

FACULDADE EVANGÉLICA DE
JARAGUÁ CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DOUGLAS GOMES FERREIRA
JUNIOR**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO
RECICLADO: CONCRETO ESTRUTURAL COM AGREGADO DE RESÍDUO
CLASSE A**

DOUGLAS GOMES FERREIRA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO
RECICLADO: CONCRETO ESTRUTURAL COM AGREGADO DE RESÍDUO
CLASSE A**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à banca examinadora do curso de
Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de
Jaraguá, como requisito parcial para a obtenção do
título de Engenheiro Civil.

Orientador(a):
Prof.º Esp. Aurélio Caetano Feliciano

DOUGLAS GOMES FERREIRA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO:
CONCRETO ESTRUTURAL COM AGREGADO DE RESÍDUO CLASSE A**

Trabalho de Conclusão de Curso DEFENDIDO e APROVADO em _____ de
_____ de 201_, pela
Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil, constituída pelos membros:

Prof.^a Esp. Aurélio Caetano Feliciano
- Orientador -

Prof. Esp. Rafael Gonçalves
Fagundes Pereira
- Membro Interno -

Prof.^a M.^a Luana de Lima Lopes
- Membro Externo -

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Concreto	7
2.1.1 Cimento.....	8
2.1.2 Aditivo.....	8
2.1.3 Agregado	9
2.2 Propriedades Mecânicas do Concreto.....	10
2.3 Resíduos Sólidos	10
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.1 Métodos.....	13
3.1.2 Definição das dosagens	13
3.1.3 Preparação dos resíduos	13
3.1.4 Confeção dos Corpos de Prova	14
3.1.5 Ensaio de compressão	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1 Granulometria	16
4.2 Ensaio de compressão	17
5 CONCLUSÕES	18
REFERÊNCIAS	19

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO
RECICLADO: CONCRETO ESTRUTURAL COM AGREGADO DE RESÍDUO
CLASSE A**

Douglas Gomes Ferreira
Junior¹ Aurélio Caetano
Feliciano²

RESUMO

Os resíduos sólidos provenientes da construção civil são problemas que se acentuam com o passar do tempo, afetando conseqüentemente toda a sociedade, pois, quando depositados de maneira incorreta, em locais inapropriados, ocasionam danos irreversíveis ao meio ambiente, além de reduzir drasticamente a vida útil dos aterros sanitários e esgotar radicalmente a capacidade de recolhimento destes resíduos. O reciclado oriundo de resíduos envolve aspectos tanto técnicos, quanto ambientais e econômicos, além de incentivar o desenvolvimento sustentável da indústria de fabricação de concretos alternativos. Portanto, tendo em vista a redução dos impactos de degradação a natureza causados por resíduos, este artigo objetivou, analisar o comportamento do concreto convencional comparado a um compósito de concreto reciclado. Tendo em foco o intuito de viabilizar a utilização de agregados reciclados na produção de um novo concreto, verificando a possibilidade de sua utilização estrutural, suas características no quesito resistência e economia quando substituído o agregado miúdo (areia) por um material proveniente de resíduos triturados. Após ensaios de compressão os resultados foram satisfatórios, onde o concreto feito com o subproduto obteve resistência mecânica próxima à do concreto convencional, porém com uma economia financeira maior a ser estudada com mais profundidade.

PALAVRA-CHAVE: Resíduos; Agregado; Concreto Reciclado.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: dgfj@icloud.com

² Especialista em Docência do Ensino Superior pela Faculdade Brasileira de Educação e Cultura (FABEC).
E-mail:aureliocfeng@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, além de ser um dos maiores consumidores individuais de recursos naturais, também é responsável pela geração de um considerável volume de resíduos sólidos. Assim como ressalta Pinto (1999), é a área que consome cerca de 75% dos recursos naturais produzidos em todo o planeta. Com base nessa informação, atribui-se a necessidade de incorporar aos estudos de engenharia civil a prática de reutilização.

A indústria de resíduos tem gerado muita informação e orientação com objetivo de reduzir a quantidade de entulho, acarretando a busca por soluções que associe viabilidade técnica com viabilidade econômica. Pautado no conceito de autossustentabilidade há intensificação nas condições e métodos de pesquisa para transformar resíduos em materiais de construção sustentáveis e que apresentem resistência mecânica capaz de suprir as necessidades de projeto (ARAÚJO, 2011; BARBOSA, 2012).

Um exemplo de materiais comumente descartados, passíveis de reutilização e de maior volume são os pertencentes ao grupo de classe A, procedentes de demolição, reformas e edificações, estes são tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa e concreto. Partindo desse pressuposto a utilização desses subprodutos, reaproveitando-os como constituinte de um novo material bastante utilizado na construção civil, tal como o concreto, amenizaria a disposição incorreta destes e a exploração de recursos naturais.

O principal motivo para a criação de técnicas que viabilizem o reuso de materiais, é reduzir o impacto causado no meio ambiente e a sociedade (ADDIS, 2010). A partir do reaproveitamento dos materiais destinados ao descarte, o ciclo de vida (coleta; reciclagem; reaproveitamento) se fecha, proporcionando um equilíbrio de suma importância em relação a demanda e oferta do subproduto (AGOPYAN, 2011).

