



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS
CAMPUS MACAPÁ

MARCELLA RODRIGUES PAIXÃO
YDLA AGUIAR MORAES

**ANÁLISE DO CONCRETO FABRICADO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

MACAPÁ
2023

MARCELLA RODRIGUES PAIXÃO

YDLA AGUIAR MORAES

**ANÁLISE DO CONCRETO FABRICADO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenação do curso de tecnologia em construção de edifícios do instituto federal do Amapá, campus Macapá, como requisito final para obtenção do título de Tecnólogo em construção de edifícios.

Orientador(a): Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro

MACAPÁ

2023

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P696a Paixão, Marcella Rodrigues
análise do concreto fabricado com adição de resíduos da construção civil /
Marcella Rodrigues Paixão, Ydla Aguiar Moraes. - Macapá, 2023.
35 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Curso de
Tecnologia em Construção de Edifícios, 2023.

Orientadora: Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro.

1. resíduos. 2. construção civil. 3. concreto. I. Moraes, Ydla Aguiar. I.
Ribeiro, Me. Leila Cristina Nunes, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MARCELLA RODRIGUES PAIXÃO
YDLA AGUIAR MORAES

**ANÁLISE DE CONCRETO FABRICADO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenação do curso de tecnologia em construção de edifícios do instituto federal do Amapá, campus Macapá, como requisito final para obtenção do título de Tecnólogo em construção de edifícios.

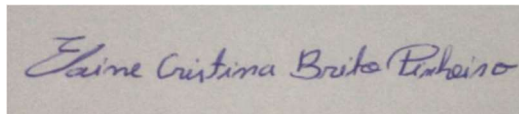
BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br LEILA CRISTINA NUNES RIBEIRO
Data: 03/10/2023 09:38:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá



Prof. Dr. Marcio Rodrigo Nunes deSouza (Avaliador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá



Prof. Me. Elaine Cristina Brito Pinheiro (Avaliadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 26/09/2023

Conceito/Nota: 7,9 .

RESUMO

Esta pesquisa apresenta uma investigação sobre a resistência do concreto confeccionado com agregado reciclado de resíduo da construção civil (RCD) em comparação com o concreto feito da maneira tradicional. A escassez da matéria prima faz com que estudos como este estejam sendo realizados com mais frequências e que assim sejam aprovados para que se torne cotidiano o uso de tal reciclagem, fazendo com que seja mais saudável para o planeta e financeiramente mais econômico. O objetivo é observar a influência do resíduo caracterizado como agregado graúdo nas características mecânicas dos concretos. O material utilizado foi coletado em um terreno na Zona Norte de Macapá-AP, na fase de demolição e reforma. Foram realizados estudos de dosagem experimental em concretos com 0%, 30% e 50% de substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado. Após 28 dias de cura dos corpos de prova foram feitos ensaios de tração e compressão para obtenção dos resultados.

Palavras-chave: resíduos; construção civil; concreto; agregado reciclado; agregado graúdo.

ABSTRACT

This research presents an investigation into the resistance of concrete made with recycled aggregate from construction waste (RCD) compared to concrete made in the traditional way. The scarcity of raw materials means that studies like this are being carried out more frequently and are therefore approved so that the use of such recycling becomes everyday, making it healthier for the planet and financially more economical. The objective is to observe the influence of residue characterized as coarse aggregate on the mechanical characteristics of concrete. The material used was collected on a plot of land in the North Zone of Macapá-AP, during the demolition and renovation phase. Experimental dosage studies were carried out in concrete with 0%, 30% and 50% replacement of natural coarse aggregate with recycled ones. After 28 days of curing the specimens, tensile and compression tests were carried out to obtain the results.

Keywords: residuals; construction; concrete; recycled aggregate; graudo aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos resíduos sólidos	13
Figura 2 – Utensílios do Slump	17
Figura 3 – Abatimento brita 1 com adicional de 30% RCD	18
Figura 4 – Abatimento brita 0 com adicional de 30% RCD	18
Figura 5 – Exemplo de corpo de prova, após sua desmoldagem	19
Figura 6 – Agitação mecânica	20
Figura 7 – Visão geral de todos os recipientes com cada massa retida	20
Figura 8 – Curva da granulometria da areia	21
Figura 9 – Amostra 500g de areia seca e frasco de Chapman	23
Figura 10 – Frasco de Chapman depois de agitado	23
Figura 11 – Leitura final	24
Figura 12 – Amostra 1 agregado graúdo	24
Figura 13 – Amostra 2 agregado graúdo	24
Figura 14 – Becker utilizado	25
Figura 15 – Becker de ensaio	25
Figura 16 – RCD sendo pesado	25
Figura 17 – Resultado final	25
Figura 18 – Preparo do ensaio	26
Figura 19 – Pesagem final	26
Figura 20 – Gráfico dos resultados de compressão aos 28 dias (MPa)	28
Figura 21 – Média dos resultados dos ensaios de compressão (MPa)	29
Figura 22 – Máquina de ensaio	29
Figura 23 – Corpo de prova	30
Figura 24 – Corpo de prova na prensa	30
Figura 25 – Resultado gráfico flexão da vigota em MPa	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de Agregados	15
Tabela 2 – Quantidade de Materiais Utilizados para Confeção dos Corpos de Prova	16
Tabela 3 – Granulometria da Areia	21
Tabela 4 – Granulometria do RCD brita 1	22
Tabela 5 – Granulometria do RCD brita 0	22
Tabela 6 – Resultados do Ensaio de Compressão (MPa)	27
Tabela 7 – Resultado dos Ensaio Flexão De Vigotas em MPa	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Justificativa	10
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivo Geral	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
1.3	Metodologia	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Política nacional de resíduos sólidos no brasil	12
2.1.1	Os Resíduos Da Construção E Demolição (RCD)	12
3	DOSAGEM	16
3.1	Métodos De Ensaio	16
3.1.1	Preparo, Moldagem E Cura Dos Corpos De Prova	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
4.1	Agregados	20
4.1.1	Composição Granulométrica	20
4.1.2	Ensaio Da Massa Específica E Massa Específica Aparente Do Agregado Miúdo.	22
4.1.3	Ensaio Da Massa Específica Do Agregado Graúdo.	24
4.1.4	Ensaio da Massa Específica RCD	25
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	27
5.1	Resistência à tração na flexão	29
6	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Tem-se a construção civil como uma das mais antigas atividades da humanidade. Esta gera uma grande quantidade de subprodutos e resíduos de variada natureza, consumindo de forma descompensada matérias-primas não renováveis da natureza. Para Lamônica et al. (2019) a construção civil consome entre 14% a 50% dos recursos naturais disponíveis no planeta.

