



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

SANDRA REGINA ROCHA OLIVEIRA

**USO DE RESÍDUOS DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DA
UFT PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE PAVIMENTAÇÃO**

Palmas/TO

2021

SANDRA REGINA ROCHA OLIVEIRA

**USO DE RESÍDUOS DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DA
UFT PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE PAVIMENTAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Prof^a Dr^a. Indara Soto Izquierdo.

Palmas/TO

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- O48u Oliveira, Sandra Regina Rocha .
USO DE RESÍDUOS DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE
CONSTRUÇÃO DA UFT PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE
CONCRETO DE PAVIMENTAÇÃO. / Sandra Regina Rocha Oliveira. –
Palmas, TO, 2021.
64 f.
Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2021.
Orientadora : Indara Soto Izquierdo
1. Resíduos. 2. Concreto. 3. Agregado reciclado. 4. Blocos de
pavimentação. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

SANDRA REGINA ROCHA OLIVEIRA

**USO DE RESÍDUOS DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DA
UFT PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE PAVIMENTAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Profª Drta. Indara Soto Izquierdo.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Drª. Indara Soto Izquierdo
Universidade Federal do Tocantins

Profª. Drª. Orieta Soto Izquierdo
Universidade Federal do Tocantins

Prof. Ms. Fernando Suarte
Universidade Federal do Tocantins

Palmas/TO, 11 de junho de 2021

*À minha orientadora Indara Soto Izquierdo, que me orientou diante de tantos desafios.
À minha família, minha avó, pela paciência e pelo apoio durante todos esses anos de
aprendizado.
Às minhas amigas, que permaneceram apesar dos percalços do caminho.
Por fim, a todas as pessoas presentes, em corpo ou espírito.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proteger e me guiar durante toda minha vida, dos momentos mais difíceis aos mais gratificantes.

Aos meus pais, Reijane Rocha Castro Oliveira e Sandro Luiz de Oliveira, que permaneceram me incentivando, me motivando e me apoiando ao longo dos desafios que enfrentei. Retribuo todo o amor, companheirismo e confiança que foram fundamentais na minha caminhada. Que Deus lhes dê saúde, proteção e muitos anos de vida.

À professora doutora Indara Soto Izquierdo, agradeço pela valiosa e incomparável orientação e pelas inúmeras contribuições ao decorrer do trabalho.

Às minhas amigas de longa data, Ana Clara, Ivana e Julia; aos meus amigos do curso, Victoria e Rodrigo; e aos meus amigos mais recentes, Mikaella, Vanessa, e João, agradeço por acreditarem no meu potencial mesmo quando nem eu acreditava. O apoio e a amizade de vocês, garanto, é pra vida toda.

À técnica do laboratório, Jéssica, agradeço pela paciência, orientação e cuidado.

A todos os professores da Universidade Federal do Tocantins, agradeço pelos anos de aprendizado, nos quais evolui como profissional e como pessoa.

RESUMO

A indústria da construção civil é responsável por um grande dispêndio dos recursos da natureza e pela geração de resíduos dos mais variados. O uso de agregados reciclados provenientes do concreto tem se apresentado como uma alternativa promissora para a fabricação de novos componentes de concreto na construção civil. O Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas, produz muitos resíduos de concreto em forma de corpos de prova, em função das pesquisas acadêmicas desenvolvidas pelos alunos de Engenharia Civil. Esses resíduos são descartados próximos ao laboratório e não possuem destinação adequada, e por isso têm se tornado um problema. O presente trabalho buscou utilizar esses resíduos britados com substituição parcial dos agregados graúdos na produção de blocos de pavimentação pré-moldados Tipo 1. As substituições foram nos teores de 25%, 50% e 75% dos agregados graúdos naturais, além de um traço natural de referência. A avaliação da viabilidade da substituição foi realizada por meio de inspeção visual, análise dimensional, e pelos ensaios de absorção de água e resistência à compressão dos blocos produzidos. A absorção de água de todos os blocos de pavimentação cumpriram satisfatoriamente com o especificado na norma. Os traços com uso de agregados reciclados alcançaram maiores resistências à compressão com relação ao traço de referência, sendo a mistura com teor de 75% que apresentou melhor comportamento mecânico. Dessa forma, foi possível mostrar por meio da pesquisa uma nova possibilidade à destinação aos resíduos de concreto dos laboratórios, a fim de minimizar os impactos ambientais e visuais no âmbito da Universidade e uma possível destinação adequada.

Palavras-chave: Resíduos; concreto; agregado reciclado; blocos de pavimentação.

ABSTRACT

The civil construction industry is responsible for a large expenditure of natural resources and for the generation of a wide range of waste. The use of recycled aggregates from concrete has been presented as a promising alternative for the manufacture of new concrete components in civil construction. The Construction Materials Laboratory at the Federal University of Tocantins, Campus Palmas, produces a lot of concrete waste in the form of specimens, as a result of academic research carried out by Civil Engineering students. These residues are discarded close to the laboratory and do not have an adequate destination, and that is why they have become a problem. The present work sought to use these crushed residues with partial replacement of coarse aggregates in the production of Type 1 precast paving blocks. The replacements were in the contents of 25%, 50% and 75% of natural coarse aggregates, in addition to a natural trait. of reference. The evaluation of the feasibility of replacement was carried out through visual inspection, dimensional analysis, and water absorption and compressive strength tests of the blocks produced. The water absorption of all paving blocks satisfactorily complied with what is specified in the standard. The mixes using recycled aggregates achieved greater compressive strength compared to the reference mix, and the mixture with a content of 75% showed the best mechanical behavior. Thus, it was possible to show through the research a new possibility for the disposal of concrete waste from laboratories, in order to minimize the environmental and visual impacts within the University and a possible appropriate destination.

Keywords: Waste; concrete; recycled aggregate; paving blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corpos de prova descartados em baía do laboratório de Engenharia Civil da UFT, Campus Palmas.....	29
Figura 2 – Variedade de formatos e cores de peças de pavimentação.....	30
Figura 3 – Exemplos de blocos de pavimentação Tipo I.....	31
Figura 4 – Exemplos de blocos de pavimentação Tipo II.....	31
Figura 5 – Exemplos de blocos de pavimentação Tipo III.....	32
Figura 6 – Exemplos de blocos de pavimentação Tipo IV.....	32
Figura 7 – Corpos de prova utilizados na britagem.....	37
Figura 8 – Britador de mandíbula do Laboratório da ULBRA.....	37
Figura 9 – Agregados graúdos britados.....	38
Figura 10 – Curva Granulométrica da Areia grossa natural.....	41
Figura 11 – Curva Granulométrica da Brita 0 natural.....	41
Figura 12 – Curva Granulométrica da Brita reciclada pós separação.....	42
Figura 13 – Tabela de valores do S_d em função do rigor da produção.....	45
Figura 14 – Ábaco Fixação do fator a/c	45
Figura 15 – Consumo aproximado de água.....	46
Figura 16 – Volume de agregado graúdo compactado por m^3 de concreto.....	46
Figura 17 – Exemplo de bloco com chanfro para pavimentação.....	48
Figura 18 – Mesa vibratória e formas plásticas Premoll.....	48
Figura 19 – Moldagem dos blocos de referência.....	49
Figura 20 – Blocos de pavimentação dos quatro traços produzidos.....	49
Figura 21 – Placas auxiliares de 85 mm de diâmetro.....	51
Figura 22 – Prensa QUANTEC com placas auxiliares de 85 mm de diâmetro para ensaio de resistência à compressão.....	51
Figura 23 – Gráfico comparativo das resistências alcançadas de cada traço.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Amostragem para ensaios em blocos de pavimentação.....	33
Quadro 2 – Ensaios de caracterização dos agregados, naturais e reciclados.....	39
Quadro 3 – Resultado do ensaio de granulometria dos agregados.....	40
Quadro 4 – Massa específica dos agregados utilizados.....	43
Quadro 5 – Massa unitária dos agregados.....	43
Quadro 6 – Resistências mínimas características à compressão.....	44
Quadro 7 – Dados da caracterização dos materiais para cálculo do traço.....	44
Quadro 8 – Traços encontrados pelo método ABCP/ACI.....	47
Quadro 9 - Análise dimensional dos blocos de referência.....	52
Quadro 10 – Análise dimensional dos blocos de traço 25% reciclado.....	52
Quadro 11 – Análise dimensional dos blocos de traço 50% reciclado.....	53
Quadro 12 – Análise dimensional dos blocos de traço 75% reciclado.....	53
Quadro 13 – Absorção de água dos blocos ensaiados.....	54
Quadro 14 – Tabela do fator multiplicativo p.....	54
Quadro 15 – Resultados dos ensaios para o traço de referência aos 28 dias.....	55
Quadro 16 – Resultados dos ensaios para o traço de 25% de substituição aos 28 dias.....	56
Quadro 17 – Resultados dos ensaios para o traço de 50% de substituição aos 28 dias.....	56
Quadro 18- Resultados dos ensaios para o traço de 75% de substituição aos 7 dias.....	56
Quadro 19 – Porcentagens das resistências alcançadas em função do f_{ck}	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ACI – *American Concrete Institute*

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPV-ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

DMC – Dimensão Máxima Característica

EVA – *Ethylene Vinyl Acetate*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Brasileira

PIB – Produto Interno Bruto

PIEA – Programa Internacional de Educação Ambiental

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PNUMA – Programa da Nações Unidas para o Meio Ambiente

RCC – Resíduos de Construção Civil

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RL – Resíduos Laboratoriais

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

UFT – Universidade Federal do Tocantins

LISTA DE EQUAÇÕES E SÍMBOLOS

Equação 1 – Resistência de dosagem $f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d$

Equação 2 – Consumo de concreto $C_c = C_w / (a/c)$

Equação 3 – Consumo de agregado graúdo $C_b = 0,710 \times u_m$

Equação 4 – Volume de agregado miúdo $V_a = 1 - \left(\frac{C}{p_c} + \frac{C_b}{p_b} + C_w \right)$

Equação 5 – Absorção de água $A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$

Equação 6 – Resistência à compressão estimada $f_{pk,est} = f_p - t \times s$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	15
1.2 Justificativa.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Consciência ecológica e desenvolvimento sustentável.....	18
2.2 Sustentabilidade na construção civil.....	19
2.3 A produção e o reaproveitamento de resíduos na Construção Civil.....	20
2.3.1 Resíduos de construção e suas classificações.....	22
2.3.2 Reciclagem dos resíduos da construção civil.....	25
2.3.3 Resíduos de corpos de prova de concreto.....	27
2.4 Blocos de pavimentação.....	29
22.4.1 Características gerais.....	30
2.4.2 Requisitos e ensaios.....	33
2.4.3 Reutilização de resíduos em blocos de pavimentação.....	34
2.5 Desenvolvimento do estudo.....	35
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 Identificação e separação dos resíduos.....	36
3.2 Caracterização dos materiais.....	36
3.2.1 Britagem e peneiramento dos corpos de prova.....	37
3.2.2 Caracterização dos agregados.....	38
3.2.2.1 Granulometria.....	39
3.2.2.2 Massa específica e absorção de água.....	42
3.2.2.3 Massa unitária.....	43
3.3 Dosagem do concreto.....	43
3.4 Produção dos blocos para pavimentação.....	47
3.4.1 Moldagem e cura.....	48
3.5 Caracterização dos blocos.....	50
3.5.1 Caracterização física.....	50
3.5.2 Caracterização mecânica.....	50
4 RESULTADOS.....	52

4.1 Inspeção visual e avaliação dimensional.....	52
4.2 Ensaio de absorção.....	53
4.3 Ensaio de resistência à compressão.....	54
5 CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade, firmado na Agenda 21, no ano de 1992 durante a Conferência “Rio 92”, apesar de estar em constante construção e desenvolvimento para muitos pesquisadores, relaciona-se diretamente à qualidade de vida nos âmbitos social, ambiental e econômico (BARBOSA, 2008). Com o aumento populacional e o desenvolvimento industrial extremos, pós Segunda Guerra Mundial, os recursos ambientais foram se esgotando de tal maneira que, apenas por volta dos anos 70, iniciaram as discussões entre pesquisadores, empresas e nações a respeito da finitude dos bens naturais, dos impactos ambientais causados, e de que forma essas mudanças poderiam interferir na sociedade (TAVARES, 2007).

Segundo dados da ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição), 2011, o Brasil desperdiça 8 bilhões de reais ao ano por não reciclar adequadamente os materiais residuais gerados em todas as indústrias nacionais. As tecnologias para o reaproveitamento de resíduos tem se tornado cada dia mais fortes em função do incentivo a ações de responsabilidade ambiental e sustentável e também pela redução de custos. É importante, além disso, incentivos legislativos, como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, PNRS, e a resolução nº 307, de 2002, da CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente.

A indústria da construção civil, apesar das recessões, é uma das mais produtivas no país e exerce um grande papel interventor, durante toda sua cadeia produtiva, na configuração do cenário ambiental (FREITAS, 2013). Dessa forma, a construção civil é responsável por uma parcela considerável da massa total dos Resíduos Sólidos Urbanos, RSU, e pelo consumo de um grande volume de recursos naturais do planeta, principalmente os não renováveis. Segundo dados de Miranda (2010), no Brasil é gerado, em média, 0,52 tonelada de Resíduos de Construção Civil (RCC) por habitante e por ano ou 150 kg por m² construído (para obras novas), representando de 54% a 70% da massa dos RSU.