Por apresentar boa trabalhabilidade, atender a diferentes situações, expor de grande resistência e capacidade de suportar toda a estrutura da edificação, o concreto é o material mais utilizado no âmbito da construção civil. Sendo uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos) que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (BATTAGIN, 2009).

O uso desta mistura aumenta de maneira vertiginosa, conforme a necessidade de matérias-primas, devido ao progressivo crescimento no campo da construção civil. Surge daí as vantagens de desenvolver práticas sustentáveis na fabricação de um novo concreto, proporcionando viabilidade econômica e ambiental devido a uma considerável reutilização, seguida de redução nos danos caudados à natureza com o descarte inadequado (ADDIS, 2010).

Para o estudo de uma nova dosagem e confecção de um compósito de concreto, que respeite o meio ambiente e tendo vantagens no ramo da construção civil, tanto em relação a durabilidade, qualidade, quanto também na questão econômica e social. Tem-se como solução a substituição do agregado miúdo (areia), extraído da natureza, por um substrato, proveniente de entulhos de construção.

Segundo estudos feitos por Cabral (2007) e Bigolin (2013) os resíduos sólidos podem se tornar agregados miúdos e graúdos a partir da reciclagem dos materiais de demolições, expondo de uma considerável resistência mecânica, quando comparado as características do concreto convencional. Sendo ainda mais benéfico no quesito financeiro, pois reduz cerca de 15% a 30% no custo final da obra.

De acordo com Cabral (2007) mais de 50% dos resíduos são do grupo de classe A, que podem apresentar variadas classes de resistência, porém a grande dificuldade é devido a cultura de utilização de materiais reciclados, e que mesmo com a existência de normas técnicas que definem e regularizam seu uso, ainda existe grande resistência por parte de engenheiros civis.

Bigolin (2013) prevê a eficiência do novo concreto fabricado a partir de produtos reciclados, onde quando confeccionado e aplicado em obras esse tipo de concreto, adquire características que se assemelham ao original, ou seja, realizado com o concreto convencional, porém com um custo inferior. Além de impactar menos o meio ambiente.

Afim de comprovar a eficácia do novo compósito, o objetivo principal do presente artigo foi confeccionar blocos de concreto com agregados miúdos reciclados, em diferentes dosagens, em substituição ao agregado miúdo natural, e posteriormente realizar uma análise comparativa entre os mesmos a partir de suas características de resistência à compressão. Para assim realizar uma comparação ao método convencional de execução do concreto. Os resultados são apresentados ao longo do trabalho comprovando a eficiência do compósito.

A reciclagem de materiais para fabricação de um novo produto trata-se de um assunto relevante, pois o processo de reutilização torna-o ecologicamente correto, sendo realizada a devida separação de resíduos para que cada um receba a destinação correta, contribuindo para o meio ambiente.

Com base no exposto, é possível observar que um compósito de concreto-resíduo pode trazer inúmeros benefícios, onde destaca-se a viabilidade econômica. Devido ao aproveitamento de materiais locais evitando gastos com deslocamento para transporte, já que o produto passa por várias etapas sendo: extração, manufatura e produto final disponível para uso. Destaca-se também a viabilidade técnica, diminuindo o tempo e serviço na busca por material (agregado) adequado ou devido o distanciamento de algumas jazidas. Enfatizando a sustentabilidade já que evitaria a exploração de recursos naturais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

O concreto é o material mais consumido no ramo da construção civil, de acordo com estudos realizados por Addis (2010), tem-se um consumo anual estimado de 19 bilhões de toneladas, tornando-o como o segundo material mais consumido pelo homem, em relação a volume, perdendo somente para a água. Por definição, concreto é um material composto, obtido através da mistura de outros materiais: cimento, areia, pedra (brita) e água, ou respectivamente aglomerante, agregados e água (CABRAL, 2007).

Mesmo não sendo tão resistente quanto o aço, é munido de boa durabilidade quando exposto a água, apresenta também ampla facilidade de obtenção de elementos estruturais com uma distinta variedade, além do baixo custo de produção. Indispensável nos mais variáveis tipos de obras possui uma estrutura bastante heterogênea e complexa, a interação entre suas fases e suas propriedades interferem umas nas outras.

Para um bom resultado na fabricação do concreto é preciso que se tenha quantidades precisas de materiais, determinadas pela dosagem ou traço do concreto. Para Ambrozewicz (2012) o traço é o nome dado a mistura de materiais usados na fabricação do concreto, que garante a adequação para cada tipo de necessidade de projeto. Portanto, o traço é definido como a proporção de materiais em massa, em relação a massa de cimento. Torna-se uma das etapas mais importantes da obra, pois é esse procedimento que irá certificar uma mistura adequada de acordo com a carência da construção. Assegurando um concreto durável, resistente, trabalhável e o mais econômico possível.

A mistura de água com cimento leva à formação de uma pasta. A água em excesso nesta mistura dá origem à nata. O concreto é obtido acrescentando-se, respectivamente, agregado miúdo e graúdo nesta pasta. Aditivos ainda podem ser adicionados ao concreto buscando inserir características especiais. Entre eles, podem-se destacar os aditivos modificadores de pega, os redutores de água, aditivos incorporadores de ar, entre outros (CABRAL, 2007).