O setor de construção civil tem significativa relevância na economia de uma sociedade, gerando empregos diretos e indiretos em todos os níveis sociais, sendo produtor também de bens de consumo para a sociedade. Entretanto, um dos maiores malefícios que esta indústria traz para a sociedade é a alta geração de resíduos. No Brasil estimasse que em 2017 segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, foram gerados cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção civil (RCD) e de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Sendo um total de 71,6 milhões de toneladas de resíduos urbanos, que corresponde a, aproximadamente, 62% de todo resíduo sólido gerados no Brasil.

Nos aterros sanitários os RCD's são responsáveis por 10% a 30% dos resíduos recebidos nestes locais, causando problemas de ordem pública uma vez que os descartes inadequados destes materiais acarretam inúmeros problemas ambientais, como problemas de saúde humana, atraem vetores de doenças como o mosquito transmissor da dengue (MATUTI e SANTANA, 2019).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2021) o município de Macapá tem cerca de 522,357 habitantes, 500,052 equivalem a 95,73% que habitam a área urbana e os 22,305 são 4,27% que se encontram na área rural da cidade de Macapá. Ressaltando que 89,45% desses habitantes não possuem acesso a coleta e nem tratamento do esgoto, 23,94% da população no estado não possui acesso a coleta de lixo. Estes dados comprovam que 7 milhões de toneladas de resíduos produzidos neste município, não tiveram destino e nem tratamento adequado, gerando um descarte e armazenamento irregular (BRASIL, 2021).

Diante das novas tecnologias e dos estudos a respeito das consequências econômicas e ambientais que o RCD causa ao meio ambiente e a sociedade, a construção civil vem desenvolvendo novas alternativas perante as necessidades do novo cenário. A reciclagem tem se mostrado neste setor um caminho viável, uma vez que se torna uma alternativa mais econômica, pois minimiza a necessidade de compra de novos materiais, diminui o custo com

aterros sanitários, gera menor impacto ambiental pois produz menos resíduos, sendo assim uma ótima forma de implementar a ideia de sustentabilidade econômica e ambiental nos projetos e obras.

Neste contexto, diante da problemática da falta de saneamento e descarte adequado destes resíduos, o objetivo deste trabalho foi de que maneira a população pode reutilizar e reciclar estes materiais de forma resolutiva e eficiente, gerando assim menos descarte e poluição dos resíduos sólidos, e constituir um alicerce para futuras pesquisas nesse âmbito.

1.1 Justificativa

Desenvolver uma nova destinação para o resíduo de construção e demolição para a redução dos entulhos causados em obras e até lixões sem seu descarte apropriado, os RCD's podem ser reutilizados na dosagem de concreto usando o método de substituição parcial dos agregados graúdos, quando assim podendo reduzir o consumo desenfreado de matéria prima.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Tomando como ponto de partida o objetivo dessa pesquisa que busca estudar e ter possíveis resultados de reciclar o resíduo de construção civil como agregado graúdo para utilizações de novas funcionalidades do concreto.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o resíduo, para chegar a granulometria do agregado graúdo desejado.
- Preparar o material na dosagem escolhida para a preparação e obtenção do concreto.
- Caracterizar o concreto em corpos de prova e vigotas para obter as resistências mecânicas à compressão e à tração.

1.3 Metodologia

Este estudo foi realizado de forma qualitativa, elaborado a partir de referências bibliográficas de revistas acadêmicas, livros, artigos científicos disponíveis online e

normativas técnicas vigentes sobre o assunto. Foram utilizados estudos obtidos das seguintes bases de dados: Scientific Electronic Libra Online (SCIELO); Portal de Periódicos do CAPES; Google Acadêmico; Science Direct (Elsevier); SciFinder web (CAS Chemical Abstracts Service).

A partir da construção da base bibliográfica foi desenvolvido um estudo de caso com o objetivo de chegar a um material produzido a partir de resíduos recicláveis produzindo testes de resistências e cargas de diferentes granulometrias. Este estudo baseou-se em uma estratégia de reciclagem de RCD como forma de trazer melhoria ao meio ambiente. Neste capítulo, demonstraremos os procedimentos metodológicos utilizados, como o método de coleta dos resíduos, as formas que foram tratados, e por fim, os resultados desta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Política nacional de resíduos sólidos no brasil

A Lei Federal nº 12.305/2010 da Política Nacional De Resíduos Sólidos diz que os resíduos da construção civil são aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e outros que inclui escavações de terrenos. Podendo se dizer que, esses resíduos são difíceis de se degradar ou não degradáveis. Segundo ela, os resíduos sólidos podem ser definidos da seguinte maneira:

Material, substância, objeto ou bem descartada resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 1).

Para Matuti e Santana (2019) quando os resíduos sólidos recebem o manejo corretamente, eles agregam valores comerciais e podem ser reutilizados na forma de novas matérias primas ou novos insumos para sua melhor destinação. O maior percentual de material encontrado que segue um padrão construtivo no Brasil são de argamassa com (63%), que são as argamassas que normalmente são utilizadas na composição da estrutura. Também são citados os concretos e blocos (29%), orgânicos (1%) e outros (7%).

