

ESTUDO SOBRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO ELABORADO COM RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

ANSELMO ARANTES JUNIOR¹
VINICIUS GONSALES DIAS²

RESUMO: A pesquisa foi desenvolvida baseando-se em análises bibliográficas e posteriormente foi desenvolvido os ensaios necessários para obtenção de dados para que no final de todo o processo de obtenção de dados, foi possível desenvolver uma conclusão sobre a viabilidade da utilização de resíduos da construção civil. De acordo com as análises estatísticas sobre a geração de resíduos da construção civil, este trabalho apresenta o objetivo de realizar uma análise de resistência mecânica a compressão, com dos concreto produzidos com agregados convencionais (pedras britas e agregados miúdos) e feitos com Resíduo da construção civil (RCC). Vale ressaltar que todas as análises serão feitas e acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Busca-se com este estudo contribuir de forma acadêmica e científica sobre o assunto em questão, bem como, facilitar o entendimento sobre o concreto, os resíduos da construção civil e avaliar a resistência do concreto e sua viabilidade para uso em obras da construção civil. Esse estudo será desenvolvido com caráter comparativo entre corpos de provas cilíndricos de concreto com dimensão de 100x200mm, separados em dois grupos, o primeiro trará em sua composição a pedra brita e o segundo a pedra brita será substituída por Resíduos da Construção Civil (RCC). O presente estudo demonstrou que a utilização de RCC para a confecção do concreto pode ser uma alternativa sustentável e viável no ramo da construção civil. A princípio as resistências do concreto produzido com RCC foram menores do que as resistências do concreto convencional. Porém, isso não indica que ele é totalmente descartável, pois pode ser utilizado para a confecção de concreto que não possua caráter estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto; Construção Civil; RCC; Resíduo; Reutilização.

STUDY ON THE RESISTANCE OF CONCRETE PRODUCED WITH WASTE FROM CIVIL CONSTRUCTION (CCR)

ABSTRACT: The research will be developed on the basis of bibliographic analyses and then the tests necessary to obtain data will be developed so that at the end of the whole process of obtaining data, a conclusion can be developed on the feasibility of the use of waste from the construction. According to the statistical analyses on the generation of residues of civil construction, this work presents the objective of conducting an analysis of mechanical resistance to compression, with concrete produced with conventional aggregates (brittle stones and kid aggregates) and made with Residue of civil construction (RCC). It is worth noting that all analyses will be made and agreement with the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). It is sought with this study to contribute academically and scientifically on the subject in question, as well as to facilitate the understanding on the concrete, the residues of the civil construction and to evaluate the resistance of the concrete and its feasibility for use in civil construction works. This study will be developed with comparative character between bodies of concrete cylindrical evidence with dimension of 100x200mm, separated in two groups, the first will bring in its composition the stone crite and the second the stone crite will be replaced by Residues of the Civil Construction (RCC). The present study has shown that the use of CCR for concrete construction can be a sustainable and viable alternative in the construction sector.

In principle, the resistances of concrete produced with CCR were lower than the resistances of conventional concrete. However, this does not indicate that it is completely disposable, as it can be used for the construction of concrete that does not have structural character.

KEY-WORDS: Civil construction; Concrete; RCC; Residue; Reuse.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o produto manufaturado mais usado em todo o mundo é o concreto, o seu consumo está estimado na ordem de 19 bilhões de toneladas ao ano. Tendo em vista que o concreto é um material composto, onde as suas propriedades dependem de proporções usadas dos materiais constituintes, bem como da relação entre os mesmos, considerando-se que é formado em três fases diferentes e que divergem no seu comportamento, sendo elas: argamassa, interface agregado gráudo/pasta e agregado gráudo (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Assim como em outros países em desenvolvimento, o Brasil não possui política pública consistente para o seu enorme potencial mineral, relegando o setor de agregados a uma posição mais secundária da mineração, mesmo os materiais para a construção civil, em algumas regiões metropolitanas, terem peso significativo na economia regional (MIZUMOTO, 2009).

De acordo com IBRAM, 2012, a areia e as pedras britas são os agregados mais utilizados para a fabricação do concreto. Esse fato ocorre pelo fato de que os agregados, tanto gráudos quanto miúdos, são obtidos de forma natural. Os agregados gráudos são originários das jazidas de rochas e os agregados miúdos são originários da degradação dessas jazidas.

Os agregados gráudos como pedras britas em seus diversos tamanhos, derivam de jazidas de rocha sã, que são reduzidas em porções menores através de explosivos e de maquinário de esmagamento e processamento de rochas. (MARTINS; RODRIGUES, 2019).

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (2011), os agregados utilizados para a fabricação de concreto podem ser de diversas origens, naturais ou até mesmo processados. Isso que dizer que é possível reutilizar o entulho gerado pela construção civil, como fonte de matéria prima pra a fabricação de concreto. Esse tipo de agregado é conhecido como agregado reciclado ou agregado de RCC.

O autor Andrade *et.al* (2016) afirma que agregado reciclado é o material granular que provém do beneficiamento de resíduos de construção. Eles devem apresentar características que os permitam ser utilizados em obras de edificação, infraestrutura, aterros sanitários e outras obras de engenharia.

De acordo com Cabral (2009), o resíduo de construção civil acrescenta grande parcela dos resíduos sólidos de uma cidade, parcela esta que corresponde a 50% destes resíduos. Em contrapartida, o autor Silva (2012) comenta que essa porcentagem é de 60% do total.

