



ANÁLISE DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E APLICABILIDADES PARA REAPROVEITAMENTO NAS CONSTRUÇÕES

ARTIGO ORIGINAL

RAMOS, Gilvan de Souza¹, TORRES, Andreza Letícia da Silva Santos², LAURSEN, Anderson³, VASCONCELOS, Cláudio José de Freitas⁴

RAMOS, Gilvan de Souza, *Et al.* **Análise de resíduos da construção civil e aplicabilidades para reaproveitamento nas construções.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 11, Vol. 11, pp. 144-174. Novembro de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/analise-de-residuos>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/analise-de-residuos

RESUMO

Dentre os motores da economia brasileira, a construção civil é um dos setores que mais afeta o meio ambiente, sendo responsável pela produção de 50% dos resíduos do país, devido ao volume de resíduos produzidos em obras, volume esse que tem aumentado nos últimos anos, e por sua vez, são descartados de forma irregular e sem o menor controle, trazendo transtornos não só para o meio ambiente, como também para a vida urbana. Existem leis e normas que regulamentam a destinação dos resíduos, ainda assim, não é dada uma destinação final adequada a esses materiais. O concreto produzido a partir de resíduos de demolição da construção civil é eficaz ou não para destinar de forma sustentável parte dos resíduos no próprio meio construtivo? Este artigo tem como objetivo apresentar soluções lógicas para o melhor descarte e/ou reaproveitamento desse material, através da reciclagem de resíduos de construção classe A, fazendo testes em laboratório para analisar a resistência do concreto com material reciclado, substituindo o agregado graúdo, com a finalidade de direcioná-lo a áreas específicas da construção civil, fornecendo uma melhor aplicabilidade ao concreto produzido com resíduos reciclados, visando a minimização do depósito irregular dos resíduos gerados por este setor. Esse artigo apresenta resultados das análises obtidas em laboratório do concreto produzido por resíduos coletados em empresas da cidade de Caruaru. Para a produção do



concreto foram utilizados 3 percentuais do Agregado Graúdo Reciclado (AGR), (25%, 50% e 100%), a análise foi feita após 28 dias de cura, ou seja, no estado endurecido (resistência à compressão), a partir dos resultados obtidos, tidos como positivos, resultando todos em uma resistência final aos 28 dias superior a 20Mpa, foram determinadas as áreas da construção que o concreto produzido por resíduos reciclados pode ser aplicado, áreas essas, que não possuem fins estruturais, mas são executadas em grandes proporções, como obras de praças públicas e calçadas.

Palavras-chave: Construção civil, Resíduos, Aplicabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, como sendo um dos maiores motores da economia do país, e como toda indústria que tem como material propulsor os recursos naturais, deixa um grande rastro de destruição no meio ambiente, desde a extração da matéria prima, comercialização e geração de resíduos, pois além de consumir um número elevado de recursos naturais, é o maior gerador de resíduos e, segundo Daniara Citadin (2017), isso se tornou um grande desafio! Entre equilibrar a atividade produtiva e lucrativa com desenvolvimento sustentável consciente.

Segundo Teixeira (2010, p. 14):

A problemática que envolve os resíduos sólidos é ampla e generalizada em todo o mundo. São produzidas várias categorias de resíduos sólidos, desde o tipo doméstico, hospitalar, químico, industrial e, entre outros, o resíduo proveniente de entulhos gerados pela construção civil.

Quanto maior a população, maior o índice de crescimento das nossas cidades e, segundo Oliveira (2008) compete ao ser humano se adequar ao processo de urbanização. Pois com o crescimento há a necessidade de construirmos, de reformarmos e, conseqüentemente a geração de entulhos e, segundo Teixeira (2010) a geração de entulhos é diretamente proporcional ao crescimento e ao desenvolvimento econômico de uma sociedade.



A NBR 10004 (ABNT, 2004a) tem como objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, para que estes resíduos possam ter manuseio e destinação adequados.

Os descartes desordenados não só afetam o meio ambiente como também a vida urbana, segundo Morais (2006) o descarte inadequado do (RCD) é um dos maiores problemas na gestão dos municípios, pois além dos danos causados a natureza, causam transtornos a sociedade, dentre eles a propagação de doenças.

Para um melhor controle desse material (RCD) não há somente a necessidade de procurar meios de descartes mais adequados, mas também a implantação de uma política de reciclagem dentro dos canteiros de obras para que assim haja uma diminuição na quantidade desses resíduos, segundo Souza (2004, p. 34):

Embora seja muito importante dar uma destinação adequada aos resíduos gerados, tornam-se imperativas as ações que visem à sua redução diretamente na fonte de geração, ou seja, nos próprios canteiros de obras, que, somada às ações de adequar a destinação desses resíduos, podem contribuir significativamente para a redução do impacto da atividade construtiva no meio ambiente.

A partir dos anos 90 o Conselho Nacional Do Meio Ambiente – CONAMA implantou diretrizes para reduzir os impactos oriundos da construção civil, considerando que esse mesmo setor é responsável por um percentual significativo de resíduos sólidos produzidos em áreas urbanas, segundo o CONAMA nº 307 (2002 *apud* CARVALHO, s.d.), os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas. Ainda assim, na atualidade, não há uma fiscalização tão eficiente para verificar a localidade e o modo como os RCD são descartados.



Diante desse cenário, o concreto produzido a partir de resíduos de demolição da construção civil é eficaz ou não para destinar de forma sustentável parte dos resíduos no próprio meio construtivo?

Esse artigo visa a análise do comportamento do concreto produzido com substituição de Resíduos da Construção Civil, através da resistência à compressão e absorção por capilaridade. Além de destinar os resíduos para possíveis aplicações, reduzindo os impactos ambientais que os mesmos vem causando cada vez mais.

2. DESENVOLVIMENTO

Pode-se observar no decorrer das ruas da cidade de Caruaru, sobre a qual serão abordados os fatos neste artigo, a existência de resíduos de demolições em várias partes da cidade. Embora no centro da cidade o descarte seja feito através das famosas “papas-metralhas”, devido a possibilidade da aplicação de multas aos responsáveis pelo descarte inadequado, ainda há muitas outras áreas que não são fiscalizadas e os entulhos ficam expostos por tempo indeterminado e sem destinação, apenas ocupando espaço nas ruas e possibilitando a proliferação de agentes transmissores de doenças. Contudo, a consciência do descarte correto de resíduos de uma forma geral, não é algo comum na cidade, logo, até mesmo nos “papas-metralhas” há um certo descontrole e a população mistura resíduos domésticos com resíduos da construção. Os fatos descritos nesse parágrafo podem ser verificados através da Figura 1 e Figura 2.



Figura 1 – Papa-metralha de resíduos de demolição, poluída com lixo doméstico



Fonte: Autora. Figura 2 – Resíduo de demolição descartado de forma irregular no sinal entre a Avenida Rio Branco e a Avenida Agamenon Magalhães



Fonte: Autora.



