



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

WESLEY PINHEIRO GOMES

**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUBSTITUIÇÃO DOS
AGREGADOS EM BLOCOS DE CONCRETO**

Palmas/TO
2022

WESLEY PINHEIRO GOMES

**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUBSTITUIÇÃO DOS
AGREGADOS EM BLOCOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela banca examinadora.

Orientador: Dr. Aurélio Pessoa Picanço

Palmas/TO
2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

WESLEY PINHEIRO GOMES

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS EM BLOCOS DE CONCRETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:



**Aurélio Pessoa
Picanço**

Assinado de forma digital
por Aurélio Pessoa Picanço
Dados: 2022.06.06 17:54:52
-03'00'

Dr. Aurélio Pessoa Picanço (Presidente da Banca)
Universidade Federal do Tocantins



P/

Dr. Giulliano Guimarães Silva (Membro Titular Interno)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins



P/

Dr. Fabio Henrique de Melo Ribeiro (Membro Titular Externo)
Universidade Federal do Tocantins

Aprovada em: 22 de fevereiro de 2022

Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

O evento foi realizado por meio de vídeo conferência, conforme Art. 56-A da Resolução nº 13, de 22 de março de 2017, pela necessidade cautelar de distanciamento social em virtude da pandemia causada pelo coronavírus (SARS-CoV-2)

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

G633e Gomes, Wesley.

Estudo do aproveitamento dos resíduos da construção civil na substituição dos agregados em blocos de concreto . / Wesley Gomes. – Palmas, TO, 2022.

85 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2022.

Orientador: Aurélio Pessoa Picanço

1. Utilização dos resíduos da construção civil. 2. Substituição dos agregados. 3. Blocos de concreto. 4. Reaproveitamento de resíduos. I. Título

CDD 628

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).

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu Senhor Jesus, sem Ele não poderia fazer nada. A Ele toda a honra, a glória, a força e o poder.

Busquem, pois, em primeiro lugar o Reino de Deus e a sua justiça, e todas essas coisas lhes serão acrescentadas.

Mateus 6:33

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela salvação e por permitir mais uma vitória em minha vida, pois só em Deus encontrei conforto e forças para superar momentos de dificuldades e adversidades, a Ele toda honra e glória.

Agradeço pela vida da minha esposa amada Polyanna de Freitas Fonseca Pinheiro, pela compreensão, zelo, cuidado, paciência, cumplicidade, companheirismo, sabedoria para entender quando precisei me ausentar para dedicar aos estudos.

Agradeço aos meus filhos Tales e Breno por serem pacientes e amorosos, mesmo em minha ausência, sempre me abasteciam de amor e carinho para me dá forças para caminhar.

Agradeço a Jéssica Técnica de Laboratório de Materiais e Estruturas da UFT por sua dedicação, compromisso e grande ajuda na realização dos ensaios realizados.

Agradeço pela vida do Pastor Walmir Andrade e pela vida do Pastor Joelson Pereira, pelo cuidado, pastoreio, atenção e orações para que o Senhor estivesse comigo nesta caminhada me dando forças e o direcionamento necessário.

Agradeço pela vida dos meus liderados, líderes de Pequeno Grupo, Aubrun Merveilleux, Domingos Santos, Renato Mitt, Renick de Lucena, Tiago Araújo, Tiago Santos e Wiris Pereira Glória, pela compreensão, palavras de incentivo, orações e companheirismo quando estive ausente.

Ao Prof. Dr. Sérgio Carlos pela atenção, dedicação, ajuda em partes importantes e tratamento de dados presente no trabalho.

Aos professores que compuseram a banca de defesa em especial ao Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço meu orientador.

A Usina de Resíduos Ambiental por permitir a retirada de resíduos da construção civil para a realização deste estudo.

A fábrica de blocos Strutura por abrir as portas de sua empresa e conceder toda a estrutura, maquinário necessária e equipe profissional para a confecção dos blocos de concreto.

A coordenação desde programa de Mestrado em Engenharia Ambiental pelas orientações e apoio fundamental durante este processo de aprendizado.

RESUMO

A preocupação com meio ambiente tem aumentado a cada dia e motivado pesquisas sobre o uso de Resíduos na Construção Civil (RCC), já que essa consome em sua produção grande parte de recursos não renováveis como agregados. O estudo buscou uma avaliação das propriedades mecânicas e físicas dos blocos de concreto com a substituição dos agregados convencionais por RCC. O presente trabalho trata da reutilização dos agregados da construção civil aproveitando estes na substituição dos agregados utilizados de praxe na fabricação de blocos concreto. Este material descreve todo o procedimento de captação do material na usina, tratamento do mesmo para estar apto para seu aproveitamento, confecção dos blocos de alvenaria estrutural em uma fábrica de blocos na cidade de Palmas, Tocantins, utilizando traços com 5%, 10% e 15% de substituição dos agregados usuais, areia e o pó britado pelos resíduos da construção civil que passaram pela peneira 4,8mm, nos quais foram analisados a partir de ensaios como trabalhabilidade, absorção e resistência a compressão. A análise da superfície de resposta mostrou que a variável tempo de cura influencia mais na resistência dos blocos do que o percentual de resíduos utilizada em substituição do agregado convencional, os resultados também mostram que a substituição de agregados convencionais por RCC em blocos de concreto é uma alternativa sustentável e técnica para blocos sem função estrutural, já que os traços analisados desta pesquisa não alcançaram o valor mínimo para função estrutural de 3,00 MPa.

Palavras-chave: Utilização dos resíduos da Construção Civil, substituição dos agregados, blocos de concreto. Reaproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

The concern with the environment has increased every day and has motivated research on the use of Waste in Civil Construction (RCC), as this consumes a large part of non-renewable resources such as aggregates in its production. The study sought an evaluation of the mechanical and physical properties of concrete blocks with the replacement of conventional aggregates by RCC. The present work deals with the reuse of aggregates from civil construction, taking advantage of these in the replacement of aggregates commonly used in the manufacture of concrete blocks. This material describes the entire procedure for capturing the material at the plant, treating it to be able to use it, making the structural masonry blocks in a block factory in the city of Palmas, Tocantins, using lines with 5%, 10% and 15% replacement of the usual aggregates, sand and crushed dust by civil construction waste that went through a 4.8mm sieve, which were analyzed based on tests such as workability, absorption and compressive strength. The response surface analysis showed that the curing time variable influences more on the strength of the blocks than the percentage of residues used to replace the conventional aggregate, the results also show that the replacement of conventional aggregates by RCC in concrete blocks is a sustainable and technical alternative for blocks without structural function, since the analyzed traits in this research did not reach the minimum value for structural function of 3.00 MPa.

Keywords: Use of Civil Construction waste, replacement of aggregates, concrete blocks. Reuse of waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Operários retirando entulho do passeio com auxílio de ferramentas e máquinas....	22
Figura 2 - Material após triagem, separado para o triturador – Usina de Reciclagem de Palmas.....	26
Figura 3 – Layout da Usina Reciclagem de RCC Ambiental – Palmas, Tocantins.	28
Figura 4 - Recebimento dos RCC pelas empresas privadas que atuam no município de Palmas – Usina de Reciclagem de Palmas.....	28
Figura 5- Empilhamento do material – Usina de Reciclagem de Palmas.	29
Figura 6 - Esteira para os resíduos triturados – Usina de Reciclagem de Palmas.	29
Figura 7 - Máquinas despejando material no triturador – Usina de Reciclagem de Palmas.	30
Figura 8 – Fluxograma macro das etapas da pesquisa.....	34
Figura 9 – Fluxograma da primeira etapa da pesquisa.	35
Figura 10 - Empresa doadora do RCC	35
Figura 11 - Triagem do RCC.....	36
Figura 12- Material após triagem – Coleta para as primeiras pesquisas.	36
Figura 13- Material fino triturado para confecção das peças	37
Figura 14 e figura 15– Materiais usualmente utilizados na fábrica Strutura para a confecção do bloco de concreto, os agregados são pedriscos (pó de seixo) e areia.	38
Figura 16 e Figura 17 – Pátio de cura e armazenamento dos blocos de alvenaria estrutural...	39
Figura 18 – Equipamento de prensa para confecção de bloco de concreto.....	39
Figura 19 – Fluxograma da segunda etapa da pesquisa.....	40
Figura 20- Material fino passando pelo processo de lavagem até que a água fique limpa.	42
Figura 21 – Fluxograma da terceira etapa da pesquisa.....	43
Figura 22 – Fluxograma da Quarta etapa da pesquisa.....	43
Figura 23 – Fluxograma da Quinta etapa da pesquisa.....	45
Figura 24 – Confecção dos blocos com RCC e cura no pátio da fábrica.	48
Figura 25 – Dimensões dos blocos confeccionados na fábrica.	48
Figura 26 – Blocos de concreto em processo de capeamento das faces.....	49
Figura 27 – Blocos de concreto com capeamento finalizado.	49
Figura 28 - Conjunto de peneiras para determinar granulometria do RCC.....	52
Figura 29- Peneiramento e pesagem do RCC para a realização do ensaio da granulometria. .	53
Figura 30 - Realização do ensaio de absorção de água do RCC.	56
Figura 31 - Ensaio de Absorção passo a passo.....	57

Figura 32 - Ensaio de Absorção de Água – procedimento para moldar o cone.	57
Figura 33 - Determinação do ponto de saturação com superfície seca	58
Figura 34 - Determinação do ponto de saturação com superfície seca, neste caso o molde está seco ao ponto de desmoronar.	58
Figura 35 – Determinação do inchamento do agregado miúdo.....	59
Figura 36 - Determinação da Massa Unitária Especifica do RCC	61
Figura 37 – Determinação da massa do RCC.....	64
Figura 38 – Ensaio de Absorção dos Blocos.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de composição do cimento Portland.....	20
Tabela 2 – Ensaio de caracterização realizados no RCC.....	40
Tabela 3 - Traço obtido por meio de seleções de trabalho acadêmico utilizado na pesquisa para confecção dos blocos cilíndricos.	44
Tabela 4 - Traço obtido por meio de seleções de trabalho acadêmico utilizado na pesquisa para confecção dos blocos cilíndricos.	44
Tabela 5 – Ensaio de moldagem e compressão de corpos de prova	44
Tabela 6 – Índice de porcentagem de RCC a serem substituídos pelos agregados na confecção dos Corpos de Provas Cilíndrico.	45
Tabela 7 - Traço da Empresa Strutura utilizado na pesquisa	46
Tabela 8 – Distribuição do traço utilizado.....	47
Tabela 9 – Peso específico do agregado retirado na substituição do RCC.....	47
Tabela 10 – Níveis das variáveis empregadas no planejamento experimental, com ponto central ou Delineamento Composto de Faces Centradas na substituição dos Resíduos convencionais por Resíduos da Construção Civil.	51
Tabela 11 - Resultados da Granulometria de RCC.....	54
Tabela 12 -ABNT NBR 7211, (2019). – Módulos de Finura.....	55
Tabela 13 - Resultados do ensaio de inchamento.....	59
Tabela 14 – Tabela do ensaio de inchamento – umidade do Resíduo.....	60
Tabela 15 - Massa unitária do RCC	61
Tabela 16 - Determinação do material fino	63
Tabela 17 – Dimensões dos blocos com 15% de RCC.....	65
Tabela 18 - Resultados de Absorção	66
Tabela 19 – Tabela de blocos submetido ao ensaio de rompimento a compressão aos 7 dias de cura.	67
Tabela 20 – Tabela de blocos submetido ao ensaio de rompimento a compressão aos 17 dias de cura.....	68
Tabela 21 – Tabela de blocos submetido ao ensaio de rompimento a compressão aos 28 dias de cura.....	69
Tabela 22 – Tabela de valores dos dados experimentais (X1, % RCC) e (X2, dias).....	71
Tabela 23 – Coeficiente de regressão e desvio padrão das respostas observadas para (X1, %	

RCC) e (X2, dias) (Adição de % dos Resíduos da Construção Civil) e (Tempo de cura)	71
Tabela 24 – Tabela de análise de variância ANOVA.....	72

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.1.1	Objetivos específicos	17
3.	REVISAO DE LITERATURA	18
3.1	REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
3.2	CONSTRUÇÃO CIVIL	18
3.3	CONCRETO	19
3.4	CIMENTO	20
3.5	AGREGADO	20
3.6	CONTEXTUALIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO TEMA	21
3.7	DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	23
3.8	ATERRO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL / USINAS DE RECICLAGEM	24
3.9	TRIAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	25
3.10	ATERROS DE RECEBIMENTO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
3.11	USINA DE RECICLAGEM DE RCC DO MUNICÍPIO DE PALMAS, TOCANTINS	27
3.12	GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	30
3.13	SUSTENTABILIDADE, PROCESSO DE APROVEITAMENTO E RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	30
3.14	BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO.....	31
3.15	CONCRETO COM RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	32
4.	METODOLOGIA	34
4.1	PROCESSAMENTO E REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC).....	34

4.2	VISITAS EM CAMPO	35
4.3	PROCESSO DE RETIRADA DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA APLICAÇÃO NESTA PESQUISA	35
4.4	VISITA NA FABRICA DE BLOCOS STRUTURA.....	38
4.5	ENSAIOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS - RCC	39
4.1	DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA	40
4.2	DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA	41
4.3	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA	41
4.4	DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO.....	42
4.5	DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO QUE PASSA NA PENEIRA 75 µm POR LAVAGEM	42
4.6	ENSAIO DO TRAÇO DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO POR RCC – LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS DA UFT. 43	
4.7	Materiais para realização do ensaio de corpos-de-prova cilíndricos.	44
4.8	TRAÇO UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO NA FABRICA STRUTURA	46
4.9	CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO NA FABRICA STRUTURA	47
4.10	CAPEAMENTO DOS BLOCOS DE CONCRETO	49
4.11	PLANEJAMENTO FATORIAL DE DUAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES EM DOIS NÍVEIS DISTINTOS: A PARTIR DO DELINEAMENTO CENTRAL COMPOSTO ROTACIONADO (DCCR).....	50
4.7.1	Planejamento experimental utilizando a metodologia de superfície de respostas.....	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1	A TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS EM MATÉRIA PRIMA E SUAS CARACTERÍSTICAS	52
5.1.1	Ensaio de caracterização do RCC	52

5.1.2	Ensaio para Análise Granulométrica do RCC	52
5.1.2	Determinação do inchamento do RCC	55
5.1.3	Determinação Da Massa Unitária do RCC	61
5.1.4	Determinação do material fino que passa na peneira 75 μ m.....	62
5.1.5	Determinação da massa específica do RCC	63
5.2	CARACTERISTICAS DAS DIMENSÕES DOS BLOCOS	64
5.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	65
5.4	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E TEMPO DE CURA	67
5.5	GRAFICOS PROMITIZA EXPERIMENTAL DESIGN	70
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
7.	REFERÊNCIAS	78

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é de grande importância para sustentação e manutenção da economia brasileira, mas como indústria ela utiliza grande quantidade de recursos naturais não renováveis e ainda gera grandiosos volumes de resíduos de construção civil (RCC) (OLIVEIRA; MAUÉS; ROSA; SANTOS; SEIXAS, 2020).

Palmas é a capital mais nova do Brasil e segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2020 a cidade ultrapassou a marca de 300 mil habitantes, classificada em 10 lugar no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) entre as 27 capitais do país. De acordo com IBGE Palmas apresenta a segunda melhor taxa de crescimento populacional entre as capitais, ficando atrás apenas de Boa Vista Capital de Roraima. Mesmo em meio a pandemia da Covid-19, a Capital do Tocantins saiu dos 306.296 habitantes, estimativa de 2020, para 313.349 em 2021, ou seja, um incremento de 7.053 pessoas, proporcionalmente a uma taxa de crescimento de 2,30%, o ritmo de crescimento da cidade está acima da média nacional que foi de 0,74%. Diante deste cenário, o presente trabalho pode oferecer uma solução ambientalmente mais adequada para o desenvolvimento da Construção Civil (CC), através da reciclagem e reutilização de RCC na produção de blocos de concreto com características mais sustentáveis.

O desenvolvimento de blocos de concreto com RCC na sua composição, para serem empregados na própria construção civil, tem sido estudado tanto do ponto de vista de análises de custo como de ciclo de vida (ABRAHAM; SARAVANAKUMAR; EBENANJAR; ELANGO; VIVEK; ANANDARAJ, 2021). Nos últimos anos, o desenvolvimento sustentável tem se tornado o principal objetivo das empresas de construção em todas as fases de ciclo de vida de seus empreendimentos, projeto, construção e uso (OLIVEIRA; MAUÉS; ROSA; SANTOS; SEIXAS, 2020).

Os blocos de alvenaria de concreto têm sido amplamente utilizados em países em desenvolvimento e desenvolvidos em substituição aos blocos de alvenaria de argila queimada e isso mostra que atualmente os blocos de concreto desempenham um papel muito importante na construção moderna (HASAN; SAIDI; SARANA; BUNYAMIN, 2021).

O desenvolvimento da sustentabilidade dentro da CC é altamente desejável, tendo em vista o seu grande consumo de matéria prima, bem como a grande geração de resíduos, por isso a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos sustentáveis pode oferecer soluções tecnológicas sustentáveis para serem empregadas em todas as regiões do país. Nesse caso, o estudo da resistência mecânica de blocos de concreto em função aos diversos teores de RCC possibilita a diminuição de problemas ambientais e habitacionais.

O presente trabalho apresenta possibilidades para reciclagem e reaproveitamento de RCC na CC em blocos de concreto. Os RCCs são densos e volumosos em características e precisam de mais espaço de armazenamento e não podem seguir métodos de eliminação de resíduos padrão (ABRAHAM; SARAVANAKUMAR; EBENANJAR; ELANGO; VIVEK; ANANDARAJ, 2021).

Ainda de acordo com os autores anteriormente citados, reduzir, reutilizar e reciclar são os princípios mais comumente adotados para a gestão de resíduos na indústria da construção. A lacuna entre demanda e oferta de materiais de construção como agregados miúdos e graúdos pode ser facilmente preenchida pela utilização de RCC na produção de blocos de concreto, tendo em vista que a fabricação deles consome uma grande quantidade de agregados naturais.

Em todo planeta a geração, destinação e reciclagem de RCC tem sido amplamente discutida e pesquisada, pois o estilo de vida da população se altera devido ao crescimento da população e conseqüentemente a quantidade de resíduo gerado também cresce (SANTOS; ISELLE; DIAS-SILVA, 2019).

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2019), se todo o resíduo gerado pela Construção Civil do Brasil em um único dia fosse reciclado, e 98% dele é reciclável, esse resíduo poderia ajudar a construir 2.134 estádios iguais ao Maracanã. A ABRECON estima que são produzidos por dia 520 kg de resíduo por habitante/dia, e este valor está em consonância com o índice apresentado pelo Ministério do Meio Ambiente. Ainda de acordo com ABRECON são gerados cerca de 290,5 toneladas de RCC diariamente no Brasil, mas apenas 21% desse RCC é reciclado.

Por entender que há uma grande oportunidade de transformar todo esse RCC gerado em coproduto na confecção de blocos de concreto, gerando assim um produto sustentável para a cadeia da CC, contribuindo também para a diminuição da pressão por matéria prima in natura, tais como areia, seixo e brita. Esse trabalho propôs uma alternativa para utilização de RCC na fabricação de blocos de concreto com características mais sustentáveis.

