

**ÁREA TEMÁTICA:** Ferramentas de gestão ambiental, produção mais limpa.

## **INFLUÊNCIA DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO NO DESEMPENHO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM CONCRETOS CONVENCIONAIS**

*Cleber Luis Pedroso<sup>1</sup> (cleber.ped@gmail.com), Daniela Evaniki Pedroso<sup>2</sup> (daniela.pedroso@utp.br), Tiago Augusto Grzybowski<sup>2</sup> (tiagoaug@gmail.com), Vsévolod Mymrine<sup>1</sup> (seva6219@gmail.com), Wellington Mazer<sup>1</sup> (mazer.utfpr@gmail.com)*

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná

2 Universidade Tuiuti do Paraná

### **RESUMO**

A grande geração de resíduos de construção e demolição (RCD), também conhecidos como entulho de obra, é motivo de grande preocupação para o meio ambiente e para indústria da construção civil. Importantes ferramentas de gerenciamento de resíduos foram desenvolvidas e são aplicadas constantemente para combater esse problema. Dentro dessas ferramentas destaca-se a reciclagem, que proporciona benefícios como a redução da exploração de jazidas naturais, redução dos impactos ambientais, redução do volume de resíduos nos aterros municipais, e até uma economia financeira na execução das obras. Os RCD reciclados são empregados em diversas áreas da construção civil, sendo predominantemente utilizados na forma de material granular, aplicados em obras de pavimentação e na produção de concretos. Com relação às desvantagens do uso de RCD reciclado, a principal é a alteração das propriedades dos materiais, principalmente no caso dos concretos, onde há uma considerável perda de consistência e trabalhabilidade no estado fresco e da resistência à compressão final. No presente trabalho foi analisada a influência que o agregado graúdo reciclado promove no desempenho de concretos convencionais, no estado fresco e endurecido, através de ensaios laboratoriais, que buscam explorar as suas características físicas, mecânicas e confirmando que a utilização de agregados graúdos reciclados para a confecção de concretos convencionais é sim uma alternativa interessante e viável, entretanto em frações de substituição adequadas para cada caso.

**Palavras-chave:** agregado reciclado; reciclagem; resíduos de construção e demolição.

## **INFLUENCE OF AGGREGATE GRADE RECYCLED IN PERFORMANCE OF MECHANICAL RESISTANCE IN CONVENTIONAL CONCRETES**

### **ABSTRACT**

The large generation of construction and demolition wastes (RCD), also known as building scrap, is a major concern for the environment and for the construction industry. Important waste management tools have been developed and are constantly applied to combat this problem. Among these tools, we highlight recycling, which provides benefits such as reduction of the exploitation of natural deposits, reduction of environmental impacts, reduction of waste volume in municipal landfills, and even financial savings in the execution of works. Recycled RCDs are used in several areas of civil construction, being predominantly used in the form of granular material, applied in paving works and in the production of concrete. Regarding the disadvantages of the use of recycled RCD, the main one is the change in the properties of the materials, especially in the concrete, where there is a considerable loss of consistency and workability in the fresh state and the final compressive strength. In the present work, the influence of the recycled aggregate on the performance of conventional concretes in the fresh and hardened state was analyzed through laboratory tests that explore the physical and mechanical characteristics of the use of recycled aggregates for the production of concretes is an interesting and viable alternative, however in adequate substitution fractions for each case

**Keywords:** Recycled aggregate; recycling; construction and demolition waste.

## 1. INTRODUÇÃO

A desenfreada geração de resíduos sólidos é umas das grandes preocupações do mundo na atualidade. A indústria da construção civil é responsável por grande parte deste problema, uma vez que praticamente em todas as suas atividades geram enormes quantidades de resíduos. São os chamados resíduos da construção civil (RCC), ou ainda, resíduos de construção e demolição (RCD), denominados de entulho ou caliça.

Preocupando-se com a destinação destes resíduos, praticamente todos os países do mundo investem em sistemas formais de gerenciamento de resíduos (ANGULO, 2005). No Brasil, apesar de existirem normas e leis que estabelecem uma correta destinação aos diversos tipos de RCC, ainda é grande o descaso por parte da população, de construtores, e até mesmo do poder público. Pode-se, infelizmente, ser considerada normal a presença de depósitos irregulares em terrenos baldios, na beira das ruas e até nas margens de rios das cidades de médio e de grande porte.

