



## 4º Congresso de Responsabilidade Socioambiental da FSG

<http://ojs.fsg.br/index.php/rpsic/index>



### INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE OBRA COMO CARGA EM CONCRETO

Tarline Mara Lussani<sup>a</sup>, Luciane Calabria<sup>a\*</sup>

a) Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário da Serra Gaúcha, Caxias do Sul, RS.

#### Informações de Submissão

\*Luciane Calabria,  
Endereço: Rua Os Dezoito do Forte, 2366.  
Caxias do Sul – RS. CEP: 95020-472.  
E-mail: tarline.lussani@hotmail.com

#### Palavras-chave:

Resíduo. Meio ambiente. Viabilidade. Extração.

#### Resumo

Atualmente a preocupação com a destinação correta dos resíduos de construção civil tem recebido profunda importância, tanto para o governo quanto para as empresas que atuam nesta área. Cada vez mais a busca por meios alternativos e sustentáveis para alguns processos no setor da construção civil vem sendo estudados e pesquisados, com o intuito de diminuir o impacto ambiental provocado tanto pela retirada de matéria-prima do meio natural quanto pelo descarte incorreto de resíduos gerados pelo setor. O meio ambiente vem dando sinais de seu esgotamento, e de que não é mais possível usarmos suas riquezas. O presente estudo tem por objetivo avaliar a substituição parcial dos agregados para concreto por resíduos de construção civil, verificando se essa é uma alternativa tecnicamente e socialmente viável. Para a realização do estudo foi escolhido um traço padrão para o concreto e a partir deste foi feita a substituição de 5%, 10% e 15% dos agregados graúdos e miúdos por resíduos oriundos da construção civil. A viabilidade deste estudo foi feita através da avaliação das propriedades mecânicas de resistência a compressão dos concretos. Desta forma o estudo apresenta uma maneira de reduzir o volume de resíduos de construção que iria ser descartado incorretamente ou em aterros, como uma alternativa para reduzir a extração dos recursos naturais não renováveis.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento e o desenvolvimento da população mundial trazem junto consigo o crescimento da construção civil. Esse, por sua vez, demanda cada vez mais o desenvolvimento de novas tecnologias, materiais e também a forma como são consumidos os recursos naturais e energéticos. A preocupação com o ecossistema atinge o setor no que afeta à exploração dos recursos naturais não renováveis, além do descarte incorreto e do acúmulo de resíduos provenientes da atividade (RANGEL, 2015).

A construção civil é um dos segmentos mais antigos, e um dos mais indispensáveis para o desenvolvimento econômico e social do país, entretanto é uma das atividades que mais gera impacto ao meio ambiente (KARPINSK et al., 2009). De acordo com o presidente da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, aproximadamente 50% a 70% dos resíduos urbanos gerados são oriundos da construção civil (ABRECON, 2015). Desta forma, a atenção é direcionada para o reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados pelo setor. A reciclagem se torna, nessa situação, uma alternativa para reduzir o ataque ao meio ambiente, assim minimiza o consumo de matéria prima e utilizam-se resíduos que seriam direcionados para aterros (KARPINSK et al., 2009).

Wang et al. (2019) dizem que em todo o mundo, estima-se que são gerados mais de 10 bilhões de toneladas de resíduos de construção. Esses resíduos causam uma serie de impactos ambientais, assim como, a liberação de gases do efeito estufa e também o consumo de matéria-prima e energia.

Leite (2001) garante que o emprego de resíduos de construção no concreto é uma das alternativas para o crescimento desse ramo, em virtude de ser produzido em grande escala, o concreto se adéqua a diversas situações, é de fácil aplicação, e resiste de forma razoável a agentes físicos e químicos. Adicionar resíduos da construção civil ao concreto se torna uma maneira de diminuir o impacto ao meio ambiente, além de minimizar os custos com matéria prima na fabricação. Conforme Ferreira (2007), o emprego de resíduo de construção como agregados oferece vantagens econômicas, especialmente em países que as jazidas desses materiais estão gradualmente mais escassas.

Vários países já possuem normas para reutilização do resíduo de construção no concreto. A Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15116 (2004), normatiza a gestão de resíduos da construção civil, instituída pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010). A norma NBR 15116 determina a utilização de agregados reciclados em concretos sem função estrutural e em camadas de pavimentação (ABNT, 2004).

