CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS

NÚCLEO DE TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAFAEL VENÂNCIO CANDEA

POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CLASSE “A” DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO

FORTALEZA

2021

RAFAEL VENÂNCIO CANDEA

POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CLASSE “A” DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Nelson de Oliveira Quesado Filho

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo autor

C216p Candea, Rafael Venâncio.
POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CLASSE “A” DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO / Rafael Venâncio Candea. - 2021.
51 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Me. Nelson de Oliveira Quesado Filho.

1. Bloquetes. 2. Pisos intertravados. 3. Sustentabilidade. 4. RCD. 5. Agregado. I. Título.

CDD 624

RAFAEL VENÂNCIO CANDEA

POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CLASSE “A” DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO

TCC apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Nelson de Oliveira Quesado Filho

Aprovado em ____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. M.Sc. Nelson de Oliveira Quesado Filho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

_____
Profª. M.Sc. Paula Nobre de Andrade
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

_____
Prof. M.Sc. Lucas Cavalcante de Almeida
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

RESUMO

A finalidade deste artigo é apresentar um levantamento de dados referente a produção de pisos intertravados utilizando como agregado miúdo o material de resíduo da construção e demolição. Foi feito um estudo da literatura para a fabricação dos bloquetes sempre levando em consideração as normas da ABNT para o uso dos pisos intertravado para a circulação de pessoas e até veículos leves. Será demonstrado o quantitativo que poderá ser utilizado de resíduo da construção e demolição para cada Kg/m³ de material, sendo substituído a areia por RCD. O estudo também mostrará quanto de RCD é gerado em Fortaleza e quanto dessa quantidade poderá ser aproveitada para a fabricação dos bloquetes. Os ensaios feitos na literatura foram ensaios com índice de 10%, 20%, 30%, 50% e 100% de RCD para a fabricação de piso intertravado. A porcentagem ideal de RCD para ficar de acordo com a NBR 9781 foi de 28,8% no volume total, ou seja, poderá ser utilizado 1.708,45m³ de resíduos da construção e demolição para a fabricação de piso intertravado. Conclui-se, portanto, que essa porcentagem é uma porcentagem pequena na proporção de 0 a 100. Porém vale salientar que o trabalho teve como estudo apenas um substrato e que essa porcentagem pode aumentar significativamente com a inclusão de novos materiais que podem utilizar o RCD para a fabricação.

Paravras-chave: Bloquetes. Pisos intertravados. Sustentabilidade. RCD. Agregado.

ABSTRACT

The purpose of this article is to present a survey of data regarding the production of interlocking floors using construction and demolition waste material as fine aggregate. A literature study was carried out for the manufacture of blocks, always taking into account the ABNT standards for the use of interlocking floors for the circulation of people and even light vehicles. The amount of construction and demolition waste that can be used for each Kg/m³ of material will be demonstrated, with sand being replaced by RCD. A study will also show how much RCD is generated in Fortaleza and how much of this amount can be used to manufacture the blocks. The tests carried out in the literature were tests with index of 10%, 20%, 30%, 50% and 100% of RCD for the manufacture of interlocked floor. The ideal percentage of RCD to comply with NBR 9781 was 28.8% of the total volume, that is, 1,708.45 m³ of construction and demolition waste can be used to manufacture interlocked floors. It is concluded, therefore, that this percentage is a small percentage in the proportion from 0 to 100. However, it is noteworthy that the work had as a study only one substrate and that this percentage can increase with the inclusion of new materials that can use RCD for manufacturing.

Keywords: Blocks. Interlocked floors. Sustainability. RCD. Aggregate.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7
1. 1 Objetivos 8
1. 2 Etapas do trabalho 9
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO 12
2. 1 Sustentabilidade 12
2. 2 Resíduos sólidos da construção civil 15
2. 3 Geração de resíduo 18
2. 4 Parâmetros da geração de resíduos 19
2. 5 Reaproveitamento de resíduo da construção tipo A 22
2. 5. 1 Classificação do agregado 26
2. 6 Pavimentação 27
2. 6. 1 Pavimento intertravado 27
2. 6. 2 Pavimento flexível 28
2. 6. 3 Resistência a compressão 29
2. 6. 4 Tamanho dos agregados 29
2. 7 Processo produtivo do pavimento intertravado 30
2. 7. 1 Ensaio de resistência a compressão axial 30
2. 7. 2 Absorção da água 30
2. 7. 3 Período de cura 30
3 METODOLOGIA 32
3. 1 Classificação da pesquisa 32
3. 2 Estrutura do trabalho 32
4 DISCUSSÕES E RESULTADOS 35
4. 1 Plano de implantação do quantitativo de resíduos 35
4. 2 Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais 37
4. 3 Ensaio de caracterização do agregado reciclado 38
4. 4 Levantamento de dados em campo 39
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 43
REFERÊNCIAS 46
APÊNDICE A – Fórmulas 51

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, cuidados com o meio ambiente está tendo destaque e, com isso, as preocupações estão cada vez maiores, pois a interferência do ser humano está mostrando resultados catastróficos como o aumento na temperatura global, consequentemente o derretimento das calotas polares, grandes enchentes, alto nível de gás carbônico (CO_2) na atmosfera, entre outros. Desse modo, a construção civil se mostra um dos maiores causadores de impacto ao meio ambiente, pois suas atividades geram muitos resíduos promovendo um alto índice de degradação ambiental devido à grande quantidade de uso dos recursos naturais e, com isso, grande quantidade de resíduos (GRAMACHO *et al*, 2013).

Segundo Ribeiro *et al.* (2016), os tipos mais comuns de agressão ao meio ambiente são o uso excessivo de recursos naturais utilizados e a poluição do meio ambiente. Portanto, o adequado descarte dos resíduos da construção civil apresenta sua relevância por possibilitar a reutilização, para uma possível minimização do problema criado ao meio ambiente. Por conseguinte, maneiras corretas para o descarte dos resíduos influenciará diretamente na diminuição da quantidade de entulhos em lugares impróprios.

Comumente chamados de entulho, os Resíduos da Construção e Demolição (RCD), constituem-se em restos de materiais gerados nas atividades da construção civil como: concreto, tijolos, madeira, aço, argamassa, telhas, azulejos, gesso, cal, entre outros. Baseando-se com dados referente a 2018 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, foi produzido 122.012 toneladas desse tipo de resíduos por dia no Brasil. No Nordeste, a coleta de resíduos da construção e demolição foi de 24.585 toneladas ao dia (ABRELPE, 2018).

Isto posto, o êxito da sustentabilidade fica diretamente ligada ao RCD, pois com o reaproveitamento dos resíduos destaca a conscientização da necessidade da aplicação de comportamentos sustentáveis nos setores de engenharia devido ao alto impacto que esta indústria gera no meio ambiente. A sustentabilidade na construção civil tem por objetivo a diminuição dos resíduos sólidos, o consumo de energia, a poluição dos recursos hídricos, entre outros (MATSUDA, 2020).

Esse sistema de desenvolvimento em busca da manutenção ou melhoria na construção civil, com suas tecnologias, deve visar a sustentabilidade, na busca de uma melhor qualidade do serviço acompanhada pela utilização de soluções mais

eficientes para o reaproveitamento de RCD. A participação e a dinâmica da sociedade e seus diversos setores são essencial para esse processo de sustentabilidade na construção civil através da conscientização da população (MOTTA, 2009).

A sustentabilidade é o novo modo de construir no século XXI, que inclui aspectos de cultura, a sociedade, a ciência e a tecnologia, a economia, a política de construir das empresas, entre outros. Nessa visão a sustentabilidade é chamada de processo de transformação de forma a atender às necessidades e as expectativas humanas, como o desenvolvimento de recursos, o direcionamento dos investimentos e o direcionamento do desenvolvimento tecnológico (MATHIAS, 2020).

Na indústria da construção civil, somente na década de 90, o conceito de sustentabilidade passa a ser inserido em suas ações e preocupações, mesmo sendo considerada uma indústria que desempenha forte impacto ambiental. Supõe-se que cerca de 1/3 de todos os recursos naturais consumidos no mundo é de responsabilidade da construção civil com os RCD (TAIPALE, 2012 apud TECHIO, 2016, p. 188).

Segundo Lima (2013), com a urbanização acelerada e com a remodelação de áreas causadas pelo adensamento, é evidente o grande volume de empreendimentos e, por conseguinte, o grande crescimento da construção civil. Além da enorme exploração dos recursos naturais, como as jazidas minerais, que geram mais resíduos da construção e demolição. Com isso, adota-se um sistema de reaproveitamento, conceituado pela procura e pelo processo de tratamento dos RCD como matéria prima para o mercado de agregados reciclados, que se formou no marco regulatório da resolução do CONAMA 307 de 2002.

Uma das aplicações da utilização de RCD é na pavimentação de calçadas que pode ser uma estrutura de piso intertravados, cada vez mais presente no dia-a-dia, podendo ser utilizado também nas ruas com fluxo de veículos leves. Os benefícios desse tipo de pavimento vão além da resistência a compressão e tração, ele também tem uma maior resistência a abrasão e impactos repentinos (SILVA, 2016).

1. 1 Objetivos

O alto índice de perda dos materiais de resíduos da construção e demolição é o fator preponderante deste trabalho que consiste em levantar o quantitativo dos materiais para que haja conscientização das empresas, para que se adequem à

sustentabilidade, a fim de haver uma redução do consumo de recursos naturais que visa o não desperdício dos materiais utilizando o reaproveitamento dos sólidos.

Com isso, há a necessidade de fazer um planejamento com os materiais na construção civil, pois existe maneiras de reaproveitar os resíduos sólidos com a finalidade de minimizar o grande excesso de extração natural, afim de evitar o descarte dos materiais que podem ser usados como agregados, principalmente os tipos de resíduos da construção civil tipo “A”.

Para isso, será reaproveitado esses resíduos da construção e demolição para a fabricação de piso intertravado na pavimentação de veículos leves e pedestres, sempre em consonância com as normas vigente, com resistência a compressão da NBR 9781.

Este trabalho tem como objetivo geral verificar o potencial do reaproveitamento dos resíduos de classe “A” como agregados na construção de pisos intertravados.

