPS	Temp sem EPS {°C}	Dif. Fluxo (%)	Dif. Temp (°C)
1	0,0434575	11/21 15:50:00	33,65	3503,73241	11/21 14:40:00	34,00	8.062.400	0,35
2	0,0113177	4/21 08:10:00	22,80	0,24553	4/21 08:10:00	22,80	2.069	0,00
3	0,0058619 1	–	34,00	0,00000	–	34,00	-100	0,00
4	0,0058619 1	–	22,40	0,00000	–	22,40	-100	0,00
5	0,022437	11/21 18:00:00	32,32	4427,07044	11/21 14:40:00	34,00	19.738.000	1,68
6	0,0137866	4/21 15:00:00	22,80	40,50227	4/21 15:00:00	22,80	293.500	0,00
7	0,0425785	11/21 19:00:00	31,27	4722,10589	11/21 13:20:00	33,76 667	11.095.000	2,50
8	0,0201669	–	22,40	0,00000	–	22,40	-100	0,00
9	0,0248441	11/21 18:20:00	31,97	3582,92342	11/21 14:30:00	34,00	14.418.000	2,03
10	0,0110813	–	22,40	6,37882	4/21 15:00:00	22,80	57.500	0,40

Fonte: Autores (2022).

4. Considerações Finais

Através de simulações pôde-se analisar o desempenho térmico de construções para abranger alternativas para o projeto, com elementos construtivos, arquitetônicos e isolamento térmica, sendo desenvolvida para estudar o EPS, verificando suas características e propriedades isolantes, para concluir que é capaz de promover o conforto térmico em um ambiente de clima tropical para habitação em um container feito de material metálico, e, experimentalmente, comprovou-se soluções adequadas e aplicadas maneiras ou alternativas a problemática.

Referências Bibliográficas

ABAD, B. C. P. **Estudo do uso de containers para a construção de edificações comerciais: estudo de caso em construção de escola de educação básica**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

ANDREOLLI, S. **Avaliação do desempenho térmico de edificações em contêiner**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220: desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

CALORY, S. Q. C. **Estudo do uso de contêineres em edificações no Brasil**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

CONNOR, N. **O que é poliestireno expandido (EPS)**. 2019. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-poliestireno-expandido-eps-definicao/>. Acesso em: 29 ago. 2022.

GALVÃO, W. F.; VOLTANI, E. R. **O uso de containers como habitação: avaliação do desempenho térmico para a cidade de São Paulo**. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2019. Anais [...]. p. 1–5.

LAFIETE. **Definição e história dos containers metálicos**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.lafaete.com.br>. Acesso em: 11 jun. 2022.

MENDES, N. et al. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. *Ambiente Construído*, v. 5, n. 4, p. 47–68, 2005.

OCCHI, T.; ALMEIDA, C. C. O.; ROMANINI, A. **Reutilização de containers de armazenamento e transporte como espaços modulados na arquitetura**. In: MOSTRA DE PESQUISA DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IMED, 2015. Anais [...].

OCCHI, T.; ALMEIDA, C. C. O. **Construções em containers: soluções sustentáveis para isolamentos**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 5., 2016. Anais [...]. p. 1–6.

SIQUEIRA, T. C. et al. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações**. *Revista Escola de Minas*, v. 58, p. 133–138, 2005.

CAPÍTULO 10

**ESTUDO DO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRU-
ÇÃO CIVIL COMO AGREGADO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁ-
FICA**

*STUDY OF THE PROCESSING OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE
AS AGGREGATE: A LITERATURE REVIEW*

Brendha Victória Rodrigues Batista de Sousa

Universidade CEUMA
São Luís – Maranhão
brendhavic62@icloud.com

Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
felipe.cutrim@ifma.edu.br

Marcus Paulo Coelho Teixeira

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Pedreiras – Maranhão
marcus.teixeira@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão
Açailândia – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

RESUMO

Objetivo: Analisar a reutilização dos resíduos da construção civil como agregado, visando minimizar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor da construção civil. **Metodologia:** O estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de natureza qualitativa e exploratória, baseada em livros, artigos científicos, normas técnicas e publicações relacionadas ao tema. **Resultados:** Os estudos analisados indicam que o reaproveitamento dos resíduos da construção civil apresenta viabilidade técnica e ambiental, permitindo sua aplicação na produção de materiais como blocos de concreto, além de reduzir o descarte inadequado. **Conclusão:** A reciclagem e reutilização dos resíduos da construção civil constituem alternativas sustentáveis, contribuindo para a redução de impactos ambientais, economia de recursos naturais e desenvolvimento sustentável do setor.