Um outro fator também impulsionado pelo mau uso dos meios de reciclagem e descartes dos resíduos é a possível contaminação do solo, pois com o passar do tempo, os resíduos misturados com o solo acabam se unificando e em obras de pavimentações, é possível verificar na etapa de terraplanagem, ao remover a primeira camada do solo, a presença de lixo doméstico evidente em alguns casos. Dessa forma, mesmo que o solo em si seja de primeira categoria, não pode ser reaproveitado devido a contaminação, para que futuramente não haja dano e recalque na estrutura.

De acordo com Neto *et al.* (2008) a necessidade de se aproveitar os RCC não resulta apenas da vontade de economizar. Trata-se de uma atitude fundamental para a preservação do nosso meio ambiente. É importante ressaltar que a gestão de resíduos deverá ser iniciada na fase de concepção do empreendimento, possibilitando maior interface entre projetos, processos construtivos e gerenciamento dos RCC. O importante a ser implantado no setor é a gestão do processo produtivo, com a diminuição da geração dos resíduos sólidos e o correto gerenciamento deles no canteiro de obra, partindo da conscientização e sensibilização dos agentes envolvidos, criando uma metodologia própria em cada empresa.

Com esse pensamento entende-se que é necessário implantar uma gestão de resíduos no canteiro de obras, visando diminuir a geração de RCD e RCC e com a neutralização e a reciclagem dos materiais amenizar também os impactos ambientais gerados por essas atividades.

A prefeitura, como órgão público responsável pela coleta do lixo populacional e fiscalização do descarte dos resíduos da construção e demolição, investe um alto percentual de seus recursos, com caminhões coletores circulando diariamente nas ruas da cidade e zonas rurais e com tratamentos para “se livrar” do lixo. A população de Caruaru, especificamente, na maioria das vezes não separa o lixo por categoria, o que dificulta o trabalho e reaproveitamento dos resíduos, sejam



domiciliar, comercial, industrial, dos serviços de saúde, público, especial, radioativo ou espacial, podendo ainda ser classificado como orgânico ou inorgânico, segundo a classificação do lixo por (FRANCISCO, s.d.).

Logo este trabalho tem como meio para chegar ao objetivo, realizar um estudo em laboratório para analisar o concreto produzido com material reciclado e verificar através da resistência à compressão algumas aplicabilidades no próprio meio da construção civil. Incentivando assim as empresas a terem um olhar mais amplo quanto às possibilidades do descarte e reaproveitamento do RCD, tanto para custo-benefício das próprias empresas como também para contribuir com a preservação do meio ambiente.

Reciclagem de resíduos classe A, de acordo com a classificação do Conama (2002 apud CARVALHO, s.d.) nº 307 e nº 431, trata-se dos resíduos recicláveis, como agregados, tijolos, blocos, telhas, argamassa, areia, pedra e concreto, sendo este último, o objeto desse estudo.

Alguns estudos já foram realizados com o intuito de avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização dos resíduos de construção e demolição, na fabricação de concreto, blocos e outros elementos estruturais, assim também como para pavimentos. A seguir estão alguns desses estudos.

Gomes et al (2010) fizeram uma pesquisa com o objetivo de obter o BRC e avaliar a influência dos Agregados Reciclados de Blocos (AGRB) na resistência à compressão dos blocos. Os BRC foram produzidos para o uso na construção de edificações. O agregado em questão foi britado no próprio canteiro de obra, e os blocos foram produzidos na fábrica de pré-moldados da mesma empresa. A produção ocorreu numa fábrica de blocos de concreto, implantada num canteiro de obras. Os mesmos critérios de dosagem dos concretos com agregados naturais foram aplicados aos agregados reciclados, os AGRB foram utilizados para substituírem os agregados naturais de menor dimensões (pó de pedra e/ou



areia natural). O melhor desempenho dos BRC foi obtido com a substituição total do pó de pedra e da areia natural (CAGR).)

Vieira e Molin (2004) elaboraram pesquisas que tiveram como objetivo discutir e analisar a viabilidade técnica e econômica da utilização de agregados reciclados proveniente de resíduos de construção e demolição em concreto. Para tanto, foi realizado um estudo comparativo entre concretos convencionais e concretos obtidos com agregados reciclados, em sua pesquisa fizeram uma comparação em concreto e agregados naturais e reciclados, na produção dos concretos foram definidas três relações de água e cimento (0,4, 0,6 e 0,8) e três percentuais de agregados (0%, 50% e 100%) de agregados graúdos (AGR) e miúdos (AMR). Os resultados da pesquisa indicaram que os agregados reciclados em proporções devidamente dosadas podem melhorar algumas propriedades do concreto, com sua resistência à compressão e durabilidade.

Motta (2005) realizou uma pesquisa com o objetivo de analisar os aspectos físicos e o comportamento mecânico de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil, para uso em camadas de base, sub-base ou reforço do subleito, em substituição dos materiais convencionais, utilizados, com enfoque em vias de baixo volume de tráfego. No estudo de Motta (2005), procura-se comparar resultados dos ensaios de comportamento mecânico realizados com agregados reciclados e natural, com a incorporação de 4% de cal e em 4% de cimento Portland, além de um material de referência constituído de brita graduada simples. Para esse mesmo estudo, concluiu-se que o agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil é de uso promissor como insumo na construção de bases, sub-bases e reforços do subleito de vias de baixo volume de tráfego, em substituição aos materiais convencionais.



2.1 METODOLOGIA

Esse estudo foi realizado na cidade de Caruaru - Pe, localizado a 130 km de Recife, a capital do estado, no nordeste do Brasil, ocupando uma área de 923,150 km², sendo que 80,561 km² estão em perímetro urbano e os 840,05 km² restante formam a zona rural, (IBGE, 2021).

A princípio foi realizada uma pesquisa junto à Central de Tratamento de Resíduos Caruaru (CTRC), filial a Empresa de Engenharia Sanitária e construção Ltda - EMPESA, empresa privada do município de Caruaru, para verificar a geração e o descarte do RCD, foi feita uma visita a mesma com o objetivo de coletar dados referente às movimentações dos resíduos, produção, tipos, reaproveitamento e destinação final dada.

Para o diagnóstico do RCD, tanto da origem quanto do quantitativo, foi enviado um questionário ao responsável deste setor na empresa, em seguida foi feita uma visita, no mês de agosto de 2022, à Central de Tratamento de Resíduos Caruaru (CTRC). A (CTRC) foi implantada no ano de 2017, mas a instalação da usina de RCD aconteceu apenas ano de 2019, e tem por princípio a sustentabilidade e por consequência, a educação ambiental, a empresa recebe em torno de 900 toneladas por dia RSU, RCD e/ou resíduos industriais, os resíduos já chegam na CTRC segregados e são destinadas às unidades de tratamento correspondentes para cada tipologia (Classe I, IIA e IIB). Os resíduos classe A, quando destinados, são britados e peneirados na unidade de beneficiamento de resíduos de construção e demolição. Assim são valorizados e utilizados em obras internas da CTRC e parte é doada às prefeituras para a composição de projetos paisagísticos.