Esses depósitos irregulares podem provocar graves danos a estas cidades, entre eles estão as enchentes causadas pelo assoreamento de córregos e o entupimento de galerias e bueiros, e as doenças causadas pela proliferação de mosquitos, insetos, animais peçonhentos e roedores, além da degradação ambiental, do prejuízo causado às paisagens urbanas e dos altos custos socioeconômicos envolvidos na recuperação destas áreas.

A reciclagem é uma das alternativas para se reduzir os grandes volumes de RCC gerados diariamente. Existem diversas formas de reciclagem, sendo a reciclagem de agregados considerada uma das mais fáceis, e conseqüentemente uma das mais aplicadas atualmente. A NBR 15116 (ABNT, 2004) classifica como agregado reciclado de concreto (ARC), o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A da Resolução CONAMA 307/2002. Este material deve ser composto na sua fração gráuda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland, já o agregado reciclado misto (ARM) deve ser obtido do beneficiamento de resíduo de classe A da Resolução CONAMA 307/2002, composto na sua fração gráuda por menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

No Brasil e em outros países, os AR são principalmente aplicados em obras de pavimentação e em enchimentos de aterros (ANGULO, 2005). Podem ser usados também para produção de concretos e argamassas, preenchimento de valas de instalações, execução de taludes, confecção de blocos de vedação, encascalhamento de estradas, preenchimento de vazios em construções, confecção de placas para muros, entre outras finalidades que não demandam concretos com características estruturais.

## 2. OBJETIVO

O principal objetivo do trabalho é verificar a influência do agregado gráudo reciclado no desempenho de concretos convencionais, no estado fresco e endurecido, por meio de experimentos de laboratório que buscam explorar as suas características mecânicas.

Foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização dos ARC, buscando identificar se os mesmos atendem às especificações normativas brasileiras, bem como ensaios laboratoriais de caracterização do agregado gráudo natural, a fim de comparação com os ARC e identificação de suas principais peculiaridades.

Foi determinada a influência do ARC na produção de novos concretos, através da comparação do desempenho do concreto com diferentes teores de substituição do agregado natural reciclado e do concreto convencional identificando os principais benefícios e as principais desvantagens oferecidas pelo uso de agregados reciclados na confecção de concretos.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os termos Resíduos da Construção Civil (RCC) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são adotados nos meios acadêmicos brasileiros para denominar os resíduos sólidos gerados nas obras de construção civil, normalmente chamados de entulhos ou caliça. A sigla RCD é uma tradução do termo em inglês *construction and demolition waste* (CDW), bastante usual em teses e dissertações

realizadas na língua inglesa, é mais utilizada quando se quer mencionar resíduos provenientes de demolições. A terminologia Resíduos da Construção Civil (RCC) se refere geralmente aos resíduos provenientes de novas construções, também é bastante usual em trabalhos acadêmicos, além de ser o termo utilizado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), uma das maiores referências no assunto (GONÇALVES, G., 2016).

Segundo a resolução CONAMA nº 307/2002, Resíduos da Construção Civil são os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

Podem ainda ser encontradas diversas definições para RCC e RCD. Segundo Silva, C. (2014 apud VEDRONI, 2007), RCD é o descarte das construções e de reformas, popularmente conhecido como entulho, são encontrados facilmente no meio ambiente, nos logradouros públicos, nas encostas, próximos a cursos d'água, nas áreas verdes ou servindo de vetor para proliferação de doenças e contaminações.

A parcela composta por concretos, argamassas, blocos, tijolos, telhas, solos, e gesso é de origem mineral, e compõem aproximadamente 90% dos Resíduos da Construção Civil (RCC) (ANGULO, 2005 apud BRITO 1998; CARNEIRO, 2000). É deste percentual que são retirados os resíduos usados para produção dos agregados reciclados.

A resolução CONAMA nº 307/2002 classifica os resíduos da indústria da construção civil da seguinte forma:

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

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).

Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).

Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04).