A necessidade de soluções ambientais referente a geração de resíduos faz com que a sociedade procure mudanças nas condições de consumo e destinação de resíduos tendo o entendimento que, os atuais manejos com estes resíduos corroboram com os elevados custos socioeconômicos e ambientais. Leis que oriente as questões sobre os resíduos sólidos e seus impactos ambientais se torna importante para um país.

2.1.1 Os Resíduos Da Construção E Demolição (RCD)

A norma reguladora que estabelece as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão destes resíduos é a Resolução 307 do CONAMA, de 05 de julho de 2002, que define o RCD como:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas,

colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2002).

A Resolução CONAMA 307/2002 classifica os resíduos em quatro classes como demonstrado na Figura 1 a seguir:



Fonte: Autores (2023) Adaptado CONAMA 307/2002.

Se faz necessário devido à alta ocorrência dos resíduos gerados durante uma construção ou demolição, a necessidade de repensar hábitos, e ter um olhar voltado para os impactos ambientais que podem gerar e repensar alternativas como reciclagem e reutilização do RCD (MOREIRA, 2018). Olhando por este viés Leonardo Costa e Silva, Ludmylla Pires Félix e Thiago Martins Dos Santos (2018) apresentaram uma pesquisa com o foco sobre a influência dos agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto. Nesta pesquisa foram analisados traços de concreto em vários níveis de substituição variando em 19%, 43%, 75% e 100% do agregado natural pelo agregado reciclado. Os resultados alcançados nesta pesquisa constataram que é possível a substituição de até 100% do agregado natural pelo agregado reciclado sem prejuízo da resistência mecânica do concreto e com redução de até 12% de elasticidade, indicando a usabilidade na produção de concretos com fins estruturais.

Segundo Antônio Zefferino Dos Santos e Samuel Russi e Sousa (2016), em sua pesquisa sobre o aproveitamento de resíduos da construção civil na produção de concretos

para uso em pavimentação de ciclovias, chegou ao seguinte resultado:

É proposto no trabalho a utilização dos RCD como agregado miúdo para produção de concretos para uso em pavimentos rígidos de ciclovias no Distrito Federal (DF), sendo essa uma boa opção principalmente pela necessidade crescente de incentivo do uso de meios de transporte que ajudem no descongestionamento e na redução da poluição nas cidades. Os resultados dos experimentos de caracterização puderam comprovar a adequabilidade do material reciclado da referida fonte em relação à composição granulométrica, à absorção e o tamanho dos agregados ideais, além de mostrar que estes tinham massa específica e massa unitária menores que a de agregados miúdos convencionais. Já os estudos com o concreto, mostraram que o uso de tais agregados miúdos reciclados neste não impossibilitou que a resistência mecânica necessária fosse atingida (SANTOS; SOUZA 2016).

Destaca-se o fator água/cimento (a/c) como uma das propriedades do concreto afetadas pelo uso de RCD. Impactando na resistência do concreto, pois interfere na porosidade matriz do concreto. Podendo ser observado que, quando adequadamente adensado o concreto, a resistência da junção é inversamente proporcional ao fator a/c . Portanto quanto maior a quantidade de água, menor será a resistência a ser obtida pelo mesmo.

Os concretos produzidos com agregados reciclados de RCD, apresentam uma perda de trabalhabilidade aumentando o consumo de cimento, pois este material tem alta absorção de água. Já o agregado miúdo reciclado apresenta menor massa específica ao contrário do agregado natural devido sua maior porosidade, o que lhe proporciona uma absorção de água cerca de 80% superior ao material natural. (ANGULO, 2005; LEITE, 2001; LEVY, 1997; ZORDAN, 1997; EVANGELISTA. BRITO, 2010).

Para Hansen (1992) o concreto reciclado produzido deve ser classificado de acordo com a dimensão e composição de agregado utilizado. Assim como a resistência de projeto deve ser especificada abaixo do limite de resistência especificado para cada tipo de concreto reciclado. Como ilustrado na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Tipos de Agregado

Tipo de concreto agregado reciclado	Tipos de Agregado		Valores máximos Admissíveis de resistência a compressão (MPa)	
	Graúdo	Miúdo	Resistência de projeto	Resistência de dosagem
I	Reciclado	Convencional	18	30 ⁽²⁾
II	Reciclado	Convencional e Reciclado	15	27 ⁽²⁾
III	Reciclado	Reciclado	12	24 ⁽²⁾

Fonte: Autores (2023) Adaptado Hansen 1992.

3 DOSAGEM

Nesta pesquisa foi adotado o método de dosagem ABCP para a confecção dos concretos estudados em laboratório. Foram confeccionados copos de prova com brita 0, identificados como B0; e brita 1, identificados como B1; variando a quantidade de RCD em 30% e 50%. Na Tabela 2, é apresentado a quantidade de materiais utilizados para confecção dos CP's.

Tabela 2 – Quantidade de Materiais Utilizados para Confecção dos Corpos de Prova

	Cimento	Areia	Brita	Água	Aditivo (ml)	RCD (%)
REF B1	8,14	12,21	17,91	4,07	0,5	-
REF B0	8,14	12,21	17,91	4,07	0,5	-
C30B1	8,14	12,21	5,37	4,07	0,5	30
C50B1	8,14	12,21	8,95	4,07	0,5	50
C30B0	8,14	12,21	5,37	4,07	0,5	30
C50B0	8,14	12,21	8,95	4,07	0,5	50
Traço Utilizado				1:1,5:2,2:0,5		

Fonte: Autores (2023)

Utilizamos a mesma dosagem dos materiais apenas reduzindo o kg dos agregados graúdos para observar quais as eventuais diferenças, perdas na trabalhabilidade ou resistência que haveriam em cada amostra ensaiada.

3.1 Métodos De Ensaio

Para analisar as características dos concretos produzidos, foram necessários realizar ensaios no estado fresco e no estado endurecido, tendo como base as seguintes normas:

- Determinação de Consistência pelo abatimento do tronco de cone – NBR

NM 67(ABNT, 1998).