Um exemplo que demonstra a importância dos RCC e a sua crescente participação no total de resíduos sólidos urbanos é o que acontece em Salvador, estado da Bahia, que entre os anos 1990 até 2000, teve um aumento significativo na composição de resíduos sólidos urbanos de 4,4% para 49,8%. Em Fortaleza, estado do Ceará, que possui 2,5 milhões de habitantes, produziu em 2009 uma proporção de 3.200 m³ de RCC que é equivalente a 0,56 toneladas por cada habitante no período de um ano (SILVA, 2012).

O concreto é um material que apresenta diversas variáveis envolvidas na determinação de suas propriedades e que a sua qualidade está relacionada ao nível de controle utilizado em todas as suas etapas de fabricação, desde o momento da escolha das matérias-primas até a sua cura e desenforma.

A engenharia civil tem buscado aperfeiçoar técnicas no que se refere à redução de desperdícios, monitorando e implantando novos métodos de gestão ambiental para o

gerenciamento dos resíduos que são gerados no período de uma construção e procurando diminuir os impactos causados ao meio ambiente.

Sendo assim este estudo apresenta a seguinte questão de pesquisa: o concreto feito com resíduos da construção civil (RCC) tem a mesma resistência dos outros concretos feitos com outros agregados?

Um das práticas que está sendo utilizadas atualmente pelas indústrias da construção civil é o aproveitamento dos resíduos, com o objetivo de diminuir o uso sem controle de recursos naturais e com isso reduzir a escassez desses recursos. Quando da utilização dessas práticas de aproveitamento os níveis de impactos ambientais causados irão diminuir muito e também diminuirá o uso de mão-de-obra na produção de subprodutos da construção civil.

A reciclagem de Resíduo de Construção Civil (RCC) ajuda também na conservação e maior durabilidade dos aterros sanitários nas grandes cidades, contribuindo para o maior aproveitamento desses locais onde são descartados esses materiais. De acordo com Nagalli (2016), a população está se conscientizando sobre os impactos ambientais causados pela má administração dos resíduos da construção civil e os municípios já possuem regras e normas relacionadas ao descarte desses materiais.

Leite (2011) apresentou dados por ele estudados onde diz que os materiais que são originados do RCC podem proporcionar economia de até 67%, quando são comparados a preços de outros agregados extraídos da natureza, o que viabiliza o uso e agrega valor econômico no uso de materiais que são descartados.

O tema escolhido para este estudo se justifica a procura por novas tecnologias que podem ser usadas na construção civil no Brasil, com produtos que ajudam a reduzir custos e podem ajudar o meio ambiente na sua preservação. O presente estudo buscou avaliar e comparar as resistências a compressão dos concretos produzidos com brita e com RCC, visando contribuir para os estudos relacionados a reutilização de RCC.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 História do concreto

O Concreto é um composto de construção feito pelo homem que se assemelha a uma pedra. Esse composto é feito a partir da combinação de cimento, agregados graúdos, agregados miúdos e água. A pasta formada por água e cimento, fornece a fixação e união dos materiais (NEVILLE; BROOKS, 2013)

É possível ainda adicionar diferentes produtos para que o concreto obtenha específicas características, como por exemplo os aditivos que proporcionam redução da quantidade de água, redução e/ou aceleração do tempo de pega e incorporadores de ar (HELENE, 2010).

Analisando-se a história da humanidade, é possível perceber as primeiras evidências da utilização de compostos semelhantes ao concreto na Roma, em aproximadamente 2000 anos atrás. Essa civilização utilizava das cinzas vulcânicas misturadas com cal e água, formando um composto de fácil modelagem e quando seco, se tornava rígido e resistente (KAEFER, 1998).

Depois que foi descoberto o cimento, não demorou para que a argamassa armada fosse desenvolvida e utilizada por um francês de nome Joseph-Louis Lambot (1814-1887) que construía tanques em cimento com barras de aço, fez um barco em concreto armado que foi apresentado na Feira Mundial de Paris em 1855. Essa construção chamou a atenção de um comerciante de plantas ornamentais que pretendia substituir seus vasos de cerâmica e argila por vasos em cimento armado. Joseph Monier, ocupa um papel de destaque no desenvolvimento do concreto armado, sendo o responsável pela construção da primeira ponte em concreto armado, onde utilizou concreto e aço (CARVALHO, 2008).

2.2 Concreto

O concreto é produzido a partir da junção de cimento, areia, pedra, água e um rigoroso controle de qualidade, vindo da França para o Brasil é tão antigo quanto moderno, tornou-se um material indispensável para nossa época, pode ser produzido como lajes gigantescas para pistas de aeroporto, leitos de estradas, segmentos pré-moldados de pontes, ou fundações de arranha céus (FUSCO, 2008).

O processo de fazer um material fluido e despejá-lo numa forma para suportar edifícios de cem andares além de assombroso é uma das características mais positivas do concreto. O concreto está em todo lugar e o vemos todos os dias, calçadas de concreto, ruas de concreto, edifícios de concreto. O concreto constrói a civilização (GLANCEY, 2007).

O concreto é um material compósito que consiste, fundamentalmente, de um meio ligante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados, consoante Mehta e Monteiro (2008). Os autores ainda destacam que o cimento hidráulico, o aglutinante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água. É importante salientar o uso de aditivos e adições na produção de concretos, visando proporcionar ao material algumas propriedades especiais.

2.2.1 Cimento *Portland*

De acordo com Isaia (2005), o cimento *Portland* é um material formado pela junção, queima e processamento de argila e calcário. Esses materiais são misturados e queimados em fornos com temperaturas elevadas, para a formação de esferas denominadas Clínquer. Esse processo de obtenção do clínquer é utilizado para a combinação química dos elementos, fornecendo características pulverulentas que quando combinados com água, formam uma espécie de material ligante.

Para Neville e Brooks (2013), o cimento é um produto que possui características pastosa quando misturado em água, podendo ser moldada e trabalhada de diversas formas e formatos. Essa pasta de cimento, quando endurecida, apresenta características rígidas e duráveis e, dependendo do ambiente em que se encontra, pode sofrer com processos de corrosão química.

2.2.2 Água para concreto

A água é um material essencial para a obtenção do concreto. É a água que juntamente com o cimento, formam a pasta de cimento e quando misturada com os agregados, formam o concreto (ISAIA, 2005).

É importante salientar que a água desempenha papel importante no concreto, pois é ela quem controla a trabalhabilidade e a consistência. A água influencia ainda no processo de cura e enrijecimento do concreto, promovendo hidratação e reduzindo a temperatura nesses processos (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A ABNT NBR 15900/2009, estabelece que a água utilizada na composição do concreto, deve ser uma água limpa, sem cor, sabor e cheiro, pois micro-organismos, matéria orgânica e outras substâncias que podem ser encontradas na água, podem afetar a qualidade e a resistência do concreto.

2.2.3 Agregados

Brooks e Neville (2013) afirmam que os agregados são materiais granulares com dimensões variadas e que possuem propriedades que influenciam na qualidade e durabilidade do concreto, portanto, é importante realizar uma análise periódica dos agregados, para manter um padrão de qualidade no produto final.

Na composição do concreto, os agregados representam cerca de 70% do volume do composto. Essa proporção evidencia ainda mais que os agregados devem ser estudados e avaliados na composição do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A ABNT NBR 7211/2009 é a norma brasileira que representa e evidencia as características e os tipos de agregados, graúdos e miúdos para a produção de concreto. Essa norma apresenta ainda as dimensões mínimas e máximas dos agregados.

De acordo com Bauer (2000) a pedra brita é dividida em faixas granulométricas de graduação de 0 a 4, e é encontrada no comércio com a denominação de pedrisco e pedras de 1 a 4. Sendo que a maior demanda por pedra brita ocorre no processo de fabricação de concreto, onde são empregados principalmente o pedrisco e as britas 1 e 2, sendo que para a execução de concreto ciclópico usa-se brita 4 e rachão.

Segundo Valverde (2012), a produção de brita no Brasil é dividida por tipos de rochas, na seguinte escala 85% de rochas granitóides (granito, gnaisse, riolito e outras), 10% de rochas calcárias (calcário e dolomito) e 5% de basalto e diabásio. A produção de brita no Brasil ocorre em todos os estados da federação com exceção do Acre.

Quadro 2: Divisão das britas de acordo com o tamanho das partículas

Pedra brita numerada	(NBR 7211/ NBR 7225)		COMERCIAL	
	TAMANHO NOMINAL			
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Brita 0			4,8	9,5
Brita 1	4,8	12,5	9,5	19,0
Brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
Obs.: para efeito de dosagem pode-se utilizar $d_{max} = 25$ mm para uma mistura de brita 1 + brita 2.			76 mm considerado pedra de mão	

Fonte: adaptado de Duart (2009).

2.3 Propriedades do concreto no estado fresco

O concreto é um material que possui diferentes estados de utilização. Quando em estado fresco, de acordo com Neville *et.al* (2016), esse produto apresenta características moldáveis e trabalháveis, ou seja, esse material é considerado mole e pode ser trabalhado com facilidade, sem exercer muita força.

Outra característica apontada por Araújo *et.al* (2001) é a facilidade que esse produto tem de obter formas moldáveis, sem apresentar fragilidade. Esse fenômeno é chamado de plasticidade e depende totalmente do elevado grau de coesão entre os materiais constituintes do concreto.

O autor Neville *et.al* (2013) comenta ainda que a quantidade de cimento e de água no composto do concreto, é chamado de fator água cimento e que esse fator é responsável pela lubrificação da mistura e de dar características de plasticidade e trabalhabilidade.

2.4 Cura do concreto

A cura do concreto pode também ser definida como processo de enrijecimento e ganho de resistência do concreto. Esse processo é o estágio final do composto, pois é aqui que o concreto começa a endurecer e ganhar resistência a compressão (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O processo de cura é iniciado quando os processos químicos originados pelo cimento e a água, começam a agir sobre o composto. Nesse processo, as partículas de cimento começam a hidratar com a presença da água, e as ações químicas liberam calor, evaporando a água presente na mistura. É nesse período de cura que deve-se repor a água no produto, pois a alta temperatura nesse período, pode ocasionar microfissuras e rachaduras, danificando o material e podendo evoluir para patologias como fissuras e perda de resistência (BAUER, 2008).

2.4 Características do concreto no estado enrijecido

Pós realizado os processos relacionados à cura, o concreto entra em sua fase dura/enrijecida e é nessa fase que se encontram outras características importantes de sua ampla utilização: Resistência mecânica a compressão e durabilidade (PINHEIRO *et al.*, 2010).

2.4.1 Resistência a compressão

Segundo Lima, Barboza e Gomes (2003) o concreto é um material que apresenta elevada capacidade de resistência a carga de compressão em seu estado duro. Essa resistência pode ser mensurada com ensaios padronizados pela ABNT.

A NBR 5739/2018 é a norma da ABNT que apresenta a forma de obtenção da resistência a compressão do concreto, a partir da produção de corpos de prova para ensaio de compressão. Os corpos de prova são moldados logo em seguida da produção do concreto e posteriormente são armazenados em locais com temperatura e umidade controlados, a fim de serem ensaiados em testes de compressão com prensa hidráulica.

A moldagem de corpos-de-prova cilíndricos que constituem os exemplares do concreto deve ser moldada de acordo com as orientações da NBR 5739/2019 e devem ser moldados corpos de prova suficientes para a obtenção de resultados satisfatórios.

A moldagem dos corpos-de-prova é uma etapa importante na determinação da resistência à compressão do concreto. Ela é feita ainda na obra e, caso não seja efetuada de acordo com a norma (NBR 5738), os valores obtidos para as resistências à compressão não representarão a qualidade do concreto obtido (ABNT NBR 5738, 2008).

O volume de concreto retirado para moldagem dos corpos-de-prova deve ser homogeneizado antes de ser colocado nos moldes. Os corpos-de-prova devem ser moldados numa base nivelada, livre de choques e vibrações, no local onde devem permanecer as primeiras 24 horas, protegido do sol, chuva e vento (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Antes da moldagem, os moldes deverão estar perfeitamente vedados, limpos e untados com óleo mineral (deve-se ter o cuidado de escoar o excesso de óleo antes da moldagem). Na preparação das amostras, deve-se coletar quantidades iguais de argamassa e agregados. A amostra deve ser colocada no molde, fazendo-se uso de uma concha metálica (CARDOSO, 2013).

O procedimento do ensaio de resistência a compressão é normatizado pela ABNT NBR 5739/2016 “Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos” que explica que o ensaio se inicia quando o corpo de prova é inserido na prensa hidráulica e, por intermédio do bombeamento de óleo em uma base de pistão hidráulicos, o corpo de prova é comprimido. Esse procedimento é encerrado quando o corpo de prova se romper por inteiro e a máquina apresentará em seu visor, o valor máximo de carga de compressão até o momento de sua ruptura.

2.4 Resíduos da construção civil (RCC)

Segundo a Resolução do CONAMA nº 307/2002 em seu Art. 2º, Inciso I, os RCC (resíduos da construção civil) são produtos originários de construções, reformas, reparos e demolições na área da construção civil. Essas matérias geralmente são tijolos, argamassas, concreto, argila, pedras, areias, resina, madeira, compensado, forros de madeira, gesso, etc. Comumente o RCC é chamado de entulho da construção.

O RCC deve passar por processos de seleção, onde são separados os materiais que podem ser reutilizados para outros fins e os materiais que não possuem valor de reciclagem ou reaproveitamento. Só assim, podem ser feitas as devidas reutilizações conforme a CONAMA em sua resolução 307/2002 apresenta as classificações dos entulhos da construção civil.

Quadro 3: Classificação dos resíduos da construção civil

CLASSE A	Reutilizáveis e recicláveis como agregado	Alvenaria, concreto, argamassa, solos, blocos, tubos, telhas, outros.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou, encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
CLASSE B	Recicláveis para outras destinações	Madeira, papel, plástico, metal, outros.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
CLASSE C	Sem tecnologia ou utilização economicamente viável para reciclagem	Produtos oriundos de gesso	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
CLASSE D	Resíduos perigosos	Tintas, óleos, solventes, amianto, outros.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: CONAMA, 2002.

2.4.1 O RCC e sua reciclagem

Na década de 80 não existia mais lugar para dispensar o RCC na Europa, por isso reciclar e diminuir os excessos de resíduos foi uma prioridade da construção civil e diversas políticas públicas foram implementadas visando manter a. (SILVA, 2013).

Em Portugal, conforme Pereira (2002), cerca de 76% do RCC é colocado em aterros e 11% é reutilizado, 9% reciclado e 4% queimado, diante disso a quantidade de RCC reaproveitado é mínima, chegando em 20% apenas comparado a outros países da Europa que chega a 92%.

Na Irlanda apenas uma parcela mínima do RCC é aproveitada para cobrir aterros sanitários, se esforçando, dessa forma para amenizar a quantidade descartada em locais inapropriados.

No Brasil, em 1983 que começaram as primeiras pesquisas para aplicação de reciclagem de RCC e em 1995 surgiu as primeiras usinas de reciclagem em escala industrial.

Os dados do IBGE (2010) destaca que dos 5.564 cidades existentes, 4.031 cidades (72,45%) já possuem serviço de manejo dos resíduos de construção, onde 392 cidades que representa 7,05%, trabalham com algum tipo de triagem para esses materiais, 124 cidades, apenas 2,23%, têm a triagem simples desses resíduos reaproveitáveis classe A e B, em 14 cidades 0,25% possuem triagem e trituração mecânica dos resíduos classe A, em 20 cidades 0,36% constatou a triagem e moagem desses resíduos classe A, as cidades que possuem classificação granulométrica representam 1,42% ou melhor dizendo 79 cidades, onde o programa de reaproveitamento e aplicado na fabricação de outros matérias para aplicação na própria construção civil. Portanto uma parcela pequena de RCC dos municípios é levada para usinas onde é feita a reciclagem.

Mesmo com dados tão relevantes o uso de RCC ainda não é bem visto pelos órgãos públicos, pensamento que se espera mudar com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, pois, com essa política será criado para os municípios metas e prazos para serem cumpridos.