Esses resíduos, também conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD), em 2017 por exemplo, de 78,4 milhões de toneladas de RSU, 45 milhões de toneladas são RCD, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, ABRELPE. Por não possuir uma gestão correta, tanto na execução das obras, onde usualmente não existe preocupação com o desperdício, quanto na sua destinação final, o descarte dos resíduos acaba ocorrendo em locais irregulares e causando o esgotamento de áreas de aterro e bota-fora (TAVARES, 2007).

O uso de agregados reciclados provenientes do concreto vem se apresentando como uma alternativa promissora para a fabricação de componentes e elementos de construção civil. Na Universidade Federal do Tocantins, UFT, Campus Palmas, o Laboratório de Engenharia Civil é responsável por produzir diversos corpos de prova provenientes de pesquisas acadêmicas e ensaios laboratoriais com idade, composição e outros parâmetros divergentes e se encontram depositados ao ar livre, próximo ao complexo laboratorial da universidade, sem destinação adequada, tornando-se um problema para a instituição.

Analogamente ao desenvolvimento do uso de resíduos, a utilização de pavimentos com blocos pré-moldados de concreto vem crescendo em todo o mundo, com as muitas opções de formato, padrões e cores, possibilitando uma variedade estética, constitui um método prático, confiável e vantajoso, cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos, assegurando ao pavimento intertravado êxito em praças, parques, jardins, calçadas, estacionamentos, vias urbanas, pátios, depósitos, galpões industriais, estradas, acostamentos, entre outros (Fioriti, 2007).

Logo, a presente pesquisa visa empregar os corpos de prova de concreto, resíduos laboratoriais (RL), britados, como agregados graúdos na produção de blocos de concreto para pavimentação intertravada de solicitação leve, avaliando sua aplicabilidade e propriedades, possibilitando um uso futuro ambientalmente consciente e econômico.

O trabalho consiste em quatro etapas: seleção, britagem e separação dos resíduos; caracterização dos agregados reciclados e dos agregados naturais; confecção dos blocos de pavimentação com substituição parcial dos agregados naturais graúdos pelos reciclados, nas proporções de 25%, 50% e 75%; e avaliação das propriedades dos blocos por meio de inspeção visual e ensaios de resistência à compressão e de absorção de água.

1.1 Objetivos

O objetivo geral consiste em avaliar a aplicação de resíduos de concreto dos corpos de prova descartados no Laboratório de Engenharia Civil da UFT, Campus Palmas na substituição parcial dos agregados graúdos, nos teores de 25%, 50% e 75%, para a confecção de blocos de concreto para pavimentação intertravada de tráfego leve Tipo 1, e comparar com o traço natural de referência, visando uma destinação adequada deste resíduo.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar, por meio de ensaios normatizados de granulometria, massa específica e massa unitária, os agregados naturais e os reciclados produzidos a partir dos resíduos de concreto gerados no laboratório e analisar sua qualidade para reutilização;
- Produzir os blocos de concreto de pavimentação Tipo 1 substituindo os agregados naturais pelos agregados reciclados caracterizados nos teores de 25%, 50% e 75%, além dos blocos de referência;
- Analisar as propriedades físicas, por meio de inspeção visual, análise dimensional e ensaio de absorção de água, e as propriedades mecânicas, através do ensaio de resistência à compressão, dos blocos de concreto de pavimentação produzidos com agregados reciclados em comparação com os blocos de referência.

1.2 Justificativa

Desde a primeira conferência internacional sobre o meio ambiente, a Conferência de Estocolmo, em 1972, decorreram mais de 40 anos, nos quais muitos avanços aconteceram ambientalmente, em todo o mundo, mas, ao mesmo tempo, ainda há a resistência de muitas empresas e governos à mudança em seus processos e produtos buscando o desenvolvimento sustentável (OLIVEIRA, 2004).

O setor da construção civil possui a capacidade de impactar a qualidade de vida da sociedade positivamente, construindo moradias, escolas, hospitais, possibilitando solucionar desigualdades sociais, ou negativamente, consumindo recursos naturais e produzindo lixo de forma exacerbada. Os resíduos da construção civil possuem grande potencial para servir como matéria-prima de qualidade para agregados, como brita e areia (SENGER, SENGER; 2020).

A presente pesquisa pretende analisar a possibilidade de alcançar resultados positivos na reutilização e reciclagem de corpos de prova descartados no âmbito do Campus Palmas, no laboratório de Engenharia Civil da UFT, para produção de blocos de concreto para pavimentação. A escolha do blocos de pavimentação ocorreu pelas vantagens que carrega, como grande variedade de peças e usos e pela praticidade. Serão executados os ensaios necessários para atestar a qualidade física e mecânica dos novos blocos produzidos, possibilitando a futura inserção de um novo material reciclado para a construção civil.

O trabalho realizado pode ser utilizado de subsídio para futuras pesquisas em âmbitos mais abrangentes, como em empresas concreteiras ou laboratórios que realizam ensaios de

compressão para construtoras, que produzem um grande número de corpos de prova para realização de seu controle tecnológico, nas quais não há o descarte apropriado.

Dessa forma, o presente trabalho possui grande relevância, buscando resolver um problema pontual, mas possibilitando o desenvolvimento de novas pesquisas na área de reaproveitamento de resíduos para matéria-prima de um importante componente da construção civil, que é a pavimentação, capaz de influenciar na evolução sustentável da construção civil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, a seguir, são descritos acontecimentos históricos importantes à sustentabilidade e à construção, além de dados atualizados, definições, classificações, pesquisas desenvolvidas, vantagens e desvantagens da reciclagem de resíduos e características que serão avaliadas ao final do estudo.

2.1 Consciência ecológica e desenvolvimento sustentável

Por definição, a sustentabilidade não está relacionada somente ao meio ambiente, como muitos acreditam. Um modelo de desenvolvimento sustentável se baseia em três pilares essenciais, o social, o econômico e o ambiental, que, equilibrados, corroboram para a evolução e crescimento da sociedade em geral, modificando positivamente o meio. Esse conceito foi aceito a partir de 1972, quando iniciaram as conferências mundiais para tratar da questão ambiental.

Segundo Soto, 2015, o desenvolvimento capitalista industrial, aliado ao crescente consumo de recursos naturais, na corrida pelo lucro massivo e a curto prazo, são responsáveis por certa insensibilidade a alternativas mais sustentáveis. Por muito tempo, a preocupação com o uso de recursos naturais e a manutenção e proteção do meio ambiente não esteve em foco para a comunidade científica. No entanto, após a Segunda Guerra Mundial, o grande crescimento populacional e aumento exponencial das atividades econômicas e industriais resultou, segundo Tavares (2007), na intensa e inadequada utilização desses recursos e na degradação acelerada do meio ambiente. Dessa forma, por volta dos anos 70, iniciou-se a discussão e a reflexão a respeito dos impactos gerados pelas atividades humanas, de que forma poderiam interferir no bem estar da sociedade e como solucionar esses problemas.

Foi em 1972 que ocorreu uma das primeiras e principais conferências internacionais do meio ambiente, a Conferência de Estocolmo, Suíça, sob a organização da ONU, marcando assim o início do despertar da consciência ecológica na busca por alternativas que visassem o desenvolvimento econômico associado à conservação da natureza e seus recursos. Denominada “Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano”, mesmo sendo a primeira, reuniu 113 países e 250 organizações ambientais para debater os principais temas e polêmicas a respeito do meio ambiente. Como resultado, foram criados o Programa da Nações Unidas para o Meio Ambiente, PNUMA, e o Programa Internacional de Educação Ambiental, PIEA. A partir de então foram realizadas novas conferências a cada decênio (OLIVEIRA, 2004).

Já em 1982 ocorreu em Nairobi, no entanto não obteve êxito nem resoluções importantes. Já em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, ou Rio-92, ocorrida no Brasil, foi a responsável, segundo Tavares (2007), pelos “desafios fundamentais que permearão as políticas dos governos das nações no próximo milênio”. Com a presença de representantes de 172 países, assinou-se um dos principais documentos não só dessa edição, mas também para toda a discussão mundial de preservação. A “Agenda 21” apresentou um plano de ação, a ser adotado pelos países, de desenvolvimento sustentável a partir de uma nova perspectiva para cooperação internacional (TAVARES, 2007).

Passaram-se mais dez anos e, na Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, ou Rio+10, na África do Sul em 2002, o desenvolvimento sustentável com base no uso e conservação dos recursos naturais ficou em foco novamente. Além disso, foi nesse ano que aumentaram as cobranças e críticas a respeito da falta de resultados concretos e posicionamento dos países participantes, no sentido de não buscarem alternativas ecológicas e não abrirem mão das ambições econômicas, principalmente aos mais desenvolvidos. (OLIVEIRA, 2004).

E por fim, em 2012, novamente no Brasil, ocorreu a RIO+20, ou Conferência da ONU sobre o Desenvolvimento Sustentável, reunindo 193 líderes mundiais e com a maior cobertura jornalística. É perceptível que o Brasil teve grande importância nessas conferências e ambas as edições no país tiveram maior destaque mundial. Além disso, o Brasil cumpriu o exigido pela Agenda 21 e apresentou propostas concretas para a implantação do desenvolvimento sustentável e diminuição no uso de combustíveis fósseis (TAVARES, 2007).

Após cada uma dessas conferências internacionais, o desenvolvimento sustentável e a preservação se tornaram aspectos essenciais ligados diretamente à indústria, em toda a diversidade de setores da economia, na busca pela diminuição do impacto negativo no meio ambiente, seja pela utilização de recursos renováveis, seja pela diminuição da produção de resíduos. Para existir um desenvolvimento sustentável é preciso planejamento, gerenciamento e, claro, resultados capazes de fazer a diferença nos três pilares que o compõem, evoluindo suas diretrizes, de forma que cada vez mais empresas e pessoas tenham a consciência que são parte de um todo e que cada ação interfere e afeta a todos (TAVARES, 2007).

2.2 Sustentabilidade na construção civil

O setor da construção civil, como destaca Freitas (2015), é uma das principais molas propulsoras da economia mundial, no entanto, também ocupa o lugar de uma das indústrias que mais impactam o meio ambiente. Compõem essa importante indústria os materiais de

construção, bens de capital e serviços diversos, como construção, demolição, reformas, manutenção de imóveis e atividades imobiliárias (MORAIS, 2006).

Apesar das recessões, a construção civil exerce um grande papel interventor, durante toda sua cadeia produtiva, na configuração do cenário ambiental. A extração de recursos para processamento de matéria-prima para produção de materiais de construção afeta diretamente o meio ambiente, com geração de resíduos, poeiras e poluentes industriais (FREITAS, 2013). Conseqüentemente, é responsável por uma parcela considerável da massa total dos Resíduos Sólidos Urbanos, RSU, e pelo consumo de um grande volume de recursos naturais do planeta, principalmente os não renováveis. Segundo dados de Miranda (2010), no Brasil, 54% a 70% da massa de RSU advém da indústria em questão. A partir disso, o reaproveitamento de resíduos vem se tornando assunto cada vez mais recorrente em função de incentivos legislativos a ações de responsabilidade ambiental, sustentável e econômica.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos, PNRS, elaborado em 2010, destinado a todo tipo de resíduo, incluindo os resíduos da Construção Civil, regulamenta as diretrizes, estratégias e previsão de metas bem claras, como a eliminação de bota-foras da construção, no intuito de consolidar no país a importância da preocupação e tratamento dos resíduos. Já a Resolução nº 307/2002 do CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, trata especificamente da gestão de resíduos sólidos da Construção Civil, visando criar e implementar instrumentos para minorar os problemas, designando responsabilidades e deveres e abrindo caminho para criação de normas técnicas para o correto tratamento do resíduos (DOS SANTOS, PINTO, CATUNDA; 2015).

Nesse contexto, a indústria da construção civil tem um papel essencial na busca pela evolução de seus processos, responsável por grande parcela no PIB brasileiro e também pelo uso de recursos e produção de poluição e resíduos. Na Agenda 21, dos 48 capítulos que a compõem, 12 refletem no setor da construção, apesar de não haver nenhuma citação específica à produção de Resíduos da Construção Civil, ou Resíduos de Construção e Demolição. Portanto, é indispensável priorizar os estudos nessa área em função de sua grandeza no impacto ambiental e social para toda a sociedade (TAVARES, 2007).

2.3 A produção e o reaproveitamento de resíduos na Construção Civil

Conforme esclarece John (2001), a extração de recursos naturais, produção de materiais de construção e o gerenciamento de resíduos devem incorporar iniciativas sustentáveis com o decorrer do tempo e inovação das tecnologias construtivas. Uma construção bem planejada

reduz o desperdício, reduzindo, conseqüentemente, a demanda de material e geração de resíduos, logo, o planejamento bem executado de uma edificação já contribui para sustentabilidade na construção civil.

Outra opção sustentável, em função do setor consumir grandes quantidades de materiais e estar presentes em todas as regiões de qualquer país, consiste na reutilização e reciclagem de resíduos e subprodutos oriundos das diversas indústrias que compõem a economia. “A utilização de materiais alternativos produzidos por meio de resíduos disponíveis em grande quantidade e diversidade mostrasse como um campo vasto para pesquisas de aproveitamento e reciclagem” (SOTO, 2015 apud CINCOTTO, 1988).

A reciclagem e reutilização dos resíduos na construção civil têm sido estudada de diversas formas com os mais variados tipos de materiais, proporcionando um grande avanço na área da reciclagem. Garlet (1998), estudou o reaproveitamento de E.V.A. (*Etylene Vinyl Acetate*), um polímero gerado pela indústria calçadista em confecção de solados e palmilhas. Por possuir baixa massa unitária ($\pm 180 \text{ kg/m}^3$), Garlet explorou o uso do resíduo como agregado leve para utilização em concretos e componentes de vedação. Analisou-se suas condições de trabalhabilidade e consistência, além das propriedades físicas e mecânicas. Os resultados demonstraram um novo tipo de concreto leve com grande ductilidade, em função das propriedades elásticas do EVA, com aplicações em potencial, para atenuação de ruído de impacto, isolamento térmico e absorção de acústica.