- Agregado miúdo- Massa específica e massa específica aparente – NBRNM 52 (ABNT,04/2021).
- Massa específica, massa específica aparente e absorção de água em agregado graúdo NBR NM 53 (2006 ABNT).
- Resistência à compressão simples – NBR 5739 (ABNT, 2007).

3.1.1 Preparo, Moldagem E Cura Dos Corpos De Prova

- Principais requisitos do projeto estrutural;
- Resistência característica à compressão do concreto (f_{ck});
- Relação a/c máxima em função da agressividade do meio;
- Abatimento pelo ensaio do tronco de cone;

Inicialmente foi separado o material para o ensaio de abatimento de tronco de cone (NBR NM 67 (ABNT, 1998) conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Utensílios do Slump



Fonte: Autores (2022)

Utilizou para a primeira concretagem aproximadamente $0,03 \text{ m}^3$. Foram adicionados agregado graúdo, miúdo, 50% da água de amassamento, misturando por um período de 1 minuto, em seguida o cimento e o restante da água, misturando por mais 1 minuto,

sucessivamente a adição do aditivo plastificante. Após a preparação do concreto foi feito o teste do abatimento com tronco de cone. Como ilustrado nas Figuras 3 e 4 abaixo:

Figura 3 - Abatimento brita 1 com adicional de 30% RCD



Fonte: Autores (2022)

Figura 4 - Abatimento da brita 0 com adicional de 30% de RCD



Fonte: Autores (2022)

Os corpos de prova de concreto foram moldados e curados de acordo com a prescrição da NBR 5738 (ABNT, 2003c). Foram moldados, e para cada traço de concreto produzido, 3 corpos de prova, totalizando 18 CPs. Foi adotado o processo de adensamento manual, em duas camadas, como prevê a norma supracitada, e a cura dos corpos de prova foi realizada ao ar livre nas primeiras 24 horas. Após esse período, foram desmoldados e curados em câmara úmida até a data de execução dos ensaios ao completarem 28 dias.

Para Quebaud e Buyle-Bodin, (1999) a alta taxa de absorção de água dos agregados reciclados é fator preponderante para heterogeneidade dos valores de índice de abatimento medidos nos concretos reciclados. Portanto, os autores afirmam que a pré-umidificação dos agregados reciclados antes da mistura para produção do concreto se apresenta como boa alternativa para limitação deste problema.

Já Hansen e Narud (1983) compararam concretos produzidos com agregados reciclados de concreto com concretos convencionais e concluíram que os primeiros necessitam de 5% a mais de água livre para atingir os mesmos índices de consistência dos últimos. Além disso, observaram também que existe maior coesão entre as partículas de

agregados reciclados e que a perda de abatimento dos concretos reciclados é mais rápida que dos concretos com agregados naturais.

Com tudo, percebemos na hora da dosagem do concreto uma perda de trabalhabilidade ao usarmos a mesma relação a/c do concreto de referência. Usamos o Slump test para chegar ao resultado da trabalhabilidade dos concretos. O concreto utilizando 70% de brita 0 e 30% de RCD a sua trabalhabilidade foi de apenas 1,3 cm. Já utilizando 70% da brita 1 com 30% do resíduo obtivemos a trabalhabilidade de 2,1cm, diferença entre ambas de 0,8mm.

O ensaio foi feito com 50% do agregado natural de granulometria 1 e 50% do RCD o resultado de sua trabalhabilidade foi de 1cm, já utilizando a brita 0 com 50% de ambos os materiais o resultado foi de 1,7cm, diferenças de 0,7mm. Por tanto, os resultados obtidos com as concretagens utilizando o resíduo não ficaram no padrão normativo esperado.

Figura 5 – Exemplo de corpo de prova, após sua desmoldagem



Fonte: Autores (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Agregados

4.1.1 Composição Granulométrica

O ensaio da análise da composição granulométrica do agregado miúdo, que é padronizado pela norma NBR NM 248:2003, utilizamos 1kg de amostra da areia passando nas peneiras de numerações (4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm) durante 1 minuto aproximadamente e por fim calculamos os valores de Massa retida e acumulada em gramas e percentual, bem como o módulo de finura. Na Figura 6 podemos observar o agitador mecânico de peneiras, assim como na figura 7 que mostra suas diferenças de massa retida, e os resultados da composição granulométrica da areia na Tabela 3, na Tabela 4 se encontra os resultados do resíduo triturado na granulometria da brita 1.

Figura 6 – Agitação Mecânica



Fonte: Autores (2023)

Figura 7 - Visão geral de todos os recipientes com cada massa retida



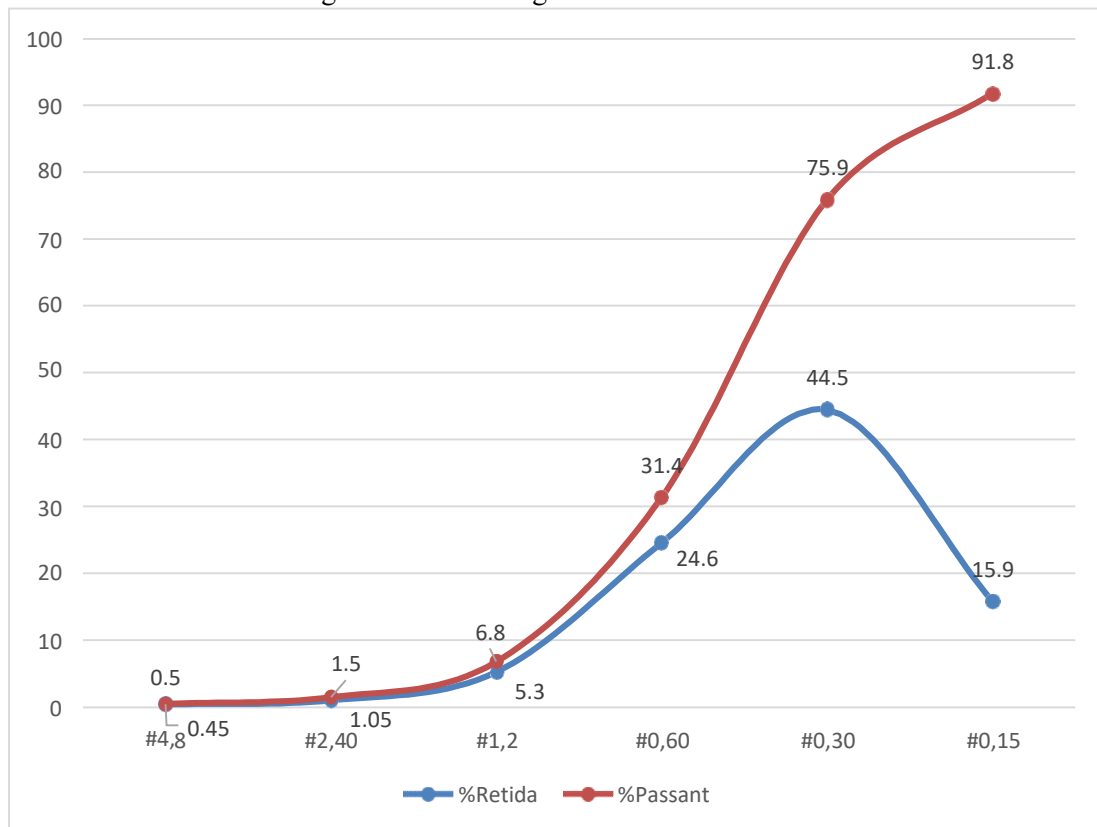
Fonte: Autores (2023)

Tabela 3 - Granulometria da areia

Massa da Amostra (g)				
Peneiras mm	Massa Retida	Massa Retida Acumulada	%Retida	%Passante
#4,8	4,45	4,45	0,45	0,5
#2,40	10,49	14,94	1,05	1,5
#1,2	53,32	68,26	5,3	6,8
#0,60	246,69	314,95	24,6	31,4
#0,30	445,22	760,17	44,5	75,9
#0,15	159,17	919,34	15,9	91,8
#Fundo	82,21	1.001,55	8,2	100
#Total	Modulo de finura			

Fonte: Autores (2023)

Figura 8 - Curva da granulometria da areia



Fonte: Autores (2023)

Tabela 4 - Granulometria do RCD brita 1

Massa da Amostra (g)		%Retida		%Passante
Peneiras	Massa retida (g)	Massa retida	Brita 1	Brita 1
mm		acumulada		
#25	0	0	0	0
#19	0,48	0,48	16,1	16,1
#12,5	2,19	2,67	73,7	89,8
#10	0,28	2,95	9,42	99,2
#9,5	0,01	2,96	0,33	99,5
#4,8	0,01	2,97	0,33	99,8
Fundo	0	2,97	0	99,8
Total	Modulo de finura			

Fonte: Autores (2023)

Tabela 5 - Granulometria do RCD brita 0

Peneiras mm	Massa retida(g)	Massa retida acumulada	%Retida	%Passante
#25	0	0	0	0
#19	0,39	0,39	7,84	7,84
#12,5	3,49	3,88	70,2	78,04
#9,5	0,85	4,73	17,1	95,14
#4,5	0,15	4,88	3,01	98,15
Fundo	0,09	4,97	1,81	99,96
Total	4,97			

Fonte: Autores (2023)

4.1.2 Ensaio Da Massa Específica E Massa Específica Aparente Do Agregado Miúdo.

Os ensaios foram feitos utilizando o frasco de Chapman, a amostra foi de 500g de areia seca e depois preenchido o restante com Água até à marca de 200 ml com cuidado para que não molhasse o frasco pelas laterais, e após esse processo foi

necessário agitar o frasco com cuidado para obter o resultado. Como podemos observar nas Figuras 9 e 10:

Figura 9 - Amostra 500g de areia seca e frasco de Chapman



Fonte: Autores (2022)

Figura 10 – Frasco de Chapman depois de agitado



Fonte: Autores (2022)

Obtemos o resultado conforme a equação:

$$m = \frac{500}{L1 - 200} \text{ g/cm}^3$$

$$m = \frac{500}{390 - 200} \text{ g/cm}^3$$

$$m = 2,6315 \text{ g/cm}^3$$

Figura 11 - Leitura final



Fonte: Autores (2022)

4.1.3 Ensaio Da Massa Específica Do Agregado Graúdo.

Foram confeccionadas duas amostras utilizando 500g de brita 1 para comparar onde haveria mudanças. Como ilustrado nas Figuras 12 e 13:

Figura 12 - Amostra 1 agregado graúdo



Fonte: Autores (2022)

Figura 13 – Amostra 2 agregado graúdo



Fonte: Autores (2022)

No Becker foi adicionado 200 ml de água, adicionada aos poucos para não passar da marca desejada assim como a brita. Como ilustrado nas Figuras 14 e 15:

Figura 14 - Becker utilizado.



Fonte: Autores (2022)

Figura 15 – Becker de ensaio.



Fonte: Autores (2022)

Depois de serem adicionadas, a água ficou na marca de 1200ml. E obtemos os resultados conforme a equação abaixo. A diferença obtida depois de adicionar agregado foi de 200ml. Como ilustrado nas Figuras 16 e 17:

$$\frac{500}{1200 - 1000} = 2,5 \text{ g/cm}^3$$

4.1.4 Ensaio da Massa Específica RCD

Figura 16: RCD sendo pesado.



Fonte: Autores (2022)

Figura 17: Resultado final



Fonte: Autores (2022)

Determinação da massa específica aparente do RCD, conforme análise dos passos anteriores.

$$M_{EA} = \frac{500g}{1200 - 1000} = \frac{500}{200} = 2,5 \text{ g/cm}^3$$

Determinação da Massa Unitária do Resíduo.

Esse ensaio é padronizado pela norma NBR 9937/87. Resíduo caracterizado na granulometria das brita 1 como ilustrado nas Figuras 18 e 19:

Figura 18: Preparação do ensaio



Fonte: Autores (2022)

Figura 19: Pesagem final



Fonte: Autores (2022)

$$M_{unit} = \frac{M_{ra} - M}{V_r} = \frac{5.980 - 3.820}{2.827,43} = 7,6 \text{ g/cm}^3$$

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

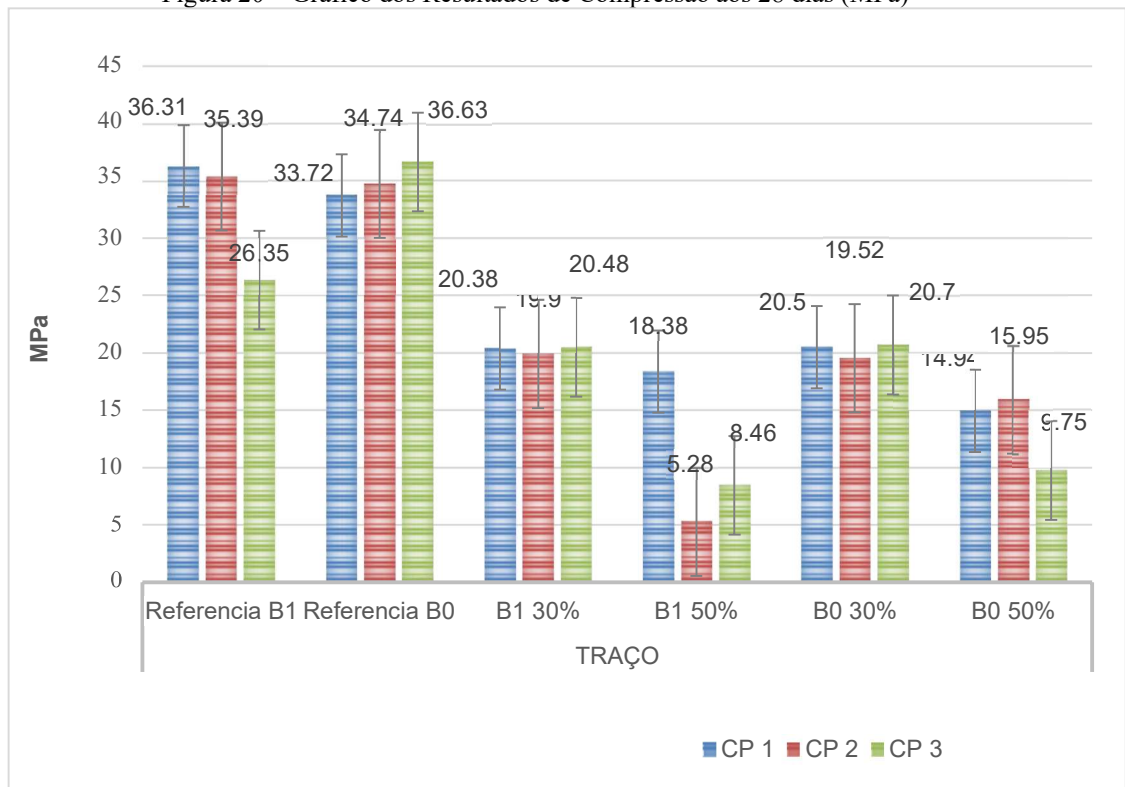
Na Tabela 6 podemos encontrar os resultados obtidos após 28 dias de cura dos corpos de prova no ensaio de compressão, podemos observar que o referencial com a brita 1 sem substituições obteve uma média de resistência de 32,68MPa obteve um bom resultado, assim como o referencial da brita 0 que obteve uma resistência média de 35,03MPa, indo para os traços com substituições parcial da brita 0 pelo resíduo caracterizado em sua granulometria obteve uma resistência média de 20,24MPa assim como a brita 1 com o resíduo que obteve a resistência de 20,25MPa, eles foram resultados bons que alcançaram o padrão normativo de 20MPa, já as britas com substituição de 50% do agregado graúdo convencional pelo resíduo reciclado obtiveram resultados abaixo porém ainda satisfatórios. Foi observado também que alguns resultados ficaram entre 9,75MPa e 5,28 alguns fatores que podemos colocar como observação para ocorrência desse resultado foi algum erro que possa ter acometido no momento de adensamento do material no molde do corpo de prova, e assim como na Figura 20 encontraremos sua representação gráfica.

Tabela 6 – Resultados do Ensaio de Compressão (MPa).

TRAÇOS	REF B1	REF B0	B0 30%	B1 30%	B0 50%	B1 50%
CP 1	36,31	33,72	20,50	20,38	14,94	18,38
CP 2	35,39	34,74	19,52	19,90	15,95	5,28
CP 3	26,35	36,63	20,70	20,48	9,75	8,46

Fonte: Autores (2023)

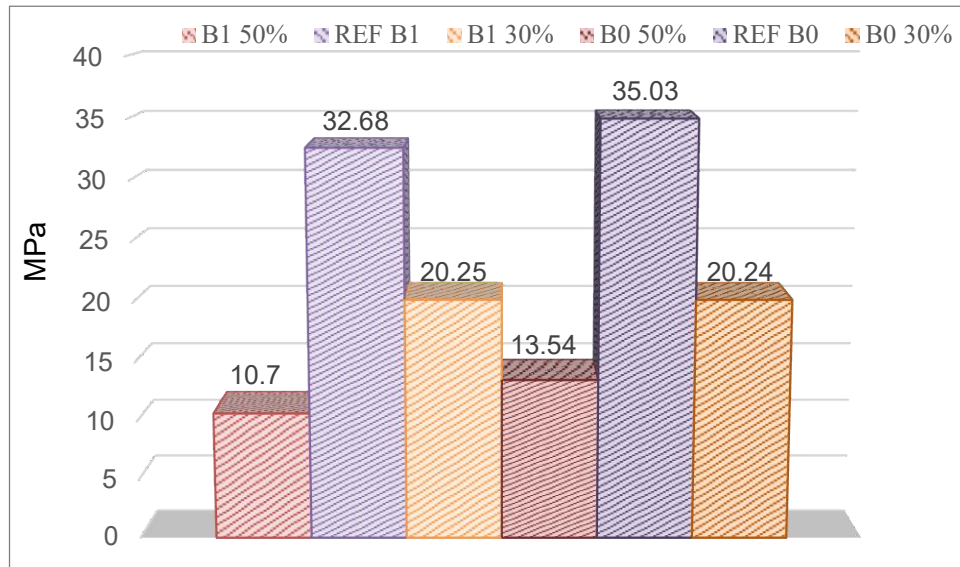
Figura 20 – Gráfico dos Resultados de Compressão aos 28 dias (MPa)



Fonte: Autores (2023)

Nos traços com as substituições parcial utilizando 50% de resíduo caracterizados na granulometria da brita 1 podemos ver que dois de seus resultados obtiveram números baixos, tais como 5,28 MPa e 8,46 MPa, alguns fatores que podemos citar a respeito do que pode ter ocorrido com esses resultados é que houve algum erro na hora do adensamento do material, assim como na substituição de 50% porém com granulometria da brita 0 com o resultado de 9,75 MPa. Podemos encontrar a média de seus resultados na Figura 21:

Figura 21 – Média dos Resultados dos Ensaio de Compressão (MPa)

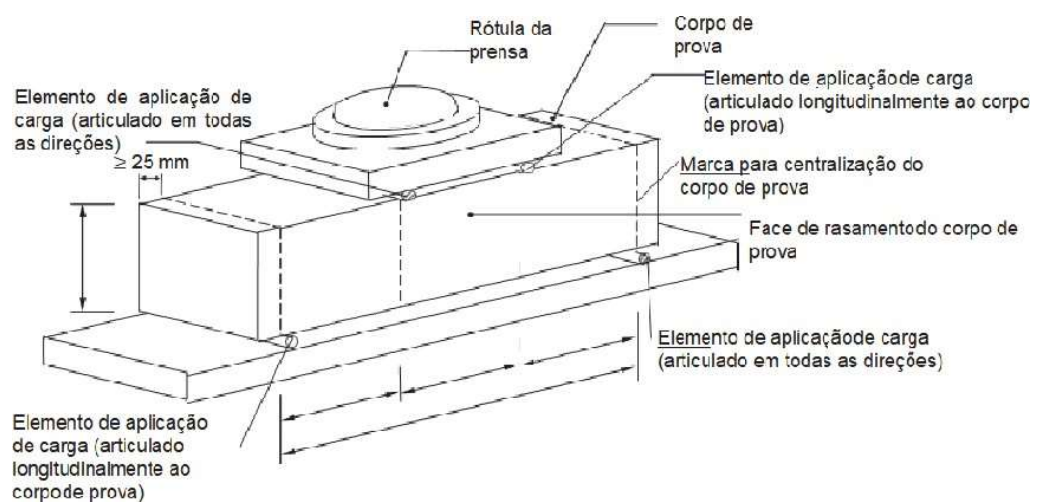


Fonte: Autores (2023)

5.1 Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão das vigotas seguiu as recomendações da NBR 12142 de 10/2010. Sobre o dispositivo de ensaio, deve ser utilizado a aparelhagem definida na ABNT NBR 5739 é equipado com um dispositivo de flexão que assegure a aplicação da força perpendicularmente às faces superior e inferior do corpo de prova, sem excentricidades. Como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Máquina de ensaio



Fonte: Autores (2023) adaptado NBR 12142 de 10/2010.

Características da máquina de ensaios:

- A distância entre apoios e pontos de aplicação de força deve permanecer constante durante o ensaio.
- A força deve ser aplicada normalmente à superfície do corpo de prova, evitando excentricidade.
- A direção das reações deve ser mantida paralela à direção da força durante todo o ensaio.
- A força deve ser aplicada de forma gradual e uniforme, evitando choques.

Na Figura 23 podemos observar as vigotas e como ficaram, a vigota que se encontra mais a fundo foi utilizada a substituição de 50% da brita 1 podemos ver que ela ficou com uns vazios bem aparentes, já mas a frente a com substituição de 30% ficou com sua superfície mais lisa, na Figura 24 podemos acompanhar o rompimento completo de uma vigota com substituição de 30% da brita 1.

Figura 23: Corpo de Prova



Fonte: Autores (2022)

Figura 24: Corpo de prova na prensa



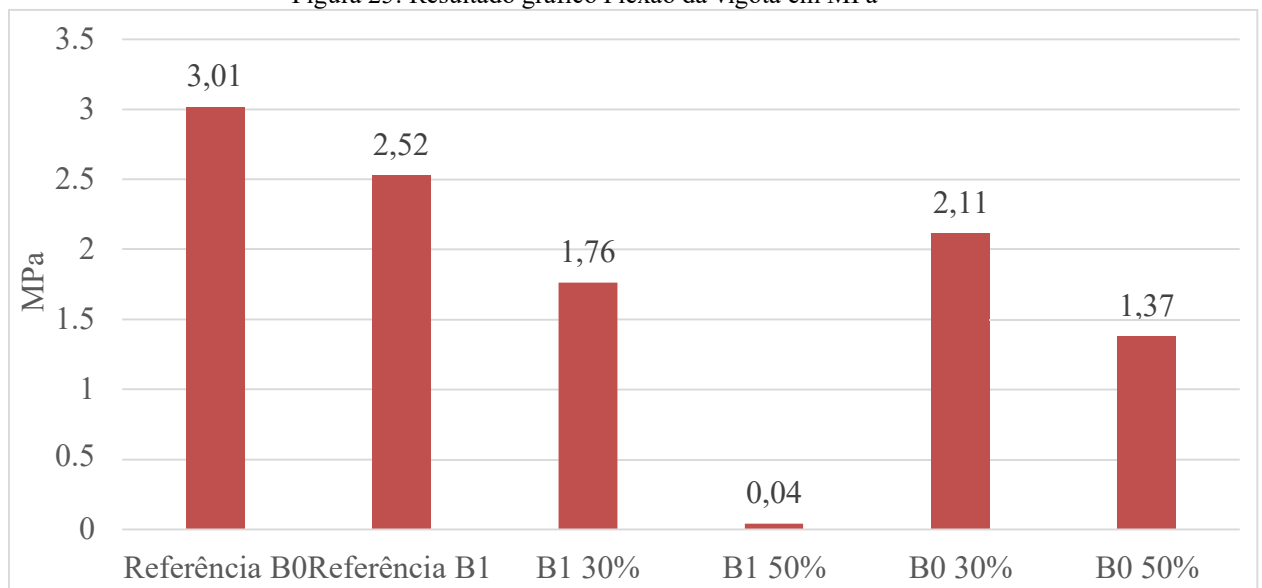
Fonte: Autores (2022)

Tabela 7– Resultado dos Ensaio Flexão De Vigotas em MPa

CP's	Tensão Max. (MPa)
Referência B0	3,01
Referência B1	2,52
B1 30%	1,76
B1 50%	0,04
B0 30%	2,11
B0 50%	1,37

Fonte: Autores (2023)

Figura 25: Resultado grafico Flexão da vigota em MPa



Fonte: Autores (2023)

6 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo norteador avaliar a viabilidade técnica na reutilização dos resíduos de RCD's e observar sua influência nas características mecânicas dos concretos, afim de contribuir para o desenvolvimento e diminuição dos impactos ambientais que a construção civil gera.

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios realizados, foi possível chegar à conclusão que a produção de concreto com adição de agregado reciclado de RCD se difere do padrão, o material reprocessado gera um volume maior de concreto, se comparado a produção utilizando brita convencional, isso causa uma interferência na consistência do concreto, reduzindo assim a sua trabalhabilidade durante os testes.

O concreto utilizando 70% de brita 0 e 30% de RCD alcançou 1,3 cm no teste de Slump. Já utilizando 70% da brita 1 com 30% do resíduo, aferimos a medida de 2,1 cm, podemos notar a diferença entre ambos de 0,8 mm. Estes resultados alcançados ficaram abaixo do padrão normativo esperado para a construção civil.

E válido salientar que a reutilização de resíduos se mostrou uma solução viável para a construção civil, obtivemos resultados bons nos ensaios de compressão onde seria possível fazer sua utilização no dia a dia da construção, porém, a escassez de desenvolvimento de pesquisas científicas, estudos e normas técnicas retardam a utilização deste método de construção mais sustentável. Se faz necessário que este seja disseminado nas academias abrangendo as construtoras, tornando a reciclagem de RCD um sistema construtivo viável no cotidiano dos profissionais e clientes. Por fim, fica a sugestão para novos estudos futuros, agregando a verificação da viabilidade técnica e económica deste sistema.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2014. 120 p. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2014/>. Acesso em: 13 jun. 2023.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2017. 73 p. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. 2005. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18112005-155825/pt-br.php>. Acesso em: 13 jun. 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova: especificação. Rio de Janeiro, 2003. 9f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739**: concreto: ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: especificação. Rio de Janeiro, 2007. 9f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9833**: concreto fresco: determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008. 7f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 52**: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 53**: agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009. 8f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12142**: concreto: determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010. 5f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 67**: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco do cone. Rio de Janeiro, 1998. 8f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6f.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. **Panorama município de Macapá**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/macapa/panorama>
Acesso em: 13 jun. 2023.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei nº 12.305/10. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Disponível em:
https://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/14826/politica_residuos_solidos_3ed.r eimp.pdf?sequence=20&isAllowed=y. Acesso em: 06/11/2022.

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil**. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Programa Qualidade de Vida na Construção. Fortaleza, 2011. 43 p. Disponível em:
<http://www.ibere.org.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos---ce-pdf>.
Acesso em: 20 jun. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em:
https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/legislacao/residuos2/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf. Acesso em: 09/03/2023.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Durability Performace of Concrete Made With Fine Recycled Concrete Aggregates. **Cement and Concrete Composites**. v. 32, n. 1, p. 9-14, jan. 2010.

HANSEN, T. ; NARUD, H. Strengh of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. **Concrete International - Desing and Construction**. v.5, n.1, p.79-83, 2016.

HANSEN, T. C. (1985). Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, second state of the art report developments. 1945-1985. **RILEN** Technical Committee – 37 - DRC.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992. 349 p.

IBRACON. Instituto brasileiro de concreto. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**. Volume 6, nº6. São Paulo, dezembro de 2013.

LAMÔNICA, Celso Henrique; AZAMBUJA, Maximiliano dos Anjos; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes. Gestão dos Resíduos Sólidos da Construção Civil: um estudo bibliométrico na base Scopus e Web of Science. (2009-2019), **Revista nacional de gerenciamento de cidades**, v. 07, n. 51, 2019.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregados para argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, São Paulo, São Carlos, 1997.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição**. 2001. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

MATUTI, Bruna Barbosa; SANTANA, Genilson Pereira. Reutilização de resíduos de construção civil e demolição na fabricação de tijolo cerâmico – uma revisão. **Scientia Amazonia**, v. 8, n.1, E1-E13, 2019.

SANTOS, Antônio Zeferino dos; SOUSA, Samuel Russi e. **Aproveitamento de resíduos da construção civil na produção de concretos para uso em pavimentação de ciclovias**. 2016. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, DF, 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/17052>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SILVA, Leonardo Costa; FELIX, Ludmylla Pires; SANTOS, Thiago Martins. **Influência dos agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto**. 2018. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2014. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/INFLUÊNCIA_DOS_AGREGADOS_RECICLADOS_DE_RESÍDUOS_DE_CONSTRUÇÃO_NAS_PROPRIEDADES_MECÂNICAS_DO_CONCRETO.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023

ZORDAN, Sérgio Eduardo. **A utilização do entulho como agregado, na confecção de concreto**. 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1997. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/115276>. Acesso em: 03 jun. 2023.