Os resíduos de construção não são gerados somente pelas novas construções. As demolições de estruturas em alguns casos geram uma enorme quantidade de material, os chamados RCD. Por exemplo, nos últimos anos no Brasil foram construídas muitas estradas usando tecnologia de pavimento rígido de concreto, que possuem uma vida útil e precisam ser substituídas após esse período, e este processo gera uma grande quantidade de resíduos de concreto (GONÇALVES, R., 2001).

Além das atividades da construção civil e das demolições, existem as catástrofes naturais e os acidentes. São eventos que não podem ser controlados, mas que geram grande volume de RCD, que podem ser tratados e reciclados. Como exemplo, pode-se citar um terremoto ocorrido na Turquia em 13/03/1992, que destruiu cerca de 6500 habitações, produzindo resíduos da ordem de 1 milhão de toneladas, ou ainda um terremoto ocorrido em 17/01/1995 no Japão, que gerou cerca de 11 milhões de toneladas de resíduos de construção (BUTTLER, 2003).

O tipo de resíduo produzido por uma obra está condicionado à algumas características de processo construtivo, como fatores de qualidade e cultura da empresa, além de quais materiais estão sendo usados (GONÇALVES, R., 2001).

Com relação ao tipo de obra, de acordo com Pinto (2005), 59% dos RCC gerados provém de obras de reformas, ampliações e demolições, 21% são provenientes de construções novas acima de 300m<sup>2</sup> (edificações térreas ou de múltiplos pavimentos, cujas atividades quase sempre são formalizadas) e 20% são originados de residências novas (tanto as de maior porte, em geral formalizadas, quanto as pequenas residências de periferia, quase sempre informais).

De acordo com John (2001) a geração de RCC na indústria da construção civil é mais complexa do que se imagina. Ela muitas vezes ocorre antes do início de uma obra, durante a produção de insumos para o setor, que além de consumir recursos naturais também produz resíduos, como as escórias de alto forno e de aciaria, resíduos cerâmicos, entre outros.

Ainda segundo John (2001), o macrocomplexo da indústria da construção civil é o principal gerador de resíduos da economia, sendo responsável por cerca de 40% dos resíduos gerados por toda a economia brasileira.

### **3.1 Classificação dos agregados reciclados (AR)**

Os agregados reciclados são classificados de acordo com a origem, composição e propriedades granulométricas. São classificados pela NBR 15115/2004 (ABNT, 2004) em dois tipos:

(a) Agregado Reciclado de Concreto (ARC), como “o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à Classe A, composto na sua fração graúda de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas”;

(b) Agregado Reciclado Misto (ARM), como o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de Classe A, composto na sua fração graúda de menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

De acordo com Silva, V. (2015 apud CAPELLO, 2006), as atividades de processamento a que os agregados reciclados são submetidos podem gerar agregados para a construção de qualidade comparável aos agregados naturais, com características que variam de produto para produto e possuem um uso recomendado, conforme os itens a seguir:

**Areia Reciclada:** material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. São indicadas para confecção de argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contra pisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.

**Pedrisco Reciclado de 6,3:** dimensão máxima característica em mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. São aplicados na fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.

**Brita 1 reciclada:** é o material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente basicamente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. São empregadas na confecção de concretos não estruturais e obras de drenagens.

**Rachão:** é o material que apresenta dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. São recomendados para obras de pavimentação, obras de drenagens e obras de terraplenagem.

## **4. METODOLOGIA**

Após a coleta dos materiais, o programa experimental definido consiste em quatro etapas principais:

- Ensaios de caracterização física dos agregados;
- Dosagem dos traços;
- Confecção do concreto e moldagem dos corpos de prova;
- Ensaios de compressão axial

Para a confecção dos concretos reciclados estudados na pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

Agregado reciclado de concreto, proveniente de resíduos de indústrias de pré-fabricados, usinas de concreto, demolições de estruturas em concreto, pavimentos rodoviários de concreto, entre outros. O ARC utilizado na pesquisa foi beneficiado pela empresa Soliforte Reciclagem LTDA, e caracterizados como brita 0 e brita 1.

O Agregado natural miúdo e graúdo utilizado no concreto de referência e também no concreto produzido com ARC foi fornecido pelo areal Bozza;

O Cimento Portland CII - Z - 32, fornecido pela empresa Itambé e suas características foram retiradas da ficha técnica disponibilizada pela empresa.