Palavras-chave: resíduos da construção civil; reciclagem; sustentabilidade; agregado reciclado; construção civil.

ABSTRACT

Objective: To analyze the reuse of construction waste as aggregate, aiming to minimize environmental impacts and promote sustainability in the construction sector. **Methodology:** The study is characterized as a qualitative and exploratory bibliographic research, based on books, scientific articles, technical standards, and related publications. **Results:** The analyzed studies indicate that the reuse of construction waste is technically and environmentally viable, enabling its application in materials such as concrete blocks and reducing improper disposal. **Conclusion:** That recycling and reuse of construction waste are sustainable alternatives, contributing to environmental impact reduction, conservation

of natural resources, and sustainable development of the construction sector.

Keywords: construction waste; recycling; sustainability; recycled aggregate; construction.

1. Introdução

A construção civil possui grande relevância econômica, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. No entanto, trata-se também de um dos setores que mais geram impactos ambientais, devido à elevada exploração de recursos naturais e à produção significativa de resíduos sólidos.

Grande parte desses resíduos é descartada de forma inadequada, contribuindo para a degradação ambiental. Diante desse cenário, surge a necessidade de desenvolver alternativas sustentáveis voltadas à redução desses impactos, especialmente por meio da reutilização e reciclagem dos resíduos da construção civil.

Estudos indicam que uma parcela significativa dos resíduos gerados, principalmente provenientes de demolições, pode ser reaproveitada como agregado reciclado, sendo aplicada na produção de novos materiais, como blocos de concreto. No entanto, ainda existem lacunas relacionadas à gestão eficiente desses resíduos e à sua aplicação em larga escala.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar o processamento dos resíduos da construção civil como agregado, destacando seu potencial de reutilização e seus benefícios ambientais. A pesquisa justifica-se pela necessidade de promover práticas sustentáveis na construção civil, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para o desenvolvimento econômico.

2. Revisão de Literatura

2.1 Resíduos da Construção e Demolição

A construção civil destaca-se como uma das principais atividades responsáveis pela geração de resíduos sólidos, especialmente em países em desenvolvimento, onde o crescimento urbano ocorre de forma acelerada. Nesse contexto, os resíduos da construção e demolição (RCD) assumem papel relevante tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, exigindo estratégias adequadas de gerenciamento e reaproveitamento (SILVA, 2014).

A caracterização dos RCD constitui etapa fundamental para definição de suas possíveis aplicações, sendo necessária a análise de propriedades físico-químicas e mecânicas por meio de métodos laboratoriais específicos. Entre os principais parâmetros avaliados destacam-se a massa específica aparente, composição gravimétrica, absorção de água, distribuição granulométrica e composição mineralógica. Esses fatores influenciam diretamente o desempenho dos materiais reciclados e sua aplicabilidade em obras de engenharia.

De acordo com Silva (2014), a variabilidade dos RCD está diretamente associada às técnicas construtivas empregadas, à qualidade da mão de obra e ao nível de controle dos processos produtivos. Essa heterogeneidade representa um dos principais desafios para sua reutilização, exigindo controle tecnológico rigoroso.

No Brasil, a classificação dos resíduos sólidos é regulamentada pela ABNT NBR 10004 (2004), que os categoriza conforme seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública. No entanto, para os resíduos da construção civil, a Resolução CONAMA nº 307/2002 apresenta uma abordagem mais específica, classificando-os em quatro classes distintas, com base em seu potencial de reutilização e reciclagem.

Destacam-se os resíduos de Classe A, compostos por materiais como concreto, argamassa e cerâmicos, que apresentam elevado potencial de reaproveitamento como agregados reciclados. Por outro

lado, a presença de contaminantes pode alterar a classificação dos resíduos, comprometendo sua utilização e exigindo processos adicionais de tratamento.