Por conseguintes têm como objetivos específicos:

a) apresentar impactos desta prática para a sustentabilidade do meio ambiente.

b) estimar o volume de resíduos de classe A gerados pela construção civil no município de fortaleza.

c) avaliar o reaproveitamento dos resíduos sólidos classe A como agregado na construção de pisos intertravados.

d) estimar o potencial de incorporação deste resíduo na fabricação dos pisos intertravados.

1. 2 Etapas do trabalho

Primeiramente será mostrado a introdução do tema em questão, abordando os principais aspectos relevante, ao mostrar a contextualização e sua importância, além dos objetivos, como também a justificativa para o trabalho em questão. Apresentando as principais características que será desenvolvido o trabalho, como a sustentabilidade através do reaproveitamento dos RCD, como também a classificação do material a ser estudado para que haja o reaproveitamento e a explanação da importância do material para o piso intertravado.

O trabalho apresenta uma contextualização do tema, como aspectos históricos, como a sustentabilidade veio ganhando foco, ao mostrar os desafios e melhoras ela provoca para a área da construção civil. Se tornando um aspecto de

extrema relevância para as empresas que a cada dia estão a renovar seus métodos de aplicação de processos para um melhor resultado. Para a pesquisa foram utilizados métodos para o levantamento de dados, através de pesquisas realizadas em plataformas científicas que dispõem artigos e trabalhos acadêmicos, além dos dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Fortaleza.

A segunda parte foi realizado um estudo relevante para o embasamento técnico e científico na fabricação do piso intertravado como também o estudo das normas técnicas da ABNT NBR citadas no estudo em vigor. No processo de fabricação foi citado o equipamento para fabricar o piso, como também a importância do rigor da fabricação para o ensaio da resistência a compressão, a absorção de água e o período de cura.

A terceira parte do trabalho reflete o quantitativo que foi gerado pelo município de Fortaleza durante um ano que vai de novembro de 2019 até outubro de 2020 e que uma parte desse material já é distribuído para empresas do ramo de reciclagem e a outra para o aterro sanitário. É mostrado através da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais o quantitativo gerado de RCD que varia em todo o Brasil, dividido por região até por pessoa de cada região.

Na quarta parte do trabalho, após ter colocado em prática todo o conceito apresentado para a formulação de dados gerados, dados técnicos fornecidos por outros autores, criou-se um resultado para que seja feita uma análise dos dados e dados obtidos e, por conseguinte, correlacionar com os objetivos fazendo uma análise sobre o teor da sustentabilidade com o reaproveitamento dos materiais de classe A para que haja uma estimativa do potencial de incorporação deste resíduo nas obras e principalmente nas indústrias.

Na quinta parte do trabalho foi feito os ensaios dos materiais de forma literária para saber o quantitativo que poderá ser substituído por RCD e que esteja de acordo com as normas vigentes. Após o ensaio literário, foi feito um levantamento através da pesquisa de campo visitando aos fabricantes dentro do Município de Fortaleza e foi verificado o quantitativo que cada empresa fabrica bloquetes. O trabalho todo foi calculado usando como forma de metragem o m^3 para facilitar a compreensão do entendimento de quanto material será reaproveitando analisando somente o piso intertravado.

Na sexta parte do trabalho vem os resultados e discursões relevantes do trabalho aplicando fórmulas para obtenção dos dados finais e com isso analisando as vantagens e desvantagem da utilização dos resíduos da construção e demolição.

Por fim, na etapa final, foram feitas algumas considerações finais relacionada ao planejamento e propostas para futuras pesquisas complementares ao tema.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2. 1 Sustentabilidade

Desde a Conferência Rio-92, a sustentabilidade é uma prioridade, e se mostra um tema de relevância singular. Se percebeu que a economia global dos países contribui direta ou indiretamente ao aquecimento global e às mudanças climáticas. Com isso novas prioridades foram incorporadas à gestão sustentável de resíduos sólidos, que representa uma mudança de paradigma, que deve guiar o desempenho do governo, sociedade e indústria. Essas prioridades incluem a redução do desperdício de matéria prima e a redução da disposição final dos resíduos; e a maximização do reaproveitamento dos materiais reciclados (JACOBI, 2014).

Nos dias atuais, as referências ao desenvolvimento sustentável estão presentes em todos os seguimentos da sociedade, desde as conferências políticas ao marketing de empresas para negócios e a muitos outros campos de ações de trabalho e intervenção. Foi no cenário de uma crescente crise ambiental, que se sucedeu, a partir dos anos 70 do século XX, um acordo mundial sobre a urgência de uma mudança e transformação de um modelo de desenvolvimento sustentável para a sociedade moderna (FAUSTINO, 2016).

No ano de 1987, a Assembleia Geral da ONU, como reflexo do aumento crescente das preocupações ambientais, criou uma comissão com o propósito de preparar um relatório sobre a questão do desenvolvimento e meio ambiente. Surge, assim, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecido como Comissão Brundtland, que tem como princípios: propor estratégias ambientais que possa possibilitar um desenvolvimento sustentável; encontrar meios para que a comunidade global possa enfrentar de forma mais eficiente as preocupações ambientais; como também solicitar a cooperação na área ambiental entre os países em diferentes desenvolvimentos econômico e social para que se atinja o mesmo objetivo comum (DIAS, 2015).

> “A definição de sustentabilidade mais difundida é a da Comissão Brundtland a qual considera que o desenvolvimento sustentável deve satisfazer às necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Essa definição deixa claro um dos princípios básicos de sustentabilidade, a visão de longo prazo, uma vez que os interesses das futuras gerações devem ser analisados” Word Commission on Environment and Development (1987 apud CLARO *et al*, 2008, p. 289).

> Para Faustino (2016, p. 2023) o “desenvolvimento sustentável implica compatibilizar o crescimento económico, o desenvolvimento humano e a

> qualidade ambiental, correspondendo assim a um processo dinâmico de transformação, enquanto o termo “sustentabilidade” pode ser considerado como o objetivo desse mesmo desenvolvimento”

Como observado acima, com o passar do tempo a definição de sustentabilidade foi se modificando de acordo com o autor, contudo existem os pontos em comum entre elas, quando estudadas detalhadamente. A maioria dos estudiosos afirmam que o termo sustentabilidade é composta por três dimensões que se relacionam: social, econômica e ambiental (CLARO *et al*, 2008).

A partir do século XXI, começou-se a as certificações de caráter sustentável, os países começam a criar seus próprios selos e assim ter também vantagem competitiva no mercado usando os selos para promover um marketing de sustentabilidade para o empreendimento. Com isso, o termo sustentável se tornou um modo estratégico econômico. Inúmeros selos foram criados em regiões ou em países específicos. De maneira cronológica será citado no Quadro 1 os principais selos de certificação ambiental da atualidade, porém existe inúmeros selos já criados em todo mundo (COSENTINO, 2016).

Quadro 1 – Principais selos de certificação ambiental.

Ano de criação	Selo de certificação	Características
1990	BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Selo ingles, que atua em diversos países, utiliza medidas de avaliação de desempenho internacionais.
1996	HQE	Haute Qualité Environmentale. Selo francês, que promove recomendações como alvos ambientais, divididos em 4 categorias: ecoconstrução, ecogestão, conforto e saúde.
1999	LEED	Leadership in Energy and Environmental Design. Sistema internacional (desenvolvido na América do Norte) de certificação e orientação ambiental para

		edificações. A avaliação é feita em 7 dimensões.
2002	CASBEE	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency. Sistema de certificação ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis – 18 a 20 de Abril de 2016 japonês de gestão da construção sustentável.
2004	NABERS	National Australian Built Environment Rating System. Selo australiano, utiliza medidas de avaliação de desempenho, cobre categorias de energia, água, desperdício e ambiente interno.
2008	AQUA	Alta Qualidade Ambiental. Selo brasileiro baseado no HQE e adaptado ao Brasil. Trabalha junto com o Sistema de Gestão do Empreendimento desde o início, promovendo controle total da construção.
2009	DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. Selo alemão de certificação ambiental, pode ser adaptado às condições locais diversas. Utiliza 6 critérios de avaliação, com 4 níveis para certificação.
2010	SELO CASA AZUL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	É uma classificação socioambiental dos projetos habitacionais financiados pela Caixa, priorizando o uso racional de recursos. Possui 53 critérios de avaliação em 6 categorias.
		Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações. Identifica e

2014	PROCEL EDIFICA	classifica a eficiência energética de edificações em certas categorias. É um instrumento de adesão voluntária.

Fonte: COSENTINO, 2016.

A sustentabilidade na engenharia é um aspecto complexo e em constante debate congressos acadêmicos, simpósios, bem como numerosas publicações por adequação. Neste contexto o profissional tem a difícil tarefa de propor ações levando o menor impacto ambiental, sem prejuízo da competitividade econômico (TEIXEIRA *et al*, 2018).

Consequentemente, as edificações sustentáveis efetuam uso de ecomateriais e empregam soluções inteligentes com o propósito de se ter um uso conveniente dos recursos finitos como a brita, areia, cimento, cerâmica e outros, além de procurar a redução da poluição buscando um ar mais puro no ambiente interno como também propiciar o bem-estar das pessoas a quem usufruem do local. Esse tipo de empreendimento busca êxito ambiental integral do projeto em vez de só uma construção (MANHÃES, 2014).

O consumo de recursos naturais na construção civil depende da região e das características da construção, tais como: vida útil da construção, tecnologia, desperdício de material, dentre outras características. Até recentemente, o êxito da engenharia civil era relacionado ao custo de produção, tempo de execução e qualidade do produto produzido. Segundo a pesquisa de INOJOSA (2010 apud CRUVINEL, 2016, p. 9), no novo paradigma da engenharia civil são mais relevantes as questões ambientais relacionadas à redução da poluição ambiental, recursos naturais, reduzir o impacto ambiental e reduzir desperdício.

2. 2 Resíduos sólidos da construção civil

O setor da construção civil é um dos mais importantes segmentos no Brasil na questão econômica e na geração de emprego, é uma categoria que se encontra dos melhores índices de avaliação de desenvolvimento no país. Contudo, apesar de ser um segmento econômico, gera grande impactos ambientais, porque consome os recursos naturais, consequentemente gera muitos resíduos que é um grande problema para os municípios/estados e até altera a paisagem da localidade (GUEDES, 2013).