O aditivo Superplastificante TEC-FLOW 8000, fornecido pela empresa Grace (GCP Applied Technologies), com o intuito de reduzir a relação água/cimento, melhorar a fluidez, facilitar o adensamento e o lançamento, melhorar a permeabilidade e aumentar a durabilidade do concreto. As características do aditivo foram retiradas de sua ficha técnica, divulgada pela empresa fabricante. Os ensaios de caracterização física dos agregados foram realizados nos laboratórios de materiais de construção da Universidade Tuiuti do Paraná, para a determinação das propriedades necessárias para o cálculo da dosagem do concreto, e também com o objetivo de analisar a qualidade dos agregados reciclados, verificando se os mesmos atendem às especificações fornecidas pelo fabricante.

Os agregados naturais e reciclados foram ensaiados quanto a sua composição granulométrica, módulo de finura, dimensão máxima característica, massa unitária e massa específica. No Quadro 1 são descritas as normas técnicas aplicadas em cada ensaio.

**QUADRO 1 – NORMAS TÉCNICAS APLICADAS NA EXECUÇÃO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS**

Norma	Descrição
NM 45:2006	Agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios
NM 52:2009	Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente
NM 53:2002	Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água
NBR 7211:2009	Determinação da composição granulométrica de agregados
NBR 7217:1987	Determinação da composição granulométrica

*Fonte: Os próprios autores*

Inicialmente foi dosado um traço piloto, e com base neste traço foram realizadas substituições dos agregados naturais será feita diretamente pela massa e testadas em quatro composições diferentes, com 0%, 15%, 30% e 100% de substituição.

O método de dosagem adotado é o de Campiteli (2004), e a NBR 12665:2015 – Preparo, controle e recebimento – como referência. O método de Campiteli (2004), é realizada com base nas propriedades físicas dos materiais componentes e em três parâmetros pré-definidos para o concreto: a consistência, a coesão e a resistência à compressão.

O fator a/c é igual para as quatro composições (o mesmo calculado no traço piloto), e será testada uma quinta composição, que será semelhante à composição 4, com 100% de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados, porém, com uma relação a/c equivalente a 80% da relação do traço piloto. Para corrigir a trabalhabilidade e a consistência da composição 5, será aplicado um aditivo superplastificante de acordo com o recomendado pelo fabricante.

Para cada composição será realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone e serão moldados 5 corpos de prova (10x20cm) para rompimento aos 7 e 28 dias de cura.

Os corpos de prova serão desmoldados após 24 horas da moldagem e serão submetidos à cura úmida, onde permanecerão até o dia dos ensaios de resistência à compressão axial simples.

Os ensaios de compressão axial foram realizados nos laboratórios Universidade Tuiuti do Paraná, de acordo com a NBR 5739:2007 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. O ensaio será realizado com a prensa eletrohidráulica modelo PHE 1MN fornecida pela empresa LR Equipamentos.

Para cada composição serão realizados rompimentos com as idades de 7 e 28 dias.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a pesquisa foram utilizados a brita 1 e o pedrisco. Em ambos os materiais foram observados visualmente, um alto teor de impurezas nas amostras, o que pode fatalmente prejudicar o desempenho do concreto ao longo do tempo. Outro fato observado visualmente, foi a grande presença de um material fino na amostra de pedrisco, o que pode afetar a consistência e a trabalhabilidade do concreto no estado fresco.

Todos os materiais usados na pesquisa foram armazenados em local seco e protegidos do sol e de umidade no período que antecedeu os ensaios.

Foram determinadas as propriedades dos materiais, necessárias para o cálculo da dosagem do concreto, e foi analisada a qualidade dos agregados reciclados fornecidos.

Foram realizados ensaios para determinação da massa específica, massa unitária e composição granulométrica dos agregados.

O ensaio de granulometria foi realizado pelo método de peneiramento, de acordo com a NBR 7217:1987 e NBR 7211:2009, para a determinação da composição granulométrica, da dimensão máxima característica (DMC) dos agregados graúdos (pedrisco e brita 1) naturais e reciclados, e do módulo de finura do agregado miúdo (areia).