Apesar da existência de normativas, observa-se que a gestão dos RCD ainda enfrenta desafios significativos, sobretudo relacionados à destinação final inadequada. Conforme destacado por Penna et al. (2017), a problemática dos resíduos não está apenas associada ao volume gerado, mas principalmente à ausência de sistemas eficientes de gerenciamento.

2.1.1 Origem dos Resíduos da Construção e Demolição

A geração de RCD está diretamente relacionada ao desenvolvimento urbano e às atividades de construção, manutenção e demolição. Fatores como crescimento populacional desordenado, uso inadequado de tecnologias construtivas e falhas no planejamento de obras contribuem significativamente para o aumento da produção desses resíduos (BARTOLI, 2014).

Estudos indicam que grande parte dos RCD é proveniente de demolições, representando uma parcela significativa dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, práticas inadequadas nos canteiros de obras, como desperdício de materiais e execução ineficiente, também contribuem para esse cenário.

Segundo Menezes et al. (2011), os resíduos gerados durante a execução das obras correspondem, em grande parte, a materiais não incorporados à estrutura final, sendo frequentemente associados a falhas de execução e superdimensionamento de materiais. Dessa forma, a redução da geração de resíduos está diretamente ligada à melhoria dos processos construtivos e à adoção de práticas mais eficientes.

2.2 Sustentabilidade na construção civil

A incorporação de práticas sustentáveis na construção civil tem se tornado uma necessidade diante dos impactos ambientais associados ao setor. O conceito de sustentabilidade, baseado no uso racional dos recursos naturais e na redução da geração de resíduos, destaca-se como um dos principais pilares para o desenvolvimento do setor (PENNA; ET AL., 2017).

Nesse sentido, a reutilização de RCD surge como uma alternativa viável para minimizar impactos ambientais, reduzir a exploração de recursos naturais e promover a economia circular. Além disso, o avanço tecnológico tem possibilitado o desenvolvimento de métodos mais eficientes e economicamente viáveis para o reaproveitamento desses materiais.

Entretanto, a adoção dessas práticas ainda enfrenta desafios, especialmente relacionados à falta de padronização e à deficiência nos sistemas de gestão de resíduos. Conforme Cabral e Moreira (2011), a mudança de paradigma na construção civil depende da conscientização dos profissionais e da implementação de políticas eficazes de gerenciamento de resíduos.

2.3 Características dos Agregados Reciclados

Os agregados reciclados provenientes de RCD apresentam características variáveis, influenciadas pela origem dos materiais e pelos processos de beneficiamento adotados. Essa variabilidade afeta diretamente propriedades como densidade, absorção de água e resistência mecânica, sendo essencial sua caracterização adequada para aplicação em engenharia (SILVA, 2014).

De acordo com Angulo (2005), a separação por densidade constitui uma técnica eficiente para melhorar a qualidade dos agregados reciclados, permitindo a obtenção de materiais com propriedades semelhantes às dos agregados naturais. Estudos indicam

que agregados com densidade superior a $2,2 \text{ g/cm}^3$ apresentam melhor desempenho em aplicações estruturais.

Além disso, técnicas de beneficiamento, como moagem e remoção de argamassa aderida, podem melhorar significativamente o desempenho dos agregados reciclados. Trabalhos experimentais demonstram que concretos produzidos com esses materiais podem apresentar resistência mecânica próxima à dos concretos convencionais, desde que haja controle adequado do processo.

2.4 Aplicação dos Agregados Reciclados

A utilização de agregados reciclados na construção civil apresenta amplo potencial de aplicação, incluindo a produção de concretos, argamassas, pavimentos e elementos pré-moldados. Essa versatilidade está associada à disponibilidade dos materiais e à crescente demanda por soluções sustentáveis (ÂNGULO, 2005; CABRAL; MOREIRA, 2011).

Estudos indicam que a substituição parcial ou total de agregados naturais por reciclados pode resultar em materiais com desempenho satisfatório, especialmente em aplicações não estruturais (MOREIRA; FIGUEIREDO, 2010; JOCHEM et al., 2013). No entanto, a viabilidade técnica depende do atendimento às exigências normativas e do controle de qualidade dos materiais.

Apesar do potencial de aplicação, a utilização de agregados reciclados ainda enfrenta limitações, principalmente relacionadas à variabilidade dos materiais e à ausência de processos padronizados de reciclagem (PENNA et al., 2017). Nesse contexto, o desenvolvimento de pesquisas e a implementação de políticas públicas são fundamentais para ampliar o uso desses materiais e consolidar práticas sustentáveis no setor da construção civil (CABRAL; MOREIRA, 2011).

3. Procedimentos Metodológicos, Resultados e Discussão

3.1 Procedimentos Metodológicos

Trata-se de um estudo de natureza bibliográfica que, conforme Fonseca (2011, p. 32), consiste na “pesquisa realizada a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas e publicadas em meio eletrônico ou impresso, tais como livros, artigos especializados e outros tipos de publicações”. Nesse sentido, a investigação fundamenta-se na análise de produções científicas relacionadas ao reprocessamento de resíduos da construção civil como agregado, visando à construção de um embasamento teórico consistente sobre o tema.

A pesquisa caracteriza-se ainda como explicativa, uma vez que busca compreender os fatores que influenciam o reaproveitamento dos resíduos da construção civil, contribuindo para a interpretação dos fenômenos associados a esse processo (VERGARA, 2011). Essa abordagem permite aprofundar o entendimento acerca das variáveis envolvidas e das condições necessárias para a viabilidade técnica do reprocessamento desses materiais.

Quanto à abordagem, o estudo é classificado como qualitativo, pois não se concentra em dados numéricos, mas na compreensão e interpretação dos fenômenos analisados. Segundo Gerhardt e Silveira (2016), esse tipo de pesquisa prioriza a análise de aspectos sociais e contextuais, sendo conduzido por meio de raciocínio indutivo. Nesse sentido, a investigação baseia-se na análise crítica das informações disponíveis na literatura, conforme destacado por Marconi e Lakatos (2003).

Além disso, a pesquisa possui caráter exploratório, uma vez que busca proporcionar maior familiaridade com o tema, contribuindo para a delimitação do problema, definição dos objetivos e construção de hipóteses. Esse tipo de abordagem permite ampliar o conhecimento

sobre o assunto e identificar novas perspectivas de estudo (MARCONI; LAKATOS, 2003).

3.2 Resultados e Discussão

A análise da literatura evidencia que os resíduos da construção e demolição (RCD) apresentam elevado potencial de reaproveitamento, especialmente quando destinados à produção de agregados reciclados. Estudos apontam que uma parcela significativa desses resíduos, em especial os classificados como Classe A, pode ser reutilizada em aplicações na construção civil, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e do consumo de recursos naturais.

Observa-se que a variabilidade dos RCD constitui um dos principais desafios para sua aplicação, uma vez que suas propriedades físicas e mecânicas estão diretamente relacionadas à sua origem e aos processos construtivos envolvidos (SILVA, 2014). Nesse sentido, a literatura destaca a importância da caracterização adequada desses materiais, por meio de ensaios como análise granulométrica, absorção de água e massa específica, a fim de garantir desempenho satisfatório em aplicações práticas (ANGULO, 2005).

Os estudos analisados indicam que agregados reciclados podem apresentar comportamento semelhante ao dos agregados naturais, principalmente quando submetidos a processos de beneficiamento. Trabalhos como o de Pepe (2014) demonstram que técnicas de tratamento podem melhorar significativamente as propriedades dos agregados reciclados, possibilitando sua utilização até mesmo em concretos estruturais, com desempenho próximo ao convencional.

Além disso, pesquisas apontam que a utilização de RCD na produção de argamassas e blocos de concreto apresenta resultados satisfatórios, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Jochem et al. (2013) verificaram que argamassas produzidas com agregados reciclados podem apresentar desempenho adequado, desde que haja controle granulométrico e ajuste da composição dos materiais.

Entretanto, apesar do potencial identificado, a literatura também evidencia limitações relacionadas à falta de padronização no processamento dos resíduos e à ausência de sistemas eficientes de segregação na origem. Conforme destacado por Moreira e Figueiredo (2010), a variabilidade dos agregados reciclados ainda representa um fator limitante para sua aplicação em larga escala, exigindo maior controle tecnológico.

Do ponto de vista ambiental, os resultados convergem para a constatação de que o reaproveitamento de RCD contribui significativamente para a redução do volume de resíduos descartados de forma inadequada, além de diminuir a exploração de jazidas naturais. Nesse contexto, a adoção de práticas sustentáveis na construção civil, aliada ao cumprimento das normas técnicas e diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 307/2002, mostra-se essencial para o avanço do setor.