Com a finalidade de reduzir a formação dos resíduos da construção civil, segundo a resolução CONAMA 307/2002, orienta que os geradores devem dispor-se em primeiro lugar a não geração de resíduo da construção civil e priorizar a reutilização, a redução, a reciclagem, o tratamento dos resíduos e a disposição final adequada dos rejeitos. Portanto, não é adequado que os materiais da construção civil sejam dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, lotes vagos, caso não haja o consentimento do responsável do espaço, em áreas de vazadouros, corpos d'água, em encostas e em áreas protegidas por lei (SILVA, 2015).

> A NBR 10004 define “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (NBR, 2004, p. 1).

Com base em resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), o setor construção civil passa a integrar e implementar discussões de controle e responsabilidade pelo descarte de RCD, com isso, pesquisadores começaram a propor soluções para os resíduos gerados nesta importante indústria. Os resíduos de construção e demolição são classificados no local de acordo com critérios estabelecido pela resolução CONAMA 307 de acordo com o quadro 2 (NASCIMENTO, 2017).

Quadro 2 – classificação dos tipos de resíduos:

Classes	**Integrantes predominantes considerados na composição gravimétrica**
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto, de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
Classe D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Conama adaptado pelo autor, p. 572, 2002.

Segundo Silva (2015), a etapa de caracterização é de extrema importância no sentido de identificar e quantificar os materiais e, deste modo, realizar o planejamento apropriado, objetivando a reciclagem, redução e a reutilização, levando cada resíduo, de acordo com a triagem, para sua destinação final.

Diante disto, os resíduos da construção civil serão destinados de acordo com a quadro 3 abaixo:

Quadro 3 – Formas de destinação dos resíduos da construção civil:

Classes	**Destinação**
A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura
C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: CONAMA adaptado pelo autor, p. 573-574, 2002.

Com o exposto, pode-se perceber que apesar de construtoras fazerem planejamentos pela redução de resíduos sólidos, e um dos esforços delas na finalidade da minimização de perdas, sempre terá sobras de resíduos nos canteiros de obras, mesmo em pequenas proporções de resíduos. Tal situação evidencia a necessidade da viabilidade do reaproveitamento dos resíduos sólidos da construção civil, visando ao pleno atendimento da política nacional de resíduos sólidos (GUEDES, 2013).

2. 3 Geração de resíduo

Desde a revolução industrial, todas as empresas que usam recursos naturais têm um padrão de expansão fundamentado na lógica de extrair e descartar matéria-prima, de forma linear de produção, pressupondo que os recursos naturais são excessivos, disponíveis de forma fáceis e de substituição pela abundância. Negligenciando, assim, os recursos naturais que podem causar grandes prejuízos ao meio ambiente, ameaçando a sustentabilidade do planeta (XAVIER e LINS, 2018).

A formação do agregado diz respeito em cumprimento as mudanças do tratamento do RCD referente ao saneamento básico para o âmbito do resíduo como insumo secundário para agregado da construção civil. Cada município é responsável pela gestão dos resíduos da construção e demolição em seu território. No geral, os trajetos dos transportes das matérias-primas de grandes geradores são transportados para lixões ou aterro sanitário por empresas credenciadas ou autarquia municipal (LIMA, 2013).

Ressalta-se que na construção civil a utilização de matérias-primas para a construção de um empreendimento, vem de uma grande atividade mineradora nas jazidas que são areia, argila ou pedra, que desde então requerem proteção ambiental. Os impactos são significativos e as retiradas são descontroladas a longo prazo, o que significa escassez material desejado e, portanto, o uso de um método renovável, além de se tornar sustentável, a ser capaz de aumentar a qualidade de sua empresa, pode ser mais barato do que isso métodos convencionais (HOOD, 2006, apud SOUZA, ASSIS, SOUTO, 2014, p. 274).

Nos dias atuais em que a demanda e a competição por materiais finitos ficam cada vez mais necessitado e tende a aumentar devido a demanda do empreendimento, o alto consumo sobre os recursos naturais pode causar um aumento na degradação e fragilidade ambiental. Contudo, com o reaproveitamento dos

materiais como agregados pode haver vários benefícios para a sociedade de forma econômica e ambientalmente para que não haja desperdício exagerado dos recursos naturais (NASCIMENTO e BARRETO, 2019).

Resíduos de obras de construção e demolição depende do tipo de obra, técnica de construção e características do palco construção das características socioeconômicas da área em consideração outros fatores. Para Pinto (1986, apud VIEIRA; MOLIN; LIMA, 2004, p. 6), essa mistura consiste basicamente em 60% argamassa, 30% dos ingredientes de vedação - tijolos, blocos, lascas de cerâmica e os 9% restantes materiais (concreto, pedra, areia, metal e plástico) e 1% de matéria orgânica como mostrado na figura 1 e 2.

Figura 1 – Resíduo da construção e demolição civil

Fonte: Papelar, 2019.

Figura 2 – Entulho de obra

Fonte: Recicle, 2021.

Portanto, para se calcular uma estimativa de resíduos gerados pelo desperdício da construção e demolição, e para que haja um reaproveitamento desses materiais, a utilização dessa estimativa de referência estabelece uma taxa de geração de resíduos de construção na ordem de 150kg/m² construído ou transformando em toneladas que ficará em 0,15t/m² (PINTO, 1999). Para estimar o volume do resíduo da construção e demolição, onde o volume do resíduo da construção e demolição pode ser calculado de forma diário, mensal ou anual, utiliza-se o seguinte cálculo observado no apêndice A.

2. 4 Parâmetros da geração de resíduos

A geração de resíduos de construção e demolição é afetada por diversos fatores. Pesquisadores estudaram esta questão em diferentes contextos e determinaram os fatores internos e externos do trabalho. Geralmente, as características do empreendimento a ser construída/demolida como geometria, materiais de construção, processo de construção, os recursos humanos (tamanho da equipe de trabalho, produtividade, capacitação e treinamento), aspectos de gestão

(monitoramento, fiscalização e organização do canteiro de obras) e plano de reaproveitamento de resíduos. Esses fatores serão apresentados no Quadro 4 a seguir (NAGALLI, 2020).

Quadro 4 - Fatores originários da geração de resíduos da construção civil

Fontes de resíduos	Causas
Erro na aquisição de materiais	Erro de pedido, erro de fornecedor
Projeto	Mudanças no projeto, erro na documentação
Manuseio dos materiais	Perdas nos transportes e na descarga, armazenamento inadequado
Operação	Retrabalho
Condições climáticas	Umidade, temperatura
Vandalismo	Segurança insuficiente
Extravio	Material perdido, abandonado
Residual, restos	Cortes de diversos tamanhos de materiais
Outros	Falta de um plano de gestão de resíduos

Fonte: FADIYA; GEORGAKIS; CHINYIO, 2014 apud NEGALLI, 2020, p. 36.

É importante ressaltar a diferença entre perda e desperdício. As perdas estão relacionadas ao uso indevido de materiais de construção, que podem ser decorrentes de tecnologia insuficiente como materiais que não atendem às especificações e não podem ser transportados ou instalados. O desperdício equivale ao mal planejamento no processo de aquisição de materiais, neste processo, o número de serviços obtidos ultrapassa o número necessário para a execução dos serviços, resultando em sobras de resíduos. Portanto, os resíduos de construção abrangem todos os tipos de materiais dos canteiros de obras perda e desperdício, é inútil para construtores/demolidores (NAGALLI, 2020).

As perdas dos materiais da construção civil têm relação com a fase inicial do projeto que é geralmente o momento em que as construtoras fazem o levantamento do quantitativo do material que serão utilizados e, posteriormente, executado na obra (FERNANDES, 2018). Contudo as perdas podem ser classificadas segundo sua natureza, conforme indicado no Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação das perdas segundo sua natureza

Natureza	Exemplo	Momento de incidência	Origem
Superprodução	Produção de argamassa em quantidade superior à necessária para um dia de trabalho	Produção	Planejamento: falta de procedimentos de controle
Manutenção de estoque	Deterioração da argamassa estocada	Armazenamento	Planejamento: falta de procedimentos referentes às condições adequadas de armazenamento
Transporte	Condições inadequadas para transporte	Recebimento, transporte, produção	Gerência da obra: falha no planejamento de meios para executar o transporte de materiais
Movimentos	Tempo excessivo de deslocamento devido às grandes distâncias entre os postos de trabalho	Produção	Gerência da obra: falta de planejamento das sequências de atividades e dos postos de trabalho
Espera	Parada na execução dos serviços por falta de material	Produção	Suprimentos: falha na programação de compras
Fabricação de produtos defeituosos	Espessuras de lajes e vigas diferentes das especificadas em projeto	Produção, inspeção	Projeto: falhas no sistema de fôrmas utilizado
Processamento em si	Necessidade de quebrar uma laje depois de pronta para passagem de instalações	Produção	Planejamento: falhas no sistema de controles. Recursos humanos: falta de treinamento dos funcionários
Substituição	Substituição do acabamento em pintura especificado em projeto por acabamento em pastilha cerâmica	Produção	Suprimentos: falha na programação de compras. Planejamento: falhas no sistema de controles

Fonte: PROJETO COMPETIR *et al*, (s.d) apud NAGALLI, 2020, p. 37

2. 5 Reaproveitamento de resíduo da construção tipo A

A reciclagem da construção civil já é uma prática antiga e que a sua propagação se deu após a segunda guerra mundial que se iniciou na Alemanha que, logo em seguida, foi difundido para os demais países da Europa. Basicamente quase todos os países europeus aderiram a política de instalações de reciclagem de resíduos da construção civil, além da proposta de consolidação um padrão para toda a comunidade europeia. No Japão e nos Estados Unidos a reciclagem também tem sido bastante difundida e utilizada (PINTO, 1999 apud EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010, p. 26).

Buscando o melhor aproveitamento e visando a possibilidade de obtenção de produtos em que a composição dos agregados reciclados como material de construção, possam ser incluídos, muitos são os estudos que procuram a viabilidade deste resíduo da construção e demolição de uma forma mais técnica. Como acontece das grandes rodovias americanas, onde pode-se citar Michigan - EUA, nas quais fica claro, por sua história, que agregado reciclado foi usado no processo de construção. A origem da própria seção da via foi de suma importância, na qual se tornou a primeira rodovia de grandes dimensões permitindo a utilização de material reciclável na fase de construção (MEHTA, 1994 apud SOUZA, ASSIS, SOUTO, 2016, P. 276).