Dessa forma, o presente trabalho se fez necessário para uma avaliação da correlação entre a resposta da propriedade mecânica destes blocos, frente aos diferentes teores de substituição dos agregados naturais por RCC, contemplando uma introdução de RCC em sua composição de 5%, 10% e 15%, substituindo na areia e pó de seixo proporcionalmente, visando assim o desenvolvimento de blocos de concreto com características sustentáveis para o uso na Construção Civil.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de concreto fabricados com a substituição de seus agregados por RCC.

2.1.1 Objetivos específicos

Avaliar por meio de ferramenta estatística DOE (design of experiments). O aproveitamento dos resíduos da construção civil na substituição dos agregados em blocos de concreto, identificando o nível de influência de fatores: teor de substituição de resíduos e tempo de cura.

Estudar a influência da substituição dos agregados por RCC, ou da sua mistura, na resistência mecânica dos blocos de concreto.

Otimizar a substituição de agregados por RCC para fabricar um produto adequado e sustentável para a cadeia da construção civil utilizando o planejamento fatorial.

3. REVISAO DE LITERATURA

3.1 REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resíduos de construção, apresentam grande potencial para reutilização, pois podem tanto ser utilizados para a geração de novos materiais ou agregados, como podem também ser aplicados na composição de materiais já existentes para melhorar sua qualidade, durabilidade ou resistência. A reutilização realizada conforme as normas específicas, pode gerar grande benefício ao meio ambiente, reduzindo a quantidade de resíduos que seriam descartados de maneira incorreta que iriam para na natureza ou até mesmo na zona urbana. (MATUTI e SANTANA, 2019).

A reutilização de resíduos para produção de agregados reciclados a ser empregado no concreto proporciona características diferentes das obtidas em concretos convencionais, e este grau de diferença irá depender do tipo e da qualidade do agregado produzido. Verificam-se por exemplo, variações ligadas à relação água/cimento, ao consumo de aglomerantes, à variabilidade na composição e a outras características físico-químicas dos agregados. Além disso outras características do concreto podem ser modificadas devido a inserção dos resíduos da construção civil, como: resistência mecânica, absorção de água, porosidade e permeabilidade, retração, elasticidade, fluência e massa específica. (LIMA, 1999).

Portanto, a produção de agregado reciclado deve ser cautelosa em todas suas fases, durante a escolha do resíduo, classificação, eliminação de contaminantes, entre outros, segundo explica Lima, (1999). Em vista disso, para a produção de agregados reciclados produzidos a partir de resíduos da construção civil, deve-se observar e atender aos requisitos da norma ABNT NBR 15116:2021, para que os agregados possam, então, ser utilizados em argamassas e concretos de cimento Portland.

3.2 CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Lucas e Benatti (2008), destacam o setor da construção civil como um grande consumidor de recursos naturais, apresentando então um potencial muito grande para o aproveitamento de resíduos como materiais de construção, sendo um destes materiais o concreto.

Nos próximos anos, a construção civil tem o desafio de incorporar a sustentabilidade

em seus processos produtivos, seja pela busca de novas matérias-primas e produtos mais ambientais (TORKAMAN; ASHORI; MOMTAZI, 2014).

O cimento é parte componente mais importante do material de construção mais utilizado do mundo, o concreto. Todavia, existem aspectos desfavoráveis agregados ao concreto quanto a sua utilização em tão grande proporção, sendo os grandes problemas ambientais relacionados a produção de cimento, acima de tudo concernente a geração de gases maximizadores de efeito estufa e consumo de materiais não renováveis (agregados naturais) (SALES, 2012).

Nos próximos anos, a construção civil tem o desafio de incorporar a sustentabilidade em seus processos produtivos, seja pela busca de novas matérias-primas ou pela busca de produtos mais ambientais (TORKAMAN; ASHORI; MOMTAZI, 2014).

3.3 CONCRETO

O concreto desempenha um papel importante no desenvolvimento moderno de nossa sociedade, pois é um dos materiais de construção mais exigentes depois da água, devido às suas matérias-primas de baixo custo e alta resistência à compressão (HAW; HART; RASHIDI; PASBAKSH, 2020).

Cabe salientar, ainda, que conforme descrito por Mehta e Monteiro (2014), o concreto é um dos materiais de construção mais antigos e que apresenta, ao longo do tempo, variações significativas de suas propriedades. Além disso, sua máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, mas devido ao alto custo do cimento, faz-se a junção de outros materiais na composição do concreto, chamados de agregados, materiais estes que devem ser dosados em quantidade, para que a uma dada resistência e a uma dada consistência esperada do concreto, haja uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/grauído) a fim de minimizar a quantidade de pasta.

A partir desta dosagem, as características do concreto irão depender do seu estado físico. No seu estado fresco, um atributo importante é a trabalhabilidade, responsável por facilitar sua aplicação. Já no estado endurecido, a durabilidade, permeabilidade e, principalmente, a resistência à compressão são suas principais características.

O concreto de cimento Portland com resistência normal é composto macroscopicamente por duas fases distintas: agregado e pasta de cimento hidratada. Quando avança ao nível microscópico é possível identificar uma terceira fase composta pela pasta de cimento hidratada e o encontro das partículas de agregado denominada de zona de transição, ou seja, é a interface

entre a pasta de cimento hidratada e as partículas do agregado cuja espessura varia no intervalo de 10 a 50 μm (PEREIRA NETO e DJANIKIAN, 1995).

3.4 CIMENTO

O cimento é o maior produto manufaturado da Terra em massa, e quando combinado com água e agregados minerais, forma materiais à base de cimento (por exemplo, concreto) (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

O cimento CP II-F-32 é o mais comum utilizado em concretos na região do Tocantins, sua composição possuem a propriedade de ligante hidráulico muito resistente, ou seja, que reagem com a presença de água, desenvolvendo características aglomerantes. A composição química é essencialmente silicatos e aluminossilicatos de cálcio. (ARRUDA, 2013).

Tabela 1 – Limites de composição do cimento Portland

LIMITES DE COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND (PORCENTAGEM DE MASSA)							
Designação normatizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-F	25, 32 ou 40	RS ou BC	75 - 89	0	0	11 - 25

Fonte: NBR 16697(2018). Adaptado pelo Autor.

De forma mais detalhada, o cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico constituído de óxidos (cálcio, silício, ferro e alumínio) que em contato com a água tem a capacidade de endurecer. A norma C 150 (ASTM, 2007) define Cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfatos de cálcio como um produto de adição.

3.5 AGREGADO

O agregado é um dos ingredientes mais importantes na elaboração da dosagem de concreto. Sobretudo porque aproximadamente 70 a 80% do volume do concreto é composto

por agregados, que por terem menor custo que o cimento, permitem a produção de concreto com custo mais baixo por unidade de volume. Além disso, a atuação dos agregados é decisiva em certas propriedades, entre as quais destaca-se: a redução de retração na pasta, o aumento da resistência ao desgaste e a melhora da trabalhabilidade (NEVES, 2009).

Vale salientar, ainda, que a utilização dos agregados se deve ao fato de que quanto maior a quantidade de agregado, menor será a relação água/cimento efetiva, em outros casos, um teor maior de agregado resultaria em menor retração e menor exsudação, possibilitando, portanto, menor dano à aderência entre o agregado e a pasta e menores as variações térmicas devidas ao calor de hidratação do cimento (NEVILLE, 2016). Segundo Neville (2016), a influência do agregado na resistência do concreto não é somente devida a sua resistência mecânica, mas também é significativamente, à sua absorção e às características de aderência. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante fator de resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. Um exemplo a cerca desse conceito é que uma superfície mais áspera como a de partículas britadas, resulta em uma melhor aderência devido ao intertravamento mecânico.

Mas para que o agregado possa ser utilizado na produção de concreto, de forma a beneficiá-lo com as propriedades mencionadas anteriormente, ele deve atender à requisitos de qualidade, que são exigidos na norma ABNT NBR 7211:2009 Versão corrigida 2019. Estes requisitos estão relacionados à recepção e produção do agregado, tais como durabilidade, granulometria e limite máximo de substâncias nocivas. Além disso, a norma relaciona os ensaios especiais que podem ser realizados para determinação de suas propriedades.

Quanto as dimensões, os agregados são classificados em grupos dos miúdos (areias quartzosas), os graúdos (seixo rolado, cascalho, britas) e os agregados pétreos de grandes grãos de 250 mm, entre 76mm e 250mm, conforme estabelecidas especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009) Versão corrigida 2019 e NBR 9935 (ABNT, 2011). Os agregados inorgânicos leves, celular granulado, segundo as especificações brasileiras, encontra-se em dois grupos: o grupo I, os miúdos, quando pelo menos 98% dos grãos passam na peneira de 4,8mm. No grupo II, os graúdos, quando pelo menos 90% dos grãos ficam retidos na peneira de 4,8mm, conforme os limites estabelecidos através da NBR 7213 (ABNT, 2013).

3.6 CONTEXTUALIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO TEMA

A relevância do tema em foco tem sido citada por diversos autores com ardor, que anseiam a resolução da causa.

Recentemente foi publicado um estudo referência realizado por Brasileiro & Matos (2015), que retrata a preocupação quanto à geração dos resíduos provenientes da indústria da construção não somente no Brasil, mas em todo o mundo. De acordo com os autores, os estudos realizados indicaram que o primeiro passo para o adequado gerenciamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) está na obtenção do diagnóstico. O mesmo gerenciamento é citado na Política Nacional de Resíduos Sólidos, se espera que, cada estado da federação adote medidas de reciclagem de (RCD), que vai desde a implantação de usinas de britagem para a produção de agregados reciclados até a implantação de medidas que garantam a sua utilização.

Diversas abordagens são correntemente utilizadas seguindo a linha da Política Nacional de Resíduos Sólidos, mostrando-se eficazes quando aplicadas pelos especialistas. Entretanto, grande parte desses conhecimentos ainda permanece distante da realidade das pequenas comunidades, as quais dispõem de recursos técnicos e financeiros insuficientes. (SOARES, *et al.*, 2002).

Figura 1 - Operários retirando entulho do passeio com auxílio de ferramentas e máquinas.



Fonte: SIENGE, (2019).

Diante da realidade sobre a situação das ações empregadas aos Resíduos da Construção Civil ou do cumprimento das políticas públicas para uma destinação final ambientalmente correta, propõe-se este estudo para subsidiar ações para o gerenciamento e melhor aproveitamento dos resíduos RCC. O intuito deste estudo é, portanto, propor um modelo funcional que contribua para uma gestão adequada de resíduos e que apresente soluções dentro

do contexto que atualmente é vivenciado no município.

Assim, pretende-se realizar estudos que comprovem a adoção do correto gerenciamento dos RCC da capital, uma solução integrada realizando uma ponte entre a engenharia ambiental e engenharia civil e amparada nas devidas normas legais vigentes, de modo a possibilitar o tratamento e aproveitamento correto dos RCC em sua destinação final.

O pressuposto estabelecido para o desenvolvimento da pesquisa é de que os impactos ambientais decorrentes das disposições finais irregulares de Resíduos da Construção Civil na cidade de Palmas, não tem recebido a atenção nem o tratamento adequado por partes dos atores envolvidos nessa problemática, como o Poder Público e a população como um todo. (BARRETO, 2016).

Para facilitar o entendimento, o trabalho foi dividido em etapas, sendo a primeira realizada através de coleta de informações e revisão da literatura em dados secundários, a fim de captar informações relevantes e atualizadas sobre as palavras-chave do tema abordado no projeto. A revisão da literatura é um dos norteadores desta pesquisa e é através dela que pode-se identificar os tipos de resíduos sólidos provenientes da construção civil, sendo esta coletada através de relatos, documentos, artigos e demais informações disponíveis. Na etapa final, pretende-se identificar os processos de reciclagem, bem como elaborar as possíveis soluções para o gerenciamento dos resíduos da construção civil, visando seu melhor aproveitamento e sua destinação final ambientalmente segura.

No desenvolvimento do presente trabalho, foi elaborado um estudo de caráter exploratório, pois o objeto a ser estudado ainda não está claramente definido. O objetivo é buscar um resultado inovador para a ciência e para isso serão utilizados métodos teóricos, apresentados na literatura que já existe sobre o assunto.

Para a temática tornou-se essencial a realização de visitas técnicas na Usina de Reciclagem de Palmas, Tocantins a fim de aprofundar os conhecimentos acerca do tema abordado e conseqüentemente para coletar dados e materiais utilizados para realização do experimento, como parte dos agregados.

3.7 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos são materiais heterogêneos, produzidos pelas diversas atividades humanas na construção civil. Devido à grande escala em que são produzidos diariamente estão sendo considerados um problema ambiental em todo o mundo. Em vista disso, este resíduo tem recebido crescente atenção, tanto de profissionais da indústria como de pesquisadores, desde o

início da década de 80 de acordo com Wang *et al.*, (2010). São considerados indesejáveis e devido à sua natureza inerte não lhes é dada tanta importância, o que acaba por constituir problemas econômicos, estéticos e sanitários. Entretanto, de acordo com Monteiro (2001), eles podem ser parcialmente utilizados como matéria prima para um novo produto ou processo.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de número 307 de 2002, define RCD como resíduos “provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, usualmente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”. Esses resíduos podem ser classificados de acordo com a sua possibilidade de reaproveitamento:

a) Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive materiais provenientes de terraplanagem.
- Resíduos de construção, demolição, reformas de edificação: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- Resíduos de processo de fabricação e/ou de demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidos nos canteiros de obras. (CONAMA, 2002).

b) Classe B – são resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (CONAMA, 2002).

c) Classe C – resíduos ainda sem tecnologia ou aplicações economicamente viáveis para a sua reciclagem ou recuperação; (CONAMA, 2002).

d) Classe D – são resíduos perigosos, utilizados em construção civil, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou que são prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos que possam conter cimento amianto ou outros produtos nocivos à saúde; (CONAMA, 2002).

De acordo com a característica específica dos resíduos da construção civil, observa-se que são possíveis o reaproveitamento e a reciclagem desses resíduos segundo sua natureza, visando a redução dos impactos ambientais causados por eles.

3.8 ATERRO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL / USINAS DE RECICLAGEM

São áreas onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil, Classe “A” diretamente no solo, visando a preservação dos materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los com um menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. (CONAMA, 2002). Outro ponto importante é que somente devem ser aceitos no aterro os resíduos da construção civil e os resíduos inertes que são materiais que possuem característica de não sofrerem qualquer alteração em sua composição com o passar do tempo, NBR 15.113 (2004).

3.9 TRIAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Neste processo os resíduos são previamente triados na fonte geradora ou em áreas de transbordo e triagem ou em áreas de triagem estabelecidas no próprio aterro, de modo que sejam dispostos apenas os resíduos de classe A ou resíduos inertes, NBR 15.113 (2004). A fase da triagem é uma etapa onde é recebido e armazenado de forma temporária os Resíduos da Construção Civil, RCC aguardando o momento da sua eventual reinserção nos processos construtivos como materiais de construção ou seu envio para usinas de reciclagem segundo a NBR 15.114 (2004).

Estas áreas podem ser públicas ou privadas, desde que estejam de acordo com os requisitos definidos pela NBR 15.112 (2004) e os RCC sejam segregados e encaminhados para destinação conforme a classificação 307/2002 do CONAMA, conforme segue:

- a) Resíduos Classe A: devem ser encaminhados para a área de reciclagem de RCC ou aterro de RCC;
- b) Resíduos Classe B: devem ser encaminhados para áreas de reciclagem de acordo com o tipo de resíduo;
- c) Resíduos Classes C e D: devem ser encaminhados para outros tipos de aterros, como os industriais, por exemplo, em conformidade com as características dos resíduos.

A principal finalidade das áreas de transbordo e triagem é possibilitar o recebimento dos Resíduos da Construção Civil que serão posteriormente triados de acordo com as possibilidades de reutilização ou reinserção no processo produtivo. Estas áreas ainda possuem um papel importante na logística da destinação dos RCC, especialmente se elas forem licenciadas para esta finalidade, pois permitem o processamento dos RCC para valorização e aproveitamento,

visto que esta nova organização do material recebido, onde este é inserido no triturador onde passa por processo de transformação de resíduos para agregado miúdo e graúdo. (BARRETO, 2016).

De acordo com o Art. 4 da Resolução 307 do CONAMA, os RCC não podem ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei. Com base na mesma resolução, os RCC de Classe A devem ter sua disposição final exclusivamente em aterro de inertes, sendo que eles devem preferencialmente, ser reciclados, segundo nos explica Barreto (2016).

3.10 ATERROS DE RECEBIMENTO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Barreto os Aterros de RCC são áreas licenciadas que servem para armazenar resíduos que serão reciclados futuramente ou para regularização planialtimétrica de áreas que serão usadas no futuro. Os aterros de RCC têm o objetivo de receber os RCC que não podem ser reciclados imediatamente a fim de prepará-los. As áreas destinadas à construção dos aterros podem ser públicas ou privadas, mas em ambos os casos devem seguir os requisitos definidos pela NBR 15.113 (2004).

Segundo a Resolução 307 do CONAMA de 2002 nos define Aterro de Resíduos da Construção Civil como aterro de inertes, áreas onde são empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil Classe A no solo, visando a preservação de materiais segregados de forma a possibilitar sua futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente (Resolução 307/CONAMA, 2002).

Figura 2 - Material após triagem, separado para o triturador – Usina de Reciclagem de Palmas.



Fonte: do Autor, (2020).

3.11 USINA DE RECICLAGEM DE RCC DO MUNICÍPIO DE PALMAS, TOCANTINS

A usina de reciclagem de resíduos da capital, Usina Ambiental, é uma empresa licenciada pela prefeitura para a destinação dos RCC no município. As empresas que não possuem a licença de descarte para realizar a deposição na usina, realizam essa deposição em locais inapropriados, como terrenos baldios e áreas de bota fora, segundo a empresa.

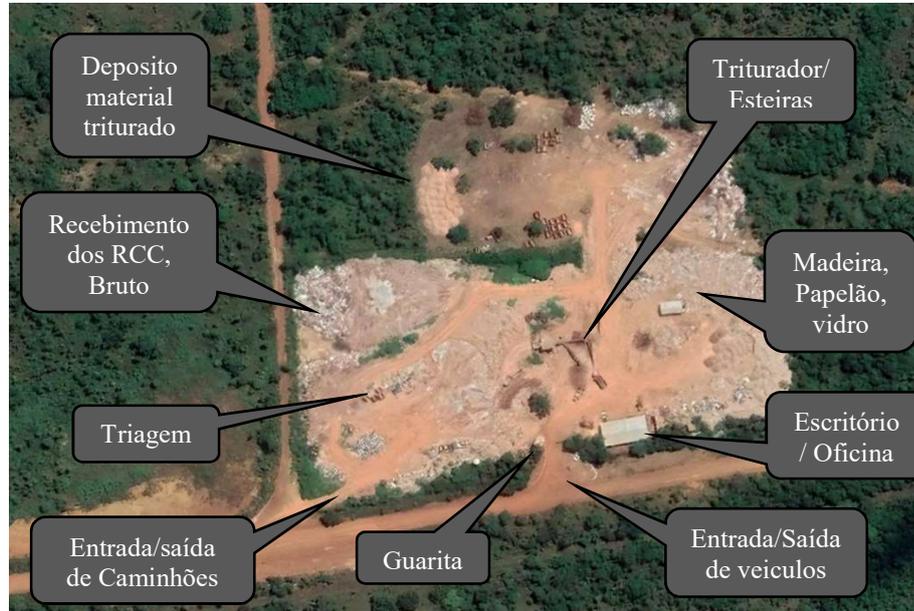
Desta forma observamos a importância de as empresas possuírem licenças necessárias para atuar, pois com elas, os RCC são encaminhados ao local adequado, que realiza a destinação correta para esses resíduos. (TRALDI, 2019).