Devido a eficiência na produção aliado à rápida disponibilidade para obra, colocam este material na ponta do consumo de matéria-prima no canteiro de obras (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Destaca-se também a baixa manutenção que o concreto exige, comparado com outros materiais estruturais, além da sua resistência ao fogo e a carregamentos cíclicos.

Por ser um material de grande demanda no ramo da construção, torna-se um aliado quando se trata de reutilização, pois permite a inclusão de materiais diversos em sua composição. O que possibilita a utilização de resíduos de classe A como um agregado na fabricação de uma nova composição de um concreto estrutural, visando garantir resistência mecânica.

2.1.1 Cimento

Battagin (2019) define cimento como um aglomerante obtido a partir do cozimento de calcários naturais ou artificiais, que misturando-se a água, formam um composto que endurece em contato com ar. É também definido por Patton (1978) como aglomerante inorgânico que deve cobrir a superfície de todas as partículas do agregado do concreto, a fim de ligar o conjunto formando uma massa monolítica.

No setor da construção adota-se alguns termos para indicar a mistura de um aglomerante unido a água e agregados, sendo estes descritos por Battagin (2019) e Ambrozewicz (2012). Em que, referem-se ao aglomerante como material ligante, comumente pulverulento, que permite a união dos grãos de agregados à água, consequentemente tendo a obtenção de pastas, argamassas e concretos.

Existem diversos tipos de cimento, sendo que o mais usual na construção civil atualmente é o cimento Portland CP II-F (com adição de material carbonático - fíler) utilizado nesse trabalho e que segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018), pode ser empregado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros.

2.1.2 Aditivo

Patton (1978) e Isaia (2007) entendem-se por aditivos como substâncias que são adicionadas intencionalmente ao concreto, com a finalidade de reforçar ou melhorar certas características do mesmo, inclusive facilitando seu preparo e utilização. Patton (1978), ainda acrescenta que uma vasta tecnologia de aditivos tem se desenvolvido, permitindo ao construtor um maior controle sobre as características do concreto.

Esta alteração das características do concreto é resultado da capacidade de melhoria das propriedades físicas do concreto que os aditivos possuem, tanto para o concreto fresco como para o concreto endurecido. A aplicação de forma incorreta dos aditivos pode prejudicar as características do concreto, o que necessita de uma maior atenção na forma correta de se usar os materiais (ADDIS, 2010).

Com o uso correto dos aditivos é possível corrigir pontos antes considerados críticos, como a redução da permeabilidade do concreto. Com os efeitos da retração do calor de hidratação, têm a possibilidade de alterar o tempo de pega, acelerando ou retardando o processo e ainda, reduzir o consumo de água.

2.1.3 Agregado

Zordan (1997) delimita agregado como um material granular, com formato irregular e indefinido, sem dimensões e propriedades fixas adequadas para o uso em obras de engenharia. Definido pela NBR 7211 (ABNT, 2005), que trata de agregados para concreto, estes são subdivididos de acordo com sua granulometria determinadas por ensaios de peneiramento descrito pela NBR 7217 (ABNT, 1987) que se refere a determinação da composição granulométrica, por meio do diâmetro encontrado no método de peneiramento em que define os diâmetros máximos e mínimos, conforme mostrado na Tabela 1.

Esta norma faz-se uma classificação dos agregados, areia e pedregulhos, denominados como agregado miúdo e agregado graúdo. Onde o agregado miúdo trata-se de areias naturais quartzosas, no caso de areias retiradas de rio (lavada), como principais características grãos grandes e angulosos (areia grossa); ou artificiais, oriundas do britamento de rochas estáveis.

Tabela 1- Granulometria dos agregados (NBR 7217-ABNT, 1987).

	Diâmetro (mm)	Exemplificação
Agregado o miúdo	$0,075\text{mm} < \phi < 4,8\text{mm}$	pó de pedra, areia e siltes
Agregado o graúdo	$\phi \geq 4,8\text{mm}$	seixo rolado, brita e argila expandida

Já o agregado graúdo provém da fragmentação de rochas estáveis em britadores, podendo ser obtidas de pedras graníticas ou calcárias. Britas calcárias apresentam dureza reduzida e normalmente menor preço, são normalmente utilizadas para a confecção de concretos e que após passar por peneiramento são classificadas de acordo com sua dimensão média (Tabela 2) que varia de 4,8 a 76 mm.

As britas mais utilizadas na fabricação de concreto são comumente as britas número 1 e 2. As britas são comercializadas de acordo com seu diâmetro máximo, sendo classificadas na prática de acordo com seus diâmetros.

Tabela 2- Diâmetros de britas. (NBR 7217-ABNT, 1987)

rita	B	Diâmetro min (mm)	Diâmetro máx (mm)
ó de brita	P	0	4,8
	0	4,8	9,5
	1	9,5	19,0
	2	19,0	25,0
	3	25,0	50,0
	4	50,0	76,0

Dentro de uma filosofia de custo-benefício em favor da obra, os agregados devem ter uma curva granulometria variada, para assim preencher os vazios presentes na mistura. Patton (1978) ainda salienta que esse componente representa 70% do concreto em peso, o que enfatiza a sua grande importância na confecção do material e nas construções civis.

Deve-se reforçar que para a extração desses materiais exige uma considerável exploração na quantidade de recursos naturais para sua execução. Partindo desse contexto há uma invasiva extração em jazidas para a obtenção desses agregados, deixando os impactos ambientais de forma notável, implicando também em uma futura escassez de materiais, o que acelera a busca por métodos renováveis.

2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Propriedade mecânica dos materiais definem o comportamento desse material, sua capacidade de resistir ou transmitir esses esforços sem se fraturar ou deformar de forma incontrolada, quando submetido a cargas externas. Para Addis (2010) todo material sólido quando submetido a esforços externos tem a capacidade de deformar-se.

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Cujas características diferem substancialmente daquelas apresentadas pelos elementos que o constituem.

No Brasil adota-se a resistência obtida em corpos de prova cilíndricos impostos pela norma técnica NBR 5738 (ABNT, 2015). Em geral, os ensaios são realizados na idade padrão de 28 dias, considerando que esta é a idade em que a estrutura deverá entrar em carga.

Dados demonstrados por Cabral (2007), sustentam que a resistência de concretos com adição do material alternativo passa por variações, conseqüentemente em fator da vasta quantidade de produtos disponíveis, e devido a falhas na realização da seleção e trituração, assim como a origem do material, além da qualidade utilizada, principalmente o subproduto, em relação a água pois pode originar o surgimento de vazios que conseqüentemente comprometem a sua resistência.

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo a norma da ABNT, NBR 10004 (2004), resíduos sólidos são aqueles oriundos de atividades provenientes de construções civis. Estes são responsáveis por gerar aproximadamente cerca de 3 milhões de toneladas anuais no Brasil (ADDIS, 2010). E de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os resíduos oriundos da construção são subdivididos em classes. Estas se dão de acordo com a sua natureza de classificação e as possibilidades de reutilização.

O gerenciamento correto das ações de regulação e fiscalização da gestão de resíduos industriais dispõe-se do poder público municipal orientado pela resolução nº 307/2002 do CONAMA. A Figura 1 retrata o material utilizado neste trabalho onde serão os pertencentes a classe A, tratando-se de materiais procedentes de tijolos, telhas e argamassas.

Figura 1- Resíduos da construção civil (Arquivo Próprio, 2019).



Estes resíduos devem ser depositados em locais específicos, como aterros, pois são altamente nocivos ao meio ambiente, atividade que gera um gasto elevado com descarte. De acordo com Addis (2010) a disposição inadequada dos materiais provenientes da construção civil ocasiona danos irreversíveis ao meio ambiente, como: contaminação dos solos e águas subterrâneas. Por esse fator, surge a necessidade de redução, partindo daí a ideia de reaproveitamento.

2.4 CONCRETO RECICLADO

Já o concreto reciclado proveniente da mistura de aglomerante, um percentual de agregado reciclado e água deverá garantir suas propriedades e resistência quanto produto final. Para assegurar essa eficácia deve ser submetido aos seguintes ensaios de moldagem e cura pela NBR 5738 (ABNT, 2015) e ensaio de compressão pela NBR 5739 (ABNT, 2007).

A incorporação de resíduos como agregado na mistura entre cimento, água, areia e brita poderia ampliar a sua trabalhabilidade, resistência, compactação e permeabilidade (PINTO,1999). Características essas capazes de suprir as exigências de projeto, garantindo e assegurando sua eficiência.

O concreto reciclado revela-se como uma solução inovadora e de fácil aplicação que pode contribuir tecnicamente com a redução de custos das obras de forma geral, gerando uma viabilidade técnica e auxilia na redução de lixos provenientes 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 brasileira, tanto os resíduos que serão adicionados quanto o concreto como produto final (ÂNGULO, 2000).

2.4.1 Agregado Reciclado

De acordo com Ambrozewicz (2012) cerca de 50% dos resíduos gerados em obras são do tipo Classe A, o que torna viável a transformação do mesmo em agregados reciclados para a produção de um novo concreto. Além de uma solução sustentável, esta apresenta uma viabilidade financeira para o comércio, uma vez que estes materiais têm seu valor reduzido.

Os agregados reciclados possuem uma absorção de água bem maior quando comparado aos agregados naturais, além de ter sua granulometria variada. Necessitando de maior foco nos seus procedimentos de preparo, tais como seleção, triagem e moagem.

Em trabalho realizado por Ângulo (2000), em uma pesquisa de campo, na qual as argamassas com produtos reciclados foram testadas nas obras, em meio a opiniões dos pedreiros, a avaliação da mesma se deu de forma positiva, apresentando agradável aceitação.

Em entulhos e demolições há a presença de impurezas junto a esses materiais, além de outros. O processo de tritramento deve garantir a uniformidade dos grãos, fazendo necessária a separação por meio de peneiramento. Addis (2012) e Pinto (1999) apontam que concretos reciclados feitos com agregados reciclados apresentam valores em torno de 90% da resistência à compressão dos concretos de referência. Estes podem atuar como parcial matéria na técnica como agregado na fabricação de um concreto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi realizado um programa experimental com o objetivo de investigar e identificar a resistência final devido a substituição parcial de agregado miúdo utilizado na confecção do concreto, por resíduos provenientes de demolições. Foram produzidos 60 corpos de provas, com idades e dosagens de materiais diferentes, sendo com idades de 7, 14, 21 e 28 dias, e cada um respectivamente com porcentagens de substituição do agregado natural pelo material residual de 25% e 50%.

Foram comparados dois tipos de corpos de provas: o confeccionado por concreto convencional e o compósito de concreto-resíduo, ambos respectivamente com a mesma idade. Este estudo foi realizado seguindo as especificações e parâmetros estabelecidos pelas principais normas regulamentadoras brasileiras: NBR 16697 (ABNT, 2018) norma de especificação do cimento Portland, NBR 5738 (ABNT, 1994) ensaios de moldagem e cura, NBR 7211 (ABNT, 2005) agregados para concreto e NBR 5739 (ABNT, 2007) ensaio de compressão.

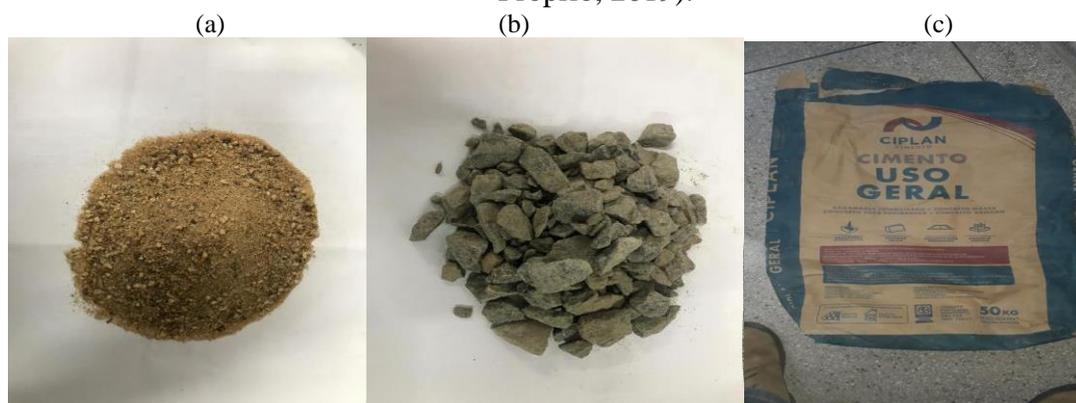
3.1 Materiais

Para estudo e análise da adição de resíduos provenientes da construção no concreto, possibilitando assim realizar ensaios e a confecção dos corpos de prova, foram utilizados os seguintes materiais: Cimento Portland CP II F-32, água, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita 1) e resíduos da construção civil triturados.

O traço de referência utilizado foi respectivamente 1: 1,4: 2,4: 0,5, foi escolhido devido a sua vasta usualidade e a presença de trabalhos. Silva, Coelho e Feliciano (2018) realizaram ensaios, pesquisas e caracterização dos materiais para a confecção de concretos com substituição parcial do agregado graúdo. Os valores empregados neste artigo foram pautados a partir de experimento. Assim como os valores de massa específica, massa unitária de cada material.

Foi utilizado o cimento Portland CP II F-32, normatizado pela NBR 16697 (ABNT, 2018). Sua utilização se deu devido a disponibilidade deste tipo de material na região, sendo o mais utilizado. O agregado miúdo utilizado foi a areia natural grossa de origem quartzosa, produto disponibilizado pela Faculdade Evangélica de Jaraguá. Já como agregado graúdo foi usado a pedra britada, denominada como brita 1, também cedida pela Faculdade, cuja dimensão máxima característica é de 12,5 mm. Os materiais usados estão dispostos na Figura 3.

Figura 3- Materiais usados na fabricação do concreto: (a) Areia (b) Brita (c) Cimento. (Arquivo Próprio, 2019).



Os resíduos para substituição do agregado miúdo foram coletados na cidade de Jaraguá, proveniente de uma obra de demolição. O material a ser reciclado passou por procedimentos realizados conforme a NBR 7211 (ABNT, 2005) que regulamenta esse método. O produto triturado pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4- Resíduos já triturados preparados para o peneiramento (Arquivo próprio, 2019).

3.1 Métodos

Buscando atingir os objetivos do presente artigo, analisar a influência da adição de resíduos gerados em obras de construções e demolições civis, em substituição parcial do agregado miúdo, fez-se necessário, coletar, preparar e caracterizar os materiais a serem utilizados. Foram executados os ensaios de compressão necessários para a verificação da resistência mecânica do compósito quando comparado ao convencional. Todos os ensaios foram embasados nas normas regulamentadoras brasileiras: NBR 7211 (ABNT, 2005) agregados para concreto, NBR 5739 (ABNT, 2007) ensaio de compressão, NBR 5738 (ABNT, 2015) moldagem e cura.

A execução dos procedimentos foram realizados nos laboratórios da Faculdade Evangélica de Jaraguá e Faculdade Evangélica de Ceres com auxílio dos técnicos Rafael Costa Álvares de Pina e Isabela Latier Mendes da Silva.

3.1.2 Definição das dosagens

Os traços foram mantidos os de referência, variando somente a quantidade em relação a composição do agregado miúdo em substituição da areia por resíduos, determinado as quantidades de cada dosagem (Quadro 1), o que as difere em relação ao tempo de cura.

Quadro 1- Dosagem de cada traço do concreto (Arquivo Próprio, 2019).

Traço de Referência	1: 1,4: 2,4: 0,5				
Tipo	Dosa gem (Kg)				
	C imento	F reia	R esíduo	A gua	A gua
Concreto Convencional	5		0	2	,5
Concreto Reciclado- substituição de 25%	5	,25	,75	2	,5
Concreto Reciclado- substituição de 50%	5	,5	,5	2	,5

Foram estabelecidos tempos de cura para cada lote para assim serem rompidos e comparados a resistência com o método convencional.

3.1.3 Preparação dos resíduos

Para obtenção do material pertencente ao compósito os resíduos provenientes de demolição passaram por procedimentos, seguindo as seguintes etapas:

- Coleta do material: o material foi coletado com o auxílio de pás e um carrinho de mão, posteriormente ensacado para assim ser deslocado ao local de seleção.
- Triagem do material: o material por ser oriundo de demolição, encontrava-se uma variedade de produtos e impurezas, nem sempre de origem reciclável. Neste trabalho para o reuso, serão usados somente os materiais classificados como pertencentes ao grupo A.
- Foram separados somente aqueles descendentes de concreto, tijolos, telhas e argamassas (Figura 4) Trituração do material: o material foi desfragmentado com a utilização de uma marreta, até deparar-se com o aspecto de pó.

Figura 4- Resíduos separados prontos para trituração (Arquivo próprio, 2019).



- Peneiramento do material: o material foi peneirado para manter uma granulometria uniforme. Fez-se uso do material passante na peneira de 4,8 mm, determinado pela NBR 7211 (ABNT, 2005) como agregado miúdo (Figura 5)

Figura 5- Resíduos peneirados (Arquivo próprio, 2019).



3.1.4 Confeção dos Corpos de Prova

A confecção dos corpos de prova foi dividida em etapas, no qual consistiu em realizar a definição do traço, onde se estabelece as dosagens, tem-se o preparo da massa, posteriormente a moldagem dos corpos de prova, o tempo de cura e por fim o rompimento mediante ensaio.

Na dosagem, para obtenção dos valores, foram utilizados os traços representados pela Tabela 3. Sendo realizados 3 dosagens de concreto, sendo 2 dosagens com substituição e 1 do método convencional.

Na execução os moldes foram limpos e pincelados internamente com o auxílio de um pincel, criando uma fina camada de óleo mineral. O concreto foi moldado com auxílio de uma concha, que foi deslocada ao redor do molde a fim de assegurar um preenchimento uniforme.

A massa de concreto foi despejada nos moldes (Figura 6) e completados por 3 camadas de concreto e de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2008), feito o adensado com 12 golpes, esse procedimento foi realizado para todos os moldes usados na confecção dos corpos de provas (Figura 7), nos 3 lotes. Foram moldados uma totalidade de 60 corpos de prova, 05 para cada tipo de dosagem e seu tempo de cura (Tabela 4).

Figura 6- Moldes para os corpos de prova (Arquivo Próprio, 2019).**Figura 7-** Corpos de prova (Arquivo Próprio, 2019).**Tabela 4-** Quantidade de Corpos de prova (Arquivo Próprio, 2019).

Tipo	Tempo de Cura (Dias)	Quantidade de corpos de prova
Concreto Convencional	7	05
	14	05
	21	05
	28	05
Concreto Reciclado-substituição de 25%	7	05
	14	05
	21	05
	28	05
Concreto Reciclado-substituição de 50%	7	05
	14	05
	21	05
	28	05

Para a verificação da trabalhabilidade do concreto em cada dosagem realizou-se o teste de Slump, com a utilização de um molde tronco-cônico, uma gola, uma haste metálica, uma concha e uma base. De acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998) este teste foi realizado com o preenchimento do molde-cônico em 3 camadas, cada uma com o adensamento de 25 golpes realizados com uma haste metálica. Após a compactação da última camada, foi retirado o excesso de concreto e a superfície nivelada com uma régua metálica, em seguida a gola e o molde são removidos de forma lenta e contínua. Então o abatimento é medido do ponto médio até o topo do molde colocando a haste sobre o cone invertido como mostrado na Figura 8.

Figura 8- Realização do teste de slump (Arquivo Próprio, 2019).



Após a moldagem os corpos de prova, ficaram por 24 horas no laboratório de solos da Faculdade Evangélica de Jaraguá, para assim serem desmoldados, após esse período foram submetidos ao ensaio de compressão cada qual no seu tempo de cura.

Após o tempo de cura, foram realizados ensaios mecânicos de resistência à compressão para obtenção dos resultados.

3.1.5 Ensaio de compressão

Os ensaios de compressão foram realizados no laboratório de solos da Faculdade Evangélica de Ceres. Os corpos de prova tiveram sua cura em temperatura ambiente e de acordo com as idades definidas para cada lote, respectivamente 7, 14, 21 e 28 dias.

Para a realização do ensaio foi usado a prensa de concreto manual digital (Figura 9), onde consiste na execução de pressão nos corpos de prova. Foram devidamente colocados na prensa seguindo os procedimentos determinados pela NBR 5739 (ABNT, 2007), realizou-se a limpeza das faces do corpo de prova e dos pratos da prensa. Na sequência o corpo de prova foi cuidadosamente centralizado no prato inferior. Então iniciou o processo de ruptura, onde o carregamento foi aplicado continuamente e sem choques até a ocorrência da queda da força e ruptura do mesmo. Esse processo foi seguido durante a realização dos ensaios com todos os corpos de prova.

Figura 9 - Corpo de prova na prensa de compressão (Arquivo Próprio, 2019).



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em pesquisas sobre propriedades mecânicas de concretos reciclados geralmente descreve, quanto à propriedade de resistência à compressão e, na maioria das vezes, no resultado apresentado há uma viabilidade técnica dos concretos com agregados reciclados pelo seu bom desempenho perante essa propriedade.

4.1 Granulometria

Para a obtenção de uma granulometria uniforme que garantisse a classificação como agregado miúdo, os resíduos após serem selecionados e triturados, realizou-se o peneiramento de acordo com a NBR 7211 (ABNT,2005) com a utilização de uma peneira de 4,8 mm, para assim servir-se do material passante.

Não foi realizado o ensaio de granulometria para outros diâmetros, pois o principal interesse do trabalho era a utilização do material inferior a 4,8mm. Sendo assim realizado somente o peneiramento de conveniência.

Na realização do teste de slump, obteve-se os seguintes valores, para o composto de 25%, o abatimento do concreto foi de 8,5 cm, para o concreto no método convencional, 8 cm e para o composto de 50%, 7 cm. Fator que comprova a sua trabalhabilidade segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008) devem-se obter valores entre 8 e 10 cm.

4.2 Ensaio de compressão

A Tabela 5 mostra os valores obtidos após o ensaio de compressão. A carga de ensaio atuante a cada dosagem no seu respectivo tempo de cura. É nítido que ambas as resistências dos compósitos se mostraram mais eficientes em relação a amostra convencional. Seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2007) referente a ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, com o rompimento dos 60 corpos de prova foi possível a obtenção da média dos valores em toneladas força.

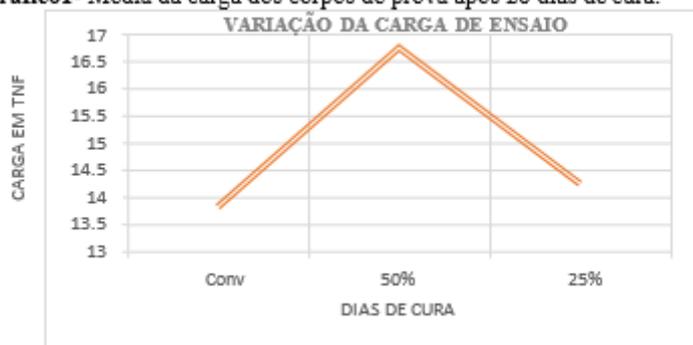
Tabela 5 - Valores obtidos no ensaio de compressão (Arquivo Próprio, 2019).

Tempo de Cura (dias)	Concreto Convencional			Concreto- substituição de 25%			Concreto- substituição de 50%					
	4	1	8	4	1	8	4	1	8			
Média da Carga (Tnf)	3,5	4,57	4,33	3,8	6,88	6,4	6,41	6,75	5,05	4,46	4,62	4,23

Nos corpos de prova com substituição de 25% do agregado miúdo no tempo de cura de 28 dias houve um aumento na carga de aproximadamente 20% a mais que o composto por concreto convencional, já o compósito com 50% de substituição obteve um aumento na carga a compressão de aproximadamente 3% a mais (Gráfico 1). Os valores de referência foram os ensaiados no tempo de 28 dias, pois é o tempo determinado pela norma brasileira regulamentadora, onde estipula esse tempo como período de obtenção da cura do concreto.

Foi possível perceber a proximidade dos valores quando comparados a mesma dosagem em tempos de curas diferentes. Destacando-se a grande eficiência em relação a resistência do concreto preparado com substituição de 25% quando comparado ao convencional e ao de substituição de 50%.