A reciclagem e o reaproveitamento de subprodutos e resíduos na construção civil são um dos importantes conjuntos de orientações para reduzir custos e, principalmente, minimizar o impacto ambiental neste setor da indústria. A utilização de materiais alternativos, como resíduos e subprodutos da construção, e o desenvolvimento de novas técnicas de produção são mudanças absolutamente necessárias para melhorar o setor na questão técnica, econômica e ambientalmente (DERING, 2010).

O atendimento às restrições a serem observadas e o potencial de aproveitamento desses resíduos, especificamente aos materiais de classe A, refere-se a um conjunto de normas brasileiras abrangendo os resíduos da construção e demolição, incluindo diretrizes de projeto, implementação e operação para áreas de triagem, reciclagem e aterro e estabelecimento de requisitos para que os agregados recicláveis tenham sua aplicação em obras de engenharia (ABNT NBR 15116, 2004).

Reciclado corretamente, o entulho apresenta propriedades físicas e químicas adequadas para seu emprego como material de construção. Contudo, o

resíduo da construção civil é composto por um grande número de vários componentes. As proporções desses materiais em diferentes amostras variam muito e tem grande heterogeneidade. Este é uma das razões para baixo consumo de agregado reciclado, o que o torna de difícil aproveitamento da matéria prima (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004 apud EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010, p. 27).

Segundo a ABNT NBR 9935 (2011), diz que materiais granulares são obtidos no tratamento de resíduos de construção ou demolição de edifícios da construção civil. Foi previamente triado de acordo com a ABNT NBR 15116 e pertence à categoria de classe A. Dividindo-se em agregado de concreto reciclado ou agregado reciclado misto.

Agregado de concreto reciclado são materiais granulares obtidos a partir de processos de reciclagem de resíduos, ou subprodutos obtidos da produção industrial, mineração ou demolição de edifícios ou edifícios civis, incluindo agregados recuperados de concreto fresco por lavagem, usados como agregados (ABNT NBR 9935, 2011).

Agregado reciclado misto são os materiais granulares obtidos no âmbito do projeto de agregado de concreto reciclado, constituído com fração graúna menor que 4,75mm e tem menos de 90% da massa dos fragmentos à base de cimento Portland ou pedra e tem atuação de acordo com a ABNT NBR 15116 (ABNT NBR 9935, 2011).

> Segundo a NBR 15116 (ABNT, 2004, p. 2) define os resíduos da construção civil como: “resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

Segundo a NBR 15116 (ABNT, 2004) define reciclagem como o processo de reaproveitamento de um material, após o resíduo ter sido modificado para que seja utilizado novamente e reutilização é processo de reempregar novamente o mesmo material com as mesmas características, ou seja, não houve modificação do material.

Os materiais de classe A podem ser reciclados e reaproveitados para funcionar como forma de agregados em pavimentação, desde que seja seguida os requisitos estabelecidos de acordo com a ABNT NBR 15116 (2004) que é fornecida na tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação:

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Propriedades</td><td colspan="2">Agregado reciclado classe A</td><td colspan="2">Normas de ensaio</td></tr>
<tr><td>Graúdo</td><td>Miúdo</td><td>Agregado graúdo</td><td>Agregado miúdo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Composição granulométrica</td><td colspan="2">Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$</td><td colspan="2">ABNT NBR 7181</td></tr>
<tr><td colspan="2">Dimensão máxima característica</td><td colspan="2">≤ 63 mm</td><td colspan="2">ABNT NBR NM 248</td></tr>
<tr><td colspan="2">Índice de forma</td><td>≤ 3</td><td>-</td><td>ABNT NBR 7809</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Teor de material passante na peneira de 0,42 mm</td><td colspan="2">Entre 10% e 40%</td><td colspan="2">ABNT NBR 7181</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Contaminantes – teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)</td><td>Materiais não minerais de mesma características[1)]</td><td colspan="2">2</td><td>Anexo A</td><td>Anexo B</td></tr>
<tr><td>Materiais não minerais de características distintas[1)]</td><td colspan="2">2</td><td>Anexo A</td><td>Anexo B</td></tr>
<tr><td>Sulfatos</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">ABNT NBR 9917</td></tr>
<tr><td colspan="6">[1)] Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.</td></tr>
</table>

Fonte: ABNT NBR 15116, 2004.

Há também os requisitos específicos quanto ao agregado reciclado para a classificação do tipo de emprego na execução das camadas do pavimento, observando a capacidade de suporte e expansibilidade de acordo com a tabela 2, seguindo o ensaio da ABNT NBR 9895 pela metodologia prevista.

Tabela 2 - Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação:

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	≤ 1,0	Normal
Material para execução revestimento primário e sub-base	≥ 20	≤ 1,0	Intermediária

Material para execução de base de pavimento [1)]	≥ 60	≤ 0,5	Intermediária ou modificada
[1)] Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com N ≤ 10^6 repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.			

Fonte: ABNT NBR 15116, 2004.

> Agregado de resíduo de concreto (ARC) "é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas" (ABNT NBR 15116, 2004, p. 3).
>
> Agregado de resíduo misto (ARM) "é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas" (ABNT NBR 15116, 2004, p. 3).

Em concreto sem função estrutural, é permitido usar agregado reciclável de classe A, permutando de forma parcial ou integral os agregados convencionais. O resíduo de classe A a ser beneficiado para a obtenção de agregados tipo agregado de resíduos de concreto ou agregado de resíduos misto, deve obedecer aos requisitos da Tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural:

Propriedades		Agregado reciclado classe A				Normas de ensaio	
		ARC		ARM			
		Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Teor de fragmento à base de cimento e rochas (%)		≥ 90	-	< 90	-	Anexo A	-
Absorção de água (%)		≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17	ABNT NBR 53	ABNT NBR NM 30
Contaminantes – teores máximos em relação à massa	Cloretos	1				ABNT NBR 9917	
	Sulfatos	1				ABNT NBR 9917	
	Materiais não minerais [1)]	2				Anexo A	Anexo B

do agregado reciclado (%)	Torrões de argila	2				ABNT NBR 7218
	Teor total máximo de contaminantes	3				-
Teor de material passante na malha 75 µm (%)		≤ 10%	≤ 15%	≤ 10%	≤ 20%	ABNT NBR NM 46
[1)] Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos						

Fonte: ABNT NBR 15116, 2004.

Ao comparar os agregados reciclados com os naturais, verifica-se que a sua trabalhabilidade é afetada, levando a resultados inferiores, o que pode ser explicado pelo fato de os agregados reciclados serem considerados mais secos que os agregados normais. Isso resulta em maior absorção de agregados. Como o agregado retira do processo a água utilizada para o cimento, o resultado final é uma mistura mais seca do material, o que resulta em uma mistura mais seca no resultado final, o que reduz a trabalhabilidade do conjunto (CABRAL, 2007 *apud* SOUZA; ASSIS; SOUTO, 2014, p. 276).

2. 5. 1 Classificação do agregado

Segundo Sbrighi Neto (2011) os agregados podem ser classificados de várias formas, como naturais, britados, artificiais e reciclados. O Quadro 6 logo abaixo define a origem de cada tipo de material.

Quadro 6 – Classificação dos agregados quanto a sua origem

Tipo	Característica
Naturais	Encontrado na natureza adequado para uso sem outros tratamentos além da lavagem. Por exemplo, temos os pedregulhos, os seixos e areais.
Britados	Normalmente precisa ser submetido ao processo de comunicação, ele é triturado para torná-lo adequado para uso como um agregado para concreto como pedra britada ou como pedregulho britado.
Artificiais	Tem origem dos processos industriais como a argila expandida e vermiculita expandida.

Reciclado	Resíduos industriais granulares característicos adequado para uso como agregado ou de construção e/ou demolição de entulho. Exemplo: escória de alto-forno, entulho construção/demolição.

Fonte: Sbrighi Neto, 2011.

2. 6 Pavimentação

O pavimento é uma estrutura de espessura finita multicamadas, a superfície final de terraplenagem é técnica e economicamente projetada para suportar tráfego de veículos e esforços climáticos e fornecer melhorias aos usuários em condições de rolamento que possui conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al*, 2010).

Devido a exigências técnicas e econômicas, o pavimento é uma estrutura estratificada na qual materiais com diferentes resistências e deformações entram em contato, resultando em um alto grau de complexidade no cálculo de tensões e deformações e nas cargas que atuam sobre elas, imposto pelo trânsito (DNIT, 2006).

2. 6. 1 Pavimento intertravado

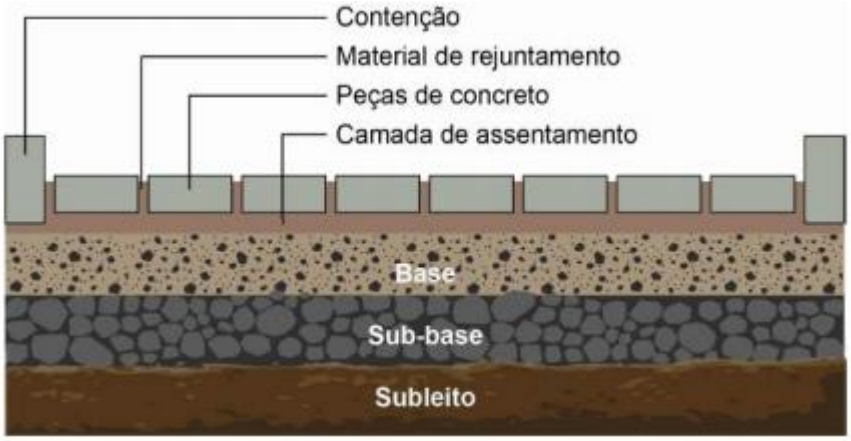
Pavimento intertravado é denominado um pavimento flexível que é estruturada a partir de uma camada de base ou base e sub-base logo depois a uma camada formada de blocos de concreto, geralmente chamada de pavers. Esses são sobrepostos na camada de pavimentação com um preenchimento de juntas com material de rejuntamento conforme a NBR 15953 (ABNT, 2011) e NBR 9781 (ABNT, 2013).

O intertravamento inclui a capacidade dos blocos de resistir ao deslocamento relacionado às peças adjacentes e é de extrema importância para a resistência e durabilidade superfície do pavimento (ABNT, 2011). De acordo com o Manual de Pavimento Intertravamento (ABCP, 2010), o intertravamento entre os blocos de concreto é o resultado de duas condições: contenção as laterais e juntos são preenchidas com areia. A contenção lateral (por exemplo, meio-fio) pode prevenir o deslocamento lateral do bloco que fornece intertravamento e areia de vedação (rejuntamento) facilitar a transferência de esforço entre os pavers para que as eles possam trabalhar juntos para resistir as cargas atuantes.

Esse tipo de calçada conquistou cada vez mais espaço na cidade. O país se baseia em suas várias vantagens. Dentre eles, podemos destacar a facilidade do uso de pequenos equipamentos para executar, liberar tráfego rapidamente e com a facilidade de manutenção e reutilização. Além disso, os blocos de cores claras podem proporcionar menor absorção de calor e maior reflexão, contribuindo para o conforto e o desenvolvimento econômico de calçadas e iluminação pública (SIPRES, 2019). A estrutura típica dos pavimentos intertravados é mostrada na Figura 1.

Figura 1 – Bloco de concreto.

.



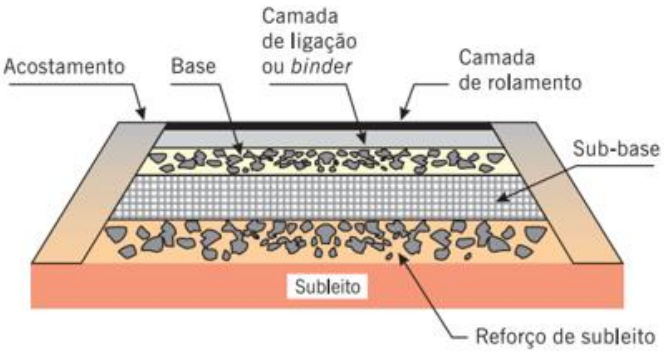
Fonte: Sipres, 2019.

De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), para fabricação das calçadas de blocos intertravados são basicamente cimento, agregados e água, aditivos e pigmentos são permitidos caso necessário. Portanto, o concreto utilizado para a produção de pavers é composta dos mesmos insumos que o concreto tradicional, que é expresso como a principal diferença é o teor de umidade da mistura (MARCHIONI, 2012).

2. 6. 2 Pavimento flexível

Flexível, em suma, é uma mistura de agregados com ligante asfáltico em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob uma carga aplicada e, portanto, a carga é distribuída em partes aproximadamente iguais entre as camadas. Uma demonstração seria o pavimento que consiste em uma base de cascalho (camada de cascalho gradual, cascalho médio) ou uma base de pedra e é coberto com uma camada de asfalto, Figura 2 (DNIT, 2006).

Figura 2 - Pavimento flexível:



Fonte: Bernucci, 2010.

2. 6. 3 Resistência a compressão

Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013) a característica para a resistência a compressão de um bloco intertravado deve seguir de acordo com a Tabela 4 a seguir para atender as especificações de cada tipo de uso.

Tabela 4 – Resistência característica a compressão

Solicitação	Resistência característica a compressão (f_{pk}) aos 28 dias (Mpa)
Tráfego de pedestre, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: ABNT NBR 9781, 2013.

2. 6. 4 Tamanho dos agregados

Segundo a ABNT NBR 9935 (2011) classifica o agregado em graúdo ou miúdo. Para agregados graúdos são agregados passando por uma peneira com abertura de malha de 75mm e o material que fica retido na peneira com abertura da malha de 4,75mm. Para agregados miúdos são agregados passando por uma peneira com abertura de malha de 4,75mm e o material que fica retido na peneira com abertura de malha de 150µm.

2. 7 Processo produtivo do pavimento intertravado

No processo de produção do pavimento intertravado pode ser realizado de acordo com o volume ou massa, sendo o mais apropriado o uso da massa para evitar grandes alterações, exceto o uso de aditivo e da água (SIPRES, 2019).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2010), o processo de fabricação dos blocos intertravados, as peças de concreto são produzidas industrialmente por vibroprensas, que proporcionam alta resistência das peças compactas para melhorar sua resistência mecânica e durabilidade.

2. 7. 1 Ensaio de resistência a compressão axial.

A resistência a compressão é uma das características que será avaliada no processo de fabricação do bloco intertravado para se obter a qualidade do produto para aferir o resultado das tensões de compressão. Para Silva (2014), esse tipo de ensaio é importante não somente para aferir a qualidade e resistência do concreto, ele também pode avaliar a durabilidade do concreto.

De acordo com o estudo de Marchioni (2012), fluidez e coesão do concreto está intimamente relacionado com a qualidade do processo de produção. Não só atributos no estado endurecido ou no estado fresco, depende da qualidade de compactação durante o processo de fabricação dos blocos intertravados.

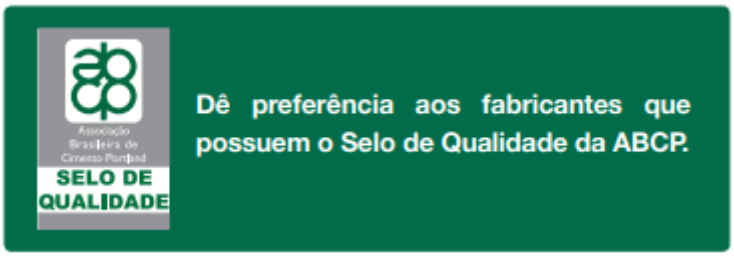
2. 7. 2 Absorção da água

Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013) a absorção de água é expressa em porcentagem, o que representa um aumento na massa corporal sólidos porosos devido à penetração. Após a moldagem nas vibroprensas, o processo de cura dos blocos intertravados deve ter umidade relativa acima de 95%. Após garantir a hidratação do cimento, a absorção de água na peça deve ser menor ou igual a 6%.

2. 7. 3 Período de cura

O tempo de cura na caixa é de cerca de 24 horas e a cura final no pátio depende de condições industriais, permanência de 7 a 28 dias. Com isso, as peças estão prontas para construção e o processo de industrialização também garante uniformidade a cor, textura e tamanho. Uma diferenciação no mercado é a escolha de blocos com o selo de qualidade da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) conforme a Figura 3.

Figura 3 - Selo de qualidade



Fonte - Manual de pavimento intertravado, 2010.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho vem abordar métodos para aplicar o reaproveitamento dos resíduos da construção e demolição para cada objetivo, sempre tendo como base os conceitos abordados até o presente momento através da revisão de literatura, na determinação dos processos para a geração de dados. Além disso, o presente capítulo abordará a classificação da pesquisa, como também mostrará os instrumentos de pesquisas utilizados.

3. 1 Classificação da pesquisa

A monografia é classificada em pesquisa quantitativa exploratória referente a quantidade de resíduos de classe A gerado na construção civil, associado a revistas, trabalhos de conclusão de curso, dissertação, monografias, livros, textos técnicos relacionado a construção civil, pesquisa em campo, criando, assim, uma base de dados para fundamentação técnica e teórica com os principais conceitos de engenharia para um reaproveitamento dos resíduos da construção e demolição com a finalidade de usá-los novamente em rodovias, especificamente no estado do Ceará (ZANELLA, 2011).

As pesquisas ocorram nas bases de dados do Google Acadêmico, Scientifc Eletronic Library Online (SciELO), Minha Biblioteca no site da Unichristus, Ambiente Construir (AC), site da Prefeitura de Fortaleza, site da Secretaria de Infraestrutura do Ceará. Foram utilizados os seguintes descritores: “Reaproveitamento de resíduos sólidos”, “Sustentabilidade”, “Material de classe A na construção civil”, “Tipos de pavimentos”.

3. 2 Estrutura do trabalho

Os seguintes passos do método aplicado foi o conhecimento científico, pois procura entender o fenômeno e as descobertas. Será feita uma análise sistemática da realidade. Possui características de verificabilidade através de fórmulas e dados fornecidos por outros autores para a verificação técnica e teórica, consequentemente comprovando os resultados obtidos. Este é um conhecimento sujeito a erros, por ser mutável e não é definitivo já que o desenvolvimento de métodos e práticas estão cada vez evoluindo de forma mais precisa para um resultado com maior precisão possível.

O levantamento dos dados quantitativos foi realizado através do site da Prefeitura Municipal de Fortaleza. No qual é possível verificar os tipos de resíduos coletados durante o ano, indo do resíduo de classe A até a classe D e ainda inclui os rejeitos/inservíveis. Em posse desses dados, foi feito um gráfico para analisar esses materiais, sendo de forma mais clara qual foi o resíduo que mais foi coletado durante o ano.

Também foi feito um estudo dos resíduos coletados em outras regiões do Brasil para que possa-se ter uma dimensão de quanto o Brasil gera de resíduo da construção e demolição. Esse estudo mostra o total em toneladas/dia ou Kg/habitante/dia, também dividido por regiões.

Para ter uma dimensão do quantitativo gerado em fortaleza, será utilizado a seguinte formulação (2) de acordo com o apêndice A.

Logo após, será dividido por 365 dias para saber quantas toneladas é produzido por dia e em seguida é foi convertido as toneladas para quilograma através da transformação de unidade. Por último, será dividido pela quantidade de habitantes que existe no município.