Em dezembro de 2017 foi inaugurada, em Palmas – TO, a usina de reciclagem de entulhos – RCC, denominada Ambiental com sua área licenciada pela prefeitura para a realização do descarte dos resíduos da construção civil. Para as empresas que possuem a licença, a realização do descarte na usina é cobrada uma taxa de R\$80,00 por caçamba de resíduos e R\$120,00 por caminhão de 12m³ resíduos. As pessoas físicas também podem realizar o descarte do RCC e é cobrada uma taxa de R\$40,00 de entulho levado por pessoa. Já a empresa Ambiental vende os resíduos que são triados e triturados, a granulometria fina e média a empresa vende a R\$100,00 o caminhão carregado com 12m³ desde resíduo, já a granulometria grossa é cobrada R\$60,00 por caçamba de 12m³, conforme nos informa a empresa Ambiental.

A quantidade de funcionários contratados na empresa é de 16 trabalhadores, destes são distribuídos na seguinte forma, 5 funcionários na área de triagem, 3 no britador, 2 no picador, 1 encarregado, 2 operadores da pá carregadeira, 1 operador de trator de esteira e 2 guardas

noturnos. A Empresa Ambiental, informa também que possui as seguintes máquinas e veículos, 02 tratores pá carregadeira, 01 tratores de esteira, 01 caminhão caçamba, 01 retro escavadeira e um Fiat Strada.

Figura 3 – Layout da Usina Reciclagem de RCC Ambiental – Palmas, Tocantins.



Fonte: do Autor, (2022).

Figura 4 - Recebimento dos RCC pelas empresas privadas que atuam no município de Palmas – Usina de Reciclagem de Palmas.



Fonte: do Autor, (2020).

Figura 5- Empilhamento do material – Usina de Reciclagem de Palmas.



Fonte: do Autor, (2021).

A análise feita em loco no pátio de materiais recebidos, permite observar uma nítida ascensão do volume dos resíduos da construção civil que é diariamente recebida pela usina Ambiental de Palmas (Figura 8), Tocantins. Observa-se já manobras na operação a fim de atender as empresas particulares de container e tira-entulho do município.

Figura 6 - Esteira para os resíduos triturados – Usina de Reciclagem de Palmas.



Fonte: do Autor, (2020).

Figura 7 - Máquinas despejando material no triturador – Usina de Reciclagem de Palmas.



Fonte: do Autor, (2020).

3.12 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

É importante salientar que o setor da construção civil é um grande gerador de Resíduos da Construção, já constatado que pode ter até 2 vezes a mais em termos de toneladas que os RSU, e apesar de haver resoluções estabelecidas pelo CONAMA, se faz necessário uma maior intervenção, pois a gestão dos resíduos representa um processo complexo que envolve a criação de uma política de gestão ambiental, a ser realizada a partir do processo reverso de geração, com o intuito de promover uma conscientização no grupo gerador a fim de proporcionar uma gestão eficaz. (LEITE *et al.*, 2018).

3.13 SUSTENTABILIDADE, PROCESSO DE APROVEITAMENTO E RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Uma solução que a cada dia ganha força entre os pesquisadores, é a reciclagem e o reaproveitamento dos RCD e RCC. O aproveitamento dos resíduos da construção civil é viável e contribui para o futuro sustentável do mundo, aproveitar os resíduos na própria obra reduz gastos na compra de novos insumos, reduz o volume de resíduos e contribui para a produção de insumos mais baratos. A sustentabilidade, tão almejada pela sociedade atual, certamente só

será atingida se a construção civil, umas das principais, consumidora de matéria-prima e geradora de resíduos, tornar-se sustentável, a correta gestão dos seus resíduos já é um importante passo para a realização disto. (MATUTI e SANTANA, 2019).

Com a correta gestão dos resíduos, além de proporcionar a redução da exploração de jazidas minerais para extração de recursos naturais não renováveis, há também, a carência de locais para a disposição desses resíduos, fazendo com que as distâncias entre os locais de demolição e as áreas de disposição sejam cada vez maiores, onerando os custos de transporte. (BRASILEIRO *et al.*, 2015).

Os resíduos de construção e demolição são classificados por exceção na ABNT NBR 10004 como inertes. O problema da quantidade de entulho gerada está na sua forma de depósito, em muitas vezes não são destinados a locais corretos, podendo ser causador de diversos problemas sociais e ambientais, os resíduos são aceitos por proprietários de imóveis ou construtores que os empregam como aterro, normalmente sem maiores preocupações com o controle técnico do processo. Esta prática pode levar a problemas futuros nas construções erguidas nestas áreas (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Os resíduos de construção, apresentam grande potencial para sua reutilização, gerando novos materiais ou agregados, também sendo aplicando na composição de materiais já existentes para melhorar sua qualidade, durabilidade ou resistência. A reutilização feita conforme as normas, gera grande benefício ao meio ambiente, diminuindo a quantidade de resíduos que seriam descartados de maneira incorreta que iriam para na natureza ou até mesmo na zona urbana conforme explica Matuti e Santana, (2019).

As implicações do desenvolvimento de tecnologia apropriada à transformação do RCC e outros tipos de resíduos, podem criar um cenário favorável a introdução de resíduos como ativos ambientais. Isso reforça toda a cadeia de reciclagem e reutilização, permitindo que cooperativas e associações de materiais reciclados possam ser fornecedores de matéria-prima. Todavia, o processamento deve ser realizado por uma empresa com conhecimento técnico, capacidade de produção e visão de futuro. O presente estudo desenvolvido permite sonhar com esse cenário.

3.14 BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO

Existem uma grande variedade de modelos de blocos de concreto para determinada utilização na obra e em relação aos materiais empregados para a fabricação dos blocos de

concreto consistem em cimento Portland, agregados e água. As proporções e traços são em função da resistência esperada, conforme explica Pastro *et al.*, (2007).

O modelo do bloco vazado de concreto que será utilizado possui dimensões externas de 14 x 19 x 39 cm (largura x altura x comprimento), com área bruta de 546 cm² e área líquida de aproximadamente 306,63 cm². A produção destina-se aos ensaios desses elementos com adição dos resíduos da construção civil, caracterizando o seu comportamento e comparando suas propriedades mecânicas com as propriedades do concreto que o constitui. (ABCP, 2003).

A produção dos blocos de concreto difere do processo comercialmente utilizado em que o concreto é vibro-prensado, Pastro *et al.*, (2007).

Para a confecção destes blocos é necessário maquinário específico, onde utilizam-se fôrmas metálicas para a produção dos blocos de concreto como principal objetivo assegurar a resistência desejável (diante de um processo de alta qualidade) e a precisão geométrica dos diversos blocos produzidos. (ABCP, 2003).

As características como resistência à compressão, dimensões dos blocos, espessura mínima das paredes estão especificadas na norma brasileira NBR 6136 (2016).

3.15 CONCRETO COM RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Do ponto de vista econômico, a utilização de agregados reciclados de resíduos da construção civil pode conduzir à benéficos significativos, pois reduz os custos com manejo, transporte, destinação e aquisição de matéria prima natural, além de proporcionar ganhos ambientais e economia para a gestão dos municípios. (FILHO; STOROPOLI; DUARTE, 2014).

Silva e Maciel (2014) declaram que o uso dos agregados reciclados traz benefícios tanto para as empresas quanto para as cidades que o empregam, e relatam que o que falta para seu uso ser expandido é a existência de comprovações que sua utilização pode de fato trazer economia, sem abrir mão da qualidade. A maior barreira a ser vencida no país segundo os autores é inserir no mercado um novo material contendo resíduos da construção civil, devido às restrições impostas pelas leis regulamentadoras, pelo fato de ser um produto inexplorado. A pesquisa feita também revelou que há economia ao se empregar os materiais reciclados na construção civil, concluindo que:

A economia obtida no custo dos agregados pode se refletir em ganhos para empresas ou instituições que trabalham com habitações de interesse social, pois os menores custos com os agregados reciclados possibilitarão uma redução no valor do produto final, seja esse produto final uma habitação popular, artefatos de concreto ou até mesmo a produção de agregados reciclados para venda direta ao consumidor (SILVA; MACIEL, 2014, p. 113).

A verificar as pesquisas e estudos realizados na área, pode-se perceber que utilizar o resíduo da construção civil é possível em concretos até mesmo com função estrutural. A qualidade do agregado influencia muito no resultado final: quanto melhor a qualidade, melhor será o resultado obtido. Com isso, percebe-se a importância de o material ser devidamente separado na obra e, posteriormente, na usina recicladora. (SGANDERLA, 2015).

Estudos contemplam a substituição da areia natural por areia artificial de entulhos parcial do agregado. Estes mesmo estudo estabelecem composições e percentuais a para aplicar ao procedimento experimental que são avaliados. Lembrando que posterior a confecção dos corpos de prova realiza-se a caracterização física desses agregados fazendo ensaios da massa unitária, massa específica e composição granulométrica de acordo com as normas vigentes.

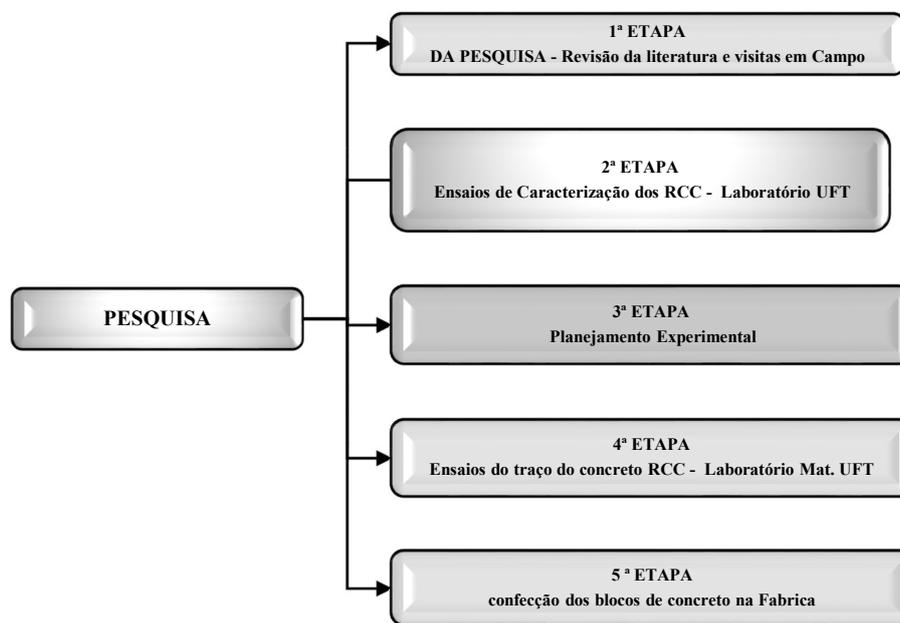
Neste contexto, é importante salientar sobre a criação de normas técnicas que tratam do manejo dos resíduos sólidos de construção e sua utilização como agregados reciclados, além da função de regulamentar, desempenham um importante papel no estímulo à segregação, reciclagem e adequada disposição destes resíduos. Por outro lado, é importante destacar a necessidade de ações que tenham como propósito a redução da geração dos resíduos na fonte, para que em conjunto possam ter uma maior eficiência (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010)

Com relação ao custo para a confecção do concreto reciclado, constatou-se uma economia de 4,80% em comparação ao convencional, revelando-se uma diferença muito pequena que inviabiliza sua utilização em obras de pequeno porte. Entretanto, quando mensurada para uma obra de grande porte, pode representar uma redução significativa no custo final do empreendimento, pois reduz os custos contínuos com bota-fora e com a obtenção de agregados naturais afirmam Crugel Tomaz e Moraes, (2017).

4. METODOLOGIA

O seguinte trabalho é classificado como pesquisa aplicada, cujo o objetivo principal é a geração de conhecimento para aplicação do aproveitamento dos resíduos da construção civil utilizando-o na substituição dos agregados usualmente empregados na confecção de blocos de concreto. A fim de nortear a presente pesquisa foram adotadas cinco etapas de estudo, seguindo as etapas do protocolo apresentadas no fluxograma da figura 8 logo abaixo.

Figura 8 – Fluxograma macro das etapas da pesquisa.



Fonte: do Autor, (2021).

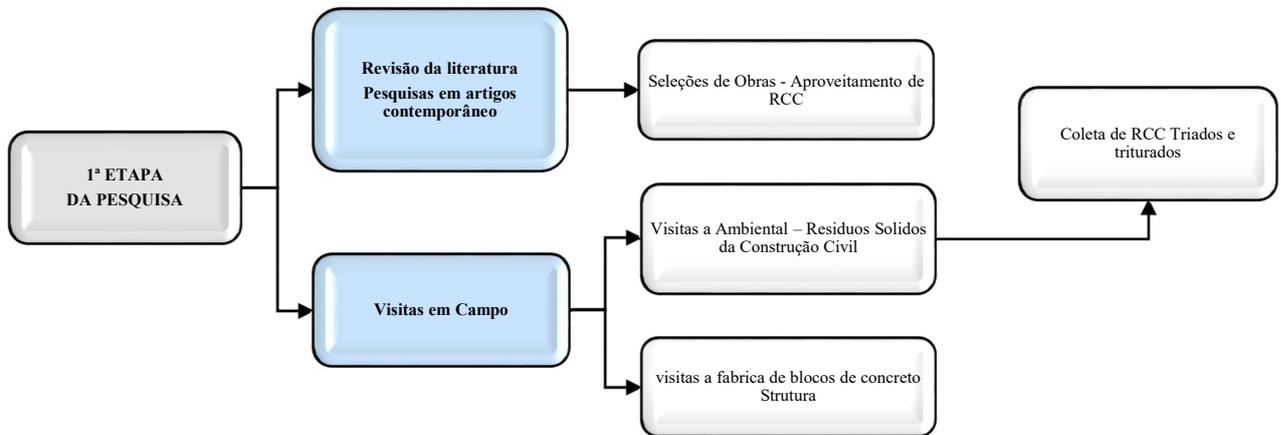
A seguir será especificado cada uma das 5 (cinco) etapas do fluxograma apresentado na Figura 8, com o objetivo de visualizar todo o processo realizado até a chegada dos resultados, a elaboração fora relevante para tomadas de decisão e direção de cada passo seguinte deste trabalho.

4.1 PROCESSAMENTO E REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

Nesta pesquisa foi adotado o método de revisão sistemática com a verificação e busca de trabalhos científicos e artigos onde são consideradas estudos observacionais retrospectivos ou estudos experimentais contemporâneos com o intuito de obter dados e informações atuais e pertinentes com o objetivo de levantar, reunir e avaliar informações necessárias e relevantes

para a realização deste trabalho.

Figura 9 – Fluxograma da primeira etapa da pesquisa.



Fonte: do Autor, (2021).

4.2 VISITAS EM CAMPO

Outra parte da primeira etapa desta pesquisa foi feita através de visitas realizadas a empresa Ambiental - Usina de Reciclagem de Entulhos e Resíduos da Construção Civil a fim de conhecer o material que seria utilizado nos ensaios em laboratório e confecção dos blocos, assim como visitas na fábrica de Blocos de Concreto Strutura a fim de conhecer e entender como seriam confeccionados os blocos de concreto e planejamento para a confecção dos mesmos.

4.3 PROCESSO DE RETIRADA DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA APLICAÇÃO NESTA PESQUISA

Os resíduos usados nesta pesquisa foram doados pela empresa Ambiental, Usina de Reciclagem de Entulhos – RCC (Figura 10). Toda retirada de material foi orientada e acompanhada pelos funcionários da empresa. O RCC utilizado passa por seleção e separação dos resíduos, que após as etapas de triagem, separação e trituração (Figura 11) o material da pesquisa foi retirado conforme (Figura 11).

Figura 10 - Empresa doadora do RCC



Fonte: Autor, (2021)

Figura 11 - Triagem do RCC



Fonte: Autor, (2021)

Figura 12- Material após triagem – Coleta para as primeiras pesquisas.



Fonte: Autor, (2021)

A Característica do primeiro material retirado na usina conforme etapas de triagem, apresenta uma mistura de uma série de materiais tais como, restos de alvenaria, massa de reboco e levante, cerâmica, porcelanato, concreto, telhas e gesso. Foram utilizados baldes e uma colher de pedreiro para retirar as primeiras amostras, que foi constatado que não seria adequado a utilização desta granulometria a partir das próximas visitas realizadas na Fábrica de Blocos. A fim de realizar os primeiros experimentos e ensaios no Laboratório, necessitou passar todo o material coletado pela peneira #4,8mm no Laboratório de Materiais e Estruturas da Construção Civil da UFT em Palmas, Tocantins.

Já na segunda visita a empresa Ambiental, foi informado pelos funcionários que na usina haviam três granulometrias distintas separadas por esteira de acordo com a abertura de cada triturador, seriam essas; esteira de material grosso, esteira de material médio (que foi o material coletado na primeira visita) e esteira de material fino. Na esteira onde apresenta um material de característica e granulometria menor, chamado de esteira de material fino, foi adotada para a retirada das demais amostras apresentadas neste trabalho conforme indicada na figura 13.

Figura 13- Material fino triturado para confecção das peças



Fonte: Autor, (2021)

4.4 VISITA NA FABRICA DE BLOCOS STRUTURA

Houve diversas tentativas e visitas em outras fábricas de blocos de concreto na cidade de Palmas, fábricas de grande e médio porte, mas não foi acatado a solicitação para o presente trabalho. A Fábrica de blocos Strutura atendeu à solicitação e abriu suas portas para atender a este trabalho com o auxílio do maquinário, necessário, pátio de cura, mão de obra e material (agregados utilizados na fábrica) para a confecção dos blocos.

A fábrica de blocos de concreto “Strutura”, é uma empresa que atua na área da construção civil na fabricação de blocos estruturais, blocos de alvenaria, canaletas e intertravados, a fábrica está localizada na quadra 212 Norte, em Palmas, Tocantins. A confecção dos blocos nesta fabrica foi aceito devido a característica da máquina prensa utilizada, com este modelo é possível a realização de pequenos lotes.

Figura 14 e figura 15– Materiais usualmente utilizados na fábrica Strutura para a confecção do bloco de concreto, os agregados são pedriscos (pó de seixo) e areia.



Pedrisco, Fonte: Do Autor (2020).



Areia, Fonte: Do Autor (2020).

Figura 16 e Figura 17 – Pátio de cura e armazenamento dos blocos de alvenaria estrutural.



Fonte: Do Autor (2020).



Fonte: Do Autor (2020).

Na Figura 18, nos mostra o equipamento de prensa utilizados na fábrica Strutura para a confecção do bloco de alvenaria estrutural.

Figura 18 – Equipamento de prensa para confecção de bloco de concreto



Fonte: Do Autor (2020).

4.5 ENSAIOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS - RCC

Para um melhor aproveitamento do RCC foram realizados ensaios no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFT a fim de conhecer melhor as características do novo agregado a ser utilizado na substituição dos agregados usados convencionalmente, com o intuito de manter a qualidade na confecção dos blocos. Para isso foram realizados diversos ensaios de caracterização do RCC utilizado nesta pesquisa, sendo estes apresentados na Tabela 1 junto

com suas respectivas normas.