2.4.2 O RCC e suas aplicações

Recentes estudos e pesquisas estão empenhados em desenvolver novas técnicas de composição do concreto, usando como fonte o RCC, visando a redução de custos em todos os processos.

Vieira (2004) em seus estudos fez uma avaliação da viabilidade técnica e econômica do uso de agregados oriundos de RCC, em concretos. Nessas pesquisas fez um comparativo entre concreto produzido com agregados de jazidas naturais e reciclados de usinas, onde averiguou uma grande homogeneidade, substituindo 50% e 100% dos agregados, obtendo como retorno do comparativo que os agregados provenientes de reciclagem caracterizaram uma grande melhoria nas propriedades do concreto.

O RCC já é realidade em diversas cidades no Brasil, como exemplo, São Paulo, onde os RCC são reciclados e usados nos serviços de pavimentação de ruas e adicionado ao concreto como agregados. Na cidade de Belo Horizonte também são bastante usados na fabricação de bases para pavimentação e argamassas de uso universal.

Já em 1997, Zordan utilizou o RCC na fabricação de concretos, para investigar se o material poderia ser usado para tal fim e foi através de sua investigação que pode-se verificar que essa mistura de materiais poderia ser usada sim, na fabricação de peças pré-moldadas para decoração e para uso nos municípios nos serviços urbanos.

Para Leite (2001) foi verificado o desempenho de concreto com diferentes frações de agregados, tanto graúdos como miúdos, no resíduo de construção. Foram considerados o comportamento em doses variadas para a substituição dos agregados de jazida por materiais reciclados em diversas proporções de água/cimento nas propriedades do concreto em suas fases trabalháveis e enrijecidas. A pesquisa teve um resultado de viabilidade para a utilização do agregado na fabricação de concreto, conservando as suas propriedades mecânicas na tração, na flexão e deformação.

A reciclagem dos RCC será bem-sucedida quando for determinado um método que exigirá bastante conhecimento relacionados a diferentes aspectos para fabricar um material de construção optativo e com valores acessíveis para sua comercialização.

Por questões ambientais e sustentáveis, a reutilização de resíduos de materiais da construção civil, pode ser utilizada como fonte de matéria prima para confecção de concreto. A quantidade a ser utilizada, seja em porcentagens totais ou porcentagens de substituições, devem ser estudadas e testadas, afim de atender totalmente as necessidades da obra e evitar possíveis patologias (BATISTA, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa experimental proposta nesse artigo, foi realizada em uma empresa de Sinop/MT, que executa obras residenciais e fabrica artefatos de concreto, o principal material utilizado é o concreto. Por apresentar um índice grande de desperdício de materiais de construção civil (tijolos, blocos, concreto seco e argamassa seca), foi levantado a hipótese de utilizar esses RCC's para a fabricação de concreto.

Foi então dividido o estudo em 3 etapas, descritas no fluxograma a seguir. A primeira etapa consistiu no estudo bibliográfico sobre o tema e a elaboração do traço de concreto adotado o método ABCP, onde serão utilizadas as massas específicas do cimento Portland CPI classe S, agregado miúdo (areia), módulo de finura da areia, resíduos de construção civil e volume do corpo de prova. Serão moldados corpos-de-prova, para os dois tipos de agregados graúdos, e ensaiados à resistência e compressão simples com idades de 7 e 28 dias pós processos de cura.

A segunda etapa do trabalho consistiu na fabricação do concreto com 100% de brita, 50% de brita e 50% de RCC e por último o concreto com 100% RCC. Nessa etapa do trabalho, foram moldados 60 corpos de prova no total, sendo 30 para o concreto produzido com pedra brita e 30 para o concreto produzido com 100% RCC. Dos 30 corpos de prova, 10 foram ensaiados com 3 dias de idade, 10 com 7 dias e 10 com 28 dias.

A terceira e última etapa do trabalho consistiu na coleta dos dados dos ensaios dos corpos de prova de concreto em suas respectivas idades. Em seguida, foram realizadas as análises e desenvolvimento desse artigo com todos os dados coletados e processados.

3.1 Determinação do traço de concreto

A dosagem dos materiais será feita através dos cálculos a seguir:

a) 0,52; determinado pela relação entre o F_{cj} e a resistência do cimento aos 28 dias (curva de Abrams);

b) 205 l/m³; determinado pela relação entre o diâmetro máximo do agregado graúdo e o abatimento do tronco de cone.

c) Determinação do consumo de cimento de acordo com a equação 1:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad C_c = \frac{205}{0,52} \quad C_c = 394 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

C_c = Consumo de Cimento.