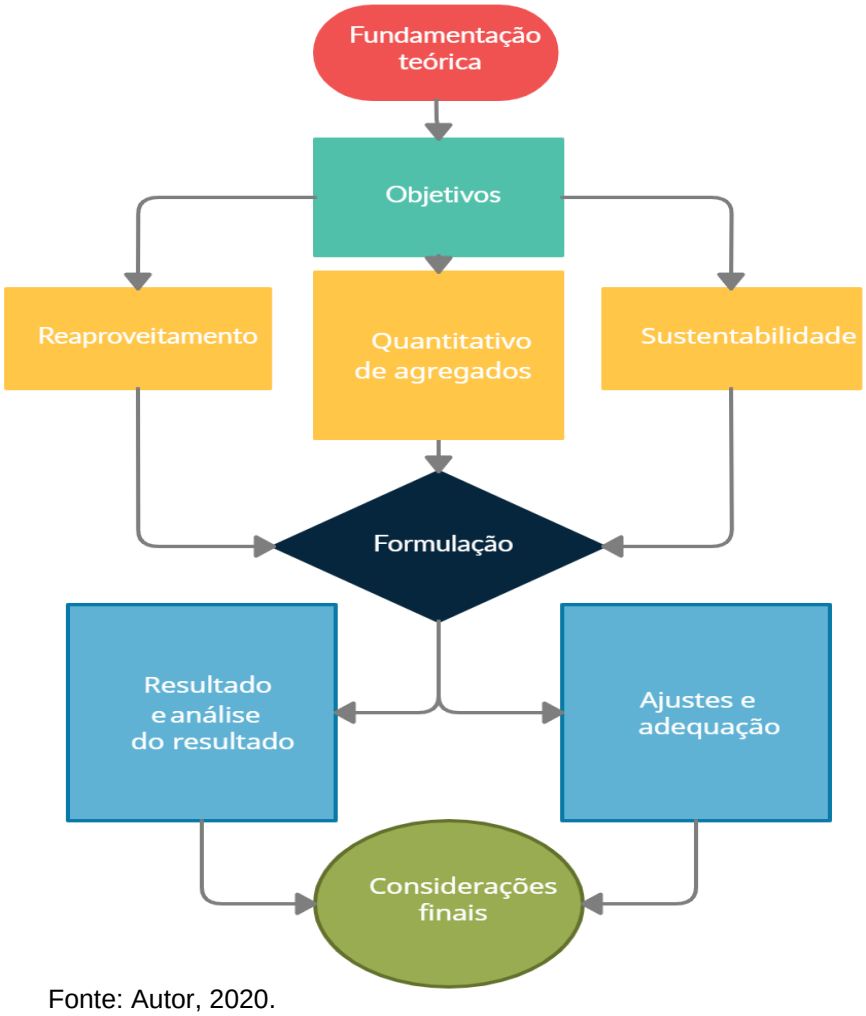
Para descobrir o valor máximo de resíduos da construção e demolição que poderá ser utilizado para a fabricação de bloquetes e que atenda a NBR 9781, foram obtidos valores de ensaios comprovados pela literatura através de corpo de prova que foi executado em cinco referências do quantitativo utilizado, sendo de 10%, 20%, 30%, 50% e 100% de material utilizado na confecção do insumo.

Também foi realizado um levantamento de dados em campo para saber o quantitativo que é fabricado somente no Município de fortaleza de piso intertravado, sendo três empresas entrevistadas e que foi possível obter os valores de vendas em determinado período. Com isso, foi possível analisar o quantitativo gerado de RCD com o quantitativo que foi fabricado de bloquetes. Porém as empresas vendem seus materiais por m^2, então foi necessário aplicar uma formulação para obter os valores em m^3 gerados por cada empresa, sendo adotado uma espessura média de 8cm. Vale salientar que foi identificado que a espessura variou de 4 a 10cm.

De acordo com os ensaios fornecidos pela literatura, foi necessário aplicar a interpolação para saber o valor máximo que poderá ser utilizado na fabricação do piso intertravado que esteja na margem mínima de 35Mpa, de acordo com a NBR 9781.

Com isso, foi possível montar um fluxograma para um melhor entendimento dos objetivos e suas ramificações, formulação e suas ramificações até alcançar as considerações finais. Segue abaixo a Figura 3 que representa o fluxograma deste trabalho.

Figura 3 – Fluxograma das etapas do estudo



Fonte: Autor, 2020.

4 DISCUSSÕES E RESULTADOS

4. 1 Plano de implantação do quantitativo de resíduos

De acordo com a Prefeitura Municipal de Fortaleza, no canal de urbanismo e meio ambiente, é fornecido o relatório da geração de resíduos da construção civil em Fortaleza, que são elaborados e gerenciados pela Secretaria de Conservação e Serviços Públicos – SCSP, através do Sistema Coletas Online, foi feito o levantamento da geração de resíduos da construção civil em fortaleza. Segue a Tabela 5 abaixo que mostra a quantidade de resíduos gerados em fortaleza durante o período de novembro de 2019 até outubro de 2020, para que seja feito um levantamento anual (PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, 2020).

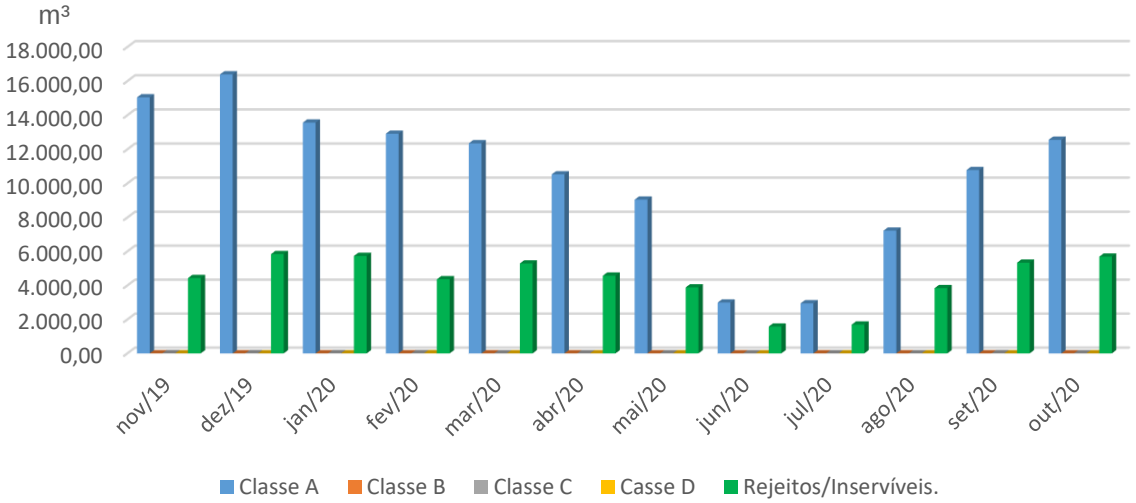
Tabela 5 – Geração de resíduos da construção civil em fortaleza período: 01/11/2019 a 31/10/2020:

Classe	Gerado m³
Classe A – OBRA, REFORMA E/OU REPARO: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto.	121.269,00
Classe B – RECICLÁVEIS: plásticos, papel, papelão, metais, vidros e embalagens vazias de tintas imobiliárias ou com apenas filme seco.	3.652,00
Classe C – Lã de Vidro	46,00
Classe D - PERIGOSOS: latas com tinta, latas de solvente e latas de óleo.	10,00
Rejeitos/Inservíveis.	54.222,00
TOTAL	179.199,00

Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2020.

No gráfico 1, é mostrado a geração de resíduos da construção civil de cada mês por metro cúbico durante um ano, de novembro de 2019 a outubro de 2020.

Gráfico 1 - Geração de resíduos da construção civil.

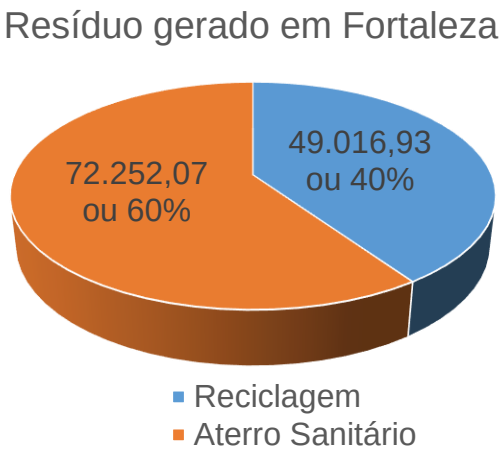


Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2020.

Com base nas informações contidas no Sistema Coletas Online, por meio da emissão e baixa dos Manifestos de Transporte de Resíduos Eletrônico pelos transportadores e destinos finais de resíduos da construção civil devidamente licenciados, foi de 179.199,00m³ de resíduos da construção civil gerados entre os períodos de novembro de 2019 a outubro de 2020 no município de Fortaleza. Com 121.269,00m³ na categoria A são passíveis na usina de reciclagem no município de fortaleza. Não foi considerado nesses dados resíduos como escavação ou terraplenagem. Deste total, em média, foi destinado 40,42% (49.016,93m³) foram destinados às Usinas de Reciclagem, 59,58% (72.252,07m³) foram destinados às áreas de aterro (PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, 2020).

Pelo gráfico 2 a seguir, fica mais claro a forma de como os resíduos da construção e demolição são destinados no município de Fortaleza em m³, levando somente em consideração os resíduos de classe A.

Gráfico 2 - Resíduo gerado em Fortaleza em m³ tipo A



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2020.

4. 2 Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

Segundo ABRELPE (2019), no ano de 2017 e 2018 foi calculado a média da quantidade total de resíduos da construção e demolição pelos municípios do Brasil, como também foi feito de forma regional para cada região do Brasil, como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantidade total de RCD coletados pelos municípios no Brasil:

	2017		2018	
Média	Total	Per capita	Total	Per capita
	Toneladas/dia	Kg/habitante/dia	Toneladas/dia	Kg/habitante/dia
Brasil	123.421	0,594	122.012	0,585
Nordeste	24.585	0,429	24.123	0,425
Norte	4.727	0,264	4.709	0,259
Centro-oeste	13.574	0,855	13.255	0,824
Sudeste	64.063	0,737	63.679	0,726
Sul	16.472	0,556	16.246	0,546

Fonte: Abrelpe/IBGE, 2019.

Assim, o volume total para este período entre agosto de 2018 a julho de 2019, tem-se 996.756,63m³, posteriormente este valor será multiplicado pelo coeficiente de 1,2 que é a relação proposta por POLILLO (1987 apud ESGUÍCERO, 2019, p. 6) diz que o peso específico do entulho é de 1.200Kg/m³ ou 1,2 t/m³. Desta forma, tem-se o valor de 996.756,63m³ de resíduo da construção e demolição em Fortaleza. Portanto:

Em toneladas: 996.756,63m³ x 1,2t/m³ = 1.196.107,96t/ano

Em dias: 1.196.107,96t/ano / 365 dias = 3.277,00t/dia

Segundo IBGE (2020), a população estimada do município de Fortaleza é de aproximadamente 2.686.612 habitantes. Desta maneira, será possível calcular a quantidade de Kg/habitante/dia per capita de coleta de resíduo da construção civil em Fortaleza.

Per capita: 3.277,00t/dia x (1000kg/1t) / 2.686.612 habitantes = 1,22Kg/habitante/dia.