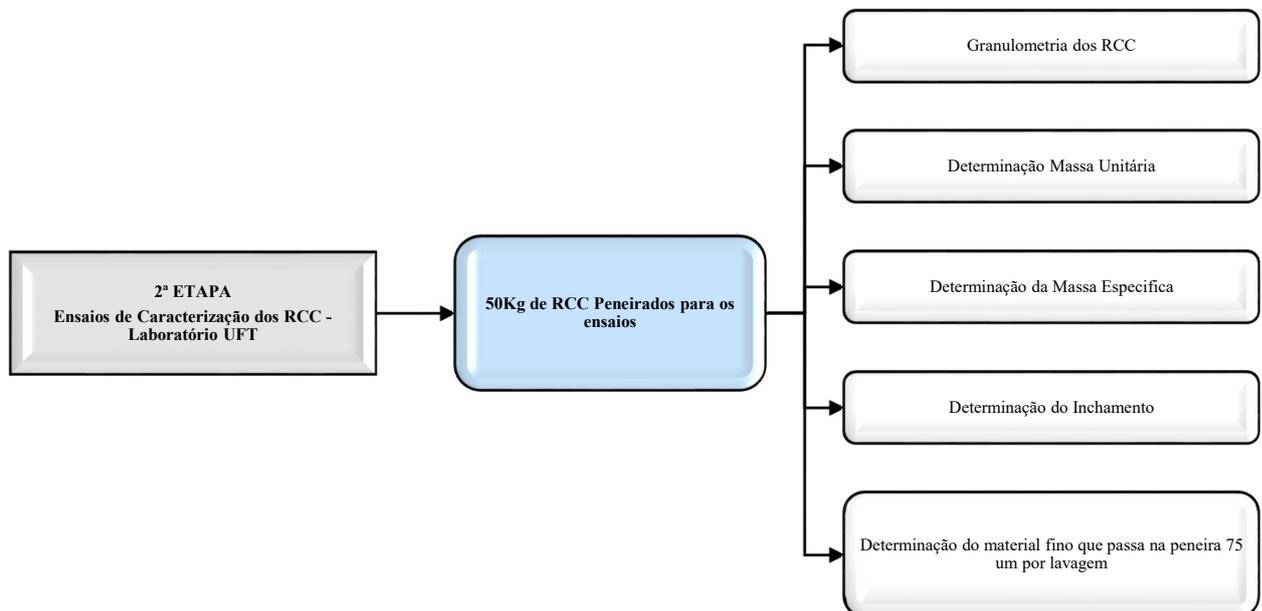
Tabela 2 – Ensaios de caracterização realizados no RCC

ENSAIO	NORMA
Determinação Granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Determinação da Massa Unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)
Determinação da Massa Específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Determinação do Inchamento	NBR 6467 (ABNT, 2009)
Determinação do material fino que passa na peneira 75 μ m por lavagem	NBR 16973 (ABNT, 2021)

Fonte: Autor, (2021).

Todos os ensaios apresentados na Tabela 1 foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Federal do Tocantins – UFT conforme o fluxograma da segunda etapa desta pesquisa.

Figura 19 – Fluxograma da segunda etapa da pesquisa.



Fonte: do Autor, (2021).

4.1 DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA

A NBR NM 248 (2003), nos direcionou com o ensaio realizado para a determinação da

granulometria dos agregados miúdos característicos do RCC que foram empregados no bloco de concreto a fim de conhecer-se as dimensões das partículas do agregado que foram utilizados para a confecção do mesmo.

Para iniciar este ensaio primeiramente se faz necessário secar as amostras do material em estufa, este procedimento é amparado pela norma NM 248 (2003) onde apresentam-se as definições necessárias, tais como a série de peneiras com diferentes aberturas de malha que foram utilizados para realizar o peneiramento do agregado, e as especificações para calcular o material retido em cada peneira.

4.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

Para conhecer-se o volume aparente do agregado foi realizada a determinação da massa unitária, que nada mais é do que a relação entre a sua massa e volume. Neste procedimento, consideram-se também os vazios entre os grãos, conforme explica Guerra (2010).

Para a realização dos ensaios, a NBR 16972 (2021) orienta que deve ser utilizada amostra do material seco em estufa. Inicialmente, a amostra deve ser colocada em um recipiente de forma cilíndrica, em três camadas e aplicando-se 25 golpes em cada camada a fim de adensar o agregado. Este procedimento foi realizado até encher todo o recipiente, sendo o excedente nivelado com o auxílio de uma haste.

4.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Para a realização da determinação da massa específica seguiu-se o procedimento descrito na NBR NM 52 (2009). Primeiramente, coloca-se uma amostra do agregado de RCC em um recipiente. Em seguida, deve-se acrescentar água até cobri-lo e deixar repousar por 24 horas. Após este procedimento, retirou-se a água, e o agregado foi colocado sobre uma superfície plana, para realização da secagem sob corrente de ar. Para tanto, foi utilizado um secador e a amostra foi homogeneizada continuamente a fim de que a secagem ocorresse por igual em todo o material. Quando o material apresentava aparência de superfície seca, moldava-se um molde cilíndrico e retirava-se o molde, repetindo o procedimento até que, com a retirada do molde, o agregado desmoronou, ponto este em que o material passou a apresentar a umidade ideal recomendada na norma.

4.4 DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO

O fenômeno referente à variação do volume aparente da amostra do material tem o nome de inchamento do agregado miúdo, este acontecimento é dado pela absorção de água pelos grãos do agregado e como isso altera sua massa unitária. (CONTECH, 2021).

A amostra foi previamente seca em estufa e em seguida colocada sobre uma bandeja. Em seguida, acrescentou-se água aos poucos em teores de umidade estimados segundo a norma, e realizou-se a homogeneização da amostra a cada acréscimo de água, conforme determina a ABNT NBR 6467 (2009). Durante cada etapa de adição de água, realizou-se ainda o ensaio de massa unitária com o agregado e, em seguida, retirou-se parte da amostra que era colocada em cápsulas, para posterior cálculo de teor de umidade em cada adição. Com estes dados foi possível realizar a determinação do inchamento do agregado.

4.5 DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO QUE PASSA NA PENEIRA 75 μm POR LAVAGEM

Este ensaio é embasado pela ABNT NBR 16973 (2021), que orienta sobre a quantidade de materiais mais finos que a abertura de malha da peneira 75 μm presente nos agregados, a fim de verificar-se o teor os materiais pulverulentos.

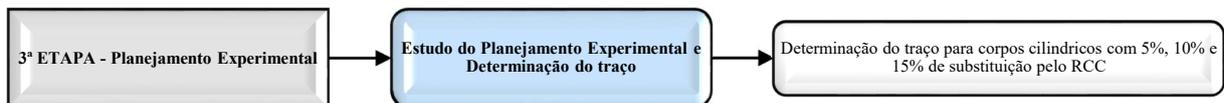
Para início deste procedimento foi necessário secar a amostra do agregado em estufa por 24 horas. Em seguida, após o esfriamento da amostra, foi aferida sua massa seca. Após isso, o recipiente foi colocado em um fluxo contínuo de água, com o intuito de lavar toda a amostra, para que todos os materiais em suspensão fossem retirados, sendo a água da lavagem vertida sobre a peneira 75 μm . Este procedimento é realizado até a água ficar límpida, similar a água da torneira. Por fim, o material foi levado para secagem em estufa. Após o período de secagem, registrou-se a massa seca das amostras e foi realizada determinação do teor de material fino, conforme instruções da ABNT NBR 16973 (2021).

Figura 20- Material fino passando pelo processo de lavagem até que a água fique limpa.



Fonte: Autor, (2021)

Figura 21 – Fluxograma da terceira etapa da pesquisa.

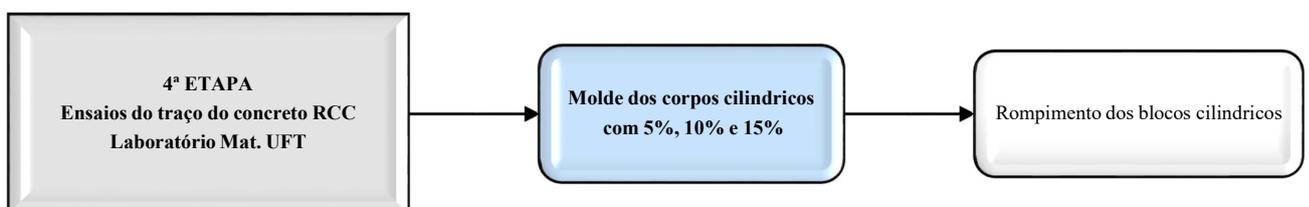


Fonte: do Autor, (2021).

4.6 ENSAIO DO TRAÇO DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO POR RCC – LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS DA UFT.

Um importante passo desta pesquisa foi a realização da 4ª etapa do fluxograma, trata-se de uma pesquisa experimental do primeiro traço e moldes dos corpos de prova cilíndricos realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFT, Universidade Federal do Tocantins, com o intuito de conhecer o processo e alcançar resultados satisfatórios, adquirindo experiência e segurança para avançar para a próxima etapa que é a confecção dos blocos na fábrica.

Figura 22 – Fluxograma da Quarta etapa da pesquisa.



Fonte: do Autor, (2021).

O traço utilizado nesta pesquisa foi direcionado por trabalhos acadêmicos o traço unitário de 1 : 2,5 : 3, é apresentado na Tabela 3 e proporcionalmente separado por materiais

na Tabela 4 conforme foi rodado na betoneira em Laboratório.

Tabela 3 - Traço obtido por meio de seleções de trabalho acadêmico utilizado na pesquisa para confecção dos blocos cilíndricos.

Material	Traço Unitário
Cimento	1
Areia	2,5
Pó de Seixo	3

Fonte: adaptado pelo Autor, (2020).

Tabela 4 - Traço obtido por meio de seleções de trabalho acadêmico utilizado na pesquisa para confecção dos blocos cilíndricos.

	Bloco Referência	Bloco A5%	Bloco B10%	Bloco C20%
AGREGADOS	Resíduos 0% (Kg)	Resíduos 5% (Kg)	Resíduos 10% (Kg)	Resíduos 20% (Kg)
Areia (Kg)	9,113	8,618	8,370	8,123
Pedrisco (Kg)	10,575	10,080	9,833	9,585
Resíduos (Kg)	0,000	0,990	1,485	1,980
Total (Kg)	22,238	22,238	22,238	22,238
Água (L)	2355ml			
Cimento (Kg)	2,550			

Fonte: do Autor, (2020).

Para a verificação da influência da substituição parcial do agregado por resíduos da construção civil nas características do traço foram realizados os primeiros moldes de concreto embasadas pelas normas descritas na tabela 5.

Tabela 5 – Ensaios de moldagem e compressão de corpos de prova

ENSAIO	NORMA
Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.	NBR 5738/2016
Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.	NBR 5739/2018

Fonte: Autor, (2021).

4.7 Materiais para realização do ensaio de corpos-de-prova cilíndricos.

Na realização deste ensaio foram necessários à utilização de moldes com dimensões normatizados. Conforme a norma 5738 (2016) os moldes devem ser cilíndricos e ter altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm, a depender do tipo de concreto e da dimensão dos agregados utilizados. Para concretos convencionais ou compostos por agregados com dimensão máxima característica igual a 25 mm, pode-se utilizar os moldes com dimensões de 10 cm de diâmetro de 20 cm de altura.

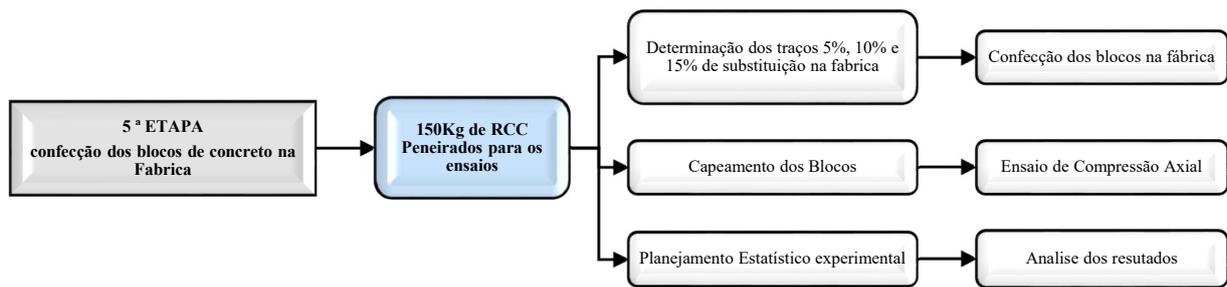
Tabela 6 – Índice de porcentagem de RCC a serem substituídos pelos agregados na confecção dos Corpos de Provas Cilíndrico.

CORPOS DE PROVA CILINDRICO		
Índice de Resíduos	Utilização dos RCC na confecção dos corpos de prova	Quantidade de CPs para ensaio à Compressão (28 dias)
CP0 - Referencia	Bloco Convencional sem adição de Resíduos	5 Unidades de CPs
CP5 - 5% de substituição	5% RCC	5 Unidades de CPs
CP10 - 10% de substituição	10% RCC	5 Unidades de CPs
CP15 - 15% de substituição	15% RCC	5 Unidades de CPs

Fonte: Do Autor (2020.)

Durante esse procedimento foi analisado em relação a vedação das juntas das formas dos moldes, logo a seguir é montado e cada molde deve ser untados internamente com uma camada fina de óleo mineral. Foi realizado o registro da data e hora de acordo com a NBR 5738 (2016). Outro registro dos moldes é em relação ao traço utilizado de acordo com a adição de RCC de cada lote.

Figura 23 – Fluxograma da Quinta etapa da pesquisa.



Fonte: do Autor, (2021).

4.8 TRAÇO UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO NA FABRICA STRUTURA

Para a confecção dos blocos foram adotados os mesmos equipamentos, agregados e técnicas já utilizadas na fábrica Strutura de Palmas, o diferencial será a produção desses blocos com a substituição dos agregados convencionais por RCC.

O propósito destes ensaios foi de conhecermos o comportamento de cada lote, bem como a sua resistência de acordo com a proporção de novos agregados inseridos no processo de fabricação dos blocos de concreto.

O traço utilizado nesta pesquisa foi fornecido pela empresa de blocos que cedeu seu espaço para realização da pesquisa, o traço unitário de 1:2:3 é apresentado na Tabela 6.

Tabela 7 - Traço da Empresa Strutura utilizado na pesquisa

Material	Traço Unitário
Cimento	1
Areia	2
Pó de Seixo	3

Fonte: Strutura de Palmas, (2021).

Para a realização desta etapa é fundamental os estudos em laboratório a fim de conhecer o peso específico e proporção de acordo com o volume de cada material utilizado na confecção do traço, logo foram observados os seguintes quantitativos conforme Tabela 7 abaixo a fim de dosar o traço em fábrica. Foram dosados diferentes traços, em um total de 4 (quatro) traços de concreto empregando o resíduo da construção civil.

Tabela 8 – Distribuição do traço utilizado

	Bloco Referência	Bloco A5%	Bloco B10%	Bloco C15%
AGREGADOS	Resíduos 0% (Kg)	Resíduos 5% (Kg)	Resíduos 10% (Kg)	Resíduos 15% (Kg)
Areia (Kg)	168,75	160,31	151,88	143,44
Pedrisco (Kg)	117,50	111,63	105,75	99,88
Resíduos (Kg)	0,00	14,31	28,63	42,94
Total (Kg)	286,25	286,25	286,25	286,25
Água (L)	25			
Cimento (Kg)	25			

Fonte: do Autor, (2021).

Outro ponto importante é realização da substituição de acordo com a porcentagem de resíduos da construção civil incorporada a cada traço, para a realização bem-sucedida foram orientados pela tabela, pois foi observada a quantidade relacionada em areia e pedrisco retirada de cada traço estes sendo substituída pelos RCC.

Para a realização dos ensaios em relação a carga de ruptura e área de seção bruta do bloco de concreto quando submetido ao ensaio de resistência à compressão axial foi adotado a norma NBR 12118 de 2013.

Tabela 9 – Peso específico do agregado retirado na substituição do RCC

A RETIRAR	Resíduos 5% (Kg)	Resíduos 10% (Kg)	Resíduos 15% (Kg)
Areia (Kg)	8,44	16,88	25,31
Pedrisco (Kg)	5,88	11,75	17,63
Total Material Retirado (Kg)	14,31	28,63	42,94

Fonte: do Autor, (2021).

4.9 CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO NA FABRICA STRUTURA

Para a confecção dos blocos de concreto na fábrica Strutura, foi adotado os mesmos agregados, areia e pó de seixo utilizado na fábrica, porem a empresa solicitou que realizasse a aquisição do cimento Portland com a devida quantidade necessário para a confecção de todos os blocos. Outro ponto é que arcasse com a despesa de hora-extra da mão de obra dos funcionários que compôs a equipe para a confecção dos blocos com a adição de resíduos da construção civil, já que o trabalho fora realizado fora do horário normal de funcionamento para não atrapalhar as atividades da fábrica.

Para a confecção dos blocos foram adotados os mesmos critérios, técnicas e materiais utilizados na fabricação pela empresa Strutura de Palmas, o diferencial será a produção desses blocos de concreto com substituição de parte dos agregados normalmente utilizados por resíduos da construção civil.

Antes de levar os resíduos para a fábrica para a utilização, estes passaram pelo processo de trituração na Usina de reciclagem de Palmas - Ambiental, já o peneiramento em peneira #4,8mm e pesagem em quantidades 10Kg e 20Kg fora realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFT, com o intuito de facilitar a dosagem na fábrica.

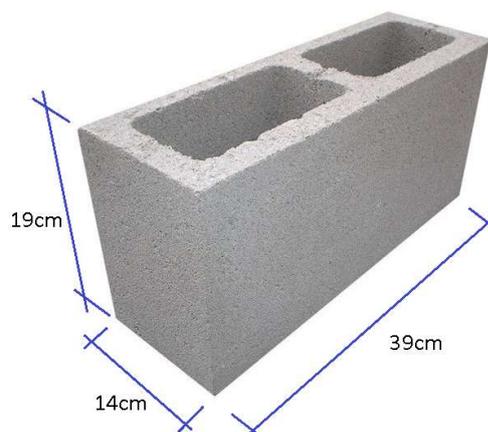
Figura 24 – Confecção dos blocos com RCC e cura no pátio da fábrica.



Fonte: Autor, (2021)

Apesar de utilizar todas as ferramentas e maquinários da fábrica Strutura a produção dos blocos de concreto difere do processo comercialmente utilizado, já que este tem parte dos agregados modificados. Quanto as dimensões foram adotadas as medidas padrão de 14 x 19 x 39, conforme figura abaixo.

Figura 25 – Dimensões dos blocos confeccionados na fábrica.



Fonte: Autor, (2021)

4.10 CAPEAMENTO DOS BLOCOS DE CONCRETO

Para Fortes (2012), quando se fala de ensaios de resistência a compressão axial o capeamento tem influência significativa nos resultados finais dos corpos de prova do que em blocos que não tiveram nenhum tratamento em relação ao capeamento.

Osama & Ameen (2003), informa que o capeamento com cimento é um dos métodos mais utilizados na prática quando se trata de realização de ensaios de resistência a compressão para blocos vazados de concreto, o mesmo explica que variando as espessuras das paredes dos blocos de concreto e o tipo de capeamento interfere em um resultado mais satisfatório.

Foram realizados os capeamentos nos blocos utilizando um molde com folga de 0,5cm de cada lado, a argamassa foi adicionada no molde e logo em seguida foi assentado o bloco de concreto na argamassa. Para realização do capeamento da outra face é necessário mínimo de 24 horas para realizar o capeamento da outra face.