2.1.1 COLETA DO AGREGADO RECICLADO

O Resíduo de Construção e Demolição (RCD) utilizado para esse trabalho, foi coletado em uma obra pública do município de Caruaru, o material coletado foi

concreto demolido sem a presença de outros materiais, o mesmo foi destinado a CTCR, que recolhe esse material e os tritura, transformando-os em areia ($\emptyset < 4,8\text{mm}$), pedriscos ($4,8\text{mm} < \emptyset > 9,5\text{mm}$), pedra ($9,5\text{mm} < \emptyset > 25\text{mm}$), rachão ($\emptyset > 25,4\text{mm}$), logo a britagem foi feita de forma mecanizada e manual, a britadeira utilizada nesse processo foi a MAQBRT, EQUIPAMENTOS PARA MINERAÇÃO E SANEAMENTO, modelo 2017, número de série NF001745, como podemos ver na Figura 3, na Figura 4 e na Figura 5.

Figura 3 – Resíduo de demolição sendo colhido no local da obra



Fonte: Autora.

Figura 4 – Triturando o material de forma mecânica na CTCR



Fonte: Autora.

Figura 5 – Quebrando de forma manual o material retido na peneira de 19 mm.



Fonte: Autora.

Na Figura 4, pode-se observar que nesse modelo de britadeira é feita a separação dos resíduos triturados em 4 partes de acordo com a granulometria. A empresa também produz adubo a partir da reciclagem das podas das árvores, o mesmo é doado para a população, como também produz energia através dos gases que são gerados a partir do adensamento dos resíduos domésticos, além de possuir suas próprias lagoas para destino e tratamento do chorume. Para o presente artigo foi coletado 240 kg de agregado reciclado, o material RCD foi coletado em um único dia, 16 de agosto de 2022, não apresentou nem um outro tipo de material, apenas piso de concreto, após a coleta esse material foi destinado para a CTRC, para a trituração mecânica, o material passante na peneira 19 mm, conforme mostra a Figura 6, direcionamos a produção dos corpos de provas, o material que ficou retido na peneira 19 mm, foi quebrado de forma manual, as taxas de substituição do agregado reciclado para a produção de concreto foi de 25%, 50% e 100%, os concretos produzidos com RCD, foram comparados com o concreto produzido com agregado graúdo natural.

Figura 6 – Peneirando o material para usar apenas o passante na peneira de 19 mm.



Fonte: Autor.



2.1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O cimento utilizado para a produção dos corpos de prova de todos os traços foi o CII – F- 32, que tem como principal característica a alta resistência aos 7 dias, esse fator não influencia nos resultados pois a análise foi feita para todos os traços de igual modo, logo, a média dos resultados será precisa e justa, devido a igualdade na produção dos traços e proximidade no valor obtido no *Slump test*, mudando apenas o percentual do agregado graúdo reciclado em cada traço, o que possibilita a avaliação média da diferença de resistência à compressão (FCK), areia grossa de rio lavada, brita passante na peneira 19mm, água potável e agregado reciclado de RCD.

2.1.3

2.1.4 PREPARO DAS AMOSTRAS DE CONCRETO

Para a realização dos corpos de provas foi levado em consideração o teor de argamassa de 50% (cinquenta por cento), o que resultou no quantitativo de:

EQUAÇÃO

$$\alpha = \frac{1 + a}{1 + m}$$

Onde:

α = teor de argamassa;

a = agregado miúdo;

m = agregado graúdo + agregado miúdo.

Para esses testes, no processo de dosagem de concreto utilizando este método (IPT/USP) o agregado graúdo (pedra) será fixo.

Foi escolhido o traço com relação cimento/agregado de 1:3,5, ou seja, $m=3,5$.

Desenvolvendo a equação:



$$\frac{50}{100} = \frac{1 + a}{1 + 3,5}$$

$$a = 0,5 \cdot (1 + 3,5) - 1$$

$$a = 1,25$$

Tabela 1 – Composição dos materiais e quantitativos de cada traço produzido. (Kg)

TRAÇO	CIMENTO	AREIA	AGREGADO GRAÚDO	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO	SLUMP TEST
0% RCD	13,34	16,67	30	0,451	10
25% RCD	13,34	16,67	30	0,483	8,17
50% RCD	13,34	16,67	30	0,52	8,8
100% RCD	13,34	16,67	30	0,596	8,2

Fonte: Autora.

Foram produzidos concretos com quatro taxas de substituição em massa do agregado de graúdo natural por agregado graúdo reciclado (0%, 25%, 50% e 100%). Os traços foram produzidos em uma betoneira de 400 litros. Uma betonada para cada amostra.

No primeiro teste do tronco de cone para o concreto com 100% de RCD, o resultado foi de 0 cm, o que levou a um aumento na relação água cimento, para que ficasse dentro do limite estipulado de 8 ± 2 , pois foi observado uma maior absorção de água no agregado reciclado.

Para a produção do concreto, para ensaios no estado endurecidos foram utilizados moldes cilíndricos de 10 cm x 22 cm. Foram confeccionados 15 corpos de prova por traço, contabilizando 60 ao todo, após a produção dos corpos de provas, passados 24hs, os mesmos foram desmoldados e armazenados em local protegido de intempéries, conforme mostra a Figura 7, a cura ocorreu em tanque de cura seguindo as especificações contidas na NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 7 – Corpos de prova moldados em seu estado fresco



Fonte: Autora.

2.1.5 SLUMP TEST

Slump test ou abatimento de tronco de cone, avalia a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, regulamentado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), para a realização desse teste foram utilizadas uma placa metálica retangular, uma haste

158

metálica circular e um molde cônico. A trabalhabilidade foi definida para todos os traços produzidos (0%, 25%, 50%, 100%), conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 – Ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: Autora.

2.1.6 TESTE DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram executados com base nas especificações apresentadas na NBR 9778 (ABNT, 2009).

Após o término dos 28 dias, foram colocados 3 corpos de prova de cada traço para secar em uma estufa, em seguida foram medidas suas massas secas, para então serem colocados sob uma lâmina de água na altura de 5 mm a partir da base dos corpos de prova, foram realizadas pesagens nos períodos de 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h, após a última medição da massa, foram executados os rompimentos longitudinais para analisar a altura de ascensão por capilaridade de cada corpo de prova, para se obter a média e comparar entre os diferentes traços. Para a pesagem foi utilizado uma balança com precisão de 01 g.

2.1.7 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os testes de resistência à compressão dos corpos de prova foram realizados aos 7, 14, 21 e 28 dias. Conforme determina a NBR 5739 (ABNT, 2007), para a realização deste teste foi utilizada uma prensa EMIC modelo PC200 com capacidade de 200 tf, conforme mostra a Figura 10. Para esse ensaio os corpos de provas foram retirados do tanque e deixados para secagem por 1h ao sol, em seguida, em temperatura ambiente eram realizados os testes, para esse teste foram utilizados 48 corpos de provas, 12 a cada 7 dias.