As propriedades do concreto produzido com resíduos oriundos de reciclagem dependem de fatores como o teor do agregado natural substituído e as características dos agregados reciclados. O agregado reciclado possui procedência heterogênea, visto os diferentes materiais usados na construção civil que são destinados à reciclagem. Dessa forma, o concreto preparado com agregados reciclados apresenta comportamentos distintos (LEITE, 2001).

Neste sentido, foi desenvolvido um estudo relacionado à resistência mecânica dos concretos preparados com agregados reciclados, de forma comparativa a concretos produzidos de forma convencional. Para tal foram realizados ensaios de resistência em laboratório com amostras de concretos de mesmo traço.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com a ação do homem no meio ambiente se torna inevitável à geração de resíduos. A grande preocupação das autoridades ambientais é de como gerenciar o descarte correto destes resíduos, com o propósito de minimizar as perdas geradas ao meio ambiente (CABRAL, 2007).

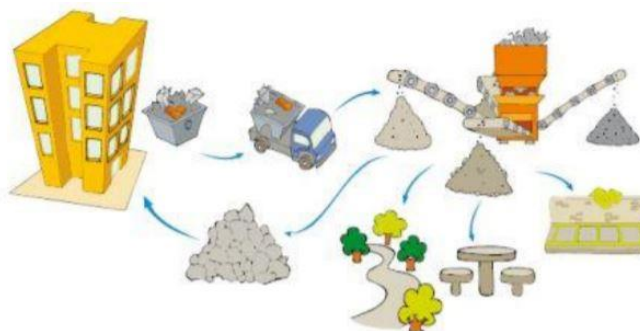
Para minimizar os prejuízos causados pelo seu setor, a construção civil tem apresentado alternativas benéficas do ponto de vista técnico, econômico, social e ambiental, com o uso de resíduos de construção civil na fabricação de concretos e argamassas conforme os trabalhos de Melo (2005), Cabral et al. (2009), Silva (2014), Possa e Antunes (2016), Passos e Moreno (2018) e Morais et al. (2020).

A NBR 15116 define resíduos de construção civil como:

[...] 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, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A exploração de matéria prima é uma necessidade para o setor da construção civil, porém aumenta gradativamente o consumo dos recursos naturais, sendo assim, é de fundamental importância ambiental e financeira que os resíduos gerados pela construção civil, retornem para a obra conforme apresentado na Figura 1, como fonte de novas matérias-primas que seriam retiradas do meio ambiente (LIMA, et al. 2016).

Figura 1: Fluxograma de Reciclagem de RCC



Fonte: Gerenciamento de RCC, 2017.

Os resíduos causados pela construção civil são materiais heterogêneos que podem ser gerados de forma natural, como por exemplo, terremotos, desabamentos e incêndios. Mas também podem ser gerados pelo desperdício da própria construção, são exemplos, concretos, argamassas, cerâmicas, madeiras, aço, gesso, impurezas, dentre outros (REIS, 2009).

Entretanto de acordo com Reis (2009), a formação dos resíduos de construção civil varia conforme sua origem sendo ele resíduos de construção, demolição ou ambos. Devido à heterogeneidade e variabilidade em sua composição o uso de agregados reciclados na produção do concreto precisa ultrapassar algumas barreiras, já que sua resistência mecânica e massa específica são menores de que produzidos com agregados naturais. Além disso, este tipo de agregado tem maior absorção de água e esses fatores influenciarão nas propriedades do concreto produzido (CAMPOS, 2018).

Conforme a NBR 12655 (2015) concreto é definido como “[...] material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo, graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa) [...]”.

Os agregados de resíduos de construção e demolição (RCD) são utilizados como fragmentos graúdo ou miúdo na produção do concreto, conforme descrevem Cabral (2012), Lovato et al. (2012) e Campos (2018). Entretanto a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), não libera o uso de agregados reciclados na constituição do concreto para fins estruturais, limitando a aplicação e uso destes materiais (ABNT, 2004).