Figura 26 – Blocos de concreto em processo de capeamento das faces.



Fonte: do Autor, (2021).

Figura 27 – Blocos de concreto com capeamento finalizado.



Fonte: do Autor, (2021).

4.11 PLANEJAMENTO FATORIAL DE DUAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES EM DOIS NÍVEIS DISTINTOS: A PARTIR DO DELINEAMENTO CENTRAL COMPOSTO ROTACIONADO (DCCR).

A metodologia empregada foi o Delineamento Central Composto Rotacionado (DCCR). Essa metodologia emprega níveis codificados para estabelecer uma correlação entre os limites estáticos e a quantidade de produto a ser misturado na formação de um traço.

Na literatura, percebe-se que esse tipo de experimento leva um delineamento experimental conhecido como 2^3 . Todavia, em função da experiência adquirida em função da metodologia “*one-at-a-time*”, os esforços foram canalizados para o emprego de uma metodologia mais eficiente e robusta na análise dos dados. Para essa análise foi empregado o delineamento do tipo DCCR.

4.7.1 Planejamento experimental utilizando a metodologia de superfície de respostas.

Estes procedimentos consistem em uma série de técnicas estatísticas e matemáticas utilizáveis para desenvolvimento, melhoria e otimização de processos. Além disso tem aplicações importantes em planejamentos, desenvolvimento e formulação de novos produtos bem como a melhoria dos projetos e produtos existentes, isto porque entram várias variáveis que potencialmente influencia em algumas medidas de desempenho ou na qualidade de um produto ou processo. (COMPARINI *et al.*, 2009).

Nessa abordagem é possível ter acesso a um modelo parametrizado de interação das variáveis e a sua influência, robustez estatística e superfícies de resposta otimizadas, a análise estatística foi realizada por meio do software online “*Protimiza Experimental Design*”. Neste

planejamento experimental foi tratado os dados e utilizando-os juntamente com a metodologia de superfície de respostas consiste em um modelo preditivo elaborado pelo software conhecido também como “DoE”, no qual foram definidas as variáveis independentes: adição dos resíduos de RCC e tempo de cura.

Os experimentos fatoriais completos de três níveis e experimentos compostos centrais são os experimentos de otimização mais usados porque permitem a modelagem da superfície de resposta complexa conforme Rodrigues e Iemma (2014).

As condições experimentais e seus níveis reais e codificados e os valores mínimos e máximos das variáveis são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Níveis das variáveis empregadas no planejamento experimental, com ponto central ou Delineamento Composto de Faces Centradas na substituição dos Resíduos convencionais por Resíduos da Construção Civil.

Nome da Variável	Código	Nível		
		-1	0	+1
Substituição dos agregados por RCC	X ¹	5	10	15
Pó de Seixo	X ²	7	17	28

Fonte: Promitiza Experimental Design adaptado pelo Autor, (2022).

A tabela 9 mostra como os dados de entrada do aplicativo foram colocadas, o tipo de planejamento depende de principalmente do número de variáveis, visto que o estudo do seu limite inferior -1 (valor mínimo utilizado no programa) que é de 5% de substituição dos agregados usualmente utilizados por resíduos da construção civil, limite superior +1 (limite máximo utilizado) será o limite deste estudo para a substituição dos agregados por resíduos e o ponto central 0 que é o mesmo que o ponto médio. Posteriormente foram preenchidos com os dados obtidos nos resultados da primeira fase desse estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram discutidos tendo como interesse a estimativa de cenários em que as composições dos blocos formulados a partir dos traços desenvolvidos possam estar alinhadas aos objetivos norteadores do trabalho.

5.1 A TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS EM MATÉRIA PRIMA E SUAS CARACTERÍSTICAS

5.1.1 Ensaio de caracterização do RCC

Nos tópicos seguintes são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização realizados com o RCC, sendo estes: a composição granulométrica, determinação do inchamento, determinação da absorção de água em agregado miúdo, determinação da massa unitária, determinação do material fino que passa na peneira 75 μ m e determinação da massa específica do RCC.

5.1.2 Ensaio para Análise Granulométrica do RCC

Nesta etapa do trabalho foi realizado o ensaio para a Determinação Granulométrica do Solo e da Massa Específica do RCC, realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Federal do Tocantins. O ensaio foi realizado de acordo com as especificações da NBR NM 248/2003, sendo utilizadas as peneiras de série normal. Primeiramente foi utilizada uma peneira para separar os resíduos que são dispensáveis para a análise realizadas em laboratório e também deliberando limites para a que o material reciclado de granulados graúdos obtenham um tamanho específico, conforme a dimensão desta que é de #4,8mm de espessura.

As Figuras 28 e 29 apresentam a execução do ensaio de granulometria.

Figura 28 - Conjunto de peneiras para determinar granulometria do RCC



Fonte: do Autor, (2020).

Figura 29- Peneiramento e pesagem do RCC para a realização do ensaio da granulometria.





Fonte: do Autor, (2020).

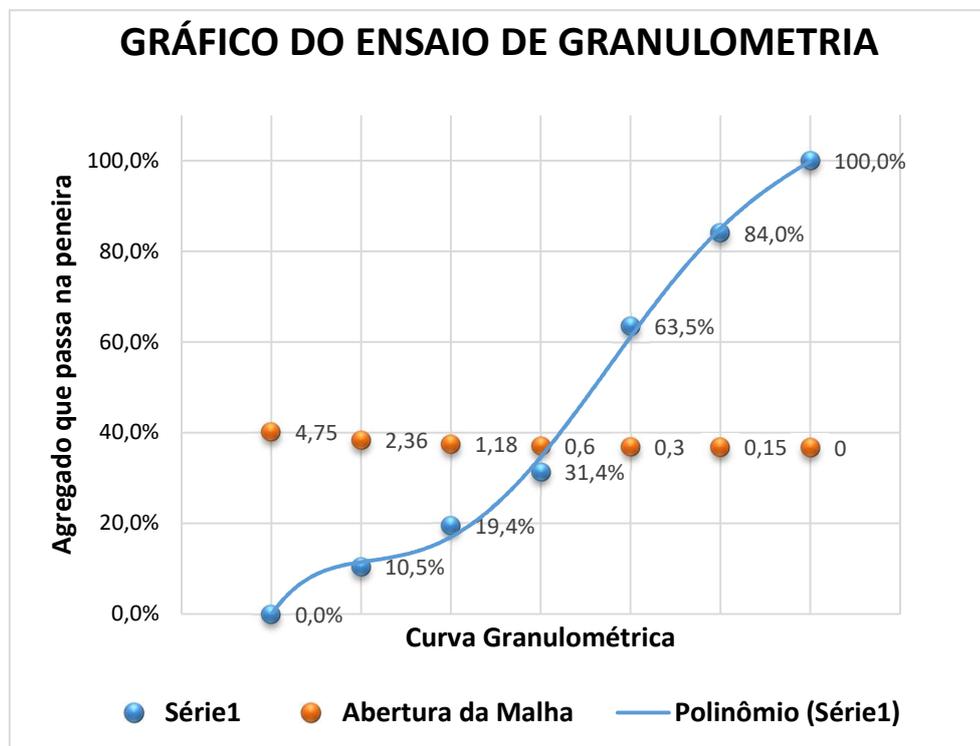
A Tabela 11 apresenta o resultado do ensaio de composição granulométrica do RCC e o Gráfico 1 apresenta a curva granulométrica do RCC. Por meio da análise dos dados obtidos, de acordo com a NBR 7211 (2019), o RCC pode ser considerado como um agregado fino (Conforme Tabela 11).

Tabela 11 - Resultados da Granulometria de RCC

GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO - NBR NM 248 / 2003											
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (g) = 500,0				(Vr) Massa retida Variações ± 4 %	(Mrm) Massa retida Média (%)	(Mra) Massa retida Acumulada (%)	Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	b) massa inicial seca (g) = 500,0							Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Mr - Massa retida (g)		Mr - Massa retida (%)					Zona Utilizada	Zona Ótima	Zona Utilizada	Zona Ótima
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b							
4,75	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0	0	5	10	
2,36	49,6	55,3	9,9%	11,1%	1,2%	10,5%	0	10	20	25	
1,18	42,6	46,7	8,5%	9,3%	0,8%	8,9%	5	20	30	50	
0,6	59,9	60,1	12,0%	12,0%	0,1%	12,0%	15	35	55	70	
0,3	162,5	159,1	32,5%	31,8%	0,6%	32,1%	50	65	85	95	
0,15	102,7	102,1	20,5%	20,4%	0,1%	20,5%	85	90	95	100	
Fundo (Mt)	83,4	76,6	16,7%	15,3%	1,3%	16,0%	100	100	100	100	
Total S	500,7	499,9	Módulo de Finura = 2,09				Diâmetro máximo= 4,8				

Fonte: do Autor, (2021).

Gráfico 1 – Curva granulométrica do RCC



Fonte: do Autor, (2021).

Tabela 12 -ABNT NBR 7211, (2019). – Módulos de Finura

Caracterização	Módulo de Finura	Zona	Módulo de Finura
Muito Grossa	>3,9	Utilizável inferior	1,55 < MF < 2,2
Grossas	3,3 < MF > 3,9	Ótima	2,2 < MF < 2,9
Médias	2,4 < MF > 3,3	Utilizável superior	2,9 < MF < 3,5
Finas	< 2,4		

Fonte: ABNT NBR 7211, (2019).

5.1.2 Determinação do inchamento do RCC

Inchamento é o fenômeno relativo à variação do volume aparente, provocado pela absorção de água livre pelos grãos de agregado, que altera sua massa unitária. O ensaio foi realizado de acordo com os procedimentos especificados na norma ABNT NBR 6467:2006

Versão corrigida 2: 2009. Considera-se o resultado deste ensaio de grande relevância, pois a variação de volume do agregado utilizado no concreto em condições acima do esperado, pode ocasionar manifestações patológicas indesejáveis no bloco.

Primeiramente, o RCC foi seco em estufa e, em seguida, colocado em um recipiente, onde acrescentou-se água em quantidades sucessivas, a fim de obter teores de umidade próximos dos seguintes: 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%. A cada adição de água, realizou-se a homogeneização cuidadosa do material e retirou-se uma porção da amostra para determinação de sua massa unitária. Por fim, calculou-se o teor de umidade do RCC para cada uma das cápsulas, e o resultado obtido está apresentado na Tabela 5 a seguir. O Gráfico x ilustra o desenvolvimento do teor de umidade do RCC a cada adição de água.

5.1.3. Determinação da absorção de água

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR NM 30:2000. O cálculo desta propriedade tornou-se necessário, pois a absorção de água do RCC utilizado como agregado pode influenciar diretamente a trabalhabilidade do concreto.

Inicialmente, o RCC foi colocado em um recipiente, onde foi coberto por água e mantido em repouso por um período de 24h, conforme Figura 30. Após este período, ele foi retirado da água (Figura 31).

Figura 30 - Realização do ensaio de absorção de água do RCC.



Fonte: do Autor, (2021).

Figura 31 - Ensaio de Absorção passo a passo



Fonte: do Autor, (2021).

Em seguida, foi realizada a secagem do material utilizando uma corrente de ar artificial por meio de um secador de vapor quente, realizando pausas regulares para homogeneizar o material. Este procedimento foi realizado em ciclos até atingida a aparência de material seco. A cada ciclo de secagem, realizou-se o ensaio de massa específica, até que ao moldar o cone, o material desmoronasse com sua retirada, conforme orientações da NBR NM 52 (2009).

Figura 32 - Ensaio de Absorção de Água – procedimento para moldar o cone.



Fonte: do Autor, (2021).

Figura 33 - Determinação do ponto de saturação com superfície seca



Fonte: do Autor, (2021).

Figura 34 - Determinação do ponto de saturação com superfície seca, neste caso o molde está seco ao ponto de desmoldonar.



Fonte: do Autor, (2021).

O procedimento apresentado nas Figuras 32, 33 e 34 é executado para encontrar o ponto de "material saturado com a superfície seca", foi coletado o material assim que o corpo de prova não conseguiu mais firmar igualmente a aparência do cone após retirar seu molde. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para o RCC utilizado neste ensaio.

Figura 35 – Determinação do inchamento do agregado miúdo



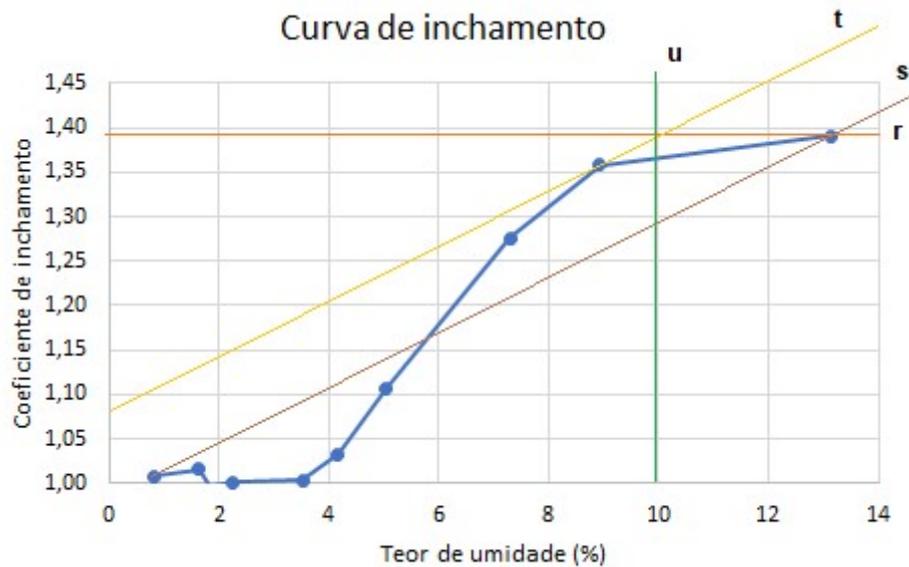
Fonte: do Autor, (2022).

Tabela 13 - Resultados do ensaio de inchamento

Determinação do Inchamento dos Resíduos da Construção Civil										
Umidade (%)	Água a adicionar (g)	Água a adicionar por etapa (g)	Massa do recipiente (g)	Massa do recipiente + amostra (g)	Massa da amostra (g)	Volume do recipiente (cm ³)	Massa unitária por etapa (g/cm ³)	Massa unitária a seco (g/cm ³)	Teor de umidade (%)	Coefficiente de inchamento
0%	0	0	821,4	1377,4	556	402,12	1,38	1,38	0,806452	1,01
0,50%	10	10	821,4	1377,6	556,2	402,12	1,38	1,38	1,626016	1,02
1%	20	10	821,4	1388,5	567,1	402,12	1,41	1,38	1,832994	1,00
2%	40	20	821,4	1389,1	567,7	402,12	1,41	1,38	2,249489	1,00
3%	60	20	821,4	1395,1	573,7	402,12	1,43	1,38	3,519669	1,00
4%	80	20	821,4	1382,2	560,8	402,12	1,39	1,38	4,166667	1,03
5%	100	20	821,4	1349,1	527,7	402,12	1,31	1,38	5,042017	1,11
7%	140	40	821,4	1289	467,6	402,12	1,16	1,38	7,296137	1,28
9%	180	40	821,4	1267,4	446	402,12	1,11	1,38	8,932462	1,36
12%	240	60	821,4	1273,6	452,2	402,12	1,12	1,38	13,12217	1,39

Fonte: do Autor, (2022).

Gráfico 2 – Curva de Inchamento



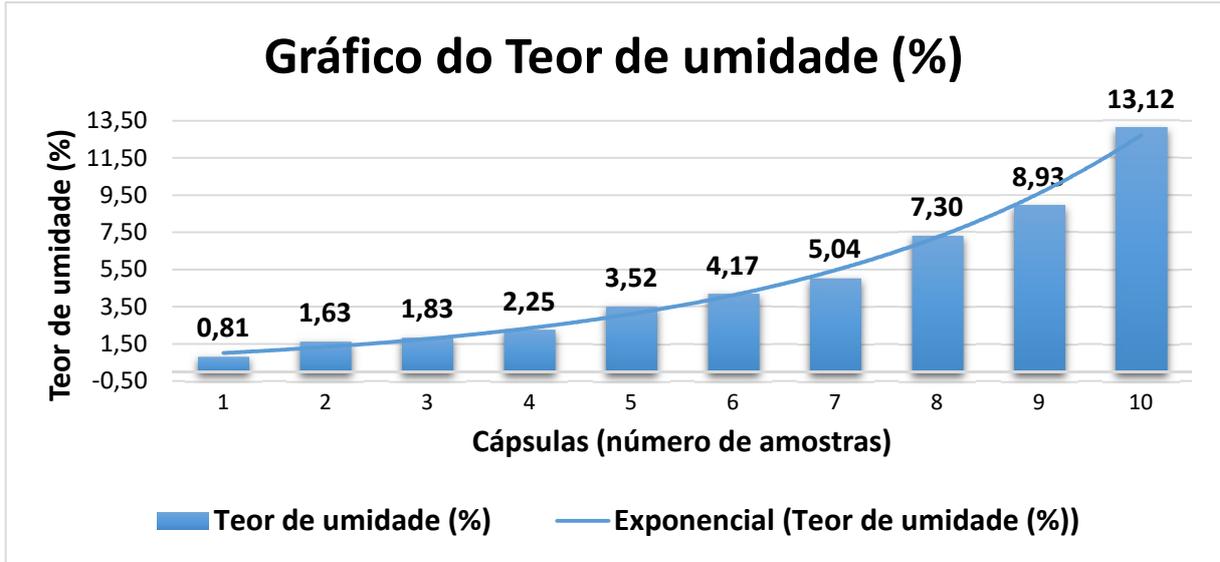
Fonte: do Autor, (2022).

Tabela 14 – Tabela do ensaio de inchaço – umidade do Resíduo

Tabela dos dados da Curva da umidade do Inchaço do Resíduo da Construção Civil							
Cápsula	Massa da cápsula (g)	Teor de umidade (%)	Cápsula + 50g de amostra úmida	Cápsula + amostra seca após 24h	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Teor de umidade (%)
1	15,1	0	65,1	64,7	50	49,6	0,81
2	14,3	0,50%	64,3	63,5	50	49,2	1,63
3	154,6	1%	204,6	203,7	50	49,1	1,83
4	15	2%	65	63,9	50	48,9	2,25
5	15,2	3%	65,2	63,5	50	48,3	3,52
6	11	4%	61	59	50	48	4,17
7	12,1	5%	62,1	59,7	50	47,6	5,04
8	13,7	7%	63,7	60,3	50	46,6	7,30
9	47,6	9%	97,6	93,5	50	45,9	8,93
10	146,2	12%	196,2	190,4	50	44,2	13,12

Fonte: do Autor, (2022).

Gráfico 3 – Teor de umidade do RCC (%) do ensaio de Determinação do Inchaço



Fonte: do Autor, (2022).

5.1.3 Determinação Da Massa Unitária do RCC

A determinação da massa unitária foi realizada segundo as recomendações da norma NBR 16972:2021. A realização deste ensaio surge da necessidade de transformar o traço de dosagem do concreto em massa para volume e vice-versa, o resultado permite também que sejam realizados os cálculos de consumo de materiais a serem empregados no concreto.

Tabela 15 - Massa unitária do RCC

Determinação da Massa Unitária Específica dos RCC (agregados)				
Amostr as	Volume do recipiente (dm³)	Massa do recipiente + amostra (Kg)	Massa do recipiente (Kg)	Massa unitária (kg/dm³)
A1	10	21,55	6,7	1,485
A2	10	21,65	6,7	1,495
A3	10	21,65	6,7	1,495
Média	10	21,617	6,7	1,492

Fonte: do Autor, (2021).