Figura 10 – Rompimento do corpo de prova na prensa mecânica



Fonte: Autora.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TRABALHABILIDADE DO CONCRETO

A partir dos dados obtidos durante a execução dos corpos de prova de cada traço, em relação ao *Slump test* e a relação água/cimento, foi feita uma tabela para melhor visualização e comparação dos parâmetros entre os dados.

Tabela 2 – Relação água/cimento e *Slump test* para cada traço executado

TRAÇO	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO	SLUMP TEST
T-B	0,451	10
T-25	0,483	8,17
T-50	0,52	8,8
T-100	0,596	8,2

Fonte: Autor.

A Tabela 2 mostra que os valores obtidos no abatimento do tronco de cone se mantiveram entre 8 cm e 10 cm, vale ressaltar que houve um acréscimo na relação água/cimento, de 0,451 no traço convencional para 0,596 no traço com 100% de agregado reciclado, como apresentado na Tabela 2, notando assim que a adição de RCD afeta a trabalhabilidade do concreto, como também já foi comprovado em outros estudos, vale ressaltar que o agregado reciclado utilizado para a produção do concreto neste estudo, foi oriundo unicamente de concreto demolido de piso, ou seja, sem a presença de outros materiais, como gesso, materiais cerâmicos vermelhos e outros.

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A tabela a seguir apresenta os resultados de testes obtidos através de ensaios à compressão em blocos de concreto produzidos com material puro.

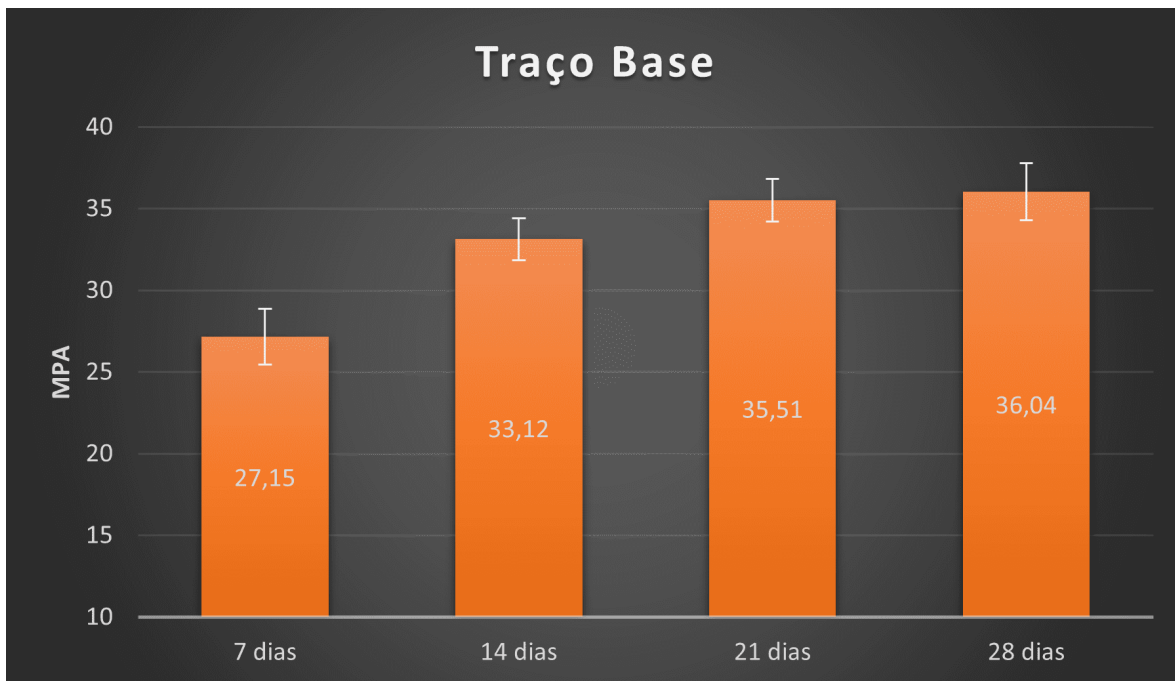


Tabela 3 – Resistência à compressão para o traço T-B

DIAS	T-B					
	CP 1	CP 2	CP3	MÉDIA	DP	%
7 dias	29,11	26,01	26,32	27,15	1,71	6,29
14 dias	34,14	33,54	31,69	33,12	1,28	3,86
21 dias	35,26	34,34	36,94	35,51	1,32	3,71
28 dias	36,38	37,6	34,15	36,04	1,75	4,85

Fonte: Autor.

Gráfico 1 – Média da resistência à compressão e desvio padrão para o T-B.



Fonte: Autor.

Com os dados da Tabela 3, através do Gráfico 1, pode-se observar que a média da resistência à compressão de um concreto produzido com 100% do seu agregado natural é 36,04Mpa aos 28 dias, esse valor será tomado como referência para o comparativo da resistência média dos demais corpos de prova produzidos com 25%, 50% e 100% de RCD.



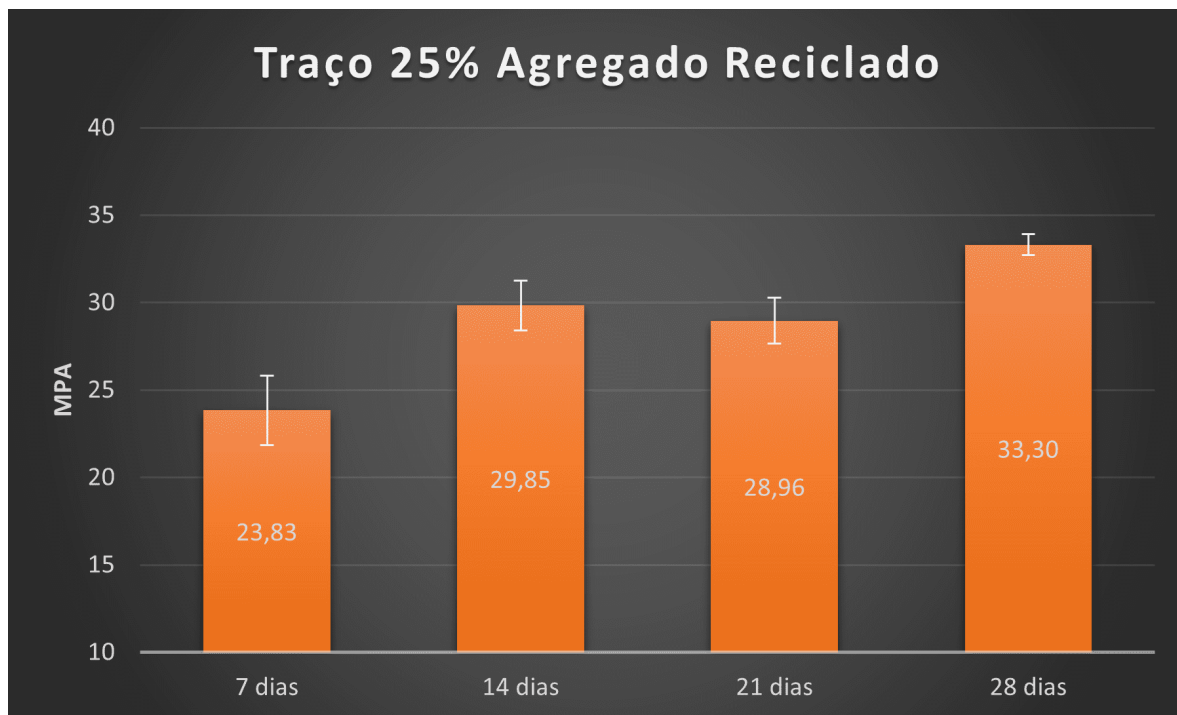
A tabela a seguir apresenta os resultados de testes obtidos através de ensaios à compressão em blocos de concreto produzidos com 25% do agregado graúdo substituído por RCD.