Fioriti (2002) estudou a utilização de resíduos de borracha, oriundos da recauchutagem de pneus, para a produção de blocos de concreto de alvenaria, sem função estrutural. O seu objetivo é analisar o comportamento desses novos blocos de concreto à resistência à compressão e à absorção de água, podendo contribuir para o desenvolvimento de um material alternativo que possua um impacto positivo no meio ambiente na reciclagem de resíduos e conservação de jazidas naturais. Com os resultados, os blocos que foram adicionados 15% de resíduos de borracha atenderam à resistência mínima exigida pela norma para blocos vazados de concreto simples para alvenaria, NBR 12118:2013. Os resultados desse estudo demonstram que há grande potencial na reciclagem de materiais para a construção civil, e o quanto é importante desenvolver pesquisas nessa área.

Almeida (2009), no mesmo intuito de reinserir resíduos em processos produtivos da construção civil, estuda a influência da adição de resíduo siderúrgico, proveniente da redução do minério de ferro, na performance do concreto. Denominado escória de alto-forno, esse resíduo foi usado na substituição do cimento em porcentagens de 12,5%, 20% e 35% no concreto. Analisou-se sua durabilidade e resistência em comparação a um concreto de comum

de referência, e os resultados dos ensaios demonstraram que a substituição em 12,5% apresentou o melhor conjunto resistência, 26MPa, absorção, 5%, e perda de massa aceitável.

Moosher (2013), estudou a viabilidade da utilização de dois resíduos diferentes, areais fenólica e verde, geradas na produção de ligas fundidas, para a produção de blocos de pavimentação. A caracterização dos resíduos consistiu na fase essencial do estudo, para alcançar a melhor aplicação tecnológica. Foram produzidos blocos com 0%, 25% e 50% de substituição parcial da areia natural pelo resíduo. Os blocos foram avaliados por diversos parâmetros, como resistência à compressão e à abrasão, absorção de água, índice de porosidade, avaliação ambiental e financeira dos blocos reciclados. Os melhores resultados foram com a adição de 25%, na resistência à compressão e à abrasão.

2.3.1 Resíduos de construção e suas classificações

A Construção Civil representa, conforme dados de 2018, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 9,8% do PIB nacional do Brasil. Apesar da recessão nos últimos anos, a indústria da construção é responsável por grande parte da geração de empregos. Os seus sistemas de atividades incluem materiais de construção, bens de capital para construção, edificações, construções pesadas e diversos serviços, que compreendem atividades imobiliárias e manutenções (MORAIS,2006).

Em toda a variedade de atividades desempenhadas na construção, como manutenções, reformas, construções e demolições, o impacto ambiental é expressivo, desde a extração dos recursos naturais para produção dos materiais até a geração de resíduos bastante significativa. Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), ou também denominado de Resíduos de Construção Civil (RCC), configuram um grande problema para a sociedade. Por não possuir uma gestão correta, tanto na execução das obras, onde usualmente não existe preocupação com o desperdício, quanto na sua destinação final, seu descarte acaba ocorrendo em locais irregulares e causando o esgotamento de áreas de aterro e bota-fora (TAVARES, 2007).

Em 2017, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, ABRELPE, no Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, de 78,4 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos, RSU, 45 milhões de toneladas são RCD, portanto, cerca de 57,4% do total é somente proveniente da construção civil. De acordo com os dados, de 2016 para 2017 houve a diminuição da produção de Resíduos de Construção e Demolição de cerca de 0,1%, um número ínfimo e que, provavelmente se deu à recessão da indústria da construção. Com esses dados alarmantes, é possível perceber que, por mais que a

sustentabilidade tenha se tornado um assunto recorrente na Engenharia Civil e suas vertentes, existe uma linha tênue entre discutir e propor metas e finalmente cumpri-las de alguma forma.

Para Zordan (2000), uma característica inevitável aos resíduos da construção é sua heterogeneidade. Além disso, sua composição química está relacionada à composição dos materiais que os constitui. Isso se torna um obstáculo à reciclagem dos RCD, quando até mesmo o local em que foi gerado pode alterar suas condições e, conseqüentemente, sua destinação no reaproveitamento.

Os resíduos da construção civil são definidos por Leite (2001) como componentes advindos de construções, reparos, reformas e demolições de estruturas e estradas. Ela apresenta uma classificação baseada em fatores como tipos diferentes de resíduos disponíveis para a reciclagem, as especificações para agregados reciclados em usos atuais e potenciais; sistemas de classificação já disponíveis; condições de operar as centrais de reciclagem; e experiências estrangeiras nas quais a reciclagem já está implantada há mais tempo junto com a necessidade de consumo de quantidades significativas de resíduos. A partir desses aspectos, são definidas as seguintes classificações:

Classe 1: Resíduo de concreto sem impureza: este tipo de resíduo é composto de concreto estrutural, simples ou armado, com um certo limite de teor de alvenaria, argamassa e impurezas;

Classe 2: Resíduo de alvenaria sem impureza: este resíduo é composto por argamassa, alvenaria e concreto. Além disso, tem a presença de outros inertes como areias, pedras britadas, entre outros. Este resíduo possui os teores de impurezas limitados;

Classe 3: Resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impureza: material composto de argamassa, concreto e alvenaria com baixo teor de materiais cerâmicos, podendo conter outros materiais inertes com areia e pedra britada, entre outros, com teores limitados de impurezas;

Classe 4: Resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação: a composição deste resíduo é dos mesmos materiais do resíduo Classe 2, diferindo apenas que os resíduos Classe 4 admite a presença de uma certa porcentagem em volume de terra ou de terra misturada à vegetação, e admite um maior teor de impurezas;

Classe 5: Resíduo composto por terra e vegetação: material composto basicamente por terra e vegetação, com teores acima do admitido no 23 de Classe 4. Admite presença de argamassa, alvenaria e concretos, e outros materiais inertes, além de maior teor de impurezas que os anteriores;

Classe 6: Resíduo com predominância de material asfáltico: resíduo composto basicamente de material asfáltico, limitando a presença de impurezas como argamassas, alvenarias, terra, vegetação, gesso, vidros e outros (LEITE,2001, p.13).

Já o CONAMA, na Resolução de nº 307/2002, define os resíduos da construção civil como provenientes ou de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, ou da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. A classificação consiste em:

Classe A: São resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de demolição, de construção, reformas e reparos de edificações (componentes cerâmicos-tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento); de processo de fabricação e/ ou demolição de peças pré-moldadas em concretos (blocos, tubos, meios fios), produzidas nos canteiros de obras.

Classe B: São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papelão/papel, metais, vidros, madeira e outros.

Classe C: São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

Classe D: São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros. (CONAMA,2002).’

Essa Resolução do CONAMA foi criada a partir da necessidade da gestão e manejo correto dos resíduos da construção civil. A partir disso, a NBR 15115/2004, que trata dos agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil para execução de camadas de pavimentação, se baseia na classificação apresentada pela Resolução 307/2002.

Os resíduos analisados no presente estudo foram utilizados como agregados e provenientes da fabricação de peças pré-moldadas de concreto, corpos de prova cilíndricos, oriundas de pesquisas do laboratório de engenharia civil da UFT e são compostos de concreto estrutural, logo, de acordo com as classificações apresentadas, esses resíduos são classificados

como Classe A e Classe 1, conforme apresentado pela Resolução 307 do CONAMA e por Leite (2001), respectivamente.

2.3.2 Reciclagem dos resíduos da construção civil

No Brasil, existe um obstáculo que impede a implementação de políticas sustentáveis na construção, que consiste na falta de iniciativas públicas de infraestrutura, causando o aumento do custo de um empreendimento sustentável, não só na área imobiliária. Como exemplo é possível citar a geração de energia. O Brasil possui grande potencial e perfeitas condições para investir na utilização de energias limpas, como eólica e solar, porém, a realidade facilita o maior investimento em hidrelétricas, termoeletricas e nuclear (FREITAS, 2013).

Atualmente, é possível observar que, apesar de ter adquirido maior consciência ambiental e ecológica, a sociedade e o capitalismo que a cerca ainda impele os indivíduos ao consumo exacerbado, estimulado pelos grupos econômicos que visam lucros crescentes. Existem maiores iniciativas sustentáveis, inclusive à diminuição e melhoria no tratamento de resíduos, em função da exigência de consumidores, legisladores e auditores, na busca por processos de certificação ambiental, por exemplo, promovendo uma melhor adequação da atuação das construtoras e empreendedoras nesse sentido (NAGALLI, 2014).

Portanto, é importante para a indústria de construção civil, que visa seguir um viés sustentável, desenvolver os mais variados estudos acerca de seus processos, para que possa atender às exigências ambientais, sociais e econômicas esperadas pelo desenvolvimento sustentável. Os resíduos de construção e demolição são capazes de atender, concomitantemente, a esses três pilares, se gerenciado da forma correta, seja pela diminuição do impacto ambiental, seja pela atividade humana na reciclagem, capaz de atenuar mazelas sociais e gerar empregos, e também economicamente, quando a reciclagem dos resíduos resulta em uma diminuição do consumo de recursos naturais (NAGALLI, 2014).

De acordo com a ABRECON, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, em 2014, o Brasil gerou 84 milhões de metros cúbicos de resíduos da construção e reciclou apenas cerca de 17 milhões, 20% do total. A modo de comparação, os Estados Unidos reciclam 140 milhões de toneladas de resíduos de concreto, quando o Brasil não chega nem a 5% desse valor. O setor de reciclagem de resíduos da construção e demolição é constituído por 310 usinas, e sua capacidade nominal de produção das usinas é de 38 milhões de metros cúbicos por ano, mas conforme a ABRECON, o setor possui plenas condições de dobrar esse valor. Apesar da resistência de muitas empresas em

utilizar materiais reciclados, o setor cresceu muito de 2010 para 2014, principalmente em função da Resolução nº 307/2002 do CONAMA, que tem se tornado cada vez mais difundida. Apesar de regulamentar a reciclagem de resíduos, ainda são praticamente inexistentes os incentivos a uso de materiais reciclados por meio das instituições municipais, estaduais e federais.

A respeito da reutilização de resíduos de construção e demolição, existe uma gama de pesquisas na busca pelo fechamento do ciclo da construção civil. Buttler (2007) desenvolveu em sua pesquisa a incorporação de agregados reciclados de concreto para a produção de blocos de alvenaria estrutural de concreto, buscando atender três classes de resistência, 4,5 MPa, 8 MPa e 12 MPa. Analisou a viabilidade técnica dos blocos reciclados conforme as propriedades físicas e mecânicas necessárias e, após o estudo, concluiu-se que atenderam às resistências requeridas aqueles que utilizaram os agregados graúdos reutilizados, e atestou as vantagens econômicas do processo de reciclagem, em que todos alcançaram valores de produção inferiores aos das unidades comumente produzidas.

Freitas (2013), no intuito de diminuir o impacto da grande geração de entulho do campus da UFERSA-Mossoró/RN em decorrência de inúmeras reformas e demolições para a readequação de sua infraestrutura, apresenta como possível solução a execução de camadas de pavimento para estabilização de solos pobres. Foram analisadas a granulometria, a consistência, a resistência, entre outras características e realizou-se uma mistura de 50/50 de solo e agregado para avaliar a resistência mecânica. Concluiu-se que a mistura obteve um incremento de 300% na resistência do material, demonstrando-se tecnicamente satisfatória sua aplicação nas camadas mais nobres de pavimentos flexíveis.

Já Gomes (2017) utiliza restos de blocos de concreto, provindos de diferentes fases da edificação, para produzir novos blocos reciclados e, assim como Buttler (2007), avalia a influência dos agregados reciclados na resistência à compressão. A produção dos blocos reciclados ocorreu no canteiro de obras de uma construção de moradias populares e utilizou-se os agregados reciclados miúdos, obtidos através da peneiramento, na substituição da areia e pó de pedra. Usados na mesma dosagem comumente utilizada em agregados naturais, concluiu-se que o melhor desempenho foi alcançado com a substituição total dos agregados miúdos.

Logo, é perceptível que as possibilidades de reutilização de materiais da construção são enormes e os resultados obtidos nos mais variados estudos garantem que é cada vez mais viável a reciclagem dos resíduos de construção e demolição, alcançando resultados até melhores em comparação com os produtos comumente utilizados. Para o desenvolvimento da presente pesquisa a respeito da substituição dos resíduos de concreto na produção de blocos de concreto

de pavimentação, faz-se necessário um amplo estudo das normatizações vigentes e definições existentes, baseando-se nas publicações sobre o tema, além da caracterização dos materiais, do desenvolvimento de uma metodologia eficiente e do correto controle tecnológico dos blocos produzidos, no intuito de viabilizar o uso do produto reciclado em detrimento do usual.

2.3.3 Resíduos de corpos de prova de concreto

O concreto em uma estrutura é responsável pela resistência à compressão. Os corpos de prova de concreto são amostras coletadas do concreto produzido e utilizado em uma edificação para a realização de análises e ensaios de resistências, sendo responsáveis pelo controle tecnológico da qualidade do concreto em todos os aspectos necessários. As especificações e padrões a serem seguidos na moldagem, cura e ensaios são normatizados conforme as normas NBR 5738:2016 e NBR 5739:2018.