Figura 36 - Determinação da Massa Unitária Específica do RCC



Fonte: do Autor, (2021).

Para determinação da massa unitária foi utilizado a seguinte fórmula:

$$\rho_{ap} = \frac{Mar - Mr}{V}$$

De acordo com a NBR 16972 de 2021, nos mostra outra forma de alcançarmos o mesmo resultado a partir da fórmula abaixo:

$$\rho_{ap} = (Mar - Mr) * F$$

Onde:

Pap: é a massa unitária do agregado, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

Mar: é a massa do recipiente com agregado, expressa em quilogramas (kg);

Mr: é a massa do recipiente vazio, expressa em quilogramas (kg);

V: é o volume do recipiente, expressa em metro cúbico (m³);

F: é o fator para o recipiente, expresso em 1/metro cúbico (1/m³). Ver na NBR 16972 de 2021.

5.1.4 Determinação do material fino que passa na peneira 75µm

Este ensaio determinação a quantidade do material fino que passa na peneira 75µm por meio de lavagem segundo a NBR 16973 (2021) onde o material fica exposto a uma corrente de água até a coloração da água do ensaio ficar límpida, a perda da massa resultante da lavagem é calculada e assim se faz determinação do material fino. A NM 46 de 2001 estabelece o método de lavagem onde partículas de argila e outros materiais são dispersos na água, bem como os materiais solúveis. De acordo com a NBR 7211 de 2009, mostra valores aceitáveis de 3% a 5% para concretos submetido a desgaste superficial.

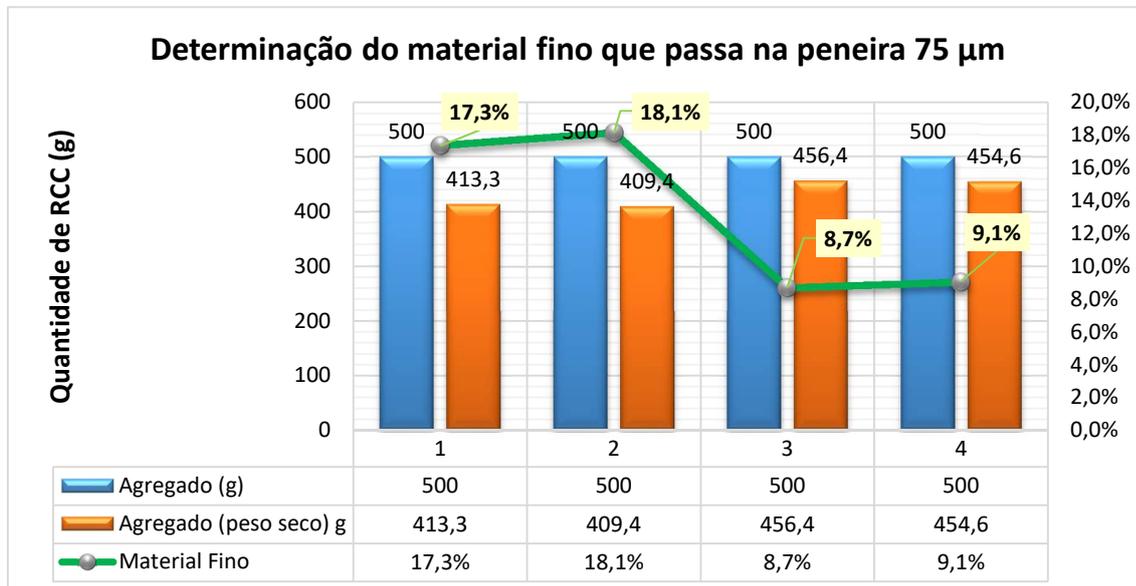
$$m = \frac{mi - mf}{mi} * 100$$

Tabela 16 - Determinação do material fino

Determinação do material fino que passa na peneira 75 µm								
Becker	Peso do recipiente (g)	Agregado (g)	Becker + Agregado (g)	Becker + Agregado (peso seco) (g)	Agregado + 500ml Água	Agregado (peso seco) g	m (%)	Obs.
3	190,6	500	690,6	603,9		413,3	17,3%	
4	189,6	500	689,6	599		409,4	18,1%	
2	200,5	500	700,5	656,9	947,5	456,4	8,7%	Saturado
5	195,4	500	695,4	650	951,8	454,6	9,1%	Saturado

Fonte: do Autor, (2021).

Gráfico 4 – Determinação do material fino que passa na peneira 75 (%)

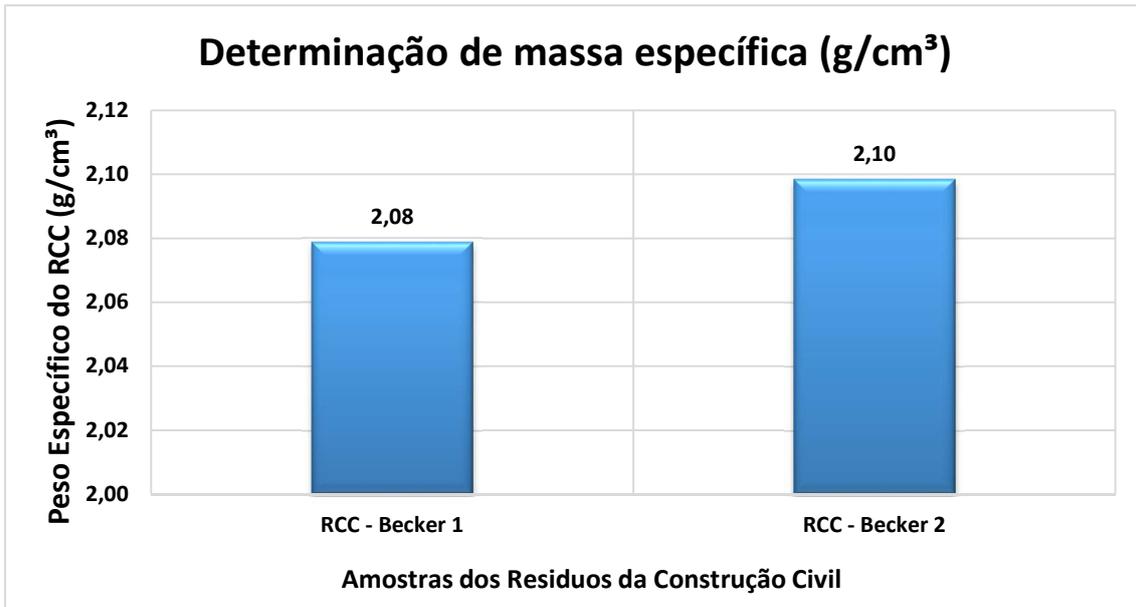


Fonte: do Autor, (2021).

5.1.5 Determinação da massa específica do RCC

O resultado do ensaio de massa específica desta pesquisa é apresentado no Gráfico 5, o referido ensaio foi realizado de acordo com NBR NM 52 (2009).

Gráfico 5 – Massa específica do RCC



Fonte: do Autor, (2021).

O ensaio de massa específica é uma etapa importante deste processo, a partir desde procedimento temos o conhecimento da massa do agregado como um volume absoluto, isto é, sem os vazios o que influencia na qualidade do concreto pois a densidade do RCC atuará no peso próprio do bloco de concreto. O resultado encontrando é condizente com a literatura. A Figura 27 apresenta a execução do ensaio.

Figura 37 – Determinação da massa do RCC.



Fonte: do Autor, (2021).

5.2 CARACTERÍSTICAS DAS DIMENSÕES DOS BLOCOS

Para verificar quanto a sua característica em relação ao dimensionamento foram aferidos o lote de blocos com uma maior quantidade de resíduos adicionado a sua confecção, neste caso foram avaliados os blocos fabricados com 15% de substituição de agregados por resíduos da construção civil. As exigências que a norma NBR 6136 (2016). Em relação a tolerância permitida nas dimensões dos blocos indicadas na Tabela 8, são de $\pm 2,0\text{mm}$ para a largura e $\pm 3,0\text{mm}$ para a altura e o comprimento.

No entanto as peças não tiveram deformações consideradas conforme mostra Tabela abaixo.

Tabela 17 – Dimensões dos blocos com 15% de RCC

Dimensões dos blocos de concreto fabricados com 15% de substituição de RCC			
Blocos	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)
B1	39,0	14,3	19,3
B2	39,0	14,0	19,0
B3	39,2	14,3	19,3
B4	39,2	14,2	19,4
B5	39,2	14,2	19,2
B6	39,0	14,2	19,3
B7	39,2	14,1	19,4
B8	39,0	14,0	19,3
B9	39,2	14,2	19,2
B10	39,0	14,0	19,0
Média geral	39,1	14,2	19,3

Fonte: do Autor, (2021).

5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 12118 (2013). Os blocos de concreto foram submetidos a estufa do Laboratório de Materiais e Estruturas da UFT a 105°C durante um período de 24 horas, em seguida levados a balança e anotando-se então a sua massa. Após dos blocos terem sido esfriado naturalmente foram levados ao tanque para imersão durante 24 horas. Após sua a retirada foram deixados por 60 segundos em um pano para retirar o excesso de água de suas faces logo em seguida é anotado sua massa saturada. Foi utilizado a NBR 6136 (2016), a fim de verificar os parâmetros de absorção de água dos blocos de concreto. Os resultados obtidos neste trabalho para absorção de água são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados de Absorção

Ensaio de Absorção do Blocos c/ RCC					
Blocos	Substituição por RCC (%)	Peso Saturado	Peso Seco	Índice de absorção	Média
1	0%	12,25	11,40	7,46%	7,03%
2	0%	12,10	11,35	6,61%	
3	5%	12,40	11,45	8,30%	8,01%
4	5%	11,85	11,00	7,73%	
5	10%	12,00	11,05	8,60%	9,68%
6	10%	12,35	11,15	10,76%	
7	15%	12,05	10,80	11,57%	10,39%
8	15%	12,45	11,40	9,21%	

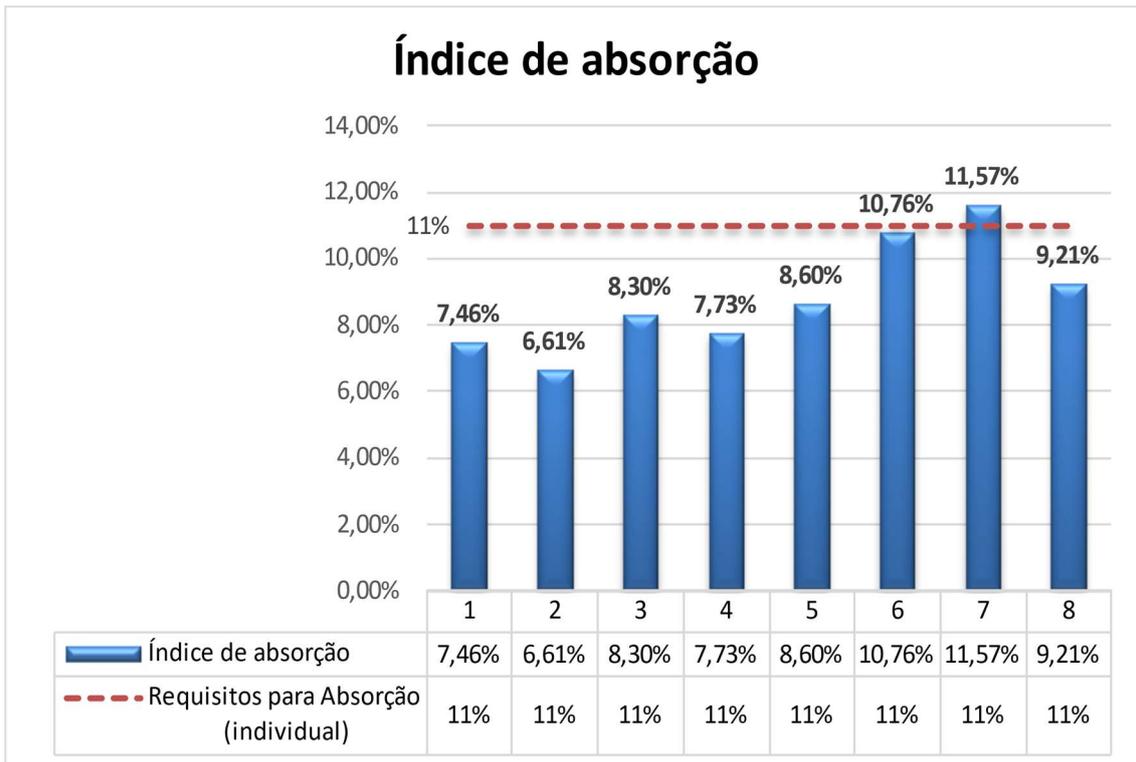
Fonte: do Autor, (2021).

Figura 38 – Ensaio de Absorção dos Blocos.



Fonte: do Autor, (2021).

Gráfico 6 – Resultados de absorção de blocos com RCC



Fonte: do Autor, (2020).

De acordo com os resultados obtidos neste ensaio de absorção, 88% as amostras estão de acordo com a norma NBR 6136 (2016). Dentre os blocos analisados somente um bloco com teor de 15% de adição de RCC não atingiu aos parâmetros preconizados pela norma. O gráfico apresentado acima nos mostra que, quanto maior a quantidade de substituição dos agregados convencionais por resíduos, maior a absorção dos blocos.

5.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E TEMPO DE CURA

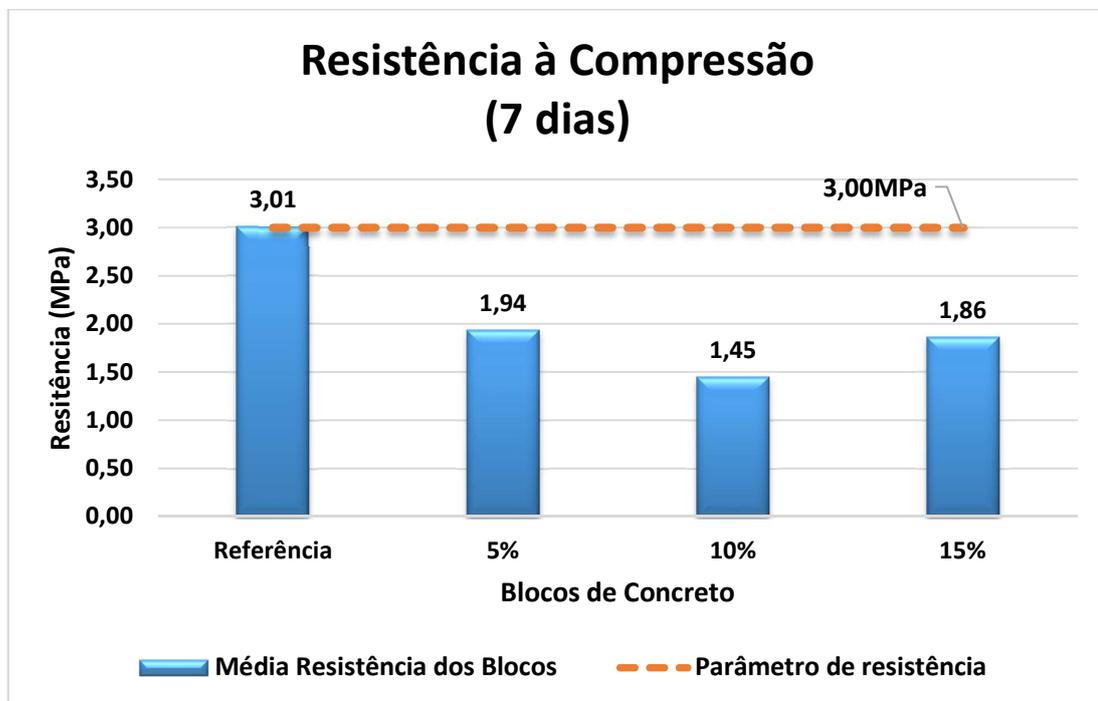
Os resultados de resistência a compressão axial dos blocos de concreto, em relação as idades de 7, 17 e 28 dias predefinidas pelo programa “*Promitiza Experimental Design*” são apresentados nos Gráficos 7, 8 e 9. Foram realizados ensaios com um total de 82 blocos de concreto distribuídos da seguinte forma conforme o gráfico

Tabela 19 – Tabela de blocos submetido ao ensaio de rompimento a compressão aos 7 dias de cura.

Dias (tempo de cura)	n° de CP (quantidade para cada lote)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)
		Referência 0%	5% RCC	10% RCC	15% RCC
7 dias (total 24 blocos)	1	1,76	1,90	1,45	1,37
	2	1,48	1,83	1,20	3,07
	3	3,91	1,58	1,74	2,79
	4	3,79	2,07	1,45	1,56
	5	3,18	1,97	1,26	1,13
	6	2,84	2,05	1,47	2,16

Fonte: do Autor, (2022).

Gráfico 7 – Resultados de Resistência aos 7 dias de idade



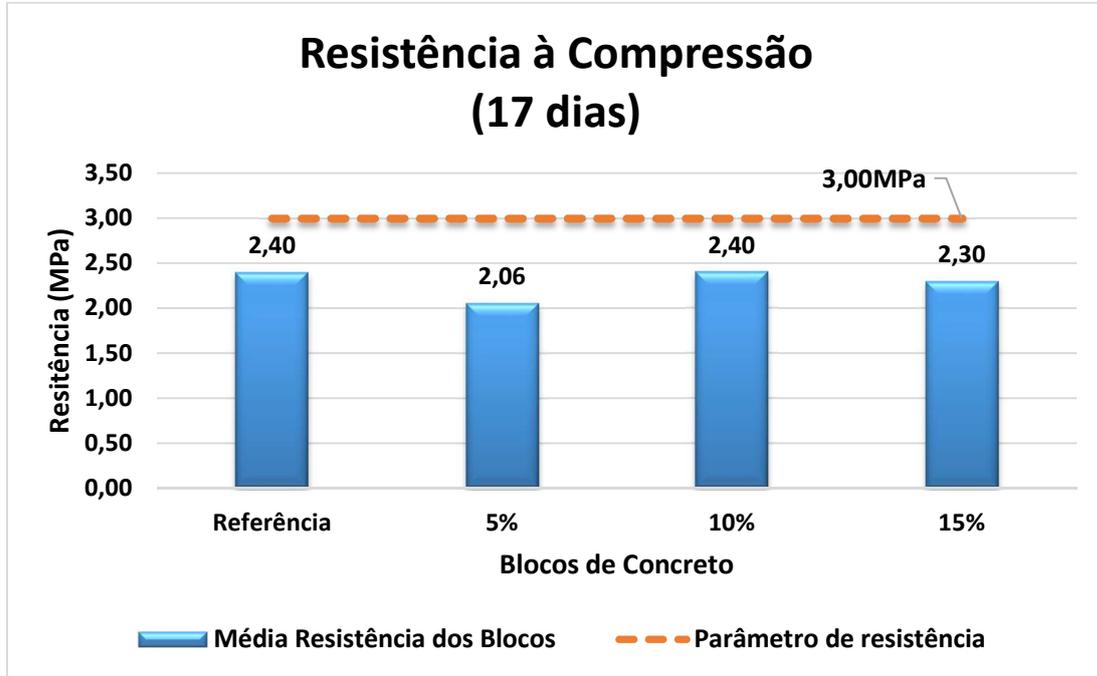
Fonte: do Autor, (2021).