C_a = Consumo de água.

a/c = Fator água /cimento

d) Determinação do consumo de Agregado graúdo, de acordo com a equação 2:

$$C_b = V_b - MUC \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

C_b = Consumo de Brita

V_b = Volume de brita, determinado pela relação entre o módulo de finura do agregado miúdo e o diâmetro máximo do agregado graúdo

MUC = Massa unitária compactada do agregado graúdo

e) Determinação do volume de agregado miúdo, de acordo com a equação 3:

$$V_a = 1 - \left(\frac{C_c}{Y_c} + \frac{C_b}{Y_b} + \frac{C_a}{Y_a} \right) \quad \text{(Equação 3)}$$

$$V_a = 1 - \left(\frac{394}{2889} + \frac{1231}{2795} + \frac{205}{1000} \right)$$

$$V_a = 0,217 \text{ m}^3$$

f) Determinação do consumo de agregado miúdo, através da equação 4:

$$C_a = V_{areia} * Y_{areia} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$C_a = 0,217 * 2580$$

$$C_a = 559,86 \text{ Kg/m}^3$$

g) Determinação do traço, de acordo com a equação 5, sendo representados respectivamente por CIMENTO: AREIA: BRITA 1: ÁGUA/CIMENTO

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_{água}}{C_c} \quad \text{(Equação 5)}$$

$$\frac{394}{394} : \frac{560}{394} : \frac{1232}{394} : \frac{205}{394}$$

h) Traço utilizado:

$$3: 1, 42:3, 126: 0,52$$

Sendo 3 unidades de cimento, 1,42 unidade de agregado miúdo, 3,126 unidade de agregado graúdo e 0,52 unidades de água. Essa unidade pode ser representada por qualquer recipiente, desde que sejam utilizadas as medidas corretas descritas no traço, distribuídas igualmente para todos os materiais. Outro fator importante é que sejam utilizados

recipientes/unidades suficientes para a moldagem de todos os corpos de prova. Como exemplo de unidade, foi feita a utilização de uma lata de 20 litros de capacidade volumétrica.

3.2 Processamento dos dados

Feita a coleta dos dados, eles foram processados em equações para a verificação de constituintes importantes na verificação da resistência do concreto. Para isso, foram utilizados a equação 6, representada pelo Desvio Padrão (S), a equação 7 representada pelo Coeficiente de variação (δ) e a equação 8, representada pelo Fator de resistência a compressão Calculado (F_{ck}).

i) Equação do desvio padrão:

$$S = \sqrt{\sum(f_{cci} - f_{cm})^2 / (n - 1)} \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

f_{cci} - o valor das resistências em cada ensaio realizado;

f_{cm} - o valor da média aritmética dos ensaios;

n - o número de ensaios realizados.

j) Equação do coeficiente de variação:

$$\delta = \frac{S}{f_{cm}} \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde:

δ - coeficiente de variação;

s - desvio padrão;

f_{cm} - o valor da média aritmética dos ensaios.

k) Equação da Resistência a compressão calculada:

$$f_{ck} = f_{cm} * (1 - (1,645 * \delta)) \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

f_{ck} - resistência característica do concreto calculada;

f_{cm} - a média aritmética dos resultados obtidos;

δ - o valor do coeficiente de variação.

Essas equações foram utilizadas para verificação do nível de disparidade entre os valores das resistências de cada corpo de prova e a resistência média entre eles. Com essas equações é possível verificar se as amostras representam resultados coerentes dentro de uma curva de variação e, posteriormente, pode-se calcular a resistência esperada e verificar se as amostras estão de acordo com o esperado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o início da análise dos resultados, foram elaboradas tabelas que representa os valores das resistências a compressão dos corpos de prova produzidos com 100% brita, 50% brita e 50% RCC e 100% RCC, em 3, 7 e 28 dias de cura, que foram utilizadas como fonte de análise. Exibe também, os dados referentes à média dos valores da a resistência a compressão, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a resistência a compressão calculada (F_{ck}).

Tabela 1: Dados das rupturas dos corpos de provas ensaiados em 3 dias

	100% Brita	50% Brita e 50% RCC	100% RCC
Unidade	Resultado (MPa)	Resultado (MPa)	Resultado (MPa)
1	6,92	6,10	4,81
2	6,93	6,12	4,86
3	6,96	6,21	4,87
4	6,96	6,22	4,87
5	6,97	6,28	4,89

6	6,98	6,31	4,92
7	6,98	6,35	4,94
8	7,08	6,41	4,95
9	7,09	6,42	4,98
10	7,11	6,46	5,01
Fcm (MPa)=	7,00	6,29	4,91
Desvio Padrão=	0,068928304	0,124971108	0,061101009
Coef. Variação=	0,009849715	0,01987454	0,012444197
Fckc (MPa)=	6,88	6,08	4,81

Fonte: Arquivo Próprio (2020).

Analisando os dados da tabela 1, observa-se primeiramente que todas as resistências a compressão das amostras se encontram inclusas no valor de resistência calculada, possuindo o mínimo de 4,81MPa para concreto com 100% RCC, 6,29MPa para concreto com 50% Brita e 50% RCC e 7,00MPa para concreto com 100% RCC. Isso indica que todo o processo de cálculos até o momento fora satisfatório, no quesito de não existir amostras fora do padrão.

Há uma diferença média de 0,71MPa entre os concretos com 100% brita para 50% brita e 50% RCC. A diferença chega a ser de 2,09MPa entre o concreto com 100% brita para 100% RCC e de 1,38MPa entre 50% brita e 50% RCC para 100% RCC. Essas informações indicam que há uma variação considerativa nas resistências dos corpos de prova quando se introduz o uso do RCC para fabricação do concreto.

A tabela 2 a seguir, que representa os valores das resistências a compressão dos corpos de prova produzidos com 100% brita, 50% brita e 50% RCC e 100% RCC, com 7 dias de idade. Exibe também, os dados referentes à média dos valores da a resistência a compressão, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a resistência a compressão calculada (Fckc).

Tabela 2: Dados das rupturas dos corpos de provas ensaiados em 7 dias

	100% Brita	50% Brita e 50% RCC	100% RCC
Unidade	Resultado (MPa)	Resultado (MPa)	Resultado (MPa)
1	14,91	13,76	11,98
2	14,95	13,78	12,01
3	14,95	13,83	12,27
4	15,00	13,91	12,39
5	15,01	13,98	12,41
6	15,03	13,98	12,45
7	15,12	14,04	12,83
8	15,20	14,09	12,88
9	15,20	14,11	12,94
10	15,21	14,17	12,92
Fcm (MPa)=	15,06	13,97	12,51
Desvio Padrão=	0,114968595	0,142302495	0,36647874
Coef. Variação=	0,007635051	0,010189939	0,029299547
Fckc (MPa)=	14,87	13,73	11,91

Fonte: Arquivo Próprio (2020).

Analisando a tabela 2, observa-se que as amostras apresentaram resistências a compressão acima do esperado, tendo valores superiores a 12,51MPa para concreto com 100% RCC, 13,97MPa para concreto com 50% Brita e 50% RCC e 15,06MPa para concreto com 100% RCC. Observa-se ainda uma evolução média de 2,55MPa do concreto com 100% RCC para o concreto com 100% Brita. Já para o concreto com 50% Brita e 50% RCC a evolução foi de 1,46MPa e de 1,09MPa para os concretos com 100% RCC e 100% Brita, respectivamente.

Outra análise que pode ser realizada, é a evolução média de 7,6MPa entre as idades de 3 e 7 dias para o concreto com 100% RCC. Já para o concreto com 50% Brita e 50% RCC, a evolução média entre 3 e 7 dias foi de 7,68MPa. E para o concreto com 100% Brita a evolução média da resistência a compressão entre 3 e 7 dias, foi de 8,06MPa.

A tabela 3 a seguir, que representa os valores das resistências a compressão dos corpos de prova produzidos com 100% brita, 50% brita e 50% RCC e 100% RCC, com 28 dias de idade.

Tabela 2: Dados das rupturas dos corpos de provas ensaiados em 28 dias

Unidade	100% Brita Resultado (MPa)	50% Brita e 50% RCC Resultado (MPa)	100% RCC Resultado (MPa)
1	26,89	23,73	20,97
2	26,90	23,80	21,00
3	26,92	23,84	21,41
4	26,93	23,98	21,41
5	26,93	24,01	21,42
6	26,97	24,02	21,44
7	26,99	24,10	21,45
8	27,01	24,11	21,48
9	27,04	24,18	21,93
10	27,11	24,18	21,94
Fcm (MPa)=	26,97	24,00	21,45
Desvio Padrão=	0,069514187	0,158482386	0,317673837
Coef. Variação=	0,002577559	0,006604809	0,014813422
Fckc (MPa)=	26,85	23,73	20,92

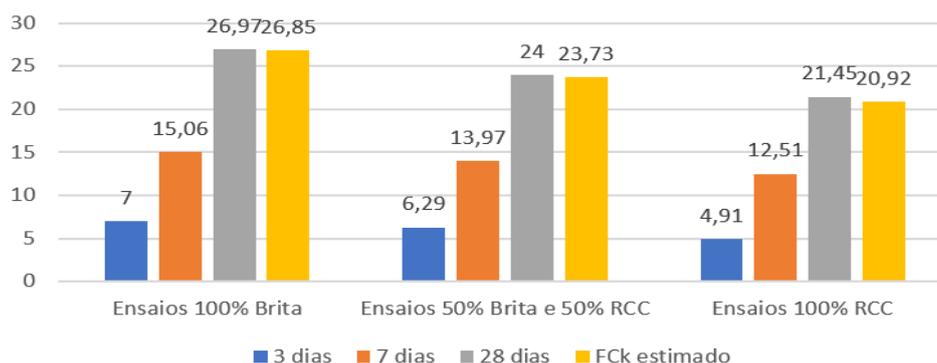
Fonte: Arquivo Próprio (2020).

Quando analisado a tabela 3, observa-se que as resistências a compressão de todos os corpos de prova de concreto produzido com 100% RCC, tiveram seus valores acima do valor de 20,92MPa, sendo este o valor da resistência de cálculo. Para os concretos produzidos com 50% Brita e 50% RCC, a resistência calculada foi de 23,73MPa e todas as amostras estão inclusas em valores acima deste. Para o concreto produzido com 100% Brita, as amostras tiveram valores de resistência acima de 26,85MPa do valor da resistência calculada.

O gráfico 1 a seguir, representa os valores das resistências medianas em seus respectivos dias de ensaio.

Gráfico 1: Resistências médias dos corpos de prova ensaiados em suas respectivas idades de ruptura

Relação de resistência a compressão média entre os corpos de prova ensaiados com diferentes tipos de concreto (MPa)



Fonte: Arquivo Próprio (2020).

Analisando o gráfico 1, observa-se que a evolução média das resistências a compressão entre os dias 7 e 28, para 100% RCC, foi de 8,94MPa e de 10,03MPa para concreto com 50% Brita e 50% RCC. Já para o concreto com 100% Brita, a evolução da resistência média a compressão foi de 11,91MPa.

Comparando os dados, observa-se ainda que em ambos os tipos de concreto, a resistência dos corpos de prova utilizados para coleta de dados, tiveram seus valores de

resistência acima do valor do F_{ck} estimado. Isso indica que não houve uma disparidade nas resistências obtidas.

5. CONCLUSÃO

Realizados os experimentos e as análises dos dados de resistência a compressão, a partir da ruptura dos corpos de prova produzidos com diferentes tipos de concreto, pode-se concluir que a utilização do RCC como substituição dos agregados graúdos na fabricação do concreto, pode ser viável no âmbito de sustentabilidade.

Porém, deve-se realizar estudos mais aprofundados a fim de estabelecer limites entre sua utilização em concreto que possuam características estruturais, pois, como indicado com esse experimento, tanto os concretos produzidos com 50% Brita e 50% RCC e o produzido com 100% RCC, tiveram suas resistências menores que o concreto produzido convencionalmente com 100% Brita.

Essa diferença pode ter ocorrido pelo fato de as Britas possuírem tamanhos e dimensões com pouca variação, pois passam por processos mecanizados de obtenção. Já o RCC possui variadas dimensões e como consequência disso, podem provocar a diminuição da resistência do concreto. O concreto produzido com RCC, por apresentar dimensões variadas, pode apresentar índices de vazio (espaços entre os agregados) mal preenchidos e/ou apresentar falhas e índices de porosidade elevados.

Contudo, isso não descaracteriza o RCC como substituição de agregados para o concreto. O fato de a resistência a compressão do concreto ser menor quando utilizado o RCC, atrai olhares para o desenvolvimento de pesquisas mais aprofundadas sobre o assunto.

As resistências a compressão do concreto são importantes para determinar a sua resistibilidade e durabilidade a cargas impostas a ele. Também é um fator que pode influenciar no dimensionamento de estrutura, pois interfere na quantidade de aço a ser utilizado e na dimensão das peças.

Por último e não menos importante, a utilização do RCC pode ser feita para a fabricação de artefatos de concreto, como: tubos, paver, tampas de bocas de lobo, meio fio e quaisquer outros artefatos que não possuam a resistência a compressão como valor impactante em sua fabricação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland — Determinação da Resistência à Compressão**. Rio de Janeiro, 1996. 8 p. .

_____. **NBR 5739: Concreto — Ensaios de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

_____. **NBR 12142: Concreto — Determinação da Resistência à Tração na Flexão de Corpos de Prova Prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010. 5 p.

_____. **NBR 7222: Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

_____. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ARAÚJO, J. M. Estruturas de concreto: a resistência à tração e energia de fratura do concreto. Rio Grande. Editora Dunas, 2001. 27 p.

BAUER, L.A. **Materiais de construção**. 5a ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005.

BOGGIO, A. J. Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento portland. 182f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA**. RESOLUÇÃO CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004 Publicadas no DOU nº 158, de 17 de agosto de 2004, Seção 1, página 70. Dispõe sobre gestão de resíduos e produtos perigosos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA**. RESOLUÇÃO CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986, publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas 2548-2549. Dispõe sobre Licenciamento Ambiental. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>.

CARDOSO, Mara Cristina de Sousa. **Desenvolvimento de um compressômetro para determinação do módulo de elasticidade do concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Marabá, 2013.

CARELI, EICIO (colaborador), AECweb/e-Construmarket. **Resíduos da Construção Civil devem ter destinação e gestão adequada**, 2014. Disponível em: <http://www.obralimpa.com.br/index.php/residuos-da-construcao-civil-devem-ter-destinacao-e-gestaoadequada/>.

CARVALHO, J. C. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Revista Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da Microestrutura do Concreto Com Adição de Cinza de Casca de Arroz Residual Sem Beneficiamento**. 2008. 134p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia) – Centro de Tecnologia – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

IBRAM - **Informações e Análise da Economia Mineral Brasileira** – 7ª Edição, 2012.

ISAIA C. G. **Concreto: Ensino, pesquisa e Realizações**. Vol.1 - Retrospectiva do Concreto no Brasil. Ed.Geraldo Cechella Isaia- São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.

KAEFER, Luís Fernando. A Evolução do Concreto Armado. **Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos**, [S. l.], p. 1-43. Dezembro, 1998. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>

LAGUNA, L. A., & IKEMATSU, P. A influência da temperatura na desforma do concreto. **Revista Técnica**, 2009.

LIMA, C. I. V., COUTINHO, C. O. D., AZEVEDO, G. G. C., BARROS, T. Y. G., TAUBER, B. C., LIMA, S. F. Concreto e suas inovações. **Caderno de graduação**, v. 1, n. 1, pg. 31-40. Maceió, 2014.

LIMA, Flavio; BARBOZA, Alive; GOMES, Paulo. **Produção e Controle de Qualidade**. Maceió-AL: EDUFAL, 2003.

MARTINS, Letícia Matias; RODRIGUES, Rômulo Ulysses Vieira. Dosagem de Concreto Utilizando o Método do IPT. **Revista Científica Univiçosa** - Volume 10 - n. 1 - Viçosa-MG - JAN/DEZ 2018.

MELO, João Ricardo de Souza: **A situação dos resíduos sólidos oriundos da construção civil vertical na cidade de Manaus**, 2014.

MIZUMOTO, Camilo. **Investigação da reação álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto e agregados constituintes**. UNESP, Ilha Solteira, 2009.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. Oficina de Textos, 2016.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2 ed. p. 8-11; 266-267. São Paulo: BOOKMAN, 2013.

TUTIKIAN, B.; HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: ISAIA, G. C., ed. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo, IBRACON, 2011. v. 1, cap. 12, p. 415-51.

VIDAL, F. W. H.; ADEODATO, F. J. F. Aproveitamento de Blocos de tamanhos despadronizados, através de talha-blocos. Trabalho apresentado no **I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais**. Guarapari, ES, 2005.