De modo geral, as normas definem o passo a passo da realização dos moldes e dos ensaios. As amostras devem ser recolhidas durante o descarregamento da betoneira, com prazo máximo de moldagem de no máximo 15 minutos e o concreto deve ser bem misturado com uma concha ou colher de pedreiro, para manter a homogeneidade. Os moldes são usualmente em aço, devem ser cilíndricos, altura com o dobro do diâmetro, abertos na face superior, face inferior plana, fundo e lateral devem ser estanques quando fechados e possuir fácil desmoldagem, para não danificar o corpo de prova. Devem estar limpos e sem defeitos, revestidos internamente com produto desmoldante, como óleo mineral (NBR 5738:2016).

A moldagem deve ser realizada sobre uma superfície nivelada, sem sofrer interrupção, e próxima ao local de armazenamento, protegidos da ação de intempéries como sol e chuva, onde permanecerão por 24 horas até a desmoldagem para a cura úmida no local específico. A quantidade de camadas e golpes de adensamento para a moldagem são definidos de acordo com as dimensões dos corpos de prova e o tipo de adensamento, manual ou mecânico, e deve ser feito uniformemente. No geral, são moldados 4 corpos de prova por carga de concreto para que os ensaios sejam realizados ao final de 7, 14, 21 e 28 dias, que consistem as etapas de cura. Esse teste de resistência é realizado pela concreteira e deve ser realizado pela construtora também para se resguardar de qualquer problema que possa ocorrer (NBR 5738:2016).

O ensaio de compressão uniaxial submete os corpos de prova a um carregamento que aumenta progressivamente até sua ruptura e o valor da força nesse ponto indica a resistência máxima que o concreto suporta. Existem diversos fatores que podem interferir na qualidade do concreto, como atrasos do caminhão-betoneira e adição excessiva de água na busca por melhor

trabalhabilidade. Quando os traços são executados corretamente e a moldagem dos corpos de provas são realizadas conforme determina a normatização, sua resistência à compressão atesta a qualidade do concreto usado na edificação e se está de acordo com o previsto em projeto. (NBR 5739:2018).

Ao final dos ensaios, os corpos de prova rompidos são descartados, e muitas vezes não são destinados da forma correta, tornando-se um problema de segurança e saúde públicas. Esses Resíduos Laboratoriais (RL), são compostos pelo mesmo material do concreto, ou seja, brita, areia e cimento, nos mais variados traços, conforme a carga que atende, possuindo grande potencial para o reaproveitamento como agregados para novas peças de concreto. A reciclagem pode ser mais positiva financeiramente do que a deposição dos rejeitos em aterros, desde o transporte dos resíduos à deposição.

Esses corpos de prova originam-se de laboratórios de Engenharia Civil de universidades, como também de laboratórios de empresas concreteiras ou empresas especializadas em controle tecnológico do concreto que prestam serviços às construtoras. Em função da sua origem específica, esses resíduos são classificados, conforme apresentado anteriormente, como Classe 1, segundo Leite (2001), composto de concreto estrutural sem impurezas, ou, segundo a classificação CONAMA (2002), Classe A, resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, servindo como matéria-prima na substituição de materiais normalmente vindos de jazidas, os impactos ambiental e econômico tornam a reciclagem a melhor opção.

Na Universidade Federal do Tocantins, esses resíduos de corpos de prova provenientes do Laboratório de Engenharia Civil, Campus Palmas, são depositados em uma baía ao ar livre (Figura 1), que seria destinada inicialmente a abrigar materiais de construção. Além da poluição estética e visual, não existe mais espaço para novos resíduos de novas pesquisas laboratoriais. Portanto, tem se tornado um problema, pois não possuem destinação adequada, como aterros ou reciclagem. Em função disso, o presente trabalho direciona-se a estudar a possibilidade de reutilização desses resíduos laboratoriais de corpos de concreto como agregados graúdos na produção de blocos de pavimentação de concreto.

Figura 1: Corpos de prova descartados em baía do Laboratório de Engenharia Civil da UFT, Campus Palmas



Fonte: Acervo pessoal (2019).

2.4 Blocos de pavimentação

O mercado de blocos de concreto tem crescido no Brasil como uma solução inteligente para a pavimentação de áreas urbanas. Além do aumento de incentivos de sua utilização por empresas e entidades do setor, suas vantagens técnicas são bastante atrativas e têm se tornado mais difundidas na sociedade. Possui fácil aplicabilidade, com assentamento simples, é responsável pela diminuição da iluminação pública, facilidade na liberação do tráfego e em manutenções corriqueiras (HOOD, 2006).

Popularmente conhecidos como *pavers* ou bloquetes, esses blocos são mais comumente utilizados em locais para tráfego leve de pessoas, como calçadas e praças, no entanto, são capazes de atender locais como ciclovias, garagens, ruas e estradas, que exigem maiores resistências. Sua aplicação consiste em blocos de concreto pré-fabricados que são justapostas de forma que travem uns aos outros por contenção lateral e atrito entre as peças, sobre uma camada de areia. Possuem diferentes tamanhos, formas e cores, possibilitando inclusive atender ao potencial estético. A norma NBR 9781/2013 estabelece e padroniza as características e requisitos exigidos, além dos métodos de ensaio necessários para atestar sua qualidade.

Do ponto de vista sustentável, a TECNOSIL, empresa especializada em concreto com uma política focada em qualidade atrelada à preservação do meio ambiente, destaca que os blocos de concreto gastam menos energia na sua produção do que os asfaltos, além de serem permeáveis, sendo mais vantajosos em comparação aos pavimentos de concreto convencional.

Sua permeabilidade reduz a aquaplanagem de veículos, tornando a via mais segura, além de permitir maior reflexão da luz, diminuindo a necessidade de iluminação pública. O piso de blocos intertravados possibilita obras rápidas e de uso imediato, sua manutenção é simples e não necessita mão de obra especializada, grandes vantagens com relação ao asfalto (FIORITI, 2007).

2.4.1 Características gerais

A norma referente à padronização dos requisitos e métodos exigíveis para aceitação de peças de concreto para pavimentos intertravados é a NBR 9781/2013, conforme já citada, determinando formalmente as especificações e métodos de ensaio essenciais. Datada de 2013, é uma norma relativamente nova, constatando que apenas nos últimos anos os blocos intertravados têm se tornado mais difundidos e utilizados. Esses blocos são vendidos em metros quadrados e possuem uma variedade de formas e cores, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2: Variedade de formatos e cores de peças de pavimentação



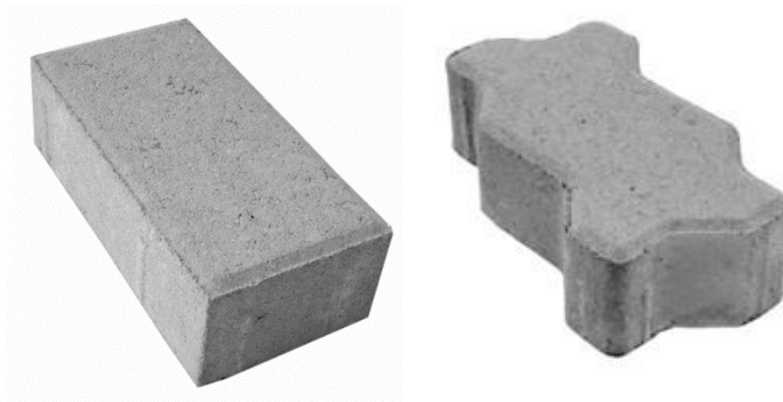
Fonte: tecparpavimentos.wordpress.com. Acesso em 15 nov. 2019.

Os blocos para pavimentação são produtos pré-moldados de concreto, com traços pré-definidos e processo de produção simples. Suas formas são variadas, cada uma delas com comprimento, largura e espessura bem definidos. Sua produção deve ser uniforme para garantir o encaixe entre as peças. Os materiais que constituem o concreto dos blocos intertravados são

cimento Portland, agregados e água, sendo permitido aditivos e pigmentos, estando todos esses materiais atendendo às normas respectivas (NBR 9781/2013).

Com relação aos diversos formatos, são classificados em 4 tipos. O tipo I, o mais simples, possui formato próximo ao retangular, relação comprimento/largura igual a dois, e se arranjam entre si nos quatro lados, assentados em fileiras ou formato espinha de peixe. Na Figura 3 são apresentados os dois exemplos mais comuns.

Figura 3: Exemplos de blocos de pavimentação Tipo I



Fonte: <http://www.pisosecologicos.com.br>. Acesso em 21 de maio de 2021.

Já o tipo II são peças com formato único e que só podem ser assentadas em fileiras, como apresentado na Figura 4. O tipo III são blocos com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, etc.) com peso superior a 4 quilos, conforme o exemplo da Figura 5. E finalmente o tipo IV são conjuntos de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única com juntas falsas, podendo ser utilizadas em vários padrões de assentamento, conforme a peça da Figura 6 (NBR 9781/2013).

Figura 4: Exemplos de blocos de pavimentação Tipo II



Fonte: <http://www.pisosecologicos.com.br>. Acesso em 21 de maio de 2021.

Figura 5: Exemplos de blocos de pavimentação Tipo III



Fonte: <http://www.pisosecologicos.com.br>. Acesso em 21 de maio de 2021.

Figura 6: Exemplos de blocos de pavimentação Tipo IV



Fonte: <http://www.pisosecologicos.com.br>. Acesso em 21 de maio de 2021.

Com relação às dimensões, a medida de comprimento máxima é de 250 mm, largura mínima de 97 mm em peças para ensaio de resistência à compressão, e espessura mínima de 60 mm, tendo tolerância de 3 mm todas as dimensões.

2.4.2 Requisitos e ensaios

A norma NBR 9781/2013 determina os ensaios necessários para a análise das propriedades físicas e mecânicas dos blocos de pavimentação de concreto. Com relação às propriedades físicas, é necessário realizar, inicialmente a inspeção visual e avaliação

dimensional. Para a inspeção, as peças de concreto devem possuir as mesmas características, produzidas sob as mesmas condições e com os mesmos materiais, e serão aceitas quando não possuírem defeitos que possam prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou o aspecto estético do pavimento. Devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos.

Na análise dimensional, as dimensões devem atender aos requisitos: medida nominal do comprimento de no máximo 250mm; medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20mm; medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão; e à tolerância de ± 3 mm em qualquer das dimensões.

Outro aspecto físico que deve ser avaliado é o grau de absorção de água das peças de concreto, que deve apresentar o valor médio menor ou igual a 6%, e seu ensaio é executado conforme o Anexo B da NBR 9781/2013.

Com relação às propriedades mecânicas dos blocos de pavimentação de concreto, a norma apresenta os ensaios de resistência característica à compressão e resistência à abrasão. A resistência característica à compressão é obrigatória e deve atender os requisitos disposto em norma e o ensaio deve ser executado conforme o Anexo A da NBR 9781/2013. Já a determinação da resistência à abrasão é facultativa, assim como o seu ensaio, disposto no Anexo C da NBR 9781/2013, e deve atender às especificações necessárias.

O presente estudo analisou os seguintes requisitos: inspeção visual, análise dimensional, absorção de água e resistência característica à compressão. Por consistir num requisito facultativo e por exigir uma aparelhagem de difícil acesso, a resistência à abrasão não foi avaliada. A amostragem das peças para cada um dos ensaios e análises foi definida conforme a NBR 9781/2013, de acordo com o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1: Amostragem para ensaios em blocos de pavimentação

Propriedade	Amostra
Inspeção visual	6 ^a
Avaliação dimensional	6 ^a
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6
Resistência à abrasão	3 ^b
a: As peças amostradas podem ser utilizadas também para ensaios de resistências.	b: Ensaio facultativo

Fonte: NBR 9781/2013.

Conforme é apresentado no Quadro 1, o ensaio de resistência à abrasão é facultativo, e não será executado. As seis peças para inspeção visual e análise dimensional podem ser utilizadas no ensaio de resistência à compressão, mais as três peças para o ensaio de absorção de água, totalizam 9 peças, para cada traço, sendo estes os traços de referência, parcial de 25%, 50% e 75%, a amostragem total necessária para o presente trabalho é de 36 peças.

2.4.3 Reutilização de resíduos em blocos de pavimentação

A utilização de resíduos na produção de blocos de pavimentação já tem sido estudada há anos e garantindo cada vez mais resultados positivos e vantajosos. Fioriti (2007) novamente utiliza os resíduos de borracha da recauchutagem de pneu reciclados no concreto, mas o objetivo agora é sua utilização substituindo agregados em blocos de concreto para pavimentação intertravada. Os níveis de incorporação do resíduo de borracha utilizados foram de 8%, 10% e 12% e as propriedades avaliadas foram resistência à compressão, absorção e resistência ao impacto. Os resultados demonstram queda na resistência, absorção não afetada de maneira negativa, e grande capacidade de absorção de energia, indicando a viabilidade do uso dos blocos com resíduos de pneu com solicitações leves.

Pagnusat (2004), por sua vez, buscou avaliar a utilização de escórias granuladas de fundição (EGF), resíduos da produção de ferro fundido, na produção dos blocos de pavimentação, com substituição parcial do cimento e com substituição parcial do agregado miúdo. Em ambas situações os teores de substituição foram de 10, 30 e 50%, e nos blocos fabricados foram realizados ensaios de resistência mecânica à compressão, desgaste por abrasão e absorção de água. O autor concluiu que o teor de 10% de EGF como substituição parcial de cimento foi o que mais se aproximou do desempenho dos blocos referência. Além disso, os resultados também demonstraram que não há diferenças significativas entre os blocos referência e o blocos com EGF, quanto ao desgaste por abrasão e absorção de água

Hood (2006) apresenta em sua pesquisa o crescimento da utilização de blocos para pavimentação e seus benefícios, e propõe a reutilização de RCD provenientes de Porto Alegre – RS como agregados miúdos substituindo os agregados naturais na confecção de blocos para pavimentos intertravados. Utilizou intervalos de teores entre 0% e 100% e analisou o comportamento dos novos blocos com relação à resistência à compressão, resistência à abrasão e absorção de água. Ao final da pesquisa, constatou-se que a substituição do agregado reciclado a 25% obteve os melhores resultados, sendo passível de utilização.

2.5 Desenvolvimento do estudo

O presente trabalho buscou utilizar os resíduos de corpos de prova do laboratório de engenharia civil da UFT como agregados graúdos na produção de blocos de pavimentação de concreto de tráfego leve. Os resíduos inicialmente passaram pela fase de britagem, em parceria com a instituição CEULLP/ ULBRA, e por uma separação em agregados graúdos e miúdos, estes últimos sendo descartados para o presente estudo. Posteriormente, os agregados, naturais e reciclados, foram caracterizados pelos ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária.

A partir dos dados encontrados com a caracterização dos resíduos, foi executada a dosagem do concreto. Para isso, foi escolhido o aglomerante CP V ARI, um aglomerante comumente utilizado na produção de blocos de pavimentação por alcançar altas resistências iniciais, importante característica na indústria de pré-moldados, que busca uma rápida saída das peças. Foi adotada a massa específica de 3120 kg/m^3 , seguindo as disposições do fabricante.

O método de dosagem utilizado para a produção de concreto foi o disposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland, que baseou-se no método ACI, do *American Concrete Institute*. “Os Parâmetros de Dosagem Racional do Cimento”, publicado na 34ª Reunião de Técnicos da Indústria Do Cimento, é o documento que apresenta este método, que consiste basicamente na coleta de dados referentes aos materiais utilizados, entre eles Módulo de Finura, Dimensão Máxima Característica, Umidade e Massas Específicas Real e Unitária. Com esses dados, utiliza-se fórmulas, gráficos, tabelas e ábacos para o cálculo do traço final (NASCIMENTO; 2019).

Com a dosagem do concreto, foram produzidos os blocos para cada um dos traços propostos, moldados e curados, com a parceria da empresa Premoll Pré-moldados, que cedeu a mesa vibratória e as formas plásticas utilizadas na moldagem das peças. Após a cura, foram desenformados e passaram pelos ensaios dispostos na NBR 9781/2013.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos empregados para a produção dos blocos de pavimentação com uso de agregados reciclados provenientes dos corpos de prova descartados do Laboratório de Engenharia Civil. Ângulo, Zordan e John (2001) propõem a metodologia a seguir no desenvolvimento de um projeto de pesquisa na criação de um novo produto ou material oriundos de reaproveitamento de resíduos, que possa se estabelecer como uma alternativa viável e segura ao mercado, requer conhecimentos multidisciplinares complexos.

Assim, visando a produção de blocos de concreto para pavimentação com utilização de agregados graúdos reciclados de corpos de prova de concreto, foi seguida a metodologia proposta, conforme os passos a seguir: identificação e separação dos resíduos disponíveis; caracterização dos materiais e desenvolvimento do produto (dosagem do concreto e produção dos blocos).

3.1 Identificação e separação dos resíduos

A primeira etapa da abordagem metodológica consiste na separação manual dos resíduos do Laboratório de Materiais de Construção, da Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas, no ato da coleta, onde foram descartados os corpos de prova oriundos de pesquisa com concreto leve e ou com fibras, pois podem interferir na resistência e na trabalhabilidade do alvo da pesquisa. Após a coleta, os resíduos de corpos de prova foram levados para a fase de britagem e caracterização.

3.2 Caracterização dos materiais

“É fundamental um estudo das características físico-químicas e as propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados para isso” (ÂNGULO, ZORDAN, JOHN; 2001). Para isso, a caracterização dos materiais residuais para a produção dos blocos de pavimento intertravado foi executada em três fases. Inicialmente os corpos de prova em estado bruto passaram pelo processo de britagem. Posteriormente foi executado o peneiramento para separação do resultado da britagem em agregado graúdo (> 4,8 mm) e agregado miúdo (< 4,8 mm), por meio de peneiramento. E por último foi executada a caracterização dos agregados reciclado desejados, conforme especifica-se em cada um dos tópicos a seguir.

3.2.1 Britagem e peneiramento dos corpos de prova

Os resíduos brutos (Figura 7) seguiram para o processo de britagem, que foi realizado em parceria com o Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ ULBRA), que cedeu o uso da britadora de mandíbula e do Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação para a execução dessa fase do estudo (Figura 8).

Figura 7: Corpos de prova utilizados na britagem



Fonte: Acervo pessoal (2020).

Figura 8: Britador de mandíbula do Laboratório da ULBRA



Fonte: Acervo pessoal (2020).

O produto gerado pós britagem é composto de diversas granulometrias, contendo materiais que podem ser utilizados como agregados graúdos e miúdos. O presente estudo utilizou o resíduo britado para substituir os agregados graúdos naturais nas porcentagens 25%, 50% e 75%. Posterior ao processo de britagem, os resíduos triturados foram levados de volta ao Laboratório de Engenharia Civil da UFT para ajuste de granulometria e caracterização. Foram utilizadas peneiras de 4,8 mm de diâmetro para separar os agregados miúdos e graúdos em frações distintas.

O material miúdo foi descartado, sendo a menor parte do resultado da britagem, o agregado graúdo adquirido apresenta-se na Figura 9 a seguir.

Figura 9: Agregados graúdos britados



Fonte: Acervo pessoal (2020).

3.2.2 Caracterização dos agregados

Findada a etapa de separação dos resíduos, foi iniciada a fase de caracterização dos materiais que foram utilizados na produção dos blocos: aglomerante, agregados naturais e reciclados. Os agregados naturais escolhidos foram brita 1 e areia grossa, normalmente utilizados na produção de blocos de pavimentação. O aglomerante utilizado foi o cimento Portland CPV ARI, também comumente utilizado em blocos para pavimento intertravado e pela propriedade de alta resistência inicial. O Quadro 2 apresenta os ensaios de caracterização a serem realizados com os agregados e as respectivas normas regulamentadoras.

Quadro 2: Ensaio de caracterização dos agregados, naturais e reciclados

Agregado Miúdo	
Característica	Norma
Granulometria	NBR NM 248/2003
Massa específica e massa específica aparente	NBR NM 52/2009
Massa unitária	NBR NM 45/2006
Agregado Graúdo	
Característica	Norma
Granulometria	NBR NM 248/2003
Massa específica, massa aparente e absorção de água	NBR NM 53/2009
Massa unitária	NBR NM 45/2006

Fonte: Autor (2019).

Os resultados dos ensaios de caracterização, a seguir, foram utilizados para a definição dos traços desejados, pelo método ABCP/ACI.

3.2.2.1 Granulometria

Os ensaios de granulometria foram realizados com todos os agregados, miúdos e graúdos, naturais e reciclados, conforme determina a NBR NM 248/2003. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UFT, com supervisão da técnica do laboratório, seguindo as diretrizes exigidas pela norma, com o uso de balança com resolução de 0,1% da massa, estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de (105 ± 5) °C, peneiras de série normal com fundo e agitador mecânico de peneiras.

A importância da granulometria para o presente estudo se dá em unção de dois dados importantes para a dosagem do concreto, encontrados a partir desse ensaio: o módulo de finura do agregado miúdo e a dimensão máxima característica dos agregados graúdos. Para o módulo de finura da areia, soma-se as porcentagens das massas retidas acumuladas das peneiras de série normal e divide-se por 100. Já a Dimensão Máxima Característica (DMC) corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa

Além disso, a distribuição granulométrica, determinada na NM 248/2003, deve atender aos critérios estabelecidos na NBR 7211/2005, que trata dos requisitos exigíveis para recepção

e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à fabricação de concretos de cimento Portland. Nessa norma são apresentados os limites inferiores e superiores aceitos para a percentagem de material retido acumulado.

No Quadro 3 apresentam-se as médias das massas retidas e acumuladas de cada peneira, encontradas para cada um dos agregados utilizados, provenientes do ensaios de granulometria. A partir desses dados, foram produzidas as curvas granulométricas dos agregados utilizados: areia grossa natural; brita 0 natural e brita reciclada pós separação.

Quadro 3: Resultado do ensaio de granulometria dos agregados

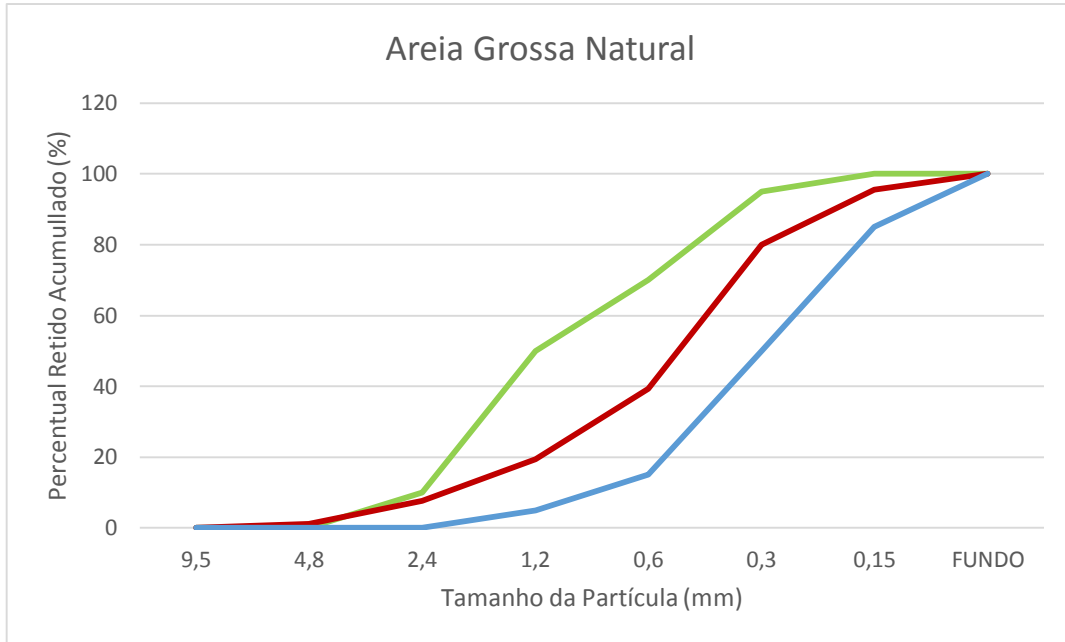
	Abertura da malha Série normal (mm)	Massa retida (g)	M. retida (%)	M. acumulada (%)
AREIA	9,5	0	0	
	4,75	6	1,20	1,20
	2,36	32,5	6,51	7,71
	1,18	58,5	11,71	19,42
	0,6	99,6	19,94	39,37
	0,3	203,3	40,71	80,08
	0,15	77,1	15,44	95,51
	FUNDO	22,4	4,49	100
	TOTAL	499,4	100	
Módulo de finura				2,4
BRITA 0 NATURAL	75	0	0	0
	37,5	0	0	0
	19	0	0	0
	9,5	82,55	16,52	16,52
	4,75	353,65	70,77	87,29
	FUNDO	63,5	12,71	100
	TOTAL	499,7	100	
DimMáx característica				19
BRITA RECICLADA PÓS SEPARAÇÃO	75	0	0	0
	37,5	0	0	0
	19	44,9	8,99	8,99
	9,5	309,3	61,90	70,88
	4,75	143,3	28,68	99,56
	FUNDO	2,2	0,44	100
	TOTAL	499,7	100	
DimMáx característica				37,5

Fonte: Autor (2020).

As curvas granulométricas fazem parte da caracterização dos materiais e dependem da massa retida acumulada. As Figuras 10, 11 e 12 correspondem às curvas de cada um desses

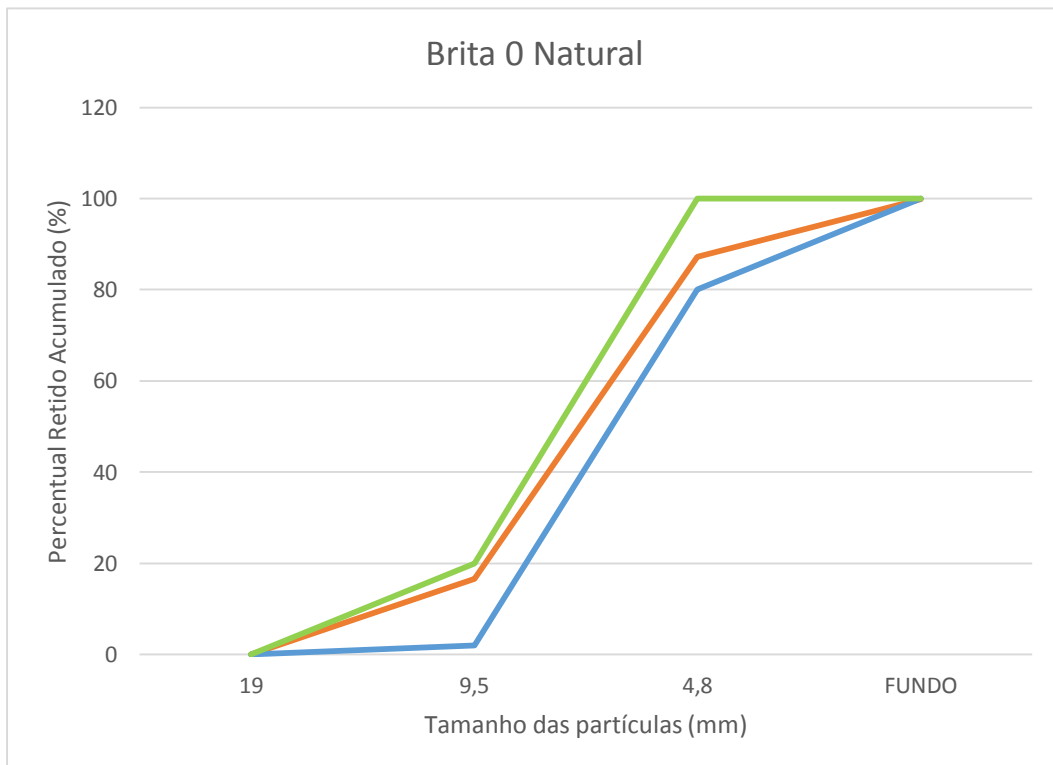
agregados e seus limites mínimos e máximos dispostos na NBR 77211/2005, nas quais a curva em verde corresponde ao limite superior, a curva azul corresponde ao limite inferior, e a curva vermelha corresponde à curva real encontrada.

Figura 10: Curva Granulométrica da Areia grossa natural



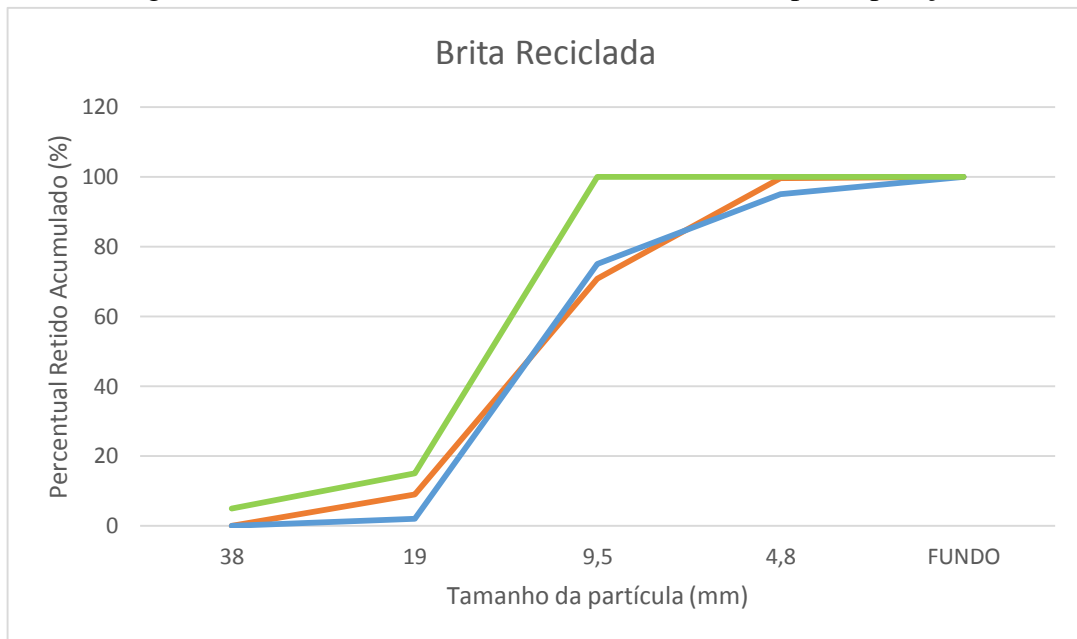
Fonte: Autor (2020).

Figura 11: Curva Granulométrica da Brita 0 natural



Fonte: Autor (2020).

Figura 12: Curva Granulométrica da Brita reciclada pós separação



Fonte: Autor (2020).

Com base nas figuras acima, conclue-se que os agregados naturais se encontram dentro dos limites exigidos. Já o agregado graúdo reciclado apresenta uma fuga ao exigido pela norma na peneira de tamanho 9,5 mm. No entanto, conforme a própria NBR 7211/2005 cita, “esta Norma não se aplica a agregados obtidos por processos industriais, como subprodutos, ou a agregados reciclados. Logo, infere-se que o leve desvio ocorrido não interfere nos resultados obtidos.

3.2.2.2 Massa específica e absorção de água

Seguindo com a caracterização dos agregados, foram executados os ensaios de massa específica. Para a areia grossa natural, os ensaios de massa específica foram realizados conforme a NBR NM 52/2003. Já a brita 0 natural e a brita reciclada passaram pelos ensaios dispostos na NBR NM 53/2003.

No Quadro 4 a seguir, as médias das massas específicas e massas específicas encontradas da areia grossa natural, da brita 0 natural e da brita reciclada; e a absorção de água da brita 0 natural e da brita reciclada. O ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UFT, com supervisão da técnica do laboratório.

Quadro 4: Massa específica dos agregados utilizados

	Massa específica (kg/m³)	Massa específica aparente(kg/m³)	Absorção (%)
Areia Grossa Natural	1675,38	3150,44	-
Brita 0 Natural	2719,33	2442,27	4,77
Brita Reciclada	2530,12	2212,13	5,68

Fonte: Autor (2020).

3.2.2.3 Massa unitária

Finalizando a caracterização dos agregados graúdos e miúdos, foram realizados os ensaios de massa unitária conforme determina a NBR NM 45/2006. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UFT, sob supervisão da técnica do laboratório, e seguiu todas as diretrizes exigidas pela norma. No Quadro 5 são apresentadas as médias das massas unitárias e dos índices de volumes de vazios encontrados para cada um dos agregados utilizados.

Quadro 5: Massa unitária dos agregados

	Massa unitária (kg/m³)	Índice de vazios (%)
Areia grossa natural	1521,39	9,19
Brita 0 natural	1091,85	59,86
Brita reciclada	1082,95	57,19

Fonte: Autor (2020).

3.3 Dosagem do concreto

O concreto foi dosado para atingir a resistência característica à compressão de 35 MPa aos 28 dias, sendo este o valor mínimo especificado pela norma NBR 9781/2013, para a solicitação de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, conforme o Quadro 6. O método de dosagem empregado foi o ABCP/ACI.

Quadro 6: Resistências mínimas características à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias (em MPa)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir abrasão acentuados	≥50

Fonte: NBR 9781/2013.

O processo de dosagem consistiu em encontrar a melhor proporção de massa ou volume de cada material que compõe o concreto: cimento, areia, britas e água. Essa proporção é conhecida como traço do concreto. A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) baseou seu método de dosagem no proposto pelo *American Concrete Institute (ACI)*, ou comumente conhecido como método ACI, bastante utilizado no Brasil.

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland CPV ARI e sua massa específica foi adotada conforme o fabricante, de 3120 kg/m³. O resumo dos dados encontrados durante a caracterização de cada um dos materiais e que foram utilizados para o cálculo do traço do concreto é apresentado no quadro 7, a seguir.

Quadro 7: Dados da caracterização dos materiais para cálculo do traço

	AREIA	BRITA 0	BRITA RECICLADA	CIMENTO
Módulo de Finura	2,4	-	-	-
Dimensão Máx. Característica (mm)	-	19	37,5	-
Massa específica (kg/m³)	1675,38	2719,33	2530,12	3120
Massa unitária (kg/m³)	1521,39	1091,85	1082,95	

Fonte: Autor (2020).

O primeiro passo para determinação dos traços desejados consistiu na determinação da resistência característica de compressão, ou f_{ck} , aos 28 dias. No caso dos blocos de pavimentação de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, como apresentado anteriormente no quadro 2, a resistência característica de compressão necessária é de 35 MPa. A partir desse dado foi encontrada a resistência de dosagem, conforme a Equação 1 a seguir:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d$$

O valor do desvio padrão, S_d , é definido em função do rigor da produção do concreto que vai depender da medição dos componentes do concreto e do teor de umidade, conforme a Figura 13. A classe adotada foi a C10 A C80, em função de ser realizado em laboratório, com controle das condições, logo, o $S_d = 4,0$.

Figura 13: Tabela de valores do S_d em função do rigor da produção

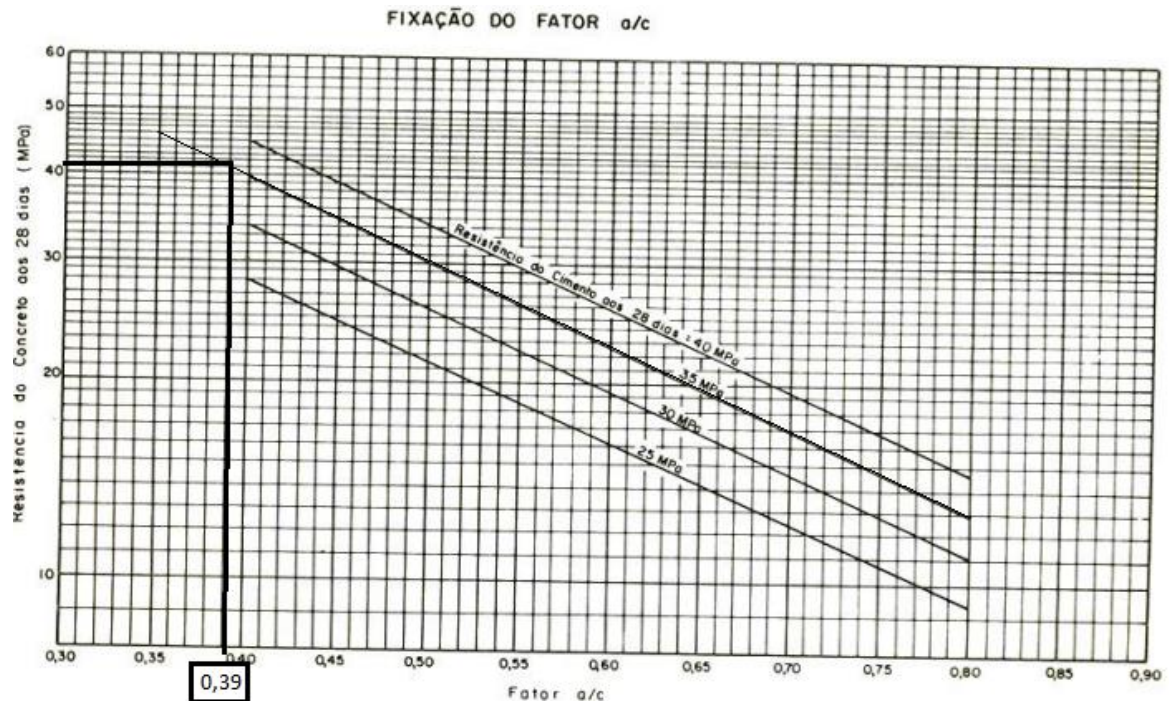
S_d	CONDIÇÃO	CLASSE	TIPO DE CONCRETO
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor e água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações freqüentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações freqüentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

Fonte: ABCP.

Logo, conforme a Equação 1, $f_{cj} = 35 + 1,65(4,0)$, $f_{cj} = 41,60$ MPa.

O próximo passo consistiu na fixação do fator água/cimento, que depende dos f_{ck} e f_{cj} , com o auxílio do ábaco da Figura 14. Logo, a relação cimento encontrada foi $a/c = 0,39$.

Figura 14: Ábaco Fixação do fator a/c



Fonte: ABCP.

Posteriormente, foi necessário determinar a água estimada (C_w) por metro cúbico (m^3) de concreto. Na tabela da Figura 15 são dispostos valores constantes de C_w , considerados como uma primeira aproximação e fornecidos em função da dimensão máxima característica (DMC)

e consistência do concreto (abatimento do tronco de cone). Foi adotado o abatimento $Ab = 100 \pm 10\text{mm}$, em função da maior trabalhabilidade, mais vantajosa para a produção de blocos de pavimentação, e a $DMC = 19\text{ mm}$. $C_w = 195\text{ l/m}^3$.

Figura 15: Consumo aproximado de água

Abatimento do tronco de cone, mm	Dimensão máxima característica do agregado graúdo, mm			
	9,5	19,0	25,0	32,0
40 a 60	215	185	180	175
60 a 80	220	190	185	180
80 a 100	225	195	190	185

Fonte: ABCP.

A partir desse dado, foi possível estimar o consumo de cimento (C_c) por metro cúbico (m^3) dividindo o consumo de água (C_w) pela relação água/cimento (a/c), conforme Equação 2, a seguir.

$$C_c = C_w/(a/c), \text{ logo, } C_c = 500\text{ kg/m}^3.$$

O consumo de agregado graúdo foi encontrado a partir do uso da tabela da Figura 16, que depende dos valores do módulo de finura (MF) do agregado miúdo e da dimensão máxima característica (DMC) do agregado graúdo. Com o MF igual a 2,4 e a DMC igual a 19 mm, encontramos o valor de 0,710.

Figura 16: Volume de agregado graúdo compactado por m^3 de concreto

M.F.	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (Dmáx.), mm			
	9,5	19,0	25,0	32,0
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660

Fonte: ABCP.

Logo, o consumo de agregado graúdo (C_b) é encontrado multiplicando esse valor pela massa unitária da brita 0, conforme a Equação 3, $C_b = 0,710 \times m_u$, onde “ m_u ” é a massa unitária da brita.

$$\text{Logo, conforme a Equação 3, } C_b = 0,710 \times 1091,85; C_b = 775,22\text{ kg/m}^3.$$

Finalizando o processo de dosagem do concreto, foi encontrado o consumo de agregado miúdo (C_a) por metro cúbico (m^3) de concreto, e consistiu na diferença da soma dos volumes

absolutos do demais materiais constituintes em relação a 1 m³ de concreto, conforme a Equação 4 a seguir.

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + C_w \right)$$

Onde “Va” é o volume de areia em metros cúbicos (m³); “C” é o consumo de cimento; “ ρ_c ” a massa específica do cimento; “Cb” consumo de brita; “ ρ_b ” massa específica da brita; e “Cw” o consumo de água. Para encontrar o consumo de areia, basta multiplicar o Va encontrado pela massa específica da areia.

Foram calculados quatro traços: o traço de referência, composto completamente por materiais naturais para comparação de resultados; e os traços com substituição dos agregados graúdos em 25%, 50% e 75%. Foram produzidos 9 blocos de pavimentação para cada traço. com cada bloco possuindo o volume de aproximadamente 0,0012 metros cúbicos (m³). Dessa forma, os traços foram dimensionados em quilos (kg), para conforme apresenta o Quadro 8.

Quadro 8: Traços encontrados pelo método ABCP/ACI;

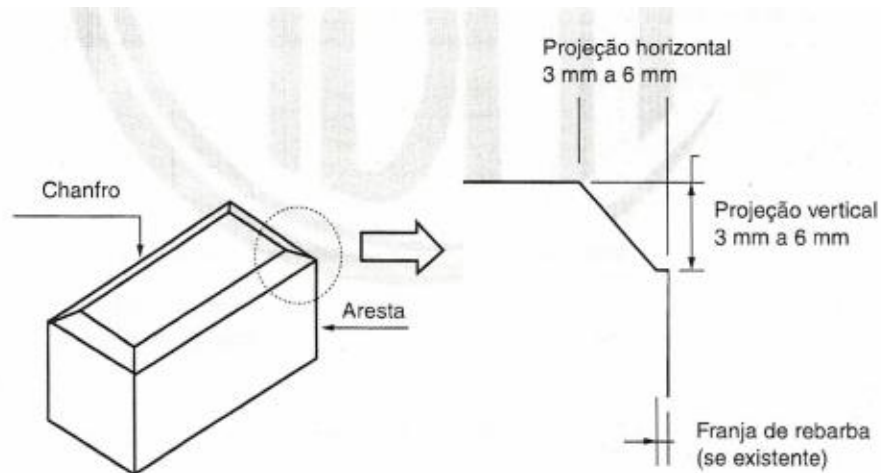
	TRAÇO DE REFERÊNCIA	25% RECICLADO	50% RECICLADO	75% RECICLADO
CIMENTO (Kg)	8,08	6,5	6,5	6,5
AREIA GROSSA (Kg)	8,31	8,29	8,17	8,06
BRITA (Kg)	8,94	8,14	5,43	2,71
ÁGUA (L)	3,15	2,73	2,73	2,73
BRITA RECICLADA (Kg)	-	2,71	5,43	8,14

Fonte: Autor (2020).

3.4 Produção dos blocos para pavimentação

Os blocos escolhidos para produção foram do Tipo I da classificação, com geometria retangular, de dimensões 100x200x60 mm, volume e chanfro com projeção vertical e horizontal de 5mm, atendendo aos parâmetros máximos e mínimos indicados na norma NBR 9781/2013, conforme exemplifica a Figura 17.

Figura 17: Exemplo de bloco com chanfro para pavimentação



Fonte: NBR 9781/2013;

Através da obtenção do traço de referência, foram realizadas substituições do agregado natural com teores 25%, 50% e 75% do reciclado, com 9 blocos cada traço, totalizando em 36 blocos produzidos para amostragem. Esse número foi determinado conforme a NBR 9781/2013, onde especifica a quantidade de blocos necessárias a cada análise e ensaio exigido.

3.4.1 Moldagem e cura

A partir do traço definido, os blocos foram produzidos na betoneira e os materiais foram cuidadosamente medidos com o auxílio de uma balança e medidor de água. Os blocos foram produzidos com o apoio da empresa Premoll pré-moldados, que disponibilizaram as formas plásticas e a mesa vibratória, como mostra a Figura 18.

Figura 18: Mesa vibratória e formas plásticas Premoll;



Fonte: Acervo pessoal (2020).

Finalizada a produção de cada um dos traços, o concreto foi despejado nas formas para a moldagem, após a aplicação de desmoldante a base de óleo diesel, e as formas passaram pelo processo de vibração para um correto adensamento. Na Figura 19, os 9 blocos do traço de referência moldados conforme determinado. Todos os traços passaram pelo mesmo processo de moldagem.

Figura 19: Moldagem dos blocos de referência



Fonte: Acervo pessoal (2020).

O próximo passo consistiu na cura úmida do concreto, que deve ser executada 24 horas após a moldagem. Os blocos dos quatro traços foram desformados e identificados, como mostra a Figura 20, após as 24 horas, e passaram pelo processo de cura, no qual os blocos ficaram imersos em um tanque de água por 4 dias.

Figura 20: Blocos de pavimentação dos quatro traços produzidos



Fonte: Acervo pessoal (2020).

3.5 Caracterização dos blocos

Após 28 dias da moldagem dos blocos, foram realizadas as avaliações e ensaios necessários para a análise das propriedades físicas e mecânicas alcançadas, conforme determinam as diretrizes exigidas pela NBR 9781/2013. Nas diretrizes são apresentados os procedimentos descritos no item 5.2, para análise dimensional, no Anexo A, para determinação da resistência característica à compressão, e no anexo B, para determinação da absorção de água. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins.

3.5.1 Caracterização física

Conforme apresentado na norma NBR 9781/2013, foi necessário fazer a inspeção visual e avaliação dimensional. Os blocos cumprirão a norma se apresentarem aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos, sem defeitos ou descamações. Na avaliação dimensional, as dimensões devem atender ao previsto, que serão 100x200x60 mm, com tolerância de 3 mm. Para a análise das dimensões foi utilizado um paquímetro de resolução de 0,1 mm.

Outro aspecto físico avaliado foi o grau de absorção de água dos blocos. O ensaio foi executado conforme a norma NBR 9781/2013, Anexo B, logo, os blocos foram mergulhados em água por 24 h, pesados saturados com superfície seca (m_2), e secos em estufa e pesados novamente (m_1). Para esse ensaio utilizou-se balança de resolução 0,1 g e a estufa. Seu resultado deve ser menor ou igual a 6% para ser aprovado.

3.5.2 Caracterização mecânica

Com relação à caracterização mecânica dos blocos de pavimentação, foi realizado o ensaio de resistência à compressão. Para o ensaio de compressão foi utilizada a prensa QUANTEQ Emic DL2000, que localiza-se no laboratório de Engenharia Civil da UFT, com aplicação controlada da força, conforme determina a norma NBR 9781/2013, Anexo A, e devem atender à carga prevista, de 35 MPa. Para o ensaio com blocos de pavimentação, a norma exige o auxílio de duas placas de aço circulares de 85 mm de diâmetro, conforme apresenta a Figura 21, acopladas à máquina. O bloco ensaiado deve ficar posicionado de modo que seu eixo coincida com o eixo da máquina e das placas auxiliares, conforme a Figura 22.

Figura 21: Placas auxiliares de 85 mm de diâmetro



Fonte: Acervo pessoal (2020).

Figura 22: Prensa QUANTEC com placas auxiliares de 85 mm de diâmetro para ensaio de resistência à compressão



Fonte: Acervo pessoal (2020).

4 RESULTADOS

Neste tópico são abordados e discutidos os resultados dos ensaios realizados com os blocos produzidos: Inspeção visual e Avaliação dimensional; Ensaio de absorção e Ensaio de resistência à compressão. Os dados encontrados estão dispostos em tabelas para melhor visualização e são discutidos posteriormente, incluindo a tabela final com a comparação dos resultados de todos os traços.

4.1 Inspeção visual e avaliação dimensional

A inspeção visual consiste na análise a olho nu dos blocos produzidos objetivando a identificação de peças com defeitos que possam prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou o aspecto estético do pavimento. Baseado nisso, 6 amostras de blocos de cada traço foram avaliados visualmente, conforme determina a norma, e constatou-se que não tiveram nenhum tipo de avaria durante todo o processo de produção, nem na moldagem, nem na desforma. Portanto, os blocos foram visualmente aprovados.

Já na avaliação dimensional, as dimensões devem atender ao previsto, 100x200x60 mm, com tolerância de 3 mm, e foi realizada em 6 amostras de blocos de cada traço, como determina a norma. Nos quadros a seguir, os dados referentes à análise de cada grupo de traços.

Quadro 9: Análise dimensional dos blocos de referência

CP	C (mm)	L (mm)	e (mm)
1	197,5	97,1	58,7
2	197,3	97,3	59,3
3	197,6	97,3	59
4	197,7	99,5	58,5
5	197,7	97,4	59,1
6	197,6	98,1	58,7

Fonte: Autor (2020).

Quadro 10: Análise dimensional dos blocos de traço 25% reciclado

CP	C (mm)	L (mm)	e (mm)
1	197,1	98,1	59,6
2	197,2	97,9	58,9
3	197,1	97,9	59,6
4	197,2	98	58,9
5	197,5	97,8	59,4
6	197,3	97,7	59,1

Fonte: Autor (2020).

Quadro 11: Análise dimensional dos blocos de traço 50% reciclado

CP	C (mm)	L (mm)	e (mm)
1	197	98,1	58,2
2	197,1	97,9	58,1
3	197,1	97,8	58,5
4	198,1	98,9	59,8
5	197,3	97,7	58,9
6	197,5	97,5	59,7

Fonte: Autor (2020).

Quadro 12: Análise dimensional dos blocos de traço 75% reciclado

CP	C (mm)	L (mm)	e (mm)
1	197,1	97,2	60,7
2	197,2	97,1	60,2
3	197,1	97,2	60,1
4	197,1	97,5	60,3
5	197,3	97,4	60,5
6	197	97,5	60,1

Fonte: Autor (2020).

Analisando os quadros apresentados, é possível averiguar que os blocos atendem à norma 9781/2013, em função de que todos os blocos atendem às tolerâncias das peças, de 3 mm. As formas utilizadas, produzidas em material plástico, contribuem para diferença entre as dimensões podendo haver pequenas distorções, no entanto, não interferem na aprovação dos blocos.

4.2 Ensaio de absorção

O ensaio de absorção, propriedade física assim como a inspeção visual e a análise dimensional, foi realizado em 3 amostras de blocos de cada traço, como determina a norma. A absorção é expressa em porcentagem e representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à massa em estado seco e não deve ultrapassar 6%. Os resultados do ensaio estão apresentados no Quadro 13, e a absorção de cada peça é encontrada por meio da Equação 5 a seguir:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Onde “m2” é a massa da peça saturada em gramas (g); “m1” é a massa da peça seca em gramas (g); e “A” é a absorção de água em porcentagem (%).

Quadro 13: Absorção de água dos blocos ensaiados

		m1 -seca (g)	m2 –saturado (g)	Absorção (%)	Absorção média (%)
TRAÇO REFERÊNCIA	CP1	2414,8	2566,6	6,29	3,68
	CP2	2387,4	2445,2	2,42	
	CP3	2495,1	2553,4	2,34	
TRAÇO 25%	CP1	2234,3	2272,7	1,72	2,00
	CP2	2339,4	2392,9	2,29	
	CP3	2349,3	2396,2	2,00	
TRAÇO 50%	CP1	2559,6	2602,5	1,68	1,84
	CP2	2284,5	2336,4	2,27	
	CP3	2568,1	2608,4	1,57	
TRAÇO 75%	CP1	2459,7	2506,6	1,91	1,76
	CP2	2690,1	2740,4	1,87	
	CP3	2629,9	2669,2	1,49	

Fonte: Autor (2020).

Com base nos dados apresentados no quadro, todas as peças avaliadas atendem ao exigido pela norma. É possível constatar que quanto maior a porcentagem de agregado reciclado, menor a absorção de água. Esse fator pode ser dado em função de um melhor empacotamento dos agregados na hora de usar o reciclado, deixando menos vazios e, portanto, maior densidade.

4.3 Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão da peça (fpi), expressa em Megapascals (MPa) é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em Newtons (KN), pela área de carregamento das placas auxiliares, em centímetros quadrados (cm²), e multiplicando o resultado pelo fator p, função da altura da peça, conforme o Quadro 14 (Utilizou-se p = 0,95).

Quadro 14: Tabela do fator multiplicativo p

Espessura nominal da peça (mm)	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR 9781/2013.

A partir disso, os ensaios de resistência foram executados com 6 peças de amostra de cada traço dos blocos, conforme determina a norma. Os resultados apresentados pela prensa são

denominados resistências características à compressão individual (f_{pi}), dos quais calcula-se a média das resistências (f_p) e a estimada como $f_{pk,est}$, de acordo com o Anexo A da NBR 9781/2013, como mostrado na Equação 5 a seguir. O coeficiente t adotado foi de 0,920, em função da quantidade de amostras (6 amostras).

Sendo a Equação 5 a seguinte: $f_{pk,est} = f_p - t \times s$

$$\text{Onde } s = \sqrt{\frac{\sum(f_p - f_{pi})^2}{n-1}}$$

Onde:

f_p é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa);

f_{pi} é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (MPa);

$f_{pk,est}$ é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa);

n é o número de peças de amostra;

s é o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (MPa);

t é o coeficiente de Student, ornecido na NBR 9781, em função do tamanho da amostra.

Nos quadros 15, 16, 17 e 18 são apresentados os resultados da resistência a compressão, referentes a cada um dos traços, encontrados a partir das forças resistidas pelos blocos (f) e pela Equação 5.

Quadro 15: Resultados dos ensaios para o traço de referência aos 28 dias.

CP	f (KN)	AREA (cm ²)	f _{pi} (MPa)	f _p (MPa)	s (MPa)	f _{pk est}
1	170,7	56,74	28,580	25,282	4,236	21,385
2	102,8	56,74	17,212			
3	150,9	56,74	25,265			
4	109,9	56,74	18,401			
5	139,8	56,74	23,407			
6	170,4	56,74	28,530			

Fonte: Autor (2020).

Quadro 16: Resultados dos ensaios para o traço de 25% de substituição aos 28 dias.

CP	f (KN)	AREA (cm ²)	fpi (MPa)	fp (MPa)	s (MPa)	fpk est
1	150,8	56,74	25,249	26,613	4,459	22,510
2	146,8	56,74	24,579			
3	168,1	56,74	28,145			
4	131,3	56,74	21,984			
5	119,3	56,74	19,974			
6	189,7	56,74	31,762			

Fonte: Autor (2020).

Quadro 17: Resultados dos ensaios para o traço de 50% de substituição aos 28 dias.

CP	f (KN)	AREA (cm ²)	fpi (MPa)	fp (MPa)	s (MPa)	fpk est
1	134,7	56,74	22,553	27,369	4,263	23,447
2	185,6	56,74	31,075			
3	197,1	56,74	33,001			
4	172,8	56,74	28,932			
5	150,1	56,74	25,131			
6	140,5	56,74	23,524			

Fonte: Autor (2020).

Quadro 18: Resultados dos ensaios para o traço de 75% de substituição aos 7 dias.

CP	f (KN)	AREA (cm ²)	fpi (MPa)	fp (MPa)	s (MPa)	fpk est
1	179,2	56,74	30,004	27,414	4,089	23,652
2	166,7	56,74	27,911			
3	164	56,74	27,459			
4	167,4	56,74	28,028			
5	117,4	56,74	19,656			
6	187,7	56,74	31,427			

Fonte: Autor (2020).

Em uma primeira análise acerca da resistência mecânica avaliada, quanto maior o teor de agregado graúdo reciclado, maior resistência à compressão alcançada. Novamente, esses resultados reforçam a teoria de apresentar menos vazios, portanto mais compacto e maior

resistência, em função de um melhor empacotamento dos agregados com o uso dos reciclados, que apresentaram tamanhos variados, conseguindo assim, preencher melhor um mesmo volume, tendo como resultado uma mistura mais densa.

De acordo com a norma para os blocos de pavimentação NBR 9781/2013, a resistência mínima aceita aos 28 dias para solicitação de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha deve ser de 35 MPa. Logo, nenhum dos traços alcançou a resistência mínima, apesar do traço a 75% ser o mais resistente, superando o traço de referência.

Hood, 2006, analisou a viabilidade da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação, nos teores de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição, e aos 28 dias, a maior resistência à compressão alcançada foi de 32,53 MPa para o traço com 0% de agregado reciclado. Dos blocos reciclados, o que alcançou maior resistência à compressão foi a substituição de 25%, 26,67 MPa. Em uma análise comparativa, nenhum dos estudos alcançou a resistência proposta em norma.

Já em um estudo mais recente, Muller (2013) também utiliza dos resíduos da construção na produção dos blocos de pavimentação de concreto, substituindo parcialmente a areia, pó de pedra e pedrisco, nas porcentagens de 20%, 30% e 40%. A resistência à compressão obtidas aos 28 dias do traço de referência foi de 34,67MPa. Com a substituição parcial dos agregados, a resistência diminuiu, sendo a maior delas na porcentagem de 30%, que alcançou 30,20 MPa. Novamente, não foi alcançada a resistência proposta em norma.

Nos dois estudos comparativos, foram utilizadas vibroprensas, diferentemente do presente estudo, que utilizou mesa vibratória. As resistências encontradas foram menores em comparação aos outros estudos em função de uma possível exsudação do concreto durante a vibração. Esse fenômeno consiste no processo migratório da água para a superfície, provocando uma fraca ligação entre os materiais.

Outro ponto que pode ter interferido na resistência buscada foi o abatimento do tronco de concreto utilizado no cálculo da dosagem dos traços, de 80 a 100 mm. Esse dado se refere a trabalhabilidade do concreto, e como os blocos foram vibrados, não seria necessária uma trabalhabilidade tão alta.

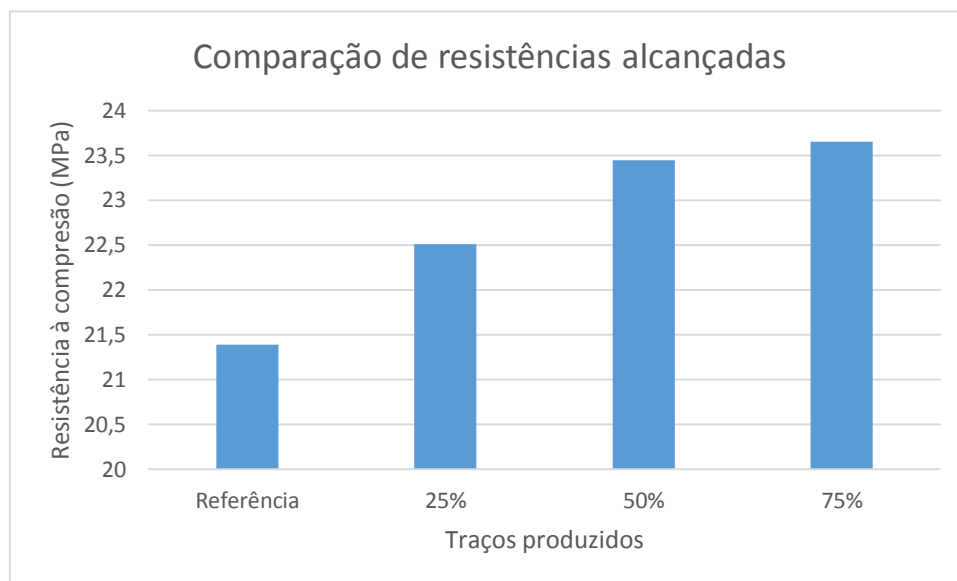
No Quadro 19 são apresentadas as resistências estimadas de cada um dos traços e as porcentagens alcançadas em função de f_{ck} exigido pela norma (35MPa), e na Figura 23 um gráfico comparativo desses resultados encontrado para cada um dos traços.

Quadro 19: Porcentagens das resistências alcançadas em função do f_{ck}

	fck est (MPa)	fck est/fck (%)
Referência	21,385	54,47
25%	22,510	61,10
50%	23,447	66,99
75%	23,652	67,58

Fonte: Autor (2020).

Figura 23: Gráfico comparativo das resistências alcançadas de cada traço



Fonte: Autor (2020).

O presente trabalho calculou a primeira dosagem do concreto para 4 diferentes traços. É importante frisar que os cálculos de dosagem do concreto devem sofrer alterações quando as resistências não são alcançadas. Os resultados obtidos foram bastante vantajosos, no entanto, podem ser melhorados com uma diminuição no fator água/cimento, por exemplo, ou a substituição do agregado graúdos natural por outro de dimensão máxima característica menor, de modo a preencher melhor os vazios.

Portanto, é possível afirmar que o uso de resíduos reciclados é vantajoso, pois os traços com substituição alcançaram maiores resistências, proporcionalmente às substituições. A resistência do traço de referência, totalmente natural, alcançou a menor resistência, 21,385 MPa. Já o traço com menor porcentagem de substituição, 25%, alcançou a resistência à compressão de 22,510 MPa. O traço com 50% de agregados reciclados alcançou a resistência

de 23, 447 MPa. E finalmente, o traço de 75% de reciclados graúdos reciclados obteve 23,652 MPa.

CONCLUSÕES

O resultado do uso dos agregados reciclados foi muito positivo, pois aumentaram a resistência dos blocos, comparando com os blocos naturais de referência. O traço de maior teor reciclado (75%), alcançou a maior resistência aos 28 dias, 23,652 MPa, cerca de 68% do desejado.

Apesar de ser necessário um ajuste na dosagem do concreto para alcançar a resistência prevista na norma referente aos blocos de pavimentação (NBR 981/2013), o presente trabalho buscou avaliar a aplicação dos resíduos de concreto provenientes do descarte promovido pelo Laboratório de Engenharia Civil da UFT e alcançou resultados vantajosos, possibilitando novos estudos direcionados para essa área e uma possível destinação sustentável aos resíduos de concreto, a fim de minimizar os impactos ambientais e visuais no âmbito universitário e possibilitando sua destinação adequada.

Com a substituição dos agregados naturais por reciclados, mesmo que parcialmente, ocorre a redução dos custos na obtenção dos materiais e, portanto, na produção dos blocos de pavimentação. Com o apoio das universidades e empresas de Palmas, é possível levar os resultados desse estudo para além do âmbito universitário.

Dessa forma, conclui-se a relevância desse estudo, sendo possível estender seu alcance para além da universidade, podendo ser aplicado com resíduos provenientes de laboratórios especializados em controle de qualidade de concreto, ou até mesmo resíduos de concreto de construção e demolição, em parceria com empresas de limpeza urbana, para promover uma destinação aos resíduos prática, sustentável, e econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Os Parâmetros de Dosagem Racional do Cimento**. Disponível em: <abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Parametros-dosagem_34aRTIC1983.pdf>. Acesso em 21 mar 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. **Governos desperdiçam mais de R\$ 8 bilhões com o lixo**. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/>>. Acesso em: 15 out 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/>>. Acesso em: 7 nov. 2019.

ALMEIDA, J.A. **Influência da adição de resíduo siderúrgico na performance do concreto**. 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ÂNGULO, S.C; ZORDAN, S.E; JOHN, V.M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, mai. 2001.

_____**NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, mar. 2006.

_____**NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, jul. 2003.

_____**NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, out. 2009.

_____**NBR NM 53: Agregado Graúdo – Determinação de massa específica massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, jul. 2009.

_____**NBR NM 248: Agregados – Determinação de composição granulométrica**. Rio de Janeiro, jul. 2003.

_____**NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimento**. Rio de Janeiro, jul 2004.

_____**NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Versão Corrigida. Rio de Janeiro, jun. 2016.

_____**NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos**. Versão Corrigida. Rio de Janeiro, mai. 2018.

_____**NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, abr. 2005.

_____**NBR 9781: Peças de Concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, jan. 2013

BARBOSA, Gisele Silva. **O desafio do desenvolvimento sustentável.** Revista Visões, v. 4, n. 1, p. 1-11, jan./jun. 2008.

BUTTLER, A.M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural.** 2007. 98 f. (Tese Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307/2002.** Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br>>. Acesso em: 5 out 20019.

PINTO, C.H.C; DOS SANTOS, A.L; CATUNDA, A.C.M.M. **Percepção da legislação ambiental, gestão e destinação final dos RCD–resíduos da construção e demolição: um estudo de caso em Parnamirim/RN/Brasil.** Holos, v. 2, p. 33-49, 2015.

FIORITI, C.F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria.** 2002. 134 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

FIORITI, C.F; INO, A; AKASAKI, L. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus.** Ambiente Construído, v. 7, n. 4, p. 43-54, out./dez. 2007.

FREITAS, H.T.A. **Uso dos resíduos da construção e demolição em pavimentos no campus da UFERSA-Mossoró/RN.** 2013. 61 f. Monografia – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** 1998. 162 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GOMES, P.C.C et al. **Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos.** Ambiente Construído, v. 17, n. 3, p. 267-280, jul./set. 2017.

HOOD, S; DA SILVA, R. **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. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estatísticas Econômicas 2018.** Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 out 2019.

LEITE, M.B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. (Tese de Doutorado). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MIRANDA, L.F.R. **Usinas de Reciclagem de Resíduos Classe A da Construção Civil**. Construção Civil: Uma abordagem macro da produção ao uso. João Pessoa: IFPB: Sinduscon – JP, 2010.

MOOSHER, L. **Utilização de resíduos sólidos de fundição como matérias-primas para fabricação de blocos de concreto para pavimentação**. 2013. 13 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio Sinos, São Leopoldo, 2013.

MORAIS, G.M.D. **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: Subsídios para uma gestão sustentável**. 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

MULLER, D. SAVARIS, G. **Utilização de resíduos da construção civil para a confecção de blocos para pisos intertravados**. 2013. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo.

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

OLIVEIRA, O. **A proposta de política Ambiental para a UFRN**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.ufrn.br/>>. Acesso em: 15 out. 2019.

PAGSUNAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – PNRS. Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/>>. Acesso em 15 nov. 2019.

SENGER, V. A.; SENGER, A. S. **Reaproveitamento de resíduos laboratoriais como agregado na confecção de concreto estrutural**. 2020. 5 f. *Journal of Biotechnology and biodiversity*. Instituto Federal Farroupilha, Brasil. 2020

SOTO, I.I. **Utilização de pós e fibra de sisal em blocos de concreto**. 2015. 246 f. (Tese Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

TAVARES, L.P.M. **Levantamento e análise da deposição e destinação dos resíduos da construção civil em Ituiutaba, MG**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

TECNOSIL. **Pavimento intertravado: por que ele pode ser uma ótima solução para a sua construção?** Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

ZORDAN, S.E. **Entulho da indústria da construção civil** – Fichas Técnicas. São Paulo, maio 2000. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp/artigos1.htm>>. Acesso em: 9 out. 2019.