Dessa forma, os estudos analisados confirmam que o reprocessamento dos resíduos da construção civil como agregado constitui uma alternativa viável, tanto sob a perspectiva técnica quanto ambiental. Contudo, sua consolidação depende do aprimoramento dos processos de reciclagem, da adoção de políticas públicas e do fortalecimento da cultura de sustentabilidade na construção civil.

4. Considerações Finais

O presente estudo teve como objetivo analisar o processamento dos resíduos da construção civil como agregado, evidenciando seu potencial como alternativa sustentável para o setor da construção civil. A partir da revisão da literatura, constatou-se que a reutilização dos resíduos, especialmente aqueles classificados como Classe A, apresenta viabilidade técnica para aplicação em diferentes materiais, como concretos, argamassas e elementos pré-moldados.

Os resultados discutidos indicam que o uso de agregados reciclados contribui significativamente para a redução dos impactos ambientais associados à construção civil, sobretudo pela diminuição da

extração de recursos naturais e pela redução do descarte inadequado de resíduos. Além disso, verificou-se que, quando adequadamente processados e caracterizados, esses materiais podem apresentar desempenho compatível com agregados naturais em diversas aplicações.

Entretanto, a literatura também aponta limitações importantes, como a variabilidade dos resíduos e a ausência de padronização nos processos de reciclagem, fatores que ainda restringem sua utilização em larga escala. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de maior controle tecnológico, bem como de políticas públicas e práticas de gestão que incentivem a segregação, o beneficiamento e a reutilização dos resíduos.

Dessa forma, conclui-se que o reprocessamento dos resíduos da construção civil como agregado constitui uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável, contribuindo para o desenvolvimento de uma construção civil mais eficiente e alinhada aos princípios da sustentabilidade.

Por fim, recomenda-se, para trabalhos futuros, a realização de estudos experimentais que avaliem o desempenho mecânico dos materiais reciclados, bem como análises econômicas que viabilizem sua aplicação em maior escala, fortalecendo sua inserção no mercado da construção civil.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1998.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CABRAL, A. E. B.; MOREIRA, K. M. V. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil**. Fortaleza: Sindicato da Indústria da

Construção Civil do Ceará, 2011. Disponível em: <http://www.ibere.org.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos---ce-pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002_Res_CONAMA_307.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2011.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org.). **Métodos de pesquisa**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2016.

GONÇALVES, R. **Agregados reciclados de resíduos de concreto: um novo material para dosagens estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

HOOD, S. R. D. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

JOCHEM, L. F.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Estudo comparativo entre argamassas de revestimento com agregado reciclado de RCD e com agregado de britagem**. Curitiba: ELECS, 2013. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/ELECS2013/978-85-89478-40-3-a041.pdf>.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2000.

LEVY, S. M. **Reciclagem de entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concreto**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LIMA, R. **Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil**. 1. ed. Curitiba: CREA-PR, 2009.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MEHTA, P. K. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENEZES, M. S.; PONTES, F. V. M.; AFONSO, J. C. **Panorama dos resíduos da construção e demolição**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.abq.org.br/rqi/2011/733/RQI-733-pagina17-Panorama-dos-Residuos-de-Construcao-e-Demolicao.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2021.

MOREIRA, L. H. H.; FIGUEIREDO, A. D. **Influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados no desempenho mecânico do concreto estrutural**. São Paulo: USP, 2010. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00563.pdf. Acesso em: 18 mar. 2021.

PENNA, L. F. R. et al. **Resíduos de construção civil: aspectos da legislação municipal e do destino final**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2017, Campo Grande. Anais [...]. Campo Grande, 2017.

PEPE, M. **Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete**. *Construction and Building Materials*, 2014.

SILVA, M. B. L. **Novos materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD)**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TOALDO, E. **Para não virar pó**. *Construção*, São Paulo, n. 2348, p. 10, fev. 1993.

VAN ACKER, A. **Recycling of concrete at precast concrete plant**. Paris: BIBM, 1996.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SOBRE OS ORGANIZADORES



Felipe Gabriel Santos Furtado Cutrim

Mestre em Engenharia de Processos pela Universidade Federal do Para (2018), Especialista em Engenharia de Petróleo e Gás Natural pela Universidade Federal Fluminense (2015) e Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Maranhão (2012). Atua nas áreas de Engenharia de Processos, com ênfase em modelagem, simulação e otimização de sistemas, além de experiência em gestão acadêmica e coordenação de laboratórios. Atualmente é professor EBTT do IFMA –Campus Pedreiras/MA.



Thianne Christina Freire de Carvalho

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2021), com ênfase em Engenharia e Ciências Térmicas. Graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Sergipe -UFS (2018). Atuou como professora substituta do IFS –Campus Lagarto (2022 –2024) e da UFS (2024 –2025). Atualmente é professora EBTT do IFMA – Campus Pedreiras/MA.



Thiago Aguiar Santos

Mestre em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Maranhão (2018) com ênfase na área de materiais metálicos, processamento, soldagem e corrosão, graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Maranhão (2014), técnico em Mecânica pelo Instituto Federal do Maranhão (2016), pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho (Cruzeiro do Sul - EAD), possui Curso de Formação Pedagógica para Graduados Não Licenciados em Matemática (R2 em 2022), foi Coordenador de cursos de Graduação nas Engenharias: Mecânica, Civil, Elétrica, Química e de Produção na Faculdade de Imperatriz (FACIMP) no Maranhão e foi Engenheiro de Segurança do Trabalho no frigorífico Fribal - Imperatriz/MA. Atualmente é professor EBTT do IFMA - Campus Açailândia/MA.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agregado graúdo, 58, 59, 69, 70,
101

C

Concretos, 25, 28, 29, 32, 33,
34, 37, 45, 64, 69, 92, 97, 100,
101, 103, 105, 160, 162, 163
Container, 141, 142, 143, 145,
146, 148, 149, 150, 151, 152

D

Desenvolvimento sustentável,
31, 93, 99, 124, 155

E

Energia solar fotovoltaica, 107,
108, 112, 115, 120
EnergyPlus, 141, 142, 147, 148,
149, 150, 151

I

impactos ambientais, 12, 13, 15,
24, 29, 30, 31, 32, 33, 42, 43,
58, 59, 69, 73, 91, 93, 97, 98,
99, 100, 102, 103, 108, 114,
120, 123, 125, 132, 142, 155,
156, 159, 162, 163

P

Pavimentação, 12, 13, 14, 15,
24, 26, 60, 73, 74, 75, 76, 77,
78, 79, 80, 82, 84, 87, 88, 89,
104, 132, 165

Planejamento urbano, 6, 123,
125, 126, 127, 130, 131, 135,
136, 137

Políticas públicas, 103, 123, 125,
160, 163, 164

R

Reciclagem, 30, 39, 58, 73, 75,
76, 92, 98, 100, 103, 114, 155,
156, 157, 160, 163, 164

Recursos naturais, 6, 12, 13, 26,
28, 29, 31, 32, 33, 37, 42, 59,
73, 74, 75, 87, 91, 92, 93, 97,
98, 101, 102, 103, 109, 131,
133, 135, 136, 142, 155, 156,
159, 162, 164

Resíduo cerâmico, 28, 35, 36,
37, 58

Resíduo de granito, 41, 50

Resíduos da construção e
demolição, 25, 73, 74, 75, 76,
77, 78, 79, 87, 91, 92, 93, 99,
100, 102, 157, 162, 166

Resíduos sólidos, 15, 26, 28, 30,
39, 42, 70, 74, 75, 76, 87, 89,
92, 97, 103, 104, 105, 156,
157, 158, 164

Reutilização, 29, 30, 31, 33, 42,
75, 76, 92, 100, 145, 155, 156,
157, 159, 163, 164

S

Sensoriamento remoto, 123,
125, 137

Sustentabilidade, 6, 13, 26, 28,
29, 33, 39, 41, 93, 98, 99, 100,

**ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E
TECNOLOGIAS APLICADAS**

102, 107, 108, 118, 141, 142,
148, 155, 159, 163, 164

U

Urbanização, 75, 92, 123, 124,
125, 127, 130, 132, 133, 134,
135

ISBN 978-65-5388-381-9



9 786553 883819 >