## 2.1 REÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Octaviano (2010), a palavra sustentabilidade é uma das mais abordadas, por esse motivo, tem atingido diversos setores da economia. Na construção civil como, por exemplo, a

partir da utilização de novos materiais que gerem menos impacto ao meio ambiente. Os resíduos gerados pelo setor da construção civil refletem diretamente os três pilares da sustentabilidade ambiental, social e econômico (NAGALI, 2014). Os resíduos de construção são os que mais geram impacto ambiental e social, pois geram impacto no processo de fabricação da matéria prima e também no consumo dos seus recursos naturais (NETO, 2005).

Os resíduos oriundos da construção civil tende a crescer juntamente com o desenvolvimento do seu setor, no Brasil a geração de RCC cresceu consideravelmente, representa até 70% dos resíduos sólidos urbanos gerados (ABRECON, 2015). Segundo Fernandez (2012), foi feito um estudo pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) entre o Brasil e outros países, com o propósito de fazer uma análise comparativa da geração de RCC, conforme Figura 2. O que pode se perceber é que, o Brasil encontra-se abaixo de outros países, como Estados Unidos, Alemanha, Itália e Japão na geração de RCC (FERNANDEZ, 2012).

Figura 2: Geração de resíduos entre Brasil e outros países

País	Quantidade anual		Fonte
	Em milhões t/ano	Em kg/habitante/ano	
Suécia	1,2 - 6	136 - 680	Tolstoy, Borklund e Carlson (1998) e EU (1999)
Holanda	12,8 - 20,2	820 - 1.300	Lauritzen (1998), Brossink, Brouwers e Van Kessel (1996) e EU (1999)
Estados Unidos	136 - 171	463 - 584	EPA (1998), Peng, Grosskopf e Kibert (1994)
Reino Unido	50 - 70	880 - 1.120	Detr (1998) e Lauritzen (1998)
Bélgica	7,5 - 34,7	735 - 3.359	
Dinamarca	2,3 - 10,7	440 - 2.010	Lauritzen (1998) e EU (1999)
Itália	35 - 40	600 - 690	
Alemanha	79 - 300	963 - 3.658	
Japão	99	785	Kasai (1998)
Portugal	3,2 - 4,4	325 - 447	EU (1999) e Ruivo e Veiga ( <i>apud</i> Marques Neto, 2009)
<b>Brasil</b>	31	230 - 760	<b>Abrelpe (2011), Pinto (1999), Carneiro <i>et al.</i> (2001) e Pinto e González (2005)</b>

Fonte: Fernandez, 2012.

Outro estudo mais recente feito pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos (ABRELPE) (2017), apresenta um aumento significativo na geração de resíduos no Brasil, quando comparado com o estudo anterior. Foram gerados mais de 45 milhões de toneladas de resíduo de construção no ano de 2017, conforme se observa na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidade total de RCD coletada no Brasil

REGIÃO	2016	2017	
	RCD coletado (t/dia) / índice (kg/hab/dia)	RCD coletado (t/dia)	Índice
Brasil	123.619 / 0,600	123.421	0,594

Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2017.

Segundo Neto (2005), este crescimento gradativo de resíduos de construção está associado a grande quantidade de materiais desperdiçados no processo de execução construtiva. Para Rissi (2017), a maior fonte de geração de resíduo está na falta de disposição final dos resíduos, controle, coleta, transporte, reaproveitamento e reciclagem.

Segundo Leite (2001) é bastante diversificado a composição dos RCD, assim como também depende da sua fonte de geração que pode conter partículas inertes que se tornam contaminantes. Este material pode gerar efeitos negativos nas propriedades mecânicas do concreto reciclado, e também em sua durabilidade quando não classificado corretamente.

De acordo com Rissi (2017), para aperfeiçoar o controle de geração de resíduos, as empresas do setor da construção civil, necessitam adotar um plano de gerenciamento de resíduos, voltado a minimizar os resíduos gerados e um tratamento que vise classificar os RCC de forma correta.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resíduos de construção e demolição são classificados de acordo com a resolução nº 307 do CONAMA. A qual estipula os critérios de gestão para classificação destes resíduos, que são divididos em quatro classes, A, B, C e D (BRASIL, 2002).

- resíduos classe A: São resíduos que conseguem ser reutilizados como agregados, como por exemplo, tijolos, argamassas, concretos, telhas, