

**CONCRETO SUSTENTÁVEL: Análise da reciclagem de resíduos da construção civil
através da incorporação na produção de concreto a fim de contribuir com a
sustentabilidade¹**

Rômulo Lopes Delfino²
Sabrina Oliveira Dantas³
Sara Jessica Roseo Gonçalves⁴
Emerson dos Santos Silva⁵

RESUMO

O consumo do concreto aumenta a cada ano por seus diversos pontos positivos, porém, em obras em andamento e demolições normalmente os resíduos sólidos são descartados de maneira imprópria, causando grande impacto ambiental. Dessa forma, o objetivo geral do estudo é analisar o desempenho do concreto produzido com a incorporação do entulho descartado em obras em substituição parcial do agregado miúdo, a fim de minimizar as consequências ambientais que esses resíduos trazem ao meio ambiente. Assim, foi proposto produzir e comparar a resistência à compressão entre o concreto convencional e o concreto com a substituição de 30% e 50% do agregado reciclado pela areia. Os dados foram obtidos pela ruptura de 36 corpos de prova nos intervalos de 3, 7 e 14 dias, produzidos com o objetivo de suportar 20 MPa. Por fim, a média da resistência aos 14 dias dos corpos de prova com incorporação de agregado reciclado com 30% e 50% de substituição foi maior se comparado ao traço usando o agregado miúdo convencional, de acordo com a progressão de resistência, espera-se um alcance de 20 MPa aos 28 dias. Para um melhor resultado, uma solução seria a adição de aditivos no concreto, com intuito de elevar sua resistência.

Palavras-chave: Resíduos. Impacto Ambiental. Resistência.

¹ Artigo apresentado para a banca de TCC II , como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

² Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar – romulo1260@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar – sabrinadantas_@outlook.com

⁴ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar – sarajessica.rgoncalves@outlook.com

⁵ Professor Orientador. Mestre em engenharia de Processos. Docente da Universidade Potiguar – emerson.silva@unp.br

ABSTRACT

The consumption of concrete increases every year due to its many positive aspects, however, in construction in progress and demolitions, solid waste is normally disposed of improperly, causing a great environmental impact. In this way, the general objective of the study is to analyze the performance of the concrete produced with the incorporation of the rubble discarded by works in partial replacement of the fine aggregate, in order to minimize the environmental consequences that these residues bring to the environment. Thus, it was proposed to produce and compare the compressive strength between conventional concrete and concrete with the replacement of 30% and 50% of the recycled aggregate by sand. The data were obtained by breaking 36 specimens at intervals of 3, 7 and 14 days, produced with the objective of supporting 20 MPa. Finally, the average strength at 14 days of the specimens with recycled aggregate incorporation with 30% and 50% replacement was higher compared to the mix using conventional fine aggregate, according to the resistance progression, it is expected a range of 20 Mpa at 28 days. For a better result, a solution would be the addition of additives in the concrete, in order to increase its resistance.

Keywords: Waste. Environmental Impact. Resistance.

1 INTRODUÇÃO

A construção é uma atividade muito antiga que há muito tempo vem gerando grande quantidade de entulho mineral. Essa situação prendeu a atenção dos construtores já na época da elevação das cidades do Império Romano. Contudo, apenas a partir de 1928, foi iniciado o desenvolvimento de estudos para avaliar o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito dos agregados provenientes dealvenaria britada e de concreto. Porém, a primeira vez que o entulho reciclado foi posto em uso, foi na reconstrução das cidades europeias, após a segunda guerra mundial, e a partir daí, foi iniciado o desenvolvimento da reciclagem na construção civil. (Levy,S, M., 1995; ABRECON.)

A cada ano o consumo do concreto aumenta nas construções, pois ele tem diversos pontos positivos, como a facilidade de produzir e moldar, baixo custo e alta resistência. Por consequência disso, obras em andamento que utilizam o concreto descartam uma grande quantidade de volume de resíduos de forma clandestina, fazendo com que o meio ambiente sofra resultados negativos. (TEODORO, 2011; FERNANDES, 2015.)

Dessa forma, é importante a execução da reciclagem nesse cenário, pois ela pode gerar inúmeros benefícios, como a redução no consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000); A redução de áreas

necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999); A diminuição da poluição; por exemplo, para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de altoforno em substituição ao cimento Portland. (JOHN, 1999). Além disso, a reciclagem contribui tanto com a economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais pelo entulho, quanto com a limpeza da cidade, poupando rios, represas, terrenos baldios, o esgotamento sanitário, aliviando o impacto nos aterros sanitários e lixões e até amenizando alagamentos e enchentes, uma vez que não vão parar em bueiros e não impermeabiliza o solo. (ABRECON, 2014.)

Todavia, o segmento da reciclagem de resíduos da construção e demolição ainda é primário no Brasil, tornando a construção civil a maior geradora de resíduos em toda sociedade e a responsável por 61% dos entulhos gerados nos centros urbanos brasileiros no ano de 2005. (NORONHA, 2005).

Logo, cabe ao órgão público a função de zelar pela gestão correta e legal dos resíduos da construção e demolição, porém 80% dos municípios não tratam de forma correta o descarte desse material, segundo pesquisas realizadas no ano de 2011. (ABRECON, 2011).

O objetivo geral dessa pesquisa é avaliar o desempenho do concreto quando produzido com a incorporação parcial de entulho advindo da construção civil, sendo utilizado na sua produção.

Ao final do trabalho, espera-se mostrar como objetivos específicos os benefícios e a viabilidade da utilização do concreto reciclado na construção civil para a redução e/ou minimização na produção de resíduos sólidos na construção, ajudando na questão ambiental e econômica, tendo em vista que a reutilização do entulho para a produção do concreto colaboraria financeiramente no custo final de uma obra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Referencial Teórico a seguir mostra o quanto o concreto é um produto extremamente importante e utilizado rotineiramente no ramo da Engenharia Civil, e como dele podemos transformar em uma mercadoria renovável, transformando o próprio entulho em concreto, ajudando na economia e evitando mais impactos ambientais.

2.1. Definição, utilização e características do concreto.

Na linha do tempo e da evolução da tecnologia, o concreto moderno surgiu por volta de 1756, quando John Smeaton fez uma pequena mistura entre o cimento e o agregado graúdo. Em 1791, James Parker, descobre o cimento produzido com sedimentos de rochas, que na época ficou chamado de Cimento Romano. Com o passar dos tempos, o concreto passa por modificações e alterações em seu traço, aperfeiçoando suas características. No entanto, em 1981, George Bartholomew fez a primeira rua em concreto em Ohio (EUA), trazendo a provação sobre resistência e versatilidade do concreto (CASAGRANDA, 2019; QUIZA, 2017).

O concreto é sem dúvida uma das maiores invenções já realizadas na área da construção civil, sua resistência, versatilidade e um custo relativamente baixo, trouxeram opções de construir grandes obras na arquitetura e na engenharia da história. Hoje podemos ver em quase todo o nosso entorno a utilização deste material (TAGLIANI, 2016).

Sua composição consiste nas junções em proporções adequadas dos seguintes materiais: aglomerantes, agregados e água. Os aglomerantes unem os fragmentos dos demais materiais, no caso do concreto é utilizado o cimento Portland para esta função. Já os agregados têm como determinação o uso para o aumento do volume do produto, reduzindo assim o seu custo, sendo dividido entre o agregado graúdo e miúdo, na execução do mesmo é utilizada a brita com granulometria de $\phi \geq 4,8\text{mm}$ e areia lavada com $0,075\text{mm} < \phi < 4,8\text{mm}$ (ALENCAR; SILVA, 2019).

O traço do concreto, também conhecido como dosagem, é a proporção específica dos materiais utilizados para produzir o concreto, mas qual seria a importância deste traço, quais problemas ele poderia apresentar caso não seguir? Essa pergunta geralmente frequente é bem simples de responder, caso tenha algum erro na proporção de alguns destes materiais, resultará em uma massa com textura irregular e difícil de operar, interferindo diretamente na sustentação e resistência para paredes, pisos e fundações (BLOCOS ORIENTE, 2020).

A NBR-5739 (ABNT, 2018) apresenta as informações sobre a resistência deste traço seguindo as normas do concreto. Deve ser feito o ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, tendo a retirada de uma parcela pequena do material, equivalente a um carro de mão, para ser produzido o ensaio de corpo de prova, verificando sua

resistência à compressão, atendendo ao estabelecido na ABNT NBR 5738. Os corpos de prova devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na tabela 1, usualmente em obras é utilizado apenas o corpo de prova de 7 e 28 dias. No caso de corpos de prova moldados de acordo com a norma, a idade deve ser contada a partir do momento da moldagem.

Tabela 1 – Tolerância para a idade de ensaio

Idade de ensaio	Tolerância permitida h
24h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

NOTA: Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.

Fonte: ABNT- NBR 5739 (2018)

Após os dados coletados do ensaio anterior, deve ser feita a análise das informações obtidas, conferindo assim sua resistência mecânica e verificando se irão atender as cargas que vão receber, principalmente para saber se o traço escolhido trouxe os seus esperados 20 Mpa de resistência para peça, como exige a NBR-5738.

2.2. O impacto da produção de cimento e concreto no meio ambiente

As primeiras fases de vários projetos de construção podem envolver a demolição de casas, prédios, fundações de concreto, calçadas e outras estruturas, isso gera um volume considerável de resíduos sólidos pesados e densos para lidar, se tornando motivo de preocupação com os impactos ambientais e urbanos.

Segundo o canal Engenharia Detalhada no Youtube, o concreto tem sido utilizado desde a Roma antiga em edifícios de quase todas as dimensões, e hoje é quase impossível pensar em uma estrutura que não tenha pelo menos um elemento de concreto, pois ele é o material de construção mais utilizado no mundo devido aos seus diversos pontos positivos como facilidade de manuseio, acessibilidade, estética, etc.

Entretanto, de acordo com Martins Gonçalves e Marcelo Panhan 2020, sua fabricação também é um dos principais poluidores da atmosfera, pois a indústria de cimento emite um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa, causador do aumento da temperatura do planeta, o dióxido de carbono (CO²), que gera impactos ambientais em praticamente todas as fases de sua produção, além do que sua nocividade causa para a saúde do ser humano, podendo trazer danos aos pulmões.

A produção de cimento é responsável por aproximadamente 28% da emissão de CO² mundial, de acordo com o instituto de pesquisa britânico Chatham House. (LEHNE E PRESTOM, 2018).

2.3. Geração e classificação de resíduos sólidos no Brasil.

A construção civil é o setor que mais interfere na economia e desenvolvimento do país e é fundamental para o progresso do país e região. Segundo o IBGE, a alta na atividade de construção (13,1%) no segundo trimestre de 2021 foi colaborada pelo aumento de pessoas ocupadas no setor. Os investimentos em obras impulsionam áreas importantes para o desenvolvimento urbano.

Um dos pontos principais e fundamental para render bons lucros na construção civil é a organização no canteiro de obra, em que o responsável pela obra tem responsabilidade de ordenar o gerenciamento de resíduos, que envolve um plano de redução, de reutilização e de gerenciamento de resíduos nos canteiros de obras.

Atualmente, a construção civil é a maior geradora de resíduos sólidos, a própria técnica construtiva (manualmente no canteiro de obra) causa desperdício, gerando prejuízo logístico e financeiro e degradando o meio ambiente (ABRECON, 2015).

Resíduo ou entulho da construção civil é caracterizado, segundo Levy e Helene (1997) Apud Ângulo (1998), como “sobras ou rejeitos constituídos por todo material mineral oriundo do desperdício inerente do processo construído adotado na obra nova ou de reformas ou de demolições”.

A classificação dos resíduos sólidos ou entulhos da construção civil segundo dados da Abrecon (s.d.), Pinto (2005) e da Resolução do CONAMA nº 307 (2002), são estabelecidos em classes:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

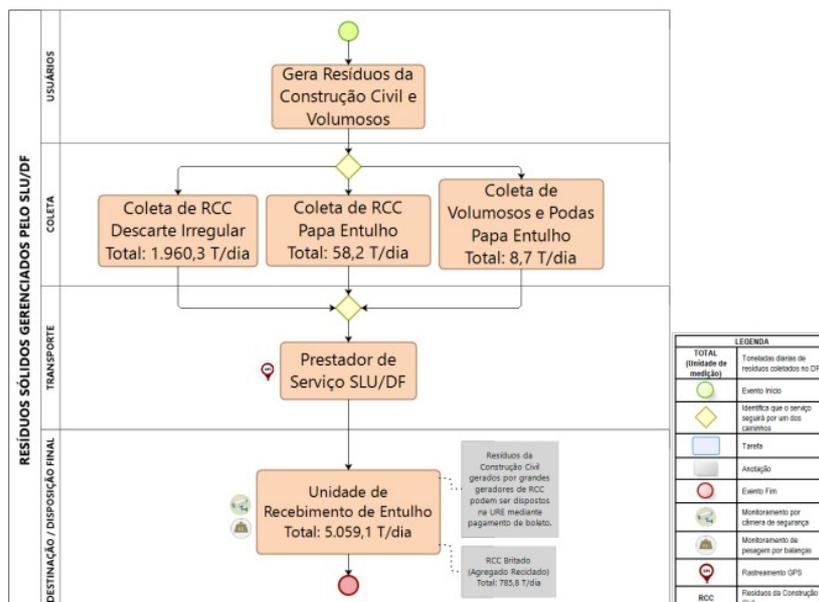
- a) De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
 - c) De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

O principal fator desse mercado é conhecer profundamente o tipo de resíduo a ser comercializado. Assim, o corretor ambiental para ter sucesso com comércio de resíduos sólidos precisa estar de olhos abertos e ouvidos atentos, sobretudo para suprir as necessidades comerciais dos diferentes setores do seu negócio.

No Brasil, cerca de 122 mil toneladas de resíduos por dia são produzidos pela construção civil, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, com dados coletados em 2018 (ABRELPE, 2019).

A Unidade de Recebimento de Entulho (URE) é a destinação final de mais de cinco mil toneladas diárias de resíduos da construção civil (RCC), recolhidos pelo SLU, empresas privadas e outros órgãos do GDF, como mostra a figura 1 de resíduos sólidos gerenciados pelo SLU/DF:

Figura 1 – Resíduos sólidos gerenciados pelo SLU/DF



Fonte: SLU – Serviço de Limpeza Urbana, relatório anual 2020.

O aumento desse número de entulho gerado no país, além de causar impactos ambientais é também um prejuízo financeiro. O uso desses resíduos vem se tornando cada vez mais possível de serem reutilizados na construção, segundo Silva(2006) vem se criando soluções para o emprego deste material, sendo possível serem usados para:

a) Pavimentações, tendo como sub-base, revestimentos primários, na forma de brita corrida ou em mistura de resíduo com o solo. A figura 2 corresponde a brita corrida reciclada de entulhos, utilizada principalmente para pavimentações de ruas e avenidas, realizada pela Corpus- Saneamento e Obras Ltda.:

Figura 2 – Brita corrida reciclada



Fonte: Corpus - Saneamento e Obras Ltda.

- b) Agregado para concreto não estrutural, através da substituição dos agregados convencionais (areia e brita);
- c) Agregado para confecção de argamassa, processados até chegarem com uma granulometria semelhante as da areia, utilizado para agregado de argamassa para assentamento e revestimento.

2.4. Como amenizar o impacto ambiental na produção do concreto

Dessa forma, é necessário programar o uso e a produção de cimento e seus derivados, como o concreto, de maneira sustentável, por meio de técnicas como as que serão apresentadas neste estudo.

Conforme Jaqueline Ramos (2016, apud CETEM, 2013), uma das soluções esperadas e usuais para esse problema seria usar o entulho reciclado como agregados graúdo e miúdo (brita e areia), pois a extração dessa matéria prima para produção do concreto também possui um grande impacto ambiental que causa danos irreversíveis ou de difícil recuperação, como a destruição da vegetação local, desmatamento, modificação da paisagem, assoreamento de rios, exposição de lençol freático e conseqüentemente a sua contaminação.

De acordo com o canal do Youtube Engenharia Detalhada, apesar de o cimento liberar uma grande quantidade de dióxido de carbono durante a sua fabricação em comparação com materiais semelhantes, conservar os recursos naturais com redução da extração de brita e areia já seria um grande avanço ambiental, principalmente se considerarmos a quantidade de concreto produzido diariamente no mundo.

2.5. Utilizações do concreto reciclado

Conforme Ângulo 2000, o concreto reciclado é uma solução inovadora e de fácil aplicação que pode ajudar com a redução de gastos das obras em geral, produzindo uma viabilidade técnica e auxilia na redução dos resíduos oriundos de demolições da construção civil. Perante as condições e comportamento do concreto fabricado, para a determinação de sua resistência é necessário seguir os padrões de ensaios impostos pelas normas técnicas brasileiras, tanto os resíduos que serão adicionados quanto o concreto como produto final.

Já o concreto reciclado, segundo Junior Ferreira 2019, proveniente da mistura de aglomerante, um percentual de agregado reciclado e água, deverão garantir suas propriedades e resistência como produto final. Para garantir sua eficácia, ele deve ser subordinado aos seguintes ensaios de moldagem e cura da NBR 5738 (ABNT, 2015) e ensaio de compressão pela NBR 5739 (ABNT, 2007).

Segundo a ABRECON, o concreto reciclado pode ser usado não só como agregado para novos concretos como também pode ser usado para pavimentação na forma de brita corrida, como agregado para a confecção de argamassa, cascalhamento de estradas, preenchimento de vazios em construções, preenchimento de valas de instalações, reforço de aterros, para superfícies rígidas, utilização em paisagismos, preenchimento de gabiões, etc. A tabela 2 ilustra alguns exemplos e seu uso.

Tabela 2 - Produtos reciclados, suas características e o uso recomendado de cada produto

PRODUTO	CARACTERÍSTICAS	USO RECOMENDADO
Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Fonte: Urbem Tecnologia Ambiental

Vantagens econômicas, sociais e ambientais que reciclar o entulho trazem:

- Economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais pelo entulho;
- Diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas consequências negativas, como enchentes e assoreamento de rios e córregos;
- Preservação das reservas naturais de matéria-prima. (ABRECON, 2014 por Luciano).

2.6 Exemplos de Usina de reciclagem no Brasil.

2.6.1 URBEM

Localizada em São Bernardo do Campo (SP), a URBEM - Usina de Reciclageme Beneficiamento de Entulho e Materiais - foi implantada para solucionar um problema gerado pela grande produção de entulho proveniente da construção civil. A Usina, com capacidade de processar 50 toneladas de entulho por hora, funciona como umapedreira, com transportadores de correia, britador de impacto, eletroímã, peneira vibratória e outros dispositivos.

A URBEM traz vários benefícios, como a colaboração com a limpeza da cidade, o reaproveitamento de materiais, a ajuda na preservação do meio ambiente, a geração de empregos e o fornecimento de materiais por um custo inferior ao oferecido pelo mercado.

2.6.2 MEJAN AMBIENTAL

Localizada em Votuporanga – SP, a Mejan é uma empresa especializada na remoção e destinação final dos resíduos da construção civil. Para tanto, possui uma usina de reciclagem de entulho, que processa e recicla esses materiais. Após a triagem, o entulho é triturado por um equipamento que faz a separação em agregados de alta qualidade, como areia, pedras, pedriscos e rachão.

A Mejan dispõe, ainda, de sistema de transbordo licenciado, com usina de reciclagem de entulho, onde esse resíduo é beneficiado e transformado em agregados, além de aterro para resíduos da construção civil e inertes.

Vale lembrar que todas as operações acontecem sob as normas da legislação ambiental, o que garante a destinação correta e a sustentabilidade do processo.

3 METODOLOGIA

O artigo irá apresentar os materiais e métodos utilizados para a reutilização do concreto como agregado miúdo, substituindo o agregado normalmente usado, pelo agregado reciclável.

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

3.1.1 Abrasão Los Angeles

Foi feita a britagem do material no aparelho “Los Angeles” para a obtenção do agregado miúdo de acordo com a foto 1.a.

3.1.2 Agitador de Peneiras

Logo após o serviço de britagem, foi realizado o ensaio de granulometria no Agitador de Peneiras, exposto na foto 1.b, do material obtido para conhecer as curvas granulométricas indicando a finura do solo e a forma da curva, ou então, através dos diagramas triangulares (triângulo de FERET).

3.1.3 Estufa

A estufa, como mostra a foto 1.c, foi utilizada para tirar a umidade da brita e da areia após sua higienização.

3.1.4 Betoneira

Foi utilizada a betoneira tanto para higienização da brita quanto para a confecção do traço para a moldagem dos corpos de prova, como mostra a foto 1.d.

Foto 1.a – Abrasão Los Angeles



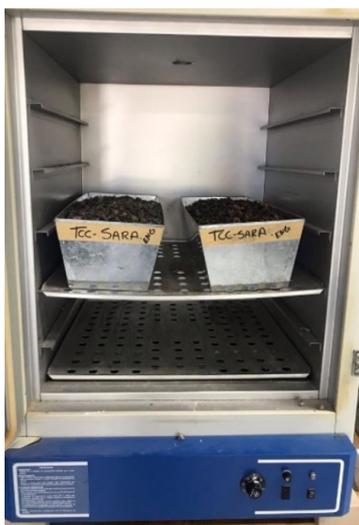
Fonte: Autores (2022)

Foto 1.b – Agitador de peneiras



Fonte: Autores (2022)

Foto 1.c – Estufa



Fonte: Autores (2022)

Foto 1.d – Betoneira



Fonte: Autores (2022)

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Coleta do material reciclado

Foram coletados em uma empresa localizada na cidade de Mossoró-RN, resíduos de corpos de prova já rompidos e inutilizados que seriam descartados. A realização dos ensaios foi feita para dar embasamento ao estudo, fazendo assim um levantamento de qualidade que trará um diferencial econômico no traço e a diminuição do impacto ambiental, atendendo a curva de resistência à compressão.

3.2.2 Triagem

Para dar prosseguimento a sequência do processo, foi necessária ser realizada a triagem do material coletado de acordo com suas características físicas e químicas, com a intenção de deixá-los livres de impurezas. Nesse caso, como eram corpos de prova já fabricados, porém rompidos, não houve a presença de substâncias químicas que atrapalhassem o processo de execução.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Será feita a realização dos ensaios de caracterização dos materiais no laboratório de materiais da Universidade Potiguar de Mossoró - RN, seguindo as recomendações da NBR 7217; Agregados – Determinação da composição granulométrica.

3.3.1 Granulometria dos agregados

Seguindo a norma da ABNT NBR NM 248:2003 para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos para concreto, será necessária a utilização do conjunto de peneiras sucessivas, que atendam às normas NM-ISO 3310-1 ou 2, com as aberturas de malha estabelecidas na Tabela 3. Por definição, segundo a norma, o agregado miúdo “é aquele que passa na peneira com abertura de malha de 9,5 mm, que passa quase totalmente na peneira 4,75 mm e fica retido, em sua maior parte, na peneira 75 μm ; ou se define como a porção que passa na peneira de 4,75 mm e fica retida quase totalmente na peneira de 75 μm ”. As fotos 2.a e 2.b demonstram as amostras do agregado miúdo convencional e do reciclado.

Tabela 3 – Série de peneiras

Serie Normal / Série Normal	Serie Intermedia / Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μm	-
300 μm	-
150 μm	-

Fonte: ABNT NBR NM 248:2001

Foto 2.a – Amostra agregado convencional



Fonte: Autores (2022)

Foto 2.b – Amostra agregado reciclado



Fonte: Autores (2022)

3.3.2 Massa específica do agregado miúdo

O método utilizado foi o do frasco de Chapman, descrito na ABNT NBR 9776. Para ser feita a amostra representativa, colhida de acordo com a NBR 7216, pesou-se 500g de areia seca em estufa; colocou-se água no interior do frasco até sua marca padrão de 200 ml; foi introduzido cuidadosamente o material. A água subiu no gargalo do frasco até certa marca (L); foi feita a leitura e do valor obtido e diminuiu-se os 200 ml, como mostra nas fotos 3.a e 3.b, abaixo:

Foto 3.a – Frasco de Chapman com água e areia



Fonte: Autores (2022)

Foto 3.b – Leitura do frasco de Chapman



Fonte: Autores (2022)

Assim, obteve-se o valor absoluto de areia, foi dividido o peso dos 500g de areia pelo volume achado e, dessa forma, foi encontrada a massa específica real ou peso específico real, como mostram na tabela 4 os valores obtidos:

Tabela 4 – Massa específica do agregado miúdo convencional

MASSA ESPECÍFICA - CHAPMAN	
Leitura g/cm³	M. E. A g/ cm³
388	500/(L- 200)
	2,659

Fonte: Autores (2022)

3.4 FORMULAÇÃO EM MASSA E VOLUME E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

3.4.1 Cálculo do traço de referência.

Foi executada a elaboração dos corpos de prova com agregado natural e com substituição do agregado reciclado, seguindo as normas da ABNT (NBR 5738:2015). Os corpos de prova foram moldados com o traço conforme o referente 1: 3: 3 (cimento; areia; brita), traço este bastante utilizado na construção civil, tendo como apoio o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). A metodologia proposta é analisar se o traço trará a resistência esperada, com finalidade de uso para piso. De acordo com a tabela 5, pode ser observado o quantitativo de corpos de provas produzidos para a realização dos testes de rompimento.

Tabela 5 – Número de copos de prova por traço

Traço	3 Dias	7 Dias	14 Dias	Nº CP
Convencional	4	4	4	12
Substituição de 30%	4	4	4	12
Substituição de 50%	4	4	4	12
			Total	36

Fonte: Autores (2022)

Foi possível definir o fator água/cimento a ser utilizado neste estudo através da tabela 1.1 da NBR 6118, levando em consideração a classe de agressividade II (Urbana). Após isso, foi encontrado o volume de água para cada traço e logo em seguida realizado o cálculo do quantitativo de materiais necessário para confeccionar 36 corpos de prova, como mostra a tabela 6.

Tabela 6 - Volume de Materiais

TRAÇO	CP	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	BRITA (kg)	RESÍDUO (kg)
CONVENCIONAL	12	7	21	21	0
SUBSTITUIÇÃO 30%	12	7	14,7	21	6,3
SUBSTITUIÇÃO 50%	12	7	10,5	21	10,5

Fonte: Autores (2022)

3.4.2 Processo de confecção dos corpos de prova

De acordo com as orientações da ABNT NBR 5738:2015 - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, para a confecção dos corpos de prova cilíndricos deste trabalho, foram utilizadas fôrmas de 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura cada, para confeccionar 36 unidades, esse processo foi realizado no laboratório da Universidade Potiguar de Mossoró.

Foi realizado o teste de Slump para verificação da consistência do concreto antes de iniciar a montagem dos corpos de prova, resultados expressos nas fotos 4.a, 4.b e 4.c abaixo.

Foto 4.a – Slump com 30% de substituição



Fonte: Autores (2022)

Foto 4.b – Slump com 50% de substituição



Fonte: Autores (2022)

Foto 4.c – Slump concreto com agregado convencional



Fonte: Autores (2022)

Em seguida, visto um bom resultado no teste do Slump, foi realizada a preparação dos moldes e suas bases, que foram revestidas com uma camada de óleo lubrificante que não reage com o cimento. Em seguida, foi iniciada a moldagem dos corpos de prova.

O concreto colocado nos moldes seguiu o número de camadas de acordo com o método de adensamento em função do abatimento descrito na tabela 7 abaixo:

Tabela 7 – Número de golpes e camadas para moldagem dos corpos de prova.

Tipo de Corpo de prova	Dimensão Diâmetro (mm)	Número de camadas		Número de golpes para adensamento Manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225

Fonte: ABNT NBR 5738:2015

Neste trabalho, foi realizado o adensamento manual, onde cada camada de concreto colocada no molde foi adensada com uma haste penetrada 12 vezes. Os golpes foram distribuídos em toda a seção do molde.

Após o endurecimento, os corpos de prova foram transportados dentro das fôrmas para serem armazenados em local protegido com a finalidade de evitar a perda de água do concreto no processo de cura, como mostram as fotos 5.a e 5.b abaixo:

Foto 5.a – Corpos de prova desenformados após 24h



Fonte: Autores (2022)

Foto 5.b – Processo de cura



Fonte: Autores (2022)

3.5 Execução do ensaio de compressão

Seguindo os passos descritos na ABNT NBR 5739:2018 – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos, os corpos de prova devem ser rompidos à compressão, como na foto 6, em uma idade que deve ser contada assim que o cimento entra em contato com a água de mistura, com as tolerâncias de tempo descritas na tabela 8 abaixo:

Tabela 8 – Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura

Idade de ensaio	Tolerância permitida
24 h	± 30 min ou 2,1%
3 d	± 2 h ou 2,8%
7 d	± 6 h ou 3,6%
28 d	± 20 h ou 3,0%
60 d	± 36 h ou 2,5%
90 d	± 2 d ou 2,2%

Fonte: ABNT NBR 5739:2018

Foto 6 – Processo de rompimento dos corpos de prova



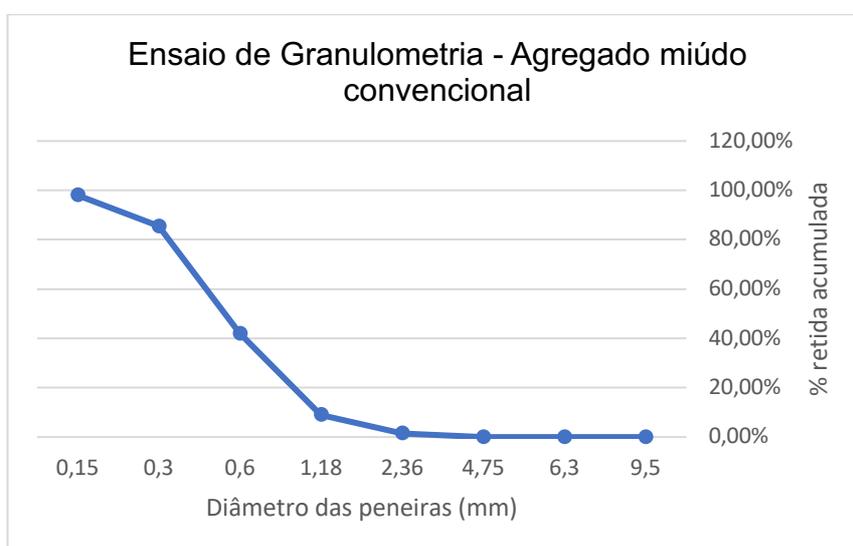
Fonte: Autores (2022)

Antes do corpo de prova ser alocado para o aparelho de ensaio de compressão, os pratos onde ele vai ficar devem estar limpos e secos e o corpo de prova deve estar centralizado. A carga de ensaio deve ser aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento entre 0,3 MPa/s e 0,8 MPa/s. Além disso, o carregamento só é parado quando o recuo do ponteiro de carga for em torno de 10% do valor da carga máxima alcançada, esta deve ser a carga de ruptura deste corpo de prova.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

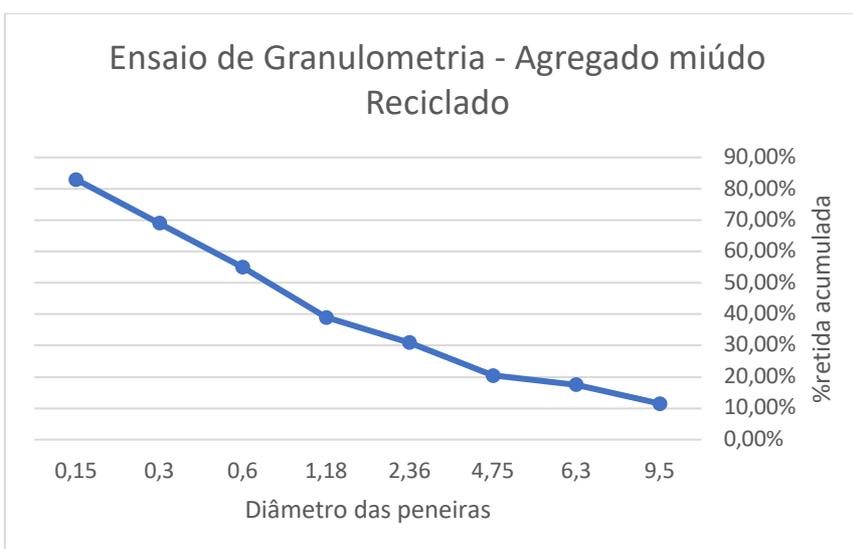
Percebe-se no gráfico 1 e 2 um comportamento diferente entre o agregado miúdo convencional e o reciclado. Como a granulometria exerce influência sobre a trabalhabilidade do concreto, foi necessário redefinir a granulometria do agregado miúdo reciclável para torná-lo semelhante ao convencional. Desse modo, o concreto deve ter uma trabalhabilidade que permite um máximo adensamento para evitar possível segregação.

Gráfico 1 – Resultado do ensaio de granulometria do agregado miúdo convencional.



Fonte: Autores (2022)

Gráfico 2 – Resultado do ensaio de granulometria do agregado miúdo reciclado



Fonte: Autores (2022)

Seguem expostos na Tabela 9 os resultados dos rompimentos dos 36 corpos de prova.