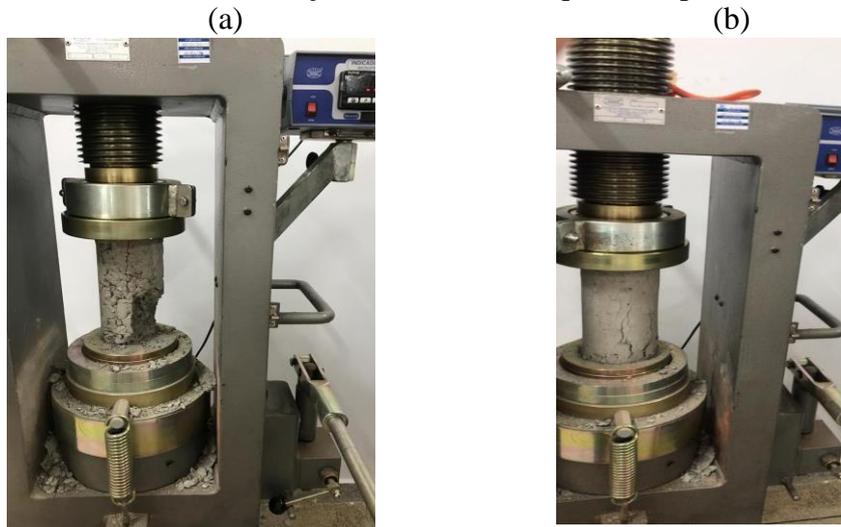
Gráfico 1- Média da carga dos corpos de prova após 28 dias de cura.



A Figura 10 retrata de modo evidente a maior fragilidade do compósito com 50% de adição de agregado miúdo reciclado, em relação ao de 25%, este fator se dá devido a maior absorção de água dos agregados provenientes de resíduos, necessitando de uma maior quantidade no quesito relação água-cimento, por consequência de ser um material reciclado havendo uma acentuada presença de poros. Como retratado, o corpo de prova com menor substituição sofre menos fissuras quando este entra em ruptura, atingindo seu ápice desfragmenta-se com menos intensidade.

Figura 10. Corpos de prova após ruptura na prensa de compressão - Substituição de 50%

(a) Substituição de 25% (b) (Arquivo Próprio, 2019).



É comum encontrar resultados cujo valores estejam muito abaixo dos de referência, isso se dá pela alta taxa de absorção de água. Neste trabalho houve grande proximidade nos valores em relação a substituição de 50% em comparação com o método convencional, porém ambas as dosagens apresentaram valores superiores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos ensaios e estudos bibliográficos do compósito, conforme as considerações feitas foi possível concluir que:

- As características dos resíduos de concreto, mais precisamente a qualidade deste material, é o que mais influência nas propriedades dos agregados reciclados, estes que são gerados em vários locais, não havendo uma prévia separação podendo inviabilizar sua peneiramento e armazenamento, também influenciam diretamente nestas propriedades.
- Os níveis de substituição de materiais reciclados por materiais naturais influenciam nas propriedades do concreto executado. Devido a absorção de água ser maior, que do concreto natural.
- A utilização de agregados reciclados com sua fonte e características conhecidas, permite a viabilidade técnica, perante o conhecimento de suas propriedades.
- Os níveis de substituição de materiais reciclados por materiais naturais influenciam nas propriedades do concreto executado. Pois quanto maior o valor de substituição maior será o valor do consumo de água.
- Estes resíduos são um material heterogêneo, cuja natureza é diferente, composto por elementos, irregulares, desiguais e distintos, o que pode comprometer a qualidade final do concreto, promovendo índices de vazios.
- Com o excesso de agregado aplicado na dosagem (50%), este apresentou um valor menor quando submetido ao ensaio de resistência à compressão do que ao de dosagem inferior (25%).

Este trabalho foi realizado com o intuito de viabilizar a utilização de agregados reciclados na produção de um novo concreto, verificando a possibilidade de sua utilização estrutural. Demais estudos devem ser realizados para tornar melhor a utilização destes agregados, como melhor utilizá-los, o planejamento e gerenciamento destes resíduos, verificando a possibilidade destes serem economicamente viáveis.

REFERÊNCIAS

- ADDIS, B. **Reuso de Materiais e Elementos de Construção**. Tradução Christina Del Posso. Oficina dos Textos. São Paulo, 2010.
- AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção**. Blucher. São Paulo, 2011.
- AMBROZEWICZ, P.H.L. **Materiais de Construção**. Editora Pini Ltda. São Paulo, 2012. ASOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211-Agregado para concreto**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 7211-Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 7217. Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 10.004. Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 16697- Cimento Portland Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ARAÚJO, T. R. **Aspectos Qualitativos e Quantitativos dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na cidade de Campina Grande**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) Campina Grande, 2011.
- BARBOSA, J. **Destinação dos resíduos sólidos de construção e demolição do Município de Passo Fundo-RS: Desafios e Perspectivas**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2012.
- BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland**. Editora Pini Ltda. São Paulo, 2019.
- BIGOLIN, M. **Indicadores de desempenho para blocos de concreto: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2013.
- CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do rcd**. Tese apresentada à escola de engenharia de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em ciência da engenharia ambiental. São Carlos, 2007.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA Nº 307: Destinação final de resíduos da construção civil**. Rio de Janeiro, 2002
- ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON. São Paulo, 2007
- MEHTA, P. K. ; MONTEIRA, P. J. M. **Concreto – Estrutura, propriedades e materiais**. PINI. São Paulo, 2014.
- PATTON, W. J. **Materiais de Construção**. 1ª ed. São Paulo, 1978.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999

SILVA, J. S., COELHO, R. M., FELICIANO, A. C. **Reaproveitamento de resíduos classe-a da construção civil para região de Anápolis.** Anápolis, 2018.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campinas, São Paulo, 1997.