### 5.1 Dosagem dos traços

Para a dosagem dos traços foi utilizado o método de Campiteli (2004) executados em duas etapas, inicialmente dosado traço piloto, e com base neste traço inicial determinou-se 5 traços, com diferentes percentuais de substituição dos agregados graúdos naturais por agregados reciclados.

Com o valor do consumo de cimento por m<sup>3</sup> definido, logo em seguida foi calculada a massa de cimento e posteriormente dos demais materiais conforme demonstrado no Quadro 2:

QUADRO 2 – COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS ESTUDADOS

TRAÇO	FATOR A/C	Fração AR	Cimento (kg)	Areia (kg)	Agregado Natural		Agregado Reciclado		Água (kg)	Aditivo Superplastificante (ml)
					Pedrisco (kg)	brita 1 (kg)	Pedrisco (kg)	brita 1 (kg)		
1	0,54	0%	8,27	13,87	8,18	12,26	0,00	0,00	4,47	0,0
2	0,54	15%	8,27	13,87	6,95	10,42	1,23	1,84	4,47	0,0
3	0,54	30%	8,27	13,87	5,73	8,58	2,45	3,68	4,47	0,0
4	0,54	100%	8,27	13,87	0,00	0,00	8,18	12,26	4,47	0,0
5	0,43	100%	8,27	13,87	0,00	0,00	8,18	12,26	3,58	82,7

Fonte: Os próprios autores

Para o cálculo da quantidade de aditivo superplastificante adicionada no traço 5, foram seguidas as recomendações do fabricante, que determina a aplicação de 0,3% a 2,0% da massa de cimento utilizada no concreto.

Como já era esperado, o concreto da composição 1 apresentou o maior abatimento entre todos, pelo fato de ser confeccionada com 100% de agregados naturais. Foi observado que quanto maior

a porcentagem de agregados reciclados da composição, menor foi a consistência e trabalhabilidade do concreto, promovendo conseqüentemente um menor abatimento no ensaio do tronco de cone. Isso ocorreu provavelmente pelo fato do agregado reciclado apresentar algumas propriedades peculiares, como a grande absorção de água, e o alto teor de material fino encontrado nas amostras.

Os resultados dos ensaios são apresentados no Quadro 3 a seguir.

**QUADRO 3 – RESULTADOS DO ENSAIO DE ABATIMENTO**

Composição	Fator a/c	FRAÇÃO AR	Abatimento (mm)
1	0,54	0%	160
2	0,54	15%	155
3	0,54	30%	120
4	0,54	100%	35
5	0,43	100%	55

Fonte: Os próprios autores

Na seqüência foram moldados os corpos de prova, seguindo os procedimentos da NBR 5738:2015. Para cada composição foram moldados 5 corpos de prova, para rompimento aos 7 e 28 dias de cura.

### 5.2 Ensaio de compressão axial

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados nos laboratórios da Universidade Tuiuti do Paraná, com o auxílio da prensa eletrohidráulica modelo PHE 1MN da empresa LR Equipamentos. A prensa possui capacidade máxima de 100.000 Kgf, e resolução de leitura de 0,1 kN.

Os ensaios foram executados de acordo com a NBR 5739:2007, onde foram ensaiados para cada traço, dois corpos de prova com 7 dias de idade e 3 corpos de prova com 28 dias de idade.

Os corpos de prova foram retirados do processo de cura úmida no dia dos rompimentos, atendendo a tolerância para a idade de ensaio, estabelecida na tabela 1 da NBR 5739:2007, que é de 6 horas para rompimentos aos 7 dias, e 24 horas para rompimentos aos 28 dias de idade.

Antes do rompimento, foi realizado o procedimento de preparação das bases dos corpos de prova, que tem o objetivo de tornar as superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova, de forma a adequá-los para a realização dos ensaios de compressão. A preparação das bases foi realizada conforme a NBR 5738:2015, através do método de capeamento.