Tabela 9 – Resultado da ruptura à compressão dos corpos de prova com concreto convencional e reciclado para 3, 7 e 14 dias.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO									
ROMPIMENTO - 3 DIAS (MPA)				ROMPIMENTO - 7 DIAS (MPA)			ROMPIMENTO- 14 DIAS (MPA)		
TRAÇO	30%	50%	Convencional	30%	50%	Convencional	30%	50%	Convencional
CP1	13,2	13,9	9,1	16,6	14,3	16,3	16,6	17,9	16,5
CP2	12,6	11	11,6	18,1	15,9	13,9	21,4	18,7	13,6
CP3	12,2	8,9	11	16,9	16,2	14,3	15,8	14	16,7
CP4	13,6	11,9	10,4	16,3	17,9	11	19,9	17,9	13,9
MÉDIA	12,9	11,425	10,525	16,975	16,075	13,875	18,425	17,125	15,175

Fonte: Autores (2022)

Nota-se que o resultado final da resistência do concreto com agregado reciclado foi menor que o esperado, porém maior que a do convencional, pois após 14 dias (utilizando o cimento CP-V, onde o processo de cura total é de 7 dias), a média da resistência foi de 18,425 MPa para os corpos de prova com substituição de 30% do agregado convencional. Este foi um resultado satisfatório, levando em consideração que o ensaio de compressão de 28 dias não foi realizado e o mesmo poderia ter chegado á resistência desejada.

De acordo com os resultados obtidos no ensaio, foi possível observar que no rompimento aos 7 dias, quando comparado ao traço convencional, o traço com 30% de substituição apresentou uma média de 16,97 MPa, observando-se um aumento de resistência comparado ao convencional, o que mostra que a substituição do agregado levou a um aumento da resistência à compressão do concreto e que pode ter acontecido devido as propriedades do material trabalhado usado para substituir o agregado miúdo nesse estudo.

Ainda assim, o concreto convencional tem resistência inferior comparado aos que foram feitos a substituição pelo agregado reciclado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi analisada a substituição de 30% e 50% do agregado miúdo convencional por resíduos de corpos de prova de concreto (todos com resistência máxima atingida aos 28 dias).

O concreto reciclado não atingiu a resistência projetada de 20 MPa aos 14 dias, finalizando com média de 18,425 MPa com 30% de substituição e 17,125 MPa com 50% de substituição, resultados esses maiores que os do concreto convencional.

A resistência desejada poderá ser atingida aos 28 dias levando em consideração a progressão da resistência no decorrer do avanço de idade do concreto. Analisando a resistência atingida aos 14 dias, esse concreto pode perder a sua funcionalidade e não passar segurança suficiente para ser utilizado na concretagem de pisos, pois tem uma demanda em média de 20 MPa, podendo ocorrer patologias, como: fissuras e trincas.

Nesse sentido, uma saída seria a utilização do concreto reciclado com adição de aditivo. Vale salientar que os resultados obtidos pela substituição de 30% são extremamente significativos, levando em consideração que o concreto não atingiu sua resistência final, podendo assim elevar sua média.

Levando em consideração que o concreto reciclável atinja a resistência de 20 MPa aos 28 dias, esse resultado levará uma diminuição significativa no custo do concreto utilizado em pisos, além de diminuir os impactos ambientais causados pelos entulhos de obras descartados de forma irregular.

REFERÊNCIAS

ABRECON. Manual de qualidade ABRECON. São Paulo, 2011.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2018. 74p.

ABNT - NORMAS BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto. Ensaaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ALENCAR, J. F. P; SILVA, J. S. Análise das Propriedades Mecânicas do Concreto Reforçado com Fibras Polipropileno. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, 2019, n.182. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/analise-das-propriedades-mecanicas-do-concreto-reforcado-com-fibras-polipropileno>. Acesso: 01 out. 2021.

ALMEIDA, Gabriela Silvestre Medeiros de et al. Estudo da geração de resíduos sólidos em obras da construção civil: gestão tradicional VS Lean Construction. 2017.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado; JOHN, Vanderley Moacyr. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. São Paulo: SP, 2001.

AULA DE DOSAGEM DE CONCRETO | MÉTODO ABCP. [S. l.: s. n.], 2018.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GIQJ0BNosB0>. Acesso em: 28 nov. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados-

Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**: Agregados- Determinação da massa específica de agregado miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6474**: Determinação da massa específica do cimento. Rio de Janeiro, 1984.

BLOCOS ORIENTE. **TRAÇO DE CONCRETO**: Passo a passo para cada tipo de obra. 2020. Disponível em: <https://www.blocosoriente.com.br/blog/artigo/67/traco-de-concreto-passo-a-passo-para-cada-tipo-de-obra>. Acesso: 02 out. 2021.

BIOCOMP. Triagem de Resíduos: Primeiro passo para a reciclagem. 2021. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Biocomp, Sete Lagoa, 2021.

CASAGRANDA, H. R. **CONCRETO**: Evolução das suas aplicações, da sua origem até a atualidades. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 2019. p.82. Disponível em:

[https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4729/6/TCC%20HANN A H%20CASAGRANDA%20-%20CORRIGIDO.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4729/6/TCC%20HANN%20A%20CASAGRANDA%20-%20CORRIGIDO.pdf). Acesso: 02 out. 2021.

CCDM. Fluorescência por Raio-X (FRX) – Quantificação Química. 2021. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Ccdm, São Carlos, 2021.

CORPUS (Brasil). **Agregado reciclado**. 2021. Disponível em: <https://corpus.com.br/servicos/servicos-privados/agregado-reciclado/>. Acesso em: 18 out. 2021.

COMUNICAÇÃO, Grupo On de. Destino certo para o entulho. 2015. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Grupo On de Comunicação, Passo Fundo, 2021.

DA SILVA BARBOSA, Uende et al. reutilização do concreto como contribuição para sustentabilidade na construção civil. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro–Unipac ISSN, v. 2178, p. 6925, 2018.

DA SILVA VARJÃO, Victor Hugo et al. GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: impactos ao meio ambiente sustentável. 2021.

Engenharia Detalhada. Como reciclar concreto? O que é concreto reciclado? Concreto reciclado e suas aplicações. Youtube, 8 fev. 2021. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=k-L_Hn0bkSw>. Acesso em: 01 nov. 2021.

FERNANDES, Antonio Vitor Barbosa. AMORIM, Jose Ricardo Ribeiro. Concreto sustentável aplicado na construção civil. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas. Aracaju, 2014

FILHO, R. P.; CHIAVINI, P. P. R.; CIMINO, R. J. P.; GUIMARÃES, S. A. V. Gestão de resíduos da construção civil e demolição no município de São Paulo e normas.

FERREIRA JUNIOR, Douglas Gomes. Análise experimental da utilização de concreto reciclado: concreto estrutural com agregação de resíduo, Classe A. 2019.

GRADIN, Antonio Marcel Nascimento; COSTA, Paulo Sérgio Nunes. Reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil. Recuperado de <http://www.conhecer.org.br/download/RESIDUOS/leitura%20anexa>, v. 202, 2009.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. Curvas de Abrams em Excel. **Curvas de Abrams**, [s. l.], 2016. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2016/05/curvas-de-abrams.html>. Acesso em: 27 nov. 2021.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. Método de Dosagem de ABCP. **Clube do Concreto**, [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>.

Acesso em: 1 dez. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PIB no 2º**

trimestre de 2021. São Paulo. Rio de Janeiro, 2021.

JACQUES, Jeovani Rodrigues. Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento Portland. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí/RS, 2013.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE. São Paulo: 2000.

MARTINS GONÇALVES, D.; MARCELO PANHAN, A. ANÁLISE DE EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) DE USINAS DE CIMENTO COM EQUIPAMENTOS

IOT. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 17, p. 14, 10 jul. 2020.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Élcio Duduchi. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. *Ambiente Construído*, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

NBR 5738, ABNT. Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. **Norma Brasileira**, [s. l.], 28 jan. 2015.
Disponível em:

http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%205738%20-%202015_aula.pdf. Acesso em: 1 dez. 2021.

NBR 5739, ABNT. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-provavilíndricos. **Norma Brasileira**, [s. l.], 30 maio 2018. Disponível em:

<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36306/nbr5739-concreto-ensaio-de-compressao-de-corpos-de-prova-cilindricos>. Acesso em: 30 nov. 2021.

NORONHA, L.; GASPARINI, L.; CRISTINA, M. Reciclagem e Reutilização dos Resíduos Sólidos da Construção Civil. 2005. Disponível em: < <http://www.fea.fumec.br/biblioteca/artigos/producao/reciclagem.pdf> >. Acesso em: 02 Abril 2009.

PILEGGI, Gabriel Fontanella. O cimento e seus derivados na construção civil: necessidade de uso e uso mais sustentável, 2019.

QUIZA, E. **A História do Concreto**. Construção Civil Pet. 2017. Disponível em: <https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2017/03/22/a-historia-do-concreto/>.

Acesso: 02 out. 2021.

SLU. **Limpeza Urbana: resíduos da construção civil. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2020. Disponível em: <https://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/RELATORIO-ANUAL-2020.pdf>. Acesso em: 23 out. 2021.

SUDA, Guilherme Henrique. **Aplicação de agregados de resíduos de construção e demolição na produção de concreto**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TAGLIANI, S. **O que é e quais as vantagens e desvantagens do concreto colorido?** Engenharia 360, 2016. Disponível em: <https://engenharia360.com/o-que-e-e-quais-as-vantagens-e-desvantagens-do-concreto-colorido/>. Acesso: 01 out. 2021.

TEIXEIRA, AMANDA; CARRILHO, DÉBORA CRISTINA DE DEUS. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES. 2020.

TEODORO, Nuno Filipe Godinho Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais. Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

TORRES, Junio de Matos. DOSAGEM DE TRAÇOS DE CONCRETO PARA OBRAS DE PEQUENO PORTE, PELO MÉTODO ACI/ABCPE. **MODELO PROPOSTO POR**

CAMPITELLI, [s. l.], Setembro 2015.
Disponível em: <https://docplayer.com.br/10793655-Dosagem-de-tracos-de-concreto-para-obras-de-pequeno-porte-pelo-metodo-aci-abcpe-modelo-proposto-por-campitelli-junio-de-matos-torres.html>. Acesso em: 27 nov. 2021.

UNICAMP, FEC. Dosagem de concreto pelo método ABCP. **Resumo**, [s. l.], [2014]. Disponível em: http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/_resumos/eng6.pdf. Acesso em: 28 nov. 2021.

URBEM TECNOLOGIA AMBIENTAL. Disponível em: <http://www.urbem.com.br/principal.htm>. Acesso em: 31 out. 2021.

USINA DE RECICLAGEM DE ENTULHO - MEJAN AMBIENTAL. Disponível em: <https://www.mejan.com.br/residuos-usina-reciclagem-entulho.html>. Acesso em: 14/11/2021.

VARELA, Márcio. MÉTODO DE DOSAGEM ACI / ABCP. **Mini Curso**, [s. l.], [201-].

Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/10476974/>. Acesso em: 1 dez. 2021.