Tabela 4 – Resistência à compressão para o traço T-25

DIAS	T-25					
	CP 1	CP 2	CP3	MÉDIA	DP	%
7 dias	23,01	26,09	22,4	23,83	1,98	8,30
14 dias	29,48	31,42	28,64	29,85	1,43	4,78
21 dias	28,28	30,47	28,12	28,96	1,31	4,53
28 dias	33,74	32,62	33,55	33,30	0,60	1,80

Fonte: Autor.

Gráfico 2 – Média da resistência à compressão e desvio padrão para o T-25



Fonte: Autor.



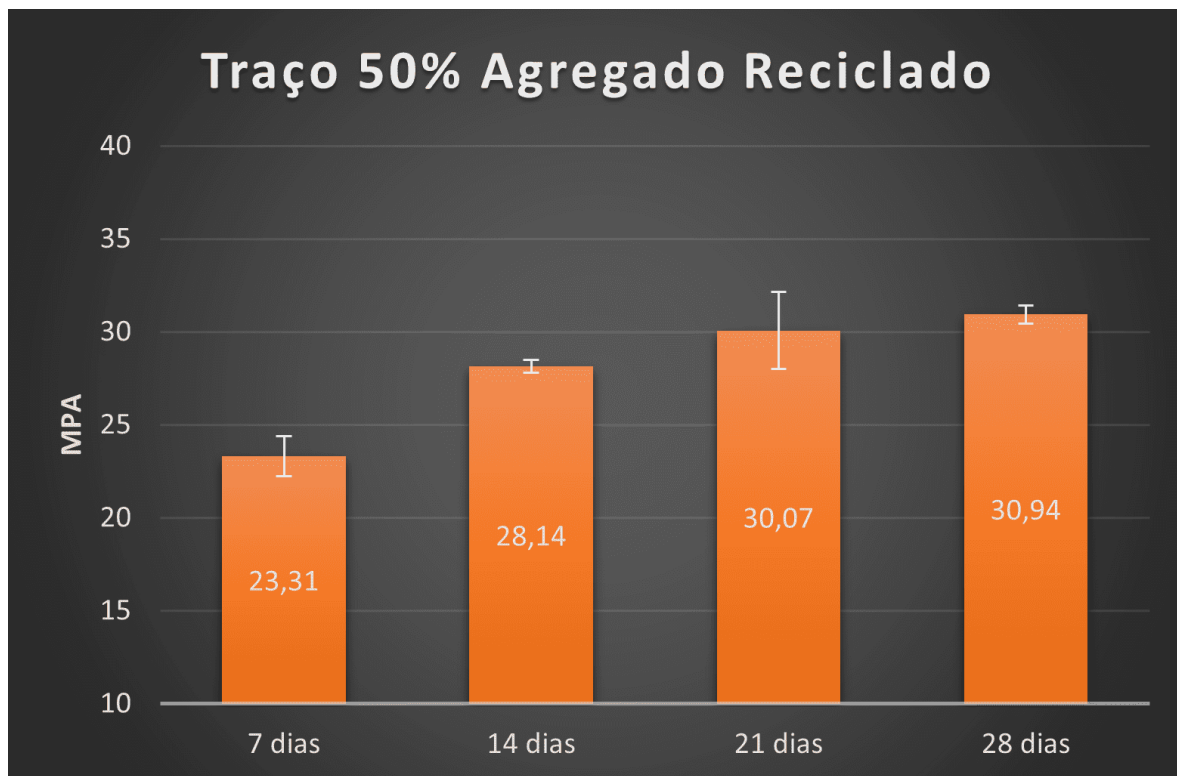
Com os dados da tabela, através do Gráfico 2, pode-se observar que a média da resistência à compressão de um concreto produzido com 25% do seu agregado graúdo substituído por material reciclado triturado é 33,30 Mpa aos 28 dias, que comparado ao concreto produzido com 100% de agregado natural difere em 2,74 Mpa.

Tabela 5 – Resistência à compressão para o traço T-50.

DIAS	T-50					
	CP 1	CP 2	CP3	MÉDIA	DP	%
7 dias	23,34	22,2	24,38	23,31	1,09	4,68
14 dias	28,34	28,34	27,74	28,14	0,35	1,23
21 dias	32,45	28,99	28,77	30,07	2,06	6,86
28 dias	30,38	31,26	31,19	30,94	0,49	1,58

Fonte: Autor.

Gráfico 3 – Média da resistência à compressão e desvio padrão para o T-50



Fonte: Autor.



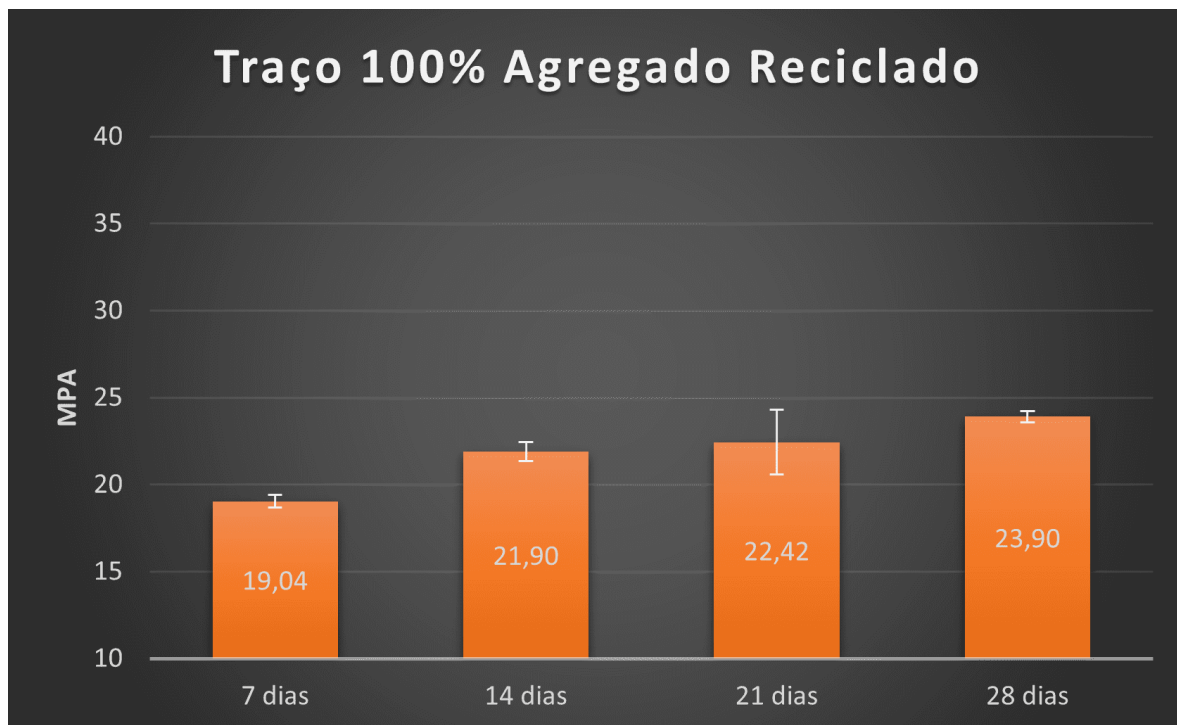
Com os dados da tabela, através do Gráfico 3, pode-se observar que a média da resistência à compressão de um concreto produzido com 50% do seu agregado graúdo substituído por material reciclado triturado é 30,94 Mpa aos 28 dias, que comparado ao concreto produzido com 100% de agregado natural difere em 5,1 Mpa.

Tabela 6 – Resistência à compressão para o traço T-100

DIAS	T-100					
	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	DP	%
7 dias	19,39	19,07	18,66	19,04	0,37	1,92
14 dias	22,52	21,72	21,46	21,90	0,55	2,52
21 dias	22,6	24,19	20,48	22,42	1,86	8,30
28 dias	24,08	23,54	24,09	23,90	0,31	1,32

Fonte: Autor.

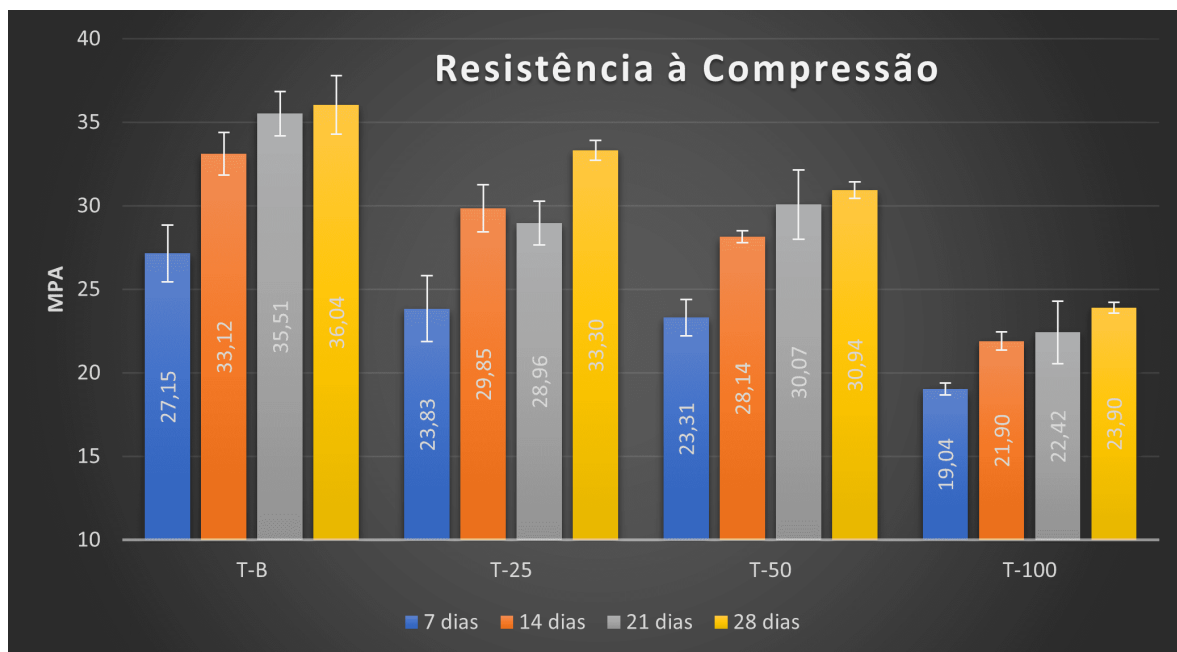
Gráfico 4 – Média da resistência à compressão e desvio padrão para o T-100



Fonte: Autor.

Com os dados da tabela, através do Gráfico 4, pode-se observar que a média da resistência à compressão de um concreto produzido com 100% do seu agregado graúdo substituído por material reciclado triturado é 23,90 Mpa aos 28 dias, que comparado ao concreto produzido com 100% de agregado natural difere em 12,14 Mpa.

Gráfico 5 - Média da resistência à compressão e desvio padrão para os quatro traços



Fonte: Autor.

Ao analisar o Gráfico 5, pode-se observar que aos 28 dias a menor resistência foi de 23,90 Mpa. Levando em consideração que o cimento utilizado foi o CII – F, a resistência aos 7 dias está proporcional.