### 5.3 Evolução da resistência com o tempo

Após a finalização de todos os rompimentos foi possível analisar a evolução do ganho de resistência à compressão com o passar do tempo, conforme dados do Quadro 4, a seguir:

**QUADRO 4 – ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA COM O TEMPO**

Traço	Fração AR (%)	7 dias		28 dias
		Resistência média à compressão (MPa)	Desempenho em relação Resistência final	Resistência média à compressão (MPa)
1	0	13,0	72%	18,1

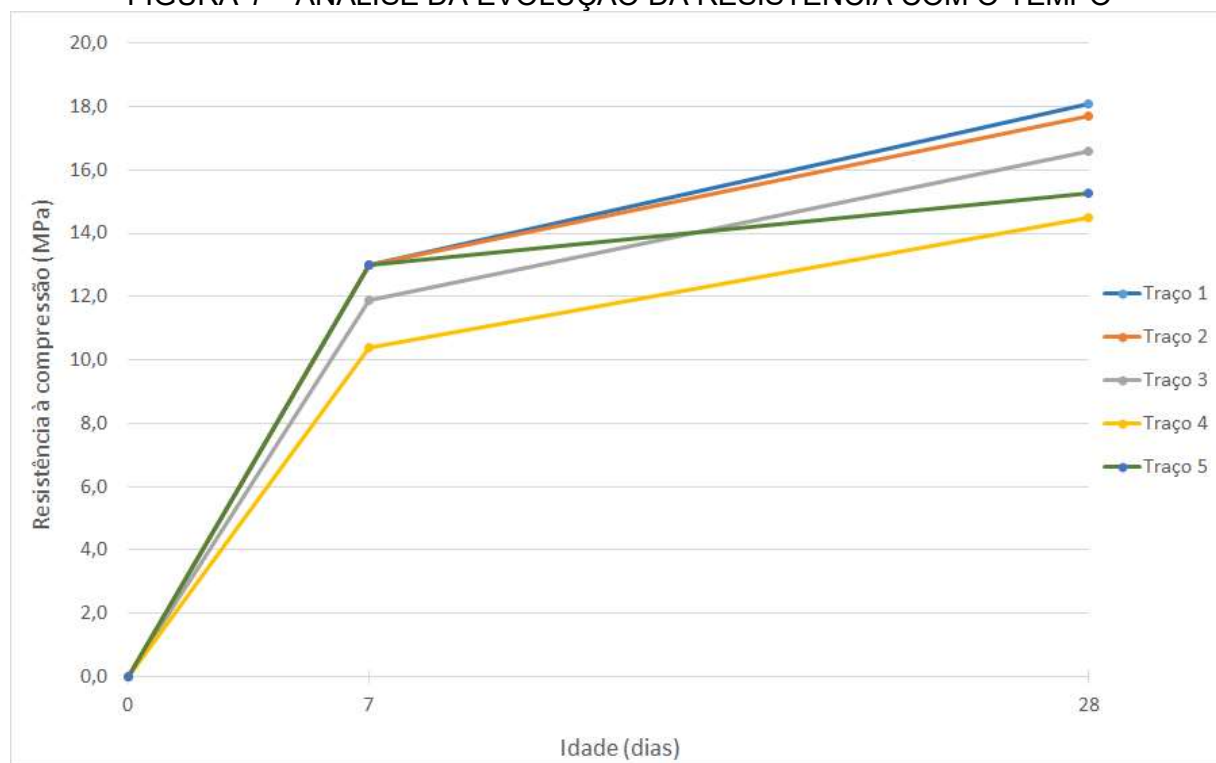
2	15	13,0	73%	17,7
3	30	11,9	72%	16,6
4	100	10,4	72%	14,4
5	100	13,0	85%	15,3

Fonte: Os próprios autores

Os quatro primeiros traços apresentaram um comportamento semelhante, obtendo aos 7 dias, em média, 72% da resistência final. Já o traço 5 obteve aos 7 dias de idade, cerca de 85% da resistência final. Os resultados apresentados neste quesito podem ser considerados aceitáveis, visto que a NBR 6118:2017 estipula para caráter orientativo que os concretos confeccionados com cimento CII apresentam aos 7 dias, em média 78% da resistência final.

O traço 5 foi o único que contou com a presença de aditivo superplastificante na composição, o que pode explicar essa variação de comportamento em relação aos demais traços estudados. Essa variação pode ser melhor observada no gráfico demonstrado na Figura 1 a seguir.