Tabela 20 – Tabela de blocos submetido ao ensaio de rompimento a compressão aos 17 dias de cura.

Dias (tempo de cura)	n° de CP (quantidade para cada lote)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)
		Referência 0%	5% RCC	10% RCC	15% RCC
17 dias (24 blocos)	1	3,30	3,12	1,44	2,08
	2	1,83	2,09	2,66	3,01
	3	3,30	2,53	2,49	2,67
	4	2,17	1,79	1,60	2,18
	5	2,52	1,78	2,41	2,29
	6	2,27	2,02	2,39	2,30

Fonte: do Autor, (2022).

Gráfico 8 – Resultados de Resistência aos 17 dias de idade



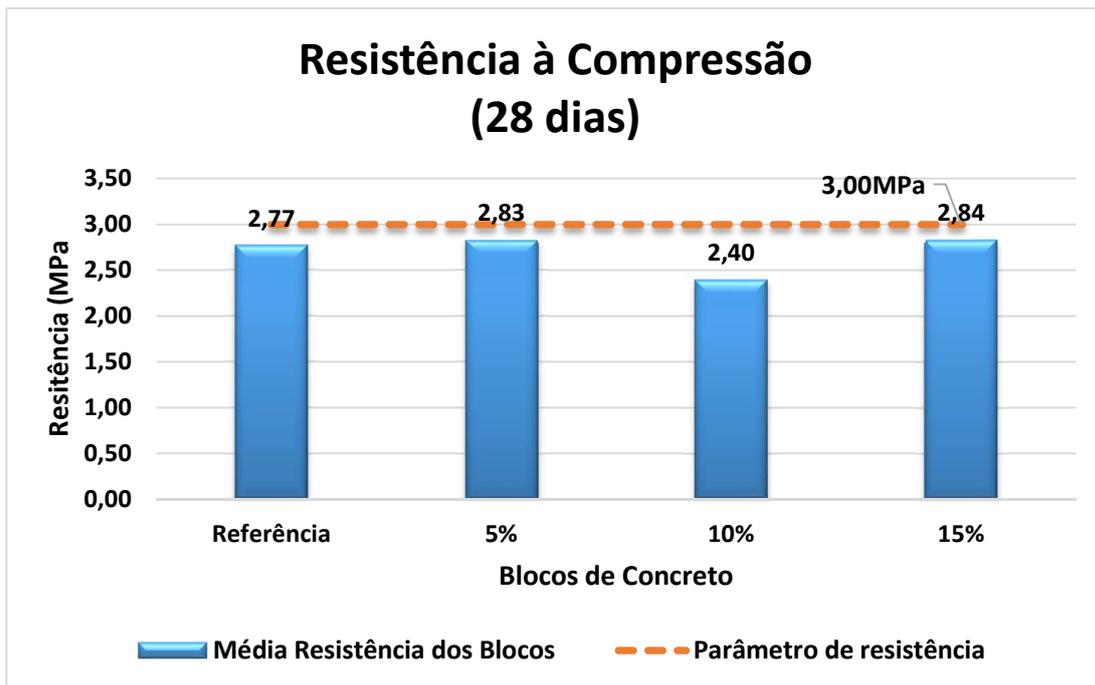
Fonte: do Autor, (2021).

Tabela 21 – Tabela de blocos submetido ao ensaio de rompimento a compressão aos 28 dias de cura.

Dias (tempo de cura)	nº de CP (quantidade para cada lote)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)	Resistência (Mpa)
		Referência 0%	5% RCC	10% RCC	15% RCC
28 dias (34 blocos)	1	4,24	1,85	2,39	2,50
	2	2,77	2,83	2,28	2,59
	3	2,57	1,71	1,63	2,67
	4	3,25	2,92	3,17	3,30
	5	3,88	3,01	2,70	3,41
	6	2,32	2,17	2,53	3,00
	7	2,68	3,06	2,31	
	8	2,89	3,74	2,40	
	9	2,40	2,12		
	10	2,53			
	11	3,81			

Fonte: do Autor, (2022).

Gráfico 9 – Resultados de Resistência aos 28 dias de idade



Fonte: do Autor, (2021).

Analisando os gráficos 7, 8 e 9 das médias de resistência, pode-se observar que nenhum dos blocos atendeu a resistência a compressão de 3 MPa preconizada pela norma NBR 6136 (2016). Contudo fica claro que o tempo de cura tem maior influência na resistência a compressão dos blocos do que a % de resíduos substituídos. Todos os traços com substituição tiveram redução na resistência mesmo com aumento na idade deles.

5.5 GRAFICOS PROMITIZA EXPERIMENTAL DESIGN

Os resultados de resistência a compressão e sua interação com o tempo de cura pode ser observado nos gráficos abaixo gerados pelo “*Promitiza Experimental Design*”.

Projetos de triagem são frequentemente usados na primeira etapa do DoE na seleção dos fatores de entrada mais importantes e descartar os insignificantes conforme Fukuda *et al.*, (2018). Os gráficos de pareto são ferramentas úteis para atingir esse objetivo, pois permitem inserir os fatores de entrada e suas interações em ordem de importância conforme gráfico 10.

Tabela 22 – Tabela de valores dos dados experimentais (X₁, % RCC) e (X₂, dias)

Fatores - DFC - Blocos com 28 dias de cura				
Dados experimentais				
Quant. De Blocos tipos para cada (%) de RCC	(X ₁ , % RCC): Adição de Resíduos da Construção Civil		(X ₂ , dias): Tempo de Cura	
1	-1	5% de RCC	-1	7 dias
2	1	15% de RCC	-1	7 dias
3	-1	5% de RCC	1	28 dias
4	1	15% de RCC	1	28 dias
5	-1	5% de RCC	0	17 dias
6	1	15% de RCC	0	17 dias
7	0	10% de RCC	-1	7 dias
8	0	10% de RCC	1	28 dias
9	0	10% de RCC	0	17 dias
10	0	10% de RCC	0	17 dias
11	0	10% de RCC	0	17 dias

Fonte: Promitiza Experimental Design adaptado pelo Autor, (2022).

Tabela 23 – Coeficiente de regressão e desvio padrão das respostas observadas para (X₁, % RCC) e (X₂, dias) (Adição de % dos Resíduos da Construção Civil) e (Tempo de cura)

REGRESSÃO				
Nome	Coeficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
Média	2,1	0,06	33,22	0,0000
X ₁	0,1	0,05	2,02	0,0995
X ₁ ²	0,33	0,08	4,21	0,0084
X ₂	0,41	0,05	8,21	0,0004
X ₂ ²	-0,13	0,08	-1,66	0,1570
X ₁ . X ₂	0,05	0,06	0,85	0,4334

Fonte: Promitiza Experimental Design adaptado pelo Autor, (2022).

Equação da Relação entre % de RCC e dias de cura:

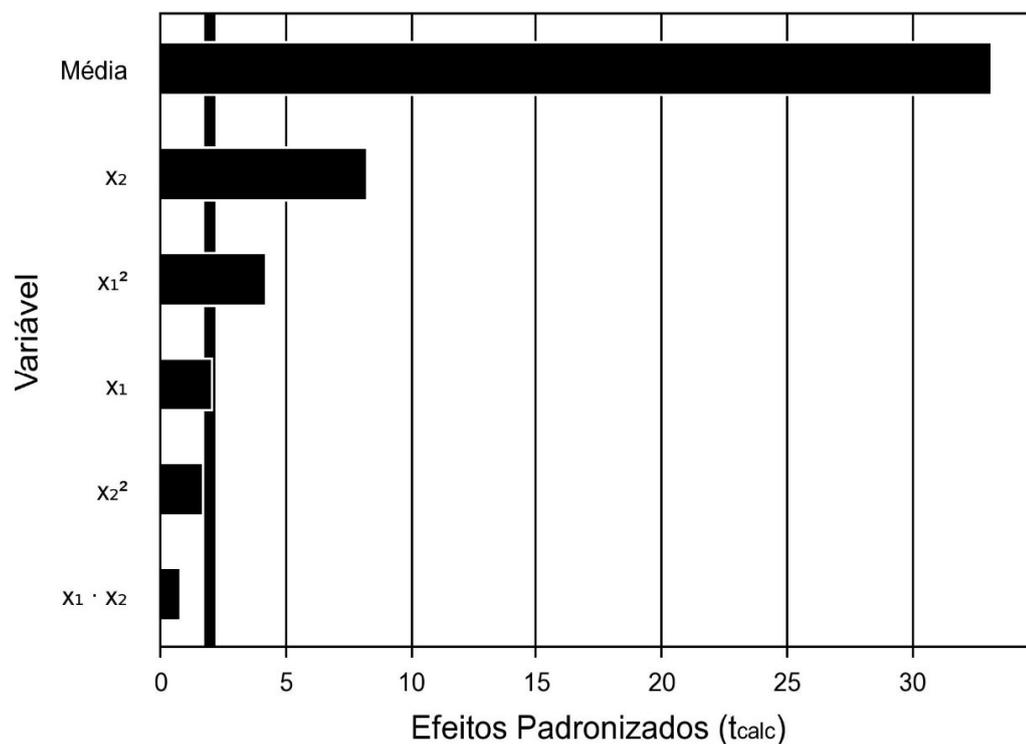
$$Y_1 = 2,10 + 0,10 x_1 + 0,33 x_1^2 + 0,41 x_2 - 0,13 x_2^2 + 0,05 x_1 x_2$$

Tabela 24 – Tabela de análise de variância ANOVA.

ANOVA					
Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	1,4	5	0,3	18,0	0,00324
Resíduos	0,1	5	0,0		
Falta de Ajuste	0,1	3	0,0	39,4	0,02488
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	1,4	10			
R ² = 94,75%					

Fonte: Promitiza Experimental Design adaptado pelo Autor, (2022).

Gráfico 10 - Gráfico de Pareto para a análise a 95% de confiança das variáveis e suas interações a partir do modelo estatístico empregado para a análise da resistência dos blocos de concreto produzidos

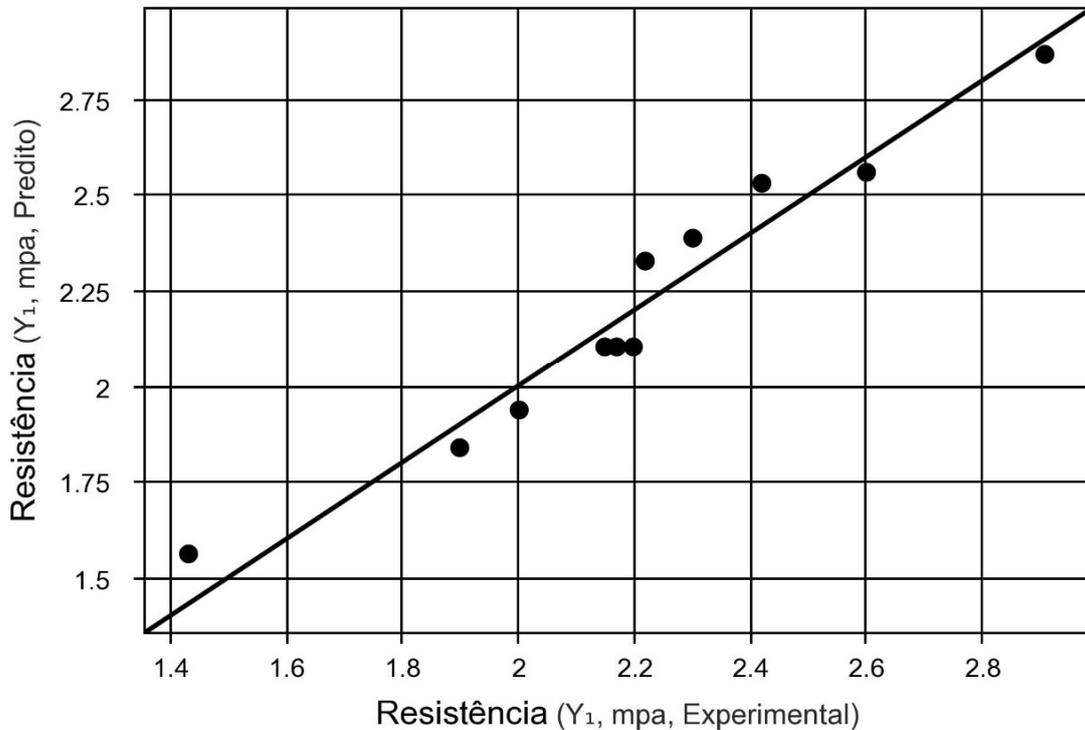


Fonte: Promitiza Experimental Design, (2021).

Os efeitos parametrizados das relações das variáveis para resistência a compressão, Gráfico 9, evidentemente pode-se observar que a principal variável que influencia o aumento da resistência é o tempo de cura. O RCC (resíduo) quando comparado ao tempo de cura não tem grande influência na resistência a compressão dos blocos de concreto. Apesar disso é possível observar no presente trabalho uma breve redução da resistência dos blocos à medida que realizou a substituição dos RCC ao bloco de concreto.

Observa-se também que a força das interações produzidas pela presença do RCC (Resíduo) (x_1) e do Tempo de cura (x_2) estão abaixo do nível de significância a 95% de confiança.

Gráfico 11 – Dispersão da tensão

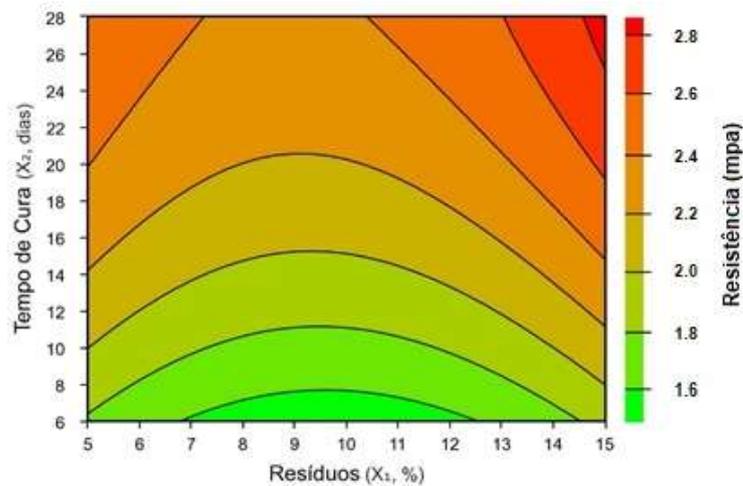


Fonte: Promitiza Experimental Design, (2021).

Pode-se observar também que os valores experimentais estão subestimados, o que pode estar relacionado ainda em um melhor processamento podendo ser realizado para chegar aos valores parametrizados. Segundo Tutikian e Helene (2011) a desvantagem de métodos para estabelecimentos dos traços, que podem proporcionar dispersões nos resultados em função do tipo de material empregado no estudo.

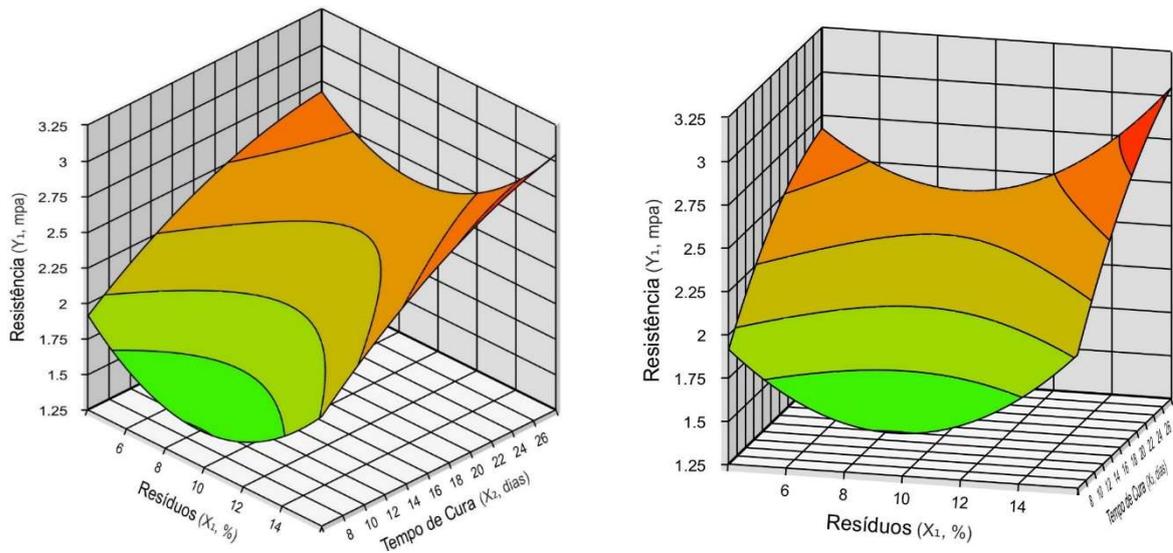
Conforme os resultados obtidos, utilizando o modelo estatístico, é possível gerar as superfícies de resposta dos efeitos com relação a variação dos teores de RCC utilizados na substituição dos agregados convencionais dos blocos para com sua resistência mecânica.

Gráfico 12 – Análise DCCR entre Tempo de Cura e percentual de substituição de Resíduos



Fonte: Promitiza Experimental Design, (2021).

Gráfico 13 – Análise DCCR entre Tempo de Cura e percentual de substituição de Resíduos



Fonte: Promitiza Experimental Design, (2021).

Para obter as relações das variáveis obtém-se uma superfície de resposta, Gráficos 12 e 13, para a relação de efeitos produzidos nas propriedades mecânicas dos blocos.

Verifica-se no gráfico de superfície onde a cor verde nos mostra os resultados dos blocos mais fracos, com pouca resistência, no gráfico mostram a colocação em vermelho dos blocos onde tiveram os resultados mais satisfatórios, alcançando uma resistência média próximo a 3,00Mpa.

O Delineamento Central Composto Rotacionado (DCCR) empregado nos resultados desta pesquisa emprega níveis codificados para estabelecer uma correlação entre os limites estáticos e a quantidade de produto a ser misturado na preparação de um traço (REZENDE *et*

al., 2012). Com isso é possível estabelecer qual variável tem maior influência nas características desejadas dos blocos, que nessa pesquisa o DCCR deixou claro que a variável tempo de cura tem maior influência nos resultados obtidos do que a variável de resíduos.

Comparando as variáveis usadas por Gontijo Neto (2018), é possível verificar que o DCCR pode ser utilizado para definir os melhores teores de substituição de resíduos em concretos ou blocos, bem como comparar resíduos e identificar o de melhor resultado. Como nesta pesquisa foi utilizado apenas um resíduo, o que fica claro com esses resultados é que a diminuição dos teores de substituição de RCC por agregados comuns podem melhorar os resultados de resistência dos blocos de concreto com RCC. Através da análise de resultados e um novo DCCR pode-se chegar a teores de substituição melhores que possibilitem a fabricação de blocos com função estrutural com a substituição do agregado comum por RCC.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O RCC mostrou-se ser uma alternativa sustentável na fabricação de blocos de concreto, podendo ser usados com função de vedação. A caracterização no RCC utilizado nesta pesquisa na cidade de Palmas, Tocantins mostra que ele tem características e resultados muito semelhantes aos resíduos da construção civil de outras localidades do país, a pesquisa mostrou características similares e em alguns casos isolados até mesmo superiores ao concreto convencional quanto utilizado parte de RCC em sua confecção de concreto.

A cada lote de blocos onde a porcentagem de agregados comuns fora substituída pelos RCC, os blocos de concreto apresentaram uma coloração avermelhada de acordo com a porcentagem substituída.