Tabela 7 - Coleta de RCD no município de fortaleza:

Out. 2018 a out. 2019	
Total	Per capita
Toneladas/dia	Kg/habitante/dia
3.277	1,22

Fonte: Autor, 2020.

4. 3 Ensaio de caracterização do agregado reciclado

Considerando o tipo da pesquisa, foi feito o entendimento do material reciclado e as características dos resíduos da construção e demolição utilizando a literatura para se obter os resultados de testes na análise dos materiais relacionada a resistência a compressão para que seja verificado o potencial do quantitativo de RCD em bloco intertravado para pavimento de circulação de pessoas como também para que haja tráfego leve de veículo de acordo com a NBR 9781.

O material que teve o processo de fabricação para ser submetido à caracterização tecnológica com os seguintes traços de concreto pré-definido. Foi

utilizado o mesmo traço para todos os corpos de prova, mudando somente o percentual dos agregados finos que foram substituídos por resíduos da construção e demolição, conforme a Tabela 8 (SILVA; TOREN; SILVA, 2017).

Tabela 8 – Experimentos e frações granulométricas

Material	Unid.	Referência	10%	20%	30%	50%	100%
Agregado graúdo	Kg/m³	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90
Areia	Kg/m³	15,06	14,75	12,05	10,54	7,53	0,00
RCD	Kg/m³	0,00	1,51	3,01	4,52	7,53	15,06
Cimento	Kg/m³	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
Água	Kg/m³	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
Superplastificante	g/m³	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2

Fonte: SILVA; TOREN; SILVA, 2017.

Com o total de 27,45Kg/m³ que representa o quantitativo da soma dos materiais para formar o volume do piso intertravado, somente a areia representa, aproximadamente, 54,86% da composição do intertravado.

4. 4 Levantamento de dados em campo

A Empresa A que foi visitada foi fundada em 2004, é uma empresa natural do Ceará que atua na área da construção civil que iniciou seus trabalhos com apenas 5 funcionários, tendo como sua forma de renda os pré-moldados e que cresce a cada ano que passa. Ela conta com um grande fluxo de itens no mercado como os blocos de concreto, piso intertravado, manilhas para drenagem, lajes, meio fio, cobogós e chapins.

Para a Empresa A, o quantitativo gerado de bloquetes durante o ano de 2019 foi em média de 73.965m² de bloquetes.

A Empresa B foi fundada em 1992, atuando em vários segmentos, possuímos uma gama variada de lajes e pré-moldados que são dimensionadas de acordo com as exigências de cada local. A empresa tem como missão fornecer material de alto desempenho, com atendimento de qualidade, preços atrativos e, principalmente, valorização dos fatores humanos de relacionamento, a partir de uma equipe própria de funcionários capacitados.

Para a Empresa B, o quantitativo gerado de bloquetes durante o ano de 2019 foi em média de 25.200m² de bloquetes.

A Empresa C visitada foi fundada em 1987, a mais antiga das três empresas visitadas e que ainda continua uma empresa sólida e especializada em vários itens como blocos de concreto estruturais, blocos para pavimentação intertravada de concreto, estruturas e peças de concreto pré-fabricado, lajes, painéis de concreto celular autoclavados, blocos de concreto para vedações, canaletas de concreto, guias e sarjetas de concreto e tubos drenos de concreto.

Para a Empresa C, o quantitativo gerado de bloquetes durante o ano de 2019 foi em média de 36.000m² de bloquetes.

Os locais de aplicação dos bloquetes são em diferentes pontos de Fortaleza, portanto os bloquetes tendem a variar um pouco os tamanhos indo de 6cm de espessura até 10cm de espessura, sendo na maioria dos bloquetes 8 cm. Portanto será adotado a espessura de 8cm para os devidos cálculos que será executado durante a aplicação. Portanto, para o devido estudo, será calculado o volume aproximado do total de piso intertravado.

$$V = A \times E \qquad (5)$$

$V = (73.965 + 25.200 + 36.000)m^2 \times 0,08m$

$V = 10.813,20m^3$

De acordo com a tabela 9, é possível avaliar o comportamento de cada corpo de prova apresentando os resultados dos ensaios realizados com as propriedades mecânicas do concreto com 10%, 20%, 30%, 50% e 100% de agregados aplicado cada corpo de prova.

Tabela 9 – Ensaio dos resultados mecânicos

Amostra	Força (KN)	Tensão (MPa)	Deformação máxima (με)	Módulo de elasticidade (GPa)
CP 10%	363,03	46,22 ± 0,53	2699,60	31,54
CP 20%	328,94	41,88 ± 1,9	1996,86	29,31
CP 30%	262,86	33,47 ± 0,85	3290,64	24,96
CP 50%	123,12	15,69 ± 2,7	2144,43	14,45
CP 100%	84,8	10,8 ± 0,82	4173,78	11,82
Referência	276,21	37,46 ± 4,5	3265,10	26,64

Fonte: SILVA; TOREN; SILVA, 2017.

Observa-se que pelos resultados que de acordo com a tabela o corpo de prova com 20% atingiu uma média de tensão axial de 41,88MPa, estando acima dos 35MPa como manda a NBR 9781. Já o corpo de prova com 30% não atingiu a média exigida pela norma. Então será feita uma interpolação para que seja calculada o percentual de quanto de RCD pode ser colocado para a fabricação dos pavers que esteja na margem média mínima de 35MPa.

Interpolação

$$\frac{A-C}{B-D} = \frac{A-E}{B-F} \quad (6)$$

Valores referente com o CP 20% e CP 30%

Porcentagem		Tensão (MPa)
20 (A)	-	46,22 (B)
X (C)	-	35 (D)
30 (E)	-	33,47 (F)

$$\frac{20-x}{46{,}22-35} = \frac{20-30}{46{,}22-33{,}47}$$

⇨ X = 28,8

Portanto, o percentual de resíduos da construção e demolição que poderá ser utilizado para a fabricação dos pisos intertravados será de 28,8% em substituição da areia.

Conforme analisado os dados da Tabela 8, foi mostrado que somente a areia representa 54,86% de todo o material para a fabricação do piso intertravado e que pode ser substituído desse material por resíduos da construção e demolição é de 28,8%. Sabendo que o volume total do quantitativo é de 10.813,20m³. Sabendo que 54,86% é de areia para a fabricação do bloquete, então o volume total de areia que será aplicada para a fabricação do piso intertravado é de 5.932,12m³.

Para ficar de acordo com a NBR 9781, foi mostrado que pode ser substituído a areia por RCD em 28,8%. Portanto 28,8% de 5.932,12m³ é igual a 1.708,45m³ poderá ser usado na fabricação. Portado, dos 121.269m³ de resíduos da

construção e demolição gerados somente em fortaleza, poderá ser utilizado 1.708,45m³ que representa 1,40% do total de 121.269,00m² de RCD que será utilizado na fabricação dos pisos intertravados com o quantitativo levantando com as principais empresas que é localizada em Fortaleza.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou que a sustentabilidade e a engenharia civil são temas de grande importância, principalmente logo após a Conferência Rio-92 que se tornou um tema importante para a sociedade e bastante debatido em congressos acadêmicos, simpósios e com muitas publicações acadêmicas.

Existe alguns tipos de resíduos da construção e demolição para o reaproveitamento, como também a classificação de cada classe e suas respectivas destinação, com foco nos resíduos de classe A que foi o material utilizado para o levantamento de dados e como ele se comporta diante a fabricação de bloquetes, seguindo sempre as Normas Brasileiras.

A forma de como foi originado a geração de resíduo varia bastante que pode partir do erro na aquisição de material que poderá inviabilizar a utilização dele, também pode haver mudança no projeto que poderá acarretar desperdício, manuseio dos materiais, operação, condições climáticas, e até extravio ou material abandonado.

A realização deste estudo mostrou a geração que um município poder ter de geração de resíduos da construção e demolição e como pode ser feito o reaproveitamento desse material para a fabricação de outros materiais sempre seguindo as normas e as resoluções que existem.

Este trabalho avaliou o potencial de aproveitamento dos resíduos da construção e demolição na fabricação de bloquetes utilizando uma porcentagem adequada para que se enquadre na NBR 9781 que caracteriza a resistência a compressão de um bloco para o tráfego de pedestres e veículos, sendo que o presente trabalho considerou a resistência a compressão de 35Mpa para que o bloquete seja utilizado em tráfego de pedestre, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Para tanto, foram avaliados os dados de geração de resíduos pela Prefeitura Municipal de Fortaleza, através da portal transparência fornecida pelo site do município. Os levantamentos foram registrados a partir do mês de novembro de 2019 até outubro de 2020.

Com isso, pode-se observar que o ano vigente da pesquisa do trabalho que foi feito o levantamento dos dados fornecidos pelas empresas foi durante uma pandemia. Portanto, esses valores estão de acordo com um período de dificuldade econômica, pois as empresas tiveram que fechar em algumas datas e, consequentemente, alguns meses foi de baixa nas vendas. Então os valores obtidos

das empresas em relação ao quantitativo produzido poderia ser maior caso não tivesse em período de pandemia.

De maneira geral, todos os objetivos foram alcançados, partindo do objetivo de apresentar os impactos que a construção civil pode causar a sustentabilidade do meio ambiente, como também é mostrado o volume total gerado pelo Município de Fortaleza de resíduos da construção e demolição com todas as suas classes, classe A, classe B, classe C e classe D, contudo com enfoque no resíduos de classe A.

Foi feito a avaliação dos resíduos de classe A para a fabricação dos bloquetes com várias variações de quantitativo de substituir a areia por resíduo da construção e demolição. As porcentagens utilizadas para o estudo foram de 10%, 20%, 30%, 50% e 100%. Contudo a porcentagem que ficou de acordo com a NBR 9781 foi de 28,80%, com isso, definiu-se o volume total de agregado para o reaproveitamento do resíduo da construção e demolição.

Com isso, o último objetivo também foi alcançado que foi possível estimar o potencial de incorporação deste resíduo na fabricação de pisos intertravado, sendo 1.708,45m³ de RCD ou 1,40% que é representado no total de 121.269,00m² de resíduo da construção e demolição registrado no Município de Fortaleza. Apesar da porcentagem ser 1,40%, é plausível salientar que o trabalho foi feito em cima da fabricação de apenas 1 tipo de produto, que no caso foi o piso intertravado.