FIGURA 1 – ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA COM O TEMPO



Fonte: Os próprios autores

## 6. CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos em ensaios laboratoriais é possível concluir que a utilização de agregados graúdos reciclados para a confecção de concretos convencionais é uma alternativa interessante e viável, porém em frações de substituição adequadas para cada caso. Para obter bons resultados, a fração ideal de substituição deve ser previamente estudada e cuidadosamente controlada durante a execução do concreto.



A qualidade dos agregados reciclados utilizados na pesquisa foi considerada boa, através da análise visual e de ensaios de caracterização física. Visualmente, as amostras apresentaram um pequeno teor de impurezas, o que pode prejudicar o desempenho do concreto ao longo da vida útil. Outro fato observado, foi a grande presença de material fino nas amostras, o que pode afetar a consistência e a trabalhabilidade do concreto no estado fresco. Contudo, os ensaios de caracterização física dos agregados reciclados apresentaram bons resultados, com uma única observação, em relação à composição granulométrica do pedrisco reciclado, que apresentou uma fração de materiais finos (partículas que passam na peneira com malha de 2,36 mm de abertura) minimamente acima do recomendado normativamente para a classe A.

Com relação à comparação entre os agregados naturais e os reciclados, as maiores diferenças foram observadas nos ensaios de determinação da massa específica e da massa unitária. Os agregados reciclados apresentaram nestes ensaios, valores consideravelmente menores que os agregados naturais. Tal fato que pode ser explicado pela grande quantidade de argamassa aderida ao material reciclado, bem com o a suas elevadas taxas de porosidade e absorção de água.

Para a pesquisa foram definidos 5 traços, com diferentes frações de substituição do agregado natural por agregado reciclado. Foram analisadas as propriedades físicas e mecânicas, nos estados fresco e endurecido

No estado fresco, os concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram deficiência em algumas propriedades importantes. Foi observado que quanto maior foi a porcentagem de agregados reciclados da composição, menor foi a consistência e trabalhabilidade do concreto, fato que foi comprovado no ensaio de abatimento do tronco de cone.

Nos ensaios de compressão axial, os rompimentos dos corpos de prova realizados aos 28 dias de idade revelaram que quanto maior foi a fração de agregados reciclados na composição do concreto, menor foi a resistência alcançada. Os concretos produzidos com 100% de substituição apresentaram resultados considerados insatisfatórios, chegando no pior caso a obter apenas 80% da resistência observada no concreto convencional (produzido com 100% de agregados naturais). Por outro lado, o concreto produzido pelo traço com 15% de agregados reciclados apresentou resultados considerados bons, atingindo 98% da resistência do concreto convencional. Na questão da consistência, esse também foi o traço que teve o melhor desempenho, com uma diferença de apenas 5mm a menos que o abatimento do concreto convencional.

O emprego de sílica ativa na composição do concreto também pode ser interessante, visando melhor o empacotamento das partículas, também com o objetivo de otimizar o a resistência à compressão dos concretos reciclados.

## **REFERÊNCIAS**

Ângulo, Sérgio Cirelli. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos. 167 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR N° 15112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR N° 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR N° 15116: Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR N° 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR N° 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BUTTNER, Alexandre Marques. Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. 199 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

CAMPITELI, V.C. Concreto de cimento Portland: um método de dosagem. Revista Engenharia Civil – UM, nº 20. Paraná, 2004.

CONAMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº307, de 05 de julho de 2002. Brasília DF, n. 136, 17 de julho de 2002. Seção 1.

GONÇALVES, Gustavo Henrique Vital. Diagnóstico dos resíduos da construção no município de Orlandia-SP como subsídio ao estudo e proposição de soluções tecnológicas. 156 p. Dissertação (pós-graduação em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2016.

GONÇALVES, Rodrigo Dantas Casillo. Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

JOHN, Vanderley M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção: Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA, 2001.

PINTO, Tarcísio de Paula.; GONZÁLES, Juan Luís Rodrigo. Manejo e gestão de resíduos da construção civil. Vol. 1 – Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília: CEF, 2005.

SILVA, Cristiane Santos de Souza. Diagnóstico ambiental de áreas de disposição de resíduos da construção e demolição em Porto Alegre. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2014.

SILVA, Viviane Rangel Gomes. Estudo dos parâmetros ambientais, químicos e mineralógicos dos agregados reciclados oriundos da construção civil. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2015.