3.3 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

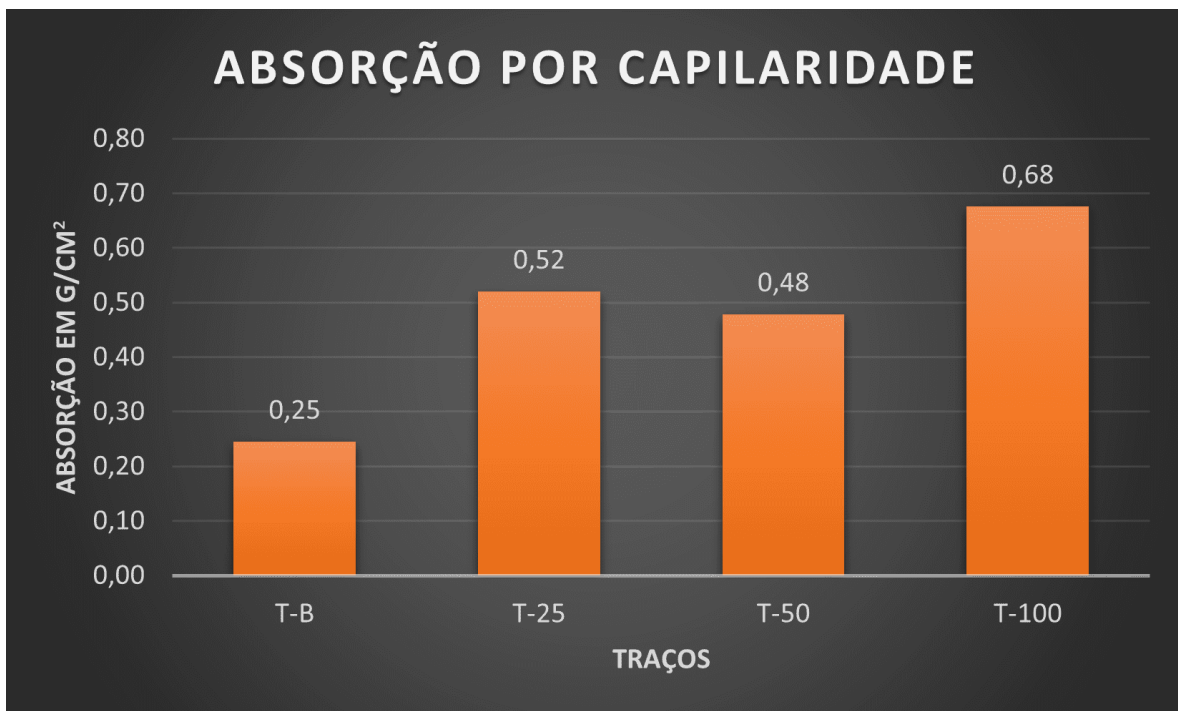
Ao realizar o rompimento dos corpos de prova destinados ao ensaio de absorção por capilaridade foi possível visualizar a altura da ascensão da água, conforme mostra a Figura 11, demarcado pela parte mais escura dos corpos de prova.

Figura 11 – Corpos de prova usados para ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Autora.

Gráfico 6- Média da absorção por capilaridade dos corpos de prova



Fonte: Autora.



No presente estudo, na produção do concreto, foi observado que o mesmo, quando produzido com agregado reciclado de RCD, apresenta uma maior absorção de água comparado ao concreto produzido com o agregado graúdo natural, como está representado no Gráfico 6, além da maior absorção de água, o concreto produzido com RCD também apresenta uma maior leveza em relação ao concreto convencional, essa característica se dar pelo aumento de volume do agregado reciclado em relação ao agregado natural, Frotté et al. (2017) concluíram que essa característica ocorre em função do aumento da relação água/cimento, redução da massa específica, permeabilidade e composição do agregado reciclado. A ascensão por capilaridade resultou em uma média de 5,13 cm, como pode-se observar na Figura 11.

Pode-se observar que a média da massa dos corpos de prova produzidos com agregado RCD é mais leve, quando comparado com os corpos de prova produzidos com agregado natural, isso se dá devido ao volume do RCD ser maior que o volume do agregado natural, não havendo alteração na massa no momento da dosagem.

O quantitativo de obras públicas é responsável pelo maior setor da construção civil, com os projetos de: praças, escolas, unidades básicas de saúde, hospitais, saneamentos, pavimentações, sistemas de rede de tratamento, entre outros. Desse modo, o concreto produzido a partir de resíduos da construção civil, pode ser empregado nas inúmeras praças, calçadas, meio fio de pavimentações e em áreas que não possuam fim estrutural, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014). O material triturado, pode até substituir o pó de pedra na etapa de terraplanagem de pavimentações em locais em que o solo é considerado de má qualidade. Contudo, é necessário estar disposto a investir, o que na verdade seria uma realocação dos recursos que o município já gasta para o descarte do lixo, agora sendo convertido diretamente para o tritramento e destinação para obras públicas, entre outras, o que não impede que as empresas privadas também adotem esse sistema sustentável, respeitando as normas de segurança e



empregando em locais que não tenham função estrutural, mesmo que o concreto apresente uma resistência à compressão elevada como foi observado no neste estudo, devido ao nível de pureza na composição dos resíduos utilizado na composição do concreto, logo, estudos também apontam que, concreto produzidos com reciclados de RCD apresentam uma perda na trabalhabilidade, como também na durabilidade do concreto. Mesmo assim a produção com agregado reciclado de RCD, possui um grande potencial tendo em vista o desempenho obtido com essa substituição, os dados obtidos no presente estudo comprovam uma elevada resistência do concreto produzido com RCD em relação ao concreto convencional, conforme o percentual de substituição do agregado, a diferença entre a resistência do concreto com RCD e o com agregado natural pode ser insignificante.

3.4 POSSÍVEIS APLICAÇÕES

O material coletado para a realização dos corpos de prova foi de origem de uma reforma de um patrimônio público no município de Caruaru - PE, no qual houve a demolição do piso de concreto (material do estudo), para ser refeito posteriormente. No entanto, o novo piso possui especificação de FCK mínima igual a 20 Mpa aos 28 dias e não possui função estrutural. Ao analisar a especificação do FCK do projeto e os dados desse estudo, verifica-se que aos 28 dias todos os corpos de prova resultaram em uma resistência superior à mínima exigida para o novo piso, ou seja, os resíduos da demolição do piso poderiam ser triturados e reempregados na mesma obra.

Além de pisos internos sem função estrutural, o concreto produzido com RCD pode ser empregado em calçadas e praças, de acordo com a especificação do FCK de cada projeto, a dosagem pode ser feita com um percentual que não comprometa a finalidade e a integridade do objeto em questão. Contudo, ao observar as especificações do FCK usual para tais finalidades, nota-se um padrão de repetição, no qual o FCK dos itens de passeio nas tabelas de referência



SINAPI (10/2021 a 07/2022) são de 20 MPa, salvo quando o projeto especificar uma resistência mínima superior.

A principal razão pela qual os concretos produzidos com materiais reciclados não podem ser utilizados para fim estrutural é a durabilidade, devido a possível presença de matéria orgânica que pode se decompor e gerar um vazio no interior da estrutura, causando a perda de resistência, no entanto, a NBR 8953 (ABNT, 2015) permite que para obras provisórias ou sem fins estruturais, o FCK mínimo seja de 15 Mpa, ou seja, o concreto produzido a partir do RCD também poderia ser possivelmente empregado em canteiros de obras, salvo de verificação das demais normas de segurança.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos ambientais causados pela engenharia civil são de grandes proporções, tanto em sua extração como na destinação final dos resíduos gerado por esse setor, com o estudo realizado nesse artigo, foi concluído que, a reciclagem pode ser uma saída eficiente para minimizar os impactos ambientais causados pela construção civil, assim como os resultados da resistência à compressão de todos os traços, que resultou em uma resistência superior a 20 Mpa, demonstrando assim a eficácia da substituição do agregado natural pelo agregado de RCD. De acordo com o G1 (2014), o município de Caruaru, local de estudo, produz mensalmente cerca de 8000 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), e segundo Azevedo (2019), 2000 toneladas, ou seja, 25% desse resíduo é gerado pelo setor da construção civil, resíduos esse que por sua vez, pode está sendo reutilizado no próprio setor construtivo, na produção de concreto, especificamente na substituição dos agregados, tanto de agregado graúdo como do agregado miúdo, essa substituição pode está sendo feita em pequena porcentagem como apresentados neste artigo, como também em cem por cento da substituição, concreto esse que pode ser empregado em obras da própria construção, obra essas sem função estrutural, conforme está determinado, na



NBR 6118 (ABNT, 2014), podendo ser utilizados em praças, pavimentos, calçadas, paisagismo etc. Com base nos dados obtidos através das análises dos blocos produzidos especificamente para esse estudo, foi possível determinar a destinação adequada para a localidade onde poderiam ser empregados cada concreto tendo como principal critério de avaliação a resistência FCK. É importante ressaltar que houve certa seletividade na coleta do material do presente estudo, no qual não havia matéria orgânica ou química, além da própria mistura de concreto, já que o material foi derivado da demolição do piso de concreto de uma reforma. Para que a possibilidade do emprego de resíduos de demolição seja algo mais aplicável, o processo de separação dos resíduos na construção deve ser feito por classe de materiais, do contrário a precisão dos resultados e durabilidade do material produzido pode ser comprometida, inabilitando sua utilização.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: Microsoft Word - 10004.doc (suape.pe.gov.br). Acesso em: 20/01/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/COMITÊ BRASILEIRO DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS 18. **NBR NM 67**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. MERCOSUL, Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: nm67 (pucgoias.edu.br). Acesso em: 05/06/2022.

AZEVEDO, Antônio Marcos de. Resíduos da construção civil das obras públicas viram reciclagem em Caruaru. **CBN Caruaru**, outubro, 2019. Disponível em: <https://www.cbncaruaru.com/artigo/residuos-da-construcao-civil-de-obras-publicas-viram-reciclagem-em-caruaru>. Acesso em: 18/09/2022.

CARVALHO, José Carlos. Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002. LEGISWEB, s.d. Disponível em: Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002 - Federal - LegisWeb. Acesso em: 18/09/2022.

CITADIN, Daniara. Impactos ambientais causados pela construção civil. **Sieng, blog**, novembro, 2017. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/impactos-ambientais-causados-pela-construcao-civil/>. Acesso em: 17/01/2022.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. Classificação do lixo. **Mundo Educação**, s.d. Disponível em: Classificação do Lixo - Mundo Educação (uol.com.br). Acesso em: 22/10/2022.

FROTTÉ, Camila et al. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Matéria**. Rio de Janeiro, fevereiro, 2017. Disponível em: Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD | Frotté | Revista Matéria (ufrj.br). Acesso em: 05/06/2022.

G1 Caruaru. **Caruaru produz 8000 t de lixo ao mês; governos buscam alternativas a aterro**. Agosto de 2014. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2014/08/caruaru-produz-8000-t-de-lixo-ao-mes-governos-buscam-alternativas-aterro.html>. Acesso em: 18/09/2022.

GOMES, Paulo César Correia; PEREIRA, Fábio Alencar; UCHÔA, Sílvia Beatriz Beger; OLIVEIRA, Fábio Cabral de; ALMEIDA, Lícia Holanda. Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados na própria fabricação dos blocos. Artigo acadêmico. **Ambiente construído**, v. 17, n. 3, p. 317-280, Porto Alegre, julho - setembro, 2017. Disponível em: SciELO - Brasil - Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos. Acesso em: 12/10/2022.



IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Gov.br, 2021. Disponível em: <https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>. Acesso em: 04/10/2022.

MOTTA, Rosângela dos Santos. **Estudo Laboratorial de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil para Aplicação em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: Microsoft Word - Dissertação de mestrado_Rosângela dos Santos Motta.doc (usp.br). Acesso em 20/01/2022.

NETO, Alair Couto et al. Gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil. **3º Ed. Rev. e Aum. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG**, 2008. Disponível em: <https://www.sinduscon-mg.org.br/wp-content/uploads/2016/11/GerenciamentoResiduos3Edicao.pdf>. Acesso em: 18/01/2022.

OLIVEIRA, Daniele Meneguetti. **Desenvolvimento de Ferramenta Para Apoio à Gestão de Resíduos de Construção e Demolição Com Uso de Geoprocessamento: caso Bauru, SP. 2008**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em: Microsoft Word - Abertura Defesa_07_Mar.o.doc (ufscar.br). Acesso em: 18/01/2022.

SINAPI. SINAPI referências de insumos e composições-PE. **CAIXA**, 2021 a 2022. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 18/09/2022.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de; PALIARI, José Carlos; AGOPYAN, Vahan; ANDRADE, Artemária Coêlho de. Diagnóstico e Combate à Geração de Resíduos na Produção de Obras de Construção de Edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, outubro – dezembro, 2004. Disponível em: <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=598b36d1cc64ff03JmItdHM9MTY2NjU2OTYwMCZpZ3VpZD0xNjcwNTNiNS0zMjlxLTZhMTMtMWJiZS00MjhiMzM5NzZiNTMmaW5zaWQ9NTI3Nw&ptn=3&hsh=3&fclid=167053b5-3221-6a13-1bbe-428b33976b53&psq=SOUZA%2c+Ubiraci+Espinelli+Lemes+de+et+al.+Diagnósti+o+e+Combate+à+Geração+de+Resíduos+na+Produção+de+Obras+de+Construçã+o+de+Edifícios%3a+uma+abordagem+progressiva.+Ambiente+Construído%2c+P+orto+Alegre%2c+v.+4%2c+n.+4%2c+p.+33-46%2c+out.%2fdez.+2004.&u=a1aHR0cHM6Ly9zZWVyLnVmcmdzLmJyL2FtYmllbnRlY29uc3RydWlkby9hcnRpY2xlL2Rvd25sb2FkLzM1NzMvMTk3OA&ntb=1>. Acesso em: 18/01/2022.



TEIXEIRA, Cláudia Alkmim Guimarães. **“Jogando Limpo” estudo das destinações finais dos resíduos finais dos resíduos sólidos da construção civil no contexto urbano de Montes Claros.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2010. Disponível em: Microsoft Word - DISSERTACAO claudia alkmim guimaraes teixeira.doc (unimontes.br). Acesso em: 20/01/2022.

VIEIRA, Geilma L.; MOLIN, Denise C. C dal. Viabilidade Técnica da Utilização de Concretos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 47-63, dezembro, 2004. Disponível em: Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição | Ambiente Construído (ufrgs.br). Acesso em: 20/01/2022.

Enviado: Outubro, 2022.

Aprovado: Novembro, 2022.

¹ Graduando em Engenharia Civil na Universidade do Vale do Ipojuca – Caruaru - PE. ORCID: 0000-0003-0925-2186.

² Graduanda em Engenharia Civil na Universidade do Vale do Ipojuca. ORCID: 0000-0001-8941-5189.

³ Orientador. ORCID: 0000-0002-9941-905X.

⁴ Coorientador. ORCID: 0000-0002-1901-0802.