Nos ensaios realizados foi perceptível que o tempo de cura foi um fator significativo na resistência dos blocos de concreto, e mesmo com a adição de resíduos da construção civil os blocos incluindo os do lote com 15% de acréscimo de resíduos tiveram um resultado exitoso. Conforme Morand (2016),

Quanto ao resultado de absorção de blocos apenas o traço com substituição de 15% de substituição de agregados convencionais por RCC não atendeu os padrões normativos.

Outro fator importante a observar seria uma pré tratamento destes resíduos da construção civil com o propósito de retirar boa parte do material pulverulento realizando um ajuste, tornando o agregado um material aceitável para a confecção do concreto.

Quanto ao resultado de resistência a compressão os blocos não atingiram a resistência mínima de 3,0Mpa que a norma exige. Devido ao bloco não atingir a resistência mínima não foi realizado o ensaio de prisma, ensaio importante para blocos de concreto.

O presente estudo evidencia a necessidade de novos estudos, novos programas experimentais que testem teores de substituições para que se chegue em uma substituição ideal para que os blocos também possam ser utilizados como função estrutural e para tal feito os blocos precisariam alcançar resistência mínima de 3,0 Mpa.

Outro fator importante a observar é em relação ao agregado utilizado pela fábrica que foi o pó de seixo, este agregado poderá ser substituído pelo o pó de brita no propósito de atingir melhores resultados quanto a sua resistência. Diante dos resultados encontrados neste trabalho tanto os blocos de concreto com resíduos como o bloco referência padrão confeccionado na fábrica, ambos não atingiram a resistência mínima exigida por norma.

A possibilidade de emprego deste material no mercado é vantajosa para a sociedade por se tratar de um produto ecologicamente correto, contribuindo na resolução de problemas

ambientais envolvendo o descarte inadequado de RCC, além de possibilitar vantagens econômicas.

7. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -. NBR NM 30/2000 – **Agregado miúdo - Determinação da absorção da água**. Associação Mercosul de Normatização, 2000.

_____. NBR NM 46/2001 – **Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem**. Associação Mercosul de Normatização, 2001.

_____. NBR NM 52/2009 – **Agregado miúdo determinação da massa específica e massa específica aparente**. Associação Mercosul de Normatização, 2009.

_____. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro-RJ, 2003.

_____. NBR 5739/2018 - **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, 3ª edição, Rio de Janeiro-RJ, revisada em 30/05/2018.

_____. NBR 5738/2016 - **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Método de ensaio**, Rio de Janeiro-RJ, 2015.

_____. NBR 6136/2016 – **Bloco vasado de concreto simples para alvenaria estrutural**, Rio de Janeiro-RJ, revisada em 01/12/2016.

_____. NBR 6156/1983 - **Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio**, Rio de Janeiro-RJ, 1983.

_____. NBR 6467/2009 – **Agregados – Determinação do inchamento do agregado miúdo – Método de ensaio**. Rio de Janeiro-RJ, 2009.

_____. NBR 7211/2019 – **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro-RJ, 2019.

_____. NBR 7213/2013 – **Agregados leves para concreto isolante térmico - Requisitos**. Rio de Janeiro-RJ, 2013.

_____. NBR 7680/2015 - **Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Parte 1: Resistência à compressão axial**, Rio de Janeiro-RJ, 2015.

_____. NBR 9479/2006 - **Câmaras úmidas para cura de corpos-de-prova de cimento e concreto - Especificação**. Rio de Janeiro-RJ, 2006.

_____. NBR 9935/2011 – **Agregados Terminologia** -. Rio de Janeiro-RJ, 2011.

_____. NBR 10004/2004 – **Resíduos Sólidos - Classificação** -. Rio de Janeiro-RJ, 2004.

_____. NBR 12118/2013 - **Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Métodos de Ensaio**. Sexta Edição 26/04/2013. Rio de Janeiro-RJ.

_____. NBR 15112: **Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro-RJ, 2004

_____. NBR 15113: **Resíduos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro-RJ, 2004

_____. NBR 15.114: **Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15116: **Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 16697/2018 – **Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro-RJ, 2018.

_____. NBR 16972/2021 – **Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios.** Rio de Janeiro-RJ, 2021.

_____. NBR 16973/2021 – **Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem – Método de ensaio.** Rio de Janeiro-RJ, 2021.

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Alvenaria com Bloco de Concreto: Prática Recomendada.** Recife, 2003. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/downloads>>. Acesso: 25 de maio 2022.

ABRAHAM, J. Jolly; SARAVANAKUMAR, R.; EBENANJAR, P. Evanzalin; ELANGO, K.s.; VIVEK, D.; ANANDARAJ, S.. **An experimental study on concrete block using construction demolition waste and life cycle cost analysis.** Materials Today: Proceedings, [S.L.], p. 1-5, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.307>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321061745>. Acesso em: 18 out. 2021.

ABRECON – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO, 2019. Disponível em < <https://abrecon.org.br/>>. Acesso em 14 nov. 2021.

AMBIENTAL. **Usina de reciclagem de entulhos – RCC.** Palmas, 2020.

ANTENOR, Samuel; SZIGETHY, Leonardo, 2020. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos.** IPEA - Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade. Disponível em <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>>. Acesso em 19 out. 2020.

ARRUDA, Angela Maria de. **Módulo de Elasticidade de Concretos Produzidos com Formações Rochosas do Triângulo Mineiro.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, FECIV. Uberlândia, 2013.

BARRETO, Onésima Aguiar Campos. **Resíduos da Construção Civil no Município de Palmas – Tocantins: Proposição de um Modelo de Boas Práticas de Manejo,** 2016.

Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/5994?locale-attribute=es>>. Acesso em 01 ago. 2020.

BARROS, Henrique Teixeira Godoi de. **Resíduos de Construção e Demolição: Aspectos e Diretrizes**, 2017. Universidade Federal de Ouro Preto – MG. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/400/1/MONOGRAFIA_ResiduosConst ru%C3%A7%C3%A3oDemoli%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em 01 ago. 2020.

BASTOS, Isadora Andrade; CRUZ, Leandro Faria da; WOELFFEL, Anderson Buss. **Fabricação de blocos de concreto para vedação com o uso de agregados reciclados em canteiro de obras**, 2016. Revista Científica Faesa, Vitória, ES, v. 12, n. 1, p. 52-58, 2016. Disponível em: <<https://www.faesa.br/revistas/revistas/2016/artigo7.pdf>>. Acesso em 18 out. 2020.

BOHNENBERGER, J. C.; PIMENTA, J. F. de P.; ABREU, M. V. S.; COMINI, U. B.; CALIJURI, M. L.; MORAES, A. P. de; PEREIRA, I. da S. **Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 299-311, jan./mar. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100222>>. Acesso em 30 de out. 2020.

BORBA, Wagner Fenili de, CASSOL, Gabriela; BUENO, Liane da Silva; **CONFECÇÃO DE CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO**, CONTECC 2016 - Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. (2016). Disponível em: <<https://confea.org.br/sites/default/files/uploadsimce/contecc2016/civil/confec%C3%A7%C3%A3o%20de%20concreto%20com%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20agregado%20reciclado.pdf>>. Acesso em 10 de jan. 2022.

BRASIL. **Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Publicada no DOU nº 136, de 17/07/2002, Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002**. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 01 ago. 2020.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.. Revisão bibliográfica: **Reutilização de Resíduos da Construção e Demolição na Indústria da Construção Civil**. Cerâmica 61 (2015) 178-189, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2020.

COMPARINI, Anaisa; PASSOS, Gabriela; GRAZIADEI, Helton; SILVA, Paulo H. Ferreira; LOUZADA, Francisco. **METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA: UMA INTRODUÇÃO NOS SOFTWARES R E STATISTICA**. (2009). ICMC – USP – CP668 – CEP 13.566.590, São Carlos – São Paulo.

CONTECH, **Controle Tecnológico, Inchamento de Agregado Miúdo**, 2021. Disponível em: <<https://contech.eng.br/servicos/ensaios-em-agregados/inchamento-de-agregado-miudo/>>. Acesso em 02 dez 2021.

CRUGEL TOMAZ, Kaique Bromecheng; MORAES, Rafael Vinícius Cruz Fanti de. **Reutilização de Resíduos de Construção Civil na Confecção de Concreto**. Faculdade Capixaba de Nova Venécia.

Curso de Graduação em Engenharia Civil, Nova Venécia – ES, 2017. 26p.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: Sistemática para reciclagem em canteiros de obras.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n. 3, p. 23-40, 2010.

FILHO, J. A. P.; STOROPOLI, J. H.; DUARTE, E. B. L. **Viabilidade econômica da utilização de resíduos de demolição reciclados na execução do contrapiso de um edifício localizado na zona leste da cidade de São Paulo.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, n. 2, p. 928-943, 2014.

FORTES, Ernesto Silva. **Influência do Capeamento e Caracterização da Resistência a Compressão de Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto.** Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Estrutura e Construção Civil (2012). Disponível em: <https://www.chimicaedile.com.br/arquivos/estudos_associacoes_universidades/estudo_ufscar.pdf>. Acesso em 02 dez 2021.

FUKUDA, Isa Martins; PINTO, Camila Francini Fidelis; MOREIRA, Camila dos Santos; SAVIANO, Alessandro Moraes; LOURENÇO, Felipe Rebello. **Design of Experiments (DoE) applied to Pharmaceutical and Analytical Quality by Design (QbD).** Department of Pharmacy, Faculty of Pharmaceutical Sciences, University of São Paulo, São Paulo, Brazil. 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bjps/a/zwwMpgN95HsPkzTG9B5FpWg/?format=pdf>>. Acesso em 11 maio 2022.

GONTIJO NETO, Trajano Machado. **Alvenaria Eco Eficiente: Estudo da Resistência Mecânica de Blocos de Alvenaria com Resíduos inorgânicos em sua constituição.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, 2018, Palmas, Tocantins.

GUERRA, Rui Serafim de Teixeira. **Clube do Concreto. Concreto e Pré-fabricados de concreto, Determinação da massa unitária e volume de vazios (NBR NM 45:2006).** 2010. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/07/passo-paso-determinacao-da-massa.html>>. Acesso em 02 dez 2021.

HASAN, Muttaqin; SAIDI, Taufiq; SARANA, David; BUNYAMIN. **The strength of hollow concrete block walls, reinforced hollow concrete block beams, and columns.** Journal Of King Saud University - Engineering Sciences, [S.L.], p. 1-13, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2021.01.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363921000155>. Acesso em: 18 out. 2021.

JUNIOR, A. B. T.; PRADO, D. A. do. **Estudo do Reaproveitamento e Reciclagem dos Resíduos Sólidos da Construção Civil, 2019,** Jaraguá-GO, Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1502/1/2019_1_TCC_TeixeiraJ%C3%BAniorAitonBraga.pdf>. Acesso em 05 ago. 2020.

LEITE, Izabella Caroline de Almeida; DAMASCENO, João Luís Corrêa; REIS, Alexandre Magrineli dos; ALVIM, Marina. (2018). **Gestão de resíduos na construção civil: um estudo em Belo Horizonte e Região Metropolitana.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil

Vol. 14 – nº 1. 2018.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** 1999. 240 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

LU, Weisheng; LOU, Jinfeng; WEBSTER, Chris; XUE, Fan; BAO, Zhikang; CHI, Bin. **Estimating construction waste generation in the Greater Bay Area, China using machine learning.** *Waste Management*, [S.L.], v. 134, p. 78-88, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21004372>. Acesso em: 18 out. 2021.

MALIA, M.; BRITO, J.; BRAVO, M. **Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas.** Revista Scielo, Ambiente Construído On-line. 2011. vol.11, n.3, p.117-130. ISSN 1678-8621. Porto Alegre - RS. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ac/v11n3/a09v11n3.pdf>>. Acesso em 27 out. 2020.

MALKANTHI, S.N.; WICKRAMASINGHE, W.G.s.; PERERA, A.A.D.A.J.. **Use of construction waste to modify soil grading for compressed stabilized earth blocks (CSEB) production. Case Studies In Construction Materials**, [S.L.], v. 15, p. 1-8, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00717>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509521002321>. Acesso em: 18 out. 2021.

MARQUES NETO, J. C. **Estudo da Gestão Municipal dos Resíduos de Construção e Demolição na Bacia Hidrográfica do Turvo Grande, 2009.** (UGRHI-15). São Carlos – SP, 629 p. Dissertação (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

MASILAMANI, Dineshkumar *et al.* *Sustainable packaging materials from tannery trimming solid waste: A new paradigm in wealth from waste approaches.* *Journal Of Cleaner Production*, [s.l.], p.1-27, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.200>. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0959652617313707/1-s2.0-S0959652617313707-main.pdf?_tid=abf8cb60-5aaa-11e7-9f1d00000aab0f01&acdnat=1498507653_9b5c3496e997c40ead99f1a20b5769df>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MATTOS, Bernardo Bandeira de Mello. **Estudo do Reuso, Reciclagem e Destinação Final dos Resíduos da Construção Civil na Cidade do Rio de Janeiro.** Universidade Federal do Rio de Janeiro-RJ, 2013. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/11911/1/monopoli10009307.pdf>>. Acesso em 21 ago. 2020.

MATUTI, Bruna Barbosa; SANTANA, Genilson Pereira. **Reutilização de resíduos de construção civil e demolição na fabricação de tijolo cerâmico – uma revisão.** ScientiaAmazonia, v. 8, n.1, E1-E13, 2019. Disponível em <<http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2018/11/v.-8-n.1-E1-E13-2019.pdf>>. Acesso em 19 out. 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2008. págs. 52 e 325.

MONTEIRO, José Henrique Penido, *et al.*. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro-RJ, 2001. Disponível em <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em 27 out. 2020.

MORAND, Fernanda Guerra, 2016. **Estudo das Principais Aplicações de Resíduos de Obra Como Materiais de Construção**. 2016. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Rio de Janeiro, RJ. 2016.

NM 52/2009 - **Agregado Miúdo - Determinação Da Massa específica e massa específica aparente. PROJETO 05:02-0306**. Segunda edição 2009-02-10. Norma Mercosul - Uruguai. OLIVEIRA, Fabriccio de Almeida; MAUÉS, Luiz Maurício Furtado; ROSA, Carolina Caldas Neves; SANTOS, Débora Gois; SEIXAS, Renato de Melo. Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 157-176, dez. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400465>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/jF5yPQhrtNWmtYGTxwBmpXw/?lang=pt>. Acesso em: 18 out. 2021.

OSAMA A. A.; AMEED, A. S. **The Effect of Capping Conditio non the Compressive Strength of Concrete Hollow Blocks**. An-Najah Univ. J. Res. (N. Sc) Vol. 17(1), 2003.

PANIZZA, Matteo, NATALI, Marco, GARBIN Enrico, TAMBURINI, Sergio, SECCO, Michele. Construção e materiais de construção - **Avaliação de geopolímeros com agregados de Resíduos de Construção e Demolição como material de construção**. ELSEVIER 2018.

PASTRO, Rodrigo Zambotto. **Alvenaria Estrutural Sistema Construtivo**, 2007. Universidade São Francisco, Engenharia Civil. 2007

PEREIRA, Elisangela Cristina. **Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição em Campo Mourão – PR, 2012**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Campo Mourão. ROCA – Repositório de Outras Coleções Abertas. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1870/1/CM_COMAC_2012_1_03.pdf>. Acesso em 30 de out. 2020.

PEREIRA NETO, P. M.; DJANIKIAN, J. G. **Algumas características do Concreto de Alta Resistência com Microssílica**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1995.

PIRAMIDE PRÉ-MOLDADOS. **Como é o processo de fabricação dos blocos de concreto?** 2018. Bigaçu - SC. Disponível em: <<https://www.piramidesc.com.br/blog/como-e-o-processo-de-fabricacao-dos-blocos-de-concreto/>>. Acesso em 19 out. 2020.

PRADO, Danilo Mascarenhas, **Propriedades Físicas e Mecânicas de Blocos Estruturais Produzidos com Agregados Reciclados de Concreto**. 2006. USP – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia e Estruturas. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22062006-103918/publico/2006ME_DaniloMPrado.pdf>. Acesso em 06 fev. 2021.

REZENDE, Maria Luiza de Souza *et al.* **Uso De Metacaulim em Concreto Seco: uma**

abordagem por superfície de resposta. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 135-146, jul. 2012. Trimestral. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/znG3HjLQyX7qrrwpsDMxg6M/?lang=pt>>. Acesso em: 04 dez. 2021.

SANTOS, Amanda Souza; ISELLE, Fabiana Aparecida; DIAS-SILVA, Leonardo Henrique. **RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: Conceitos, Histórico e Gerenciamento. Organizações e Sociedade**, [S.L.], v. 8, n. 10, p. 5, 3 dez. 2019. Faculdade Aldete Maria Alves. <http://dx.doi.org/10.29031/ros.v8i10.466>. Disponível em: <https://revista.facfama.edu.br/index.php/ROS/article/download/466/398#:~:text=Dados%20publicados%20pela%20Associa%C3%A7%C3%A3o%20Brasileira,de%20res%C3%ADduos%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil..> Acesso em: 18 out. 2021.

SCREMIN, Lucas Bastianello. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição para Municípios de Pequeno Porte**. Florianópolis, SC. 2007. 152 pag. Disponível em: <http://www.mpdf.mp.br/saude/images/Meio_ambiente/Desenvolvimento_sistema_apoio.pdf> Acesso em 10 ago. 2020.

SGANDERLA Maíra Splendor. **(Re) aproveitamento Dos Resíduos Classe a da Construção Civil na Substituição Parcial do Agregado Miúdo do Concreto**. 2015. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI.

SHAFIQ, Nasir; AHMAD, Farah Amira; UMAR, Usman Aminu. “**A case study on the effective implementation of the reuse and recycling of construction & demolition waste management practices in Malaysia**” *Ain Shams Engineering Journal*. Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia. 2019.

SIENGE PLATAFORMA. **Como Fazer Um Aproveitamento Eficiente De Resíduos Na Construção Civil**. 2019. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/como-fazer-aproveitamento-de-residuos-na-construcao-civil/#:~:text=Segundo%20estimativas%2C%20cerca%20de%2033,pa%C3%ADs%20v%C3%AAm%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil>>. Acesso em 25 ago. 2020.

SIENGE PLATAFORMA. **Tudo Sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. 2017. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>>. Acesso em 25 ago. 2020.

SILVA, Antônio Bertoldo da; MACIEL, Jussara Cury Socorro. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM, v. 3, 2014.

SOARES, S. R.; LUPATINI, G.; JUNIOR, A. B. DE C. **Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades**. (Coletânea de trabalhos técnicos) Rio de Janeiro, RiMa, ABES, 2020. 104 p. Projeto PROSAB.

TRALDI, Rafaella Miranda. **A Destinação dos Resíduos da Construção Civil no Município de Palmas Tocantins**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação do Tocantins, *Campus Palmas*, 2019. 52f.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. 2011.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Mapa Da Obra, A Importância dos Ensaios de Resistência do Concreto, 2017**. Disponível em <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/a-importancia-dos-ensaios-de-resistencia-do-concreto/>>. Acesso em 13 ago. 2020.

WANG, J.; YUAN, H.; KANG, X.; LU, W. **Critical Success Factors For On-site Sorting Of Construction Waste: A China Study**. Resources, Conservation and Recycling, v. 54, p. 931-935, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344910000303>>. Acesso em 27 out. 2020.

WHAT A WASTE 2.0: **A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**, 2018 – Urban Development Series. Disponível em <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>>. Acesso em 19 out. 2020.