Com o resultado obtido através de toda a metodologia, observou-se que o valor encontrado é um valor baixo, porém vale salientar que é um valor de apenas um substrato, o piso intertravado.

O trabalho apresentou dificuldades para a devido falta de organização da Prefeitura de Fortaleza, sendo visitado alguns Eco Ponto que é onde a Prefeitura recolhe todo o material registrado que também dá desconto na conta de energia. Nesses Eco Ponto não existe preparação técnica para o funcionário receber o material, somente um operador com conhecimento simples que só anota na máquina os pesos dos materiais e alguns ainda tem dificuldade de distinguir as classes dos materiais na hora de separar cada um para os seus devidos containers.

A dificuldade de coletar dados no site da Prefeitura de Fortaleza também foi um ponto bastante preocupante, a falta de organização do layout da página oficial, a falta de especificação da destinação dos resíduos coletados.

Para os próximos trabalho, para que sejam incorporados em outras áreas, é possível fazer estudos de utilização de RCD em outros tipos de materiais tais como: banco de concreto, piso grama, telha de concreto, tubos meio-fio e entre outros.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.** Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acessado em: 10 de ago. de 2020.

Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de Pavimento Intertravado:** Passeio Público– ABCP, São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil** - utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953: Paviemnto intertravado com peça de concreto:** execução. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Índice de suporte Califórnia (ISC):** método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados** – terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação** - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

BERNUCCI, Leidi Bariane *et al*. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. 3ª. Reimpressão. Rio de janeiro, 2010.

CONAMA, **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Resolução 307/2002.

CLARO, Priscila Borin de Oliveira; CLARO, Danny Pimentel; AMÂNCIO, Robson. **Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações.** São Paulo, v. 43, n. 4, p. 289-300, 2008.

COSENTINO, Lívia Tavares. **Panorama da sustentabilidade na construção civil:** da teoria à realidade do mercado. 9 f. Artigo. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

CRUVINEL, Patrícia Bonolo. **Análise da gestão de resíduos da construção e demolição no distrito federal com proposição de indicadores de sustentabilidade ambiental.** 121 f, Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal, 2016.

DIAS, Reinaldo. **Sustentabilidade:** origem e fundamentos; educação e governança; modelo de desenvolvimento. São Paulo: Atlas, 2015.

DNIT. **Manual de pavimentação**. Publicação IPR – 179. Ministério dos transportes. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias, 2006.

ESGUÍCERO, Fábio José; MANFRINATO, Jair Wagner de Souza; MARTINS, Benedito Luiz. **Levantamento dos métodos de mensuração da geração de resíduos da construção civil:** análise das vantagens e desvantagens de sua utilização. XXIX encontro nacional de engenharia de produção a engenharia de produção e o desenvolvimento sustentável: integrando tecnologia e gestão. Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009.

EVANGELISTA, Patricia Pereira de Abreu; COSTA, Dayana Bastos; ZANTA, Viviana Maria. **Alternativa sustentável para de resíduos de construção classe A:** sistemática para reciclagem em canteiros de obras. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010.

FAUSTINO, Manuel. **O conceito de "sustentabilidade":** migração e mudanças de significados no âmbito educativo. Portugal, v. 8, n. 1, p. 2021-2033, 2016.

FERNANDES, Graziella Quint. **Resíduos de construção e demolição:** uma abordagem do assunto e a situação do município de Florianópolis. 25f. Artigo. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GRAMACHO, Bruna Bastos, *et al*. **Construção sustentável**: soluções para construir agredindo menos o ambiente. Sergipe, v. 1, n. 16, p. 97-110, mar. 2013.

GUEDES, Gilberto Gomes; FERNANDES, Mônica. **Gestão ambiental de resíduos sólidos da construção civil no Distrito Federal.** Brasília, v. 1, p. 39-50, jan/jun, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**: população fortalezense 2020, Fortaleza, 2020.

JACOBI, Pedro Roberto. **Coleta seletiva na região metropolitana de São Paulo:** impactos da política nacional de resíduos sólidos. Ambiente & Sociedade. São Paulo, v. XVII, n. 3, p. 259 – 278, Jul. – Set. 2014.

LIMA, Adriana Sampaio; CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da sociedade de Fortaleza (CE).** 17 f. Artigo. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

LIMA, Francisco Mariano da Rocha de Souza. **A formação da mineração urbana no brasil:** reciclagem de RCD e a produção de agregados. 2013. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica da Universidade de são Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. São Paulo, 2013.

MANHÃES, Gabriela Siqueira. **Sustentabilidade nas construções.** Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 15-24, 2014.

MARCHIONI, Mariana Lobo. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.** Universidade de São Paulo, 2012.

MATHIAS, Rafael Vieira, *et al*. Brazilian Journal of Development. **Gestão de resíduos como movimentos de interação com as práticas sustentáveis:** um estudo realizado em uma empresa da construção civil pesada e na mineração de pedra britada. Curitiba, v. 6, n. 4, p. 21395-21407, apr. 2020.

MATSUDA, Aline Sayuri Maeda. **Relação entre construção enxuta e sustentabilidade para redução de resíduos sólidos da construção civil**. 20 f. Artigo. Unicesumar, Maringá, 2018.

MOTTA, Silvio Romero Fonseca. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos.** 122f. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

NAGALLI, André. **Aspectos quantitativos da geração de resíduos da construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

NASCIMENTO, José Antônio Sena do; BARRETO, Renata da costa. **A mineração urbana de resíduos eletroeletrônicos:** perspectivas a partir da aplicação dos objetivos de desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, CETEM/MCTIC, 2019.

NASCIMENTO, Lucas Costa do. **Classificação dos resíduos de construção e demolição (rcd) e potencialidades de reciclagem ou reutilização em obras de edificação na região de ipojuca:** muro alto. 25 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.

PAPELAR. **RCD**: entenda a destinação que deve ser dada aos rejeitos da construção civil. Disponível em: <http://www.reciclagempapelar.com.br/rcd-entenda-a-destinacao-que-deve-ser-dada-aos-rejeitos-da-construcao-civil/>. Acessado em: 30 de Jun. de 2021.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 189 f. Tese (doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, são Paulo, 1999.

Prefeitura Municipal de Fortaleza. **Urbanismo e meio ambiente:** Relatório da Geração de Resíduos da Construção Civil em Fortaleza. Disponível em <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/urbanismo-e-meio-ambiente/502-relatorio-da-geracao-de-residuos-da-construcao-civil-em-fortaleza>. Acesso em: 13 de outubro de 2020.

RECICLE RECICLAGEM INTELIGENTE. **Resíduos da construção e de demolição:** RCD ou entulho de obra. Disponível em:

<https://www.recicli.com.br/servicos-e-produtos/residuos-de-construcao-e-de-demolicao-rcd-ou-entulho-de-obra>. Acessado em: 30 de jun. de 2021.

RIBEIRO, Denise; MOURA, Larissa Santos de; PIROTE, Natália Stéfanie dos Santos. **Sustentabilidade:** formas de reaproveitar os resíduos da construção civil. São Paulo, v. 20, n. 20, p. 41-45, 2016.

SBRIGHI NETO, Cláudio. **Agregados naturais, britados e artificiais para concreto**. CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011. Editor Geraldo C. Isaia, v. 1, p. 233-260.

SILVA, Ana Paula da. **Fabricação e análise de pavimentos intertravados (pavers) utilizando resíduos de borracha de pneus inservíveis e resíduos de construção civil e demolição (RCD) como agregado miúdo.** Universidade do Vale do Paraíba, são José dos Campos, São Paulo, 2016.

SILVA, E. L; TOREM, M. L; SILVA, F. A. **Utilização de agregado reciclado na fração fina em substituição ao agregado natural fino para produção de concreto.** XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Belém-PA, Outubro, 2017.

SILVA, Margarete Bernal de Lima e. **Novos materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na construção civil.** Dissertação [mestrado]. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

SILVA, Otavio Henrique da. *et al*. **Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil.** Maringá, v. 19, p. 39-48, 2015.

SIPRES, Clarice. **Análise técnica do uso de resíduos de construção e demolição (RCD) na produção de concreto seco para piso intertravado.** Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2019.

SOUZA, Leandro Moreno de; ASSIS, Cleber Decarli de; SOUTO, Silvia Barroso. **Agregado reciclado:** um novo material da construção civil. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET. V. 18, n. 1, p. 279 – 278, Abr. 2014.

TECHIO, Elza Maria; GONÇALVES, Jardel Pereira; COSTA, Poliana Neres. **Representação social da sustentabilidade na construção civil:** a visão de estudantes universitários. Ambiente & Sociedade. São Paulo, v. 19, n. 2, p. 187-206 abr.-jun. 2016.

TEIXEIRA, Wagner, *et al*. **Estabilização de um solo silte arenoso da Formação Guabirotuba com cal para uso em pavimentação.** XIX Congresso Brasileiro de mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Geotecnia e Desenvolvimento Urbano. Salvador, BA, Brasil, 28 de Agosto a 01 de Setembro de 2018.

VIEIRA, Geilma L.; MOLIN, Denise C.C.; LIMA, Flávio B. de. **Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes**

de resíduos de construção e demolição. Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Núcleo de Pesquisas Tecnológicas. Porto Alegre. n. 19, 2004.

XAVIER, Lúcia Helena; LINS, Fernando A. Freitas. **Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos:** uma nova fronteira a explorar no Brasil. Brasil Mineral, n. 379, p. 22-26. Mar, 2018.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia da pesquisa.** 2ª ed. – Florianópolis: Departamento de ciências da administração / UFCS, 2011.

APÊNDICE A – Fórmulas

Volume de RCD = Área construída x 0,15 (t/m²) (1)

Onde:

Volume de RCD = Estimativa anual da geração de resíduo da construção e demolição

Área = Valor em metro quadrado

0,15 (t/m²) = Coeficiente

T = V x Pesp (2)

Onde:

T= toneladas

V = volume

Pesp = peso específico do entulho

Tdia = T / D (3)

Onde:

Tdia = tonelada por dia

D = Dias

Per capita = (Tdia x 1000Kg/1t) / H (4)

Onde:

H = habitantes

V = A x E (5)

Onde:

V = Volume

A = Área

E = Espessura

$$\frac{A-C}{B-D} = \frac{A-E}{B-F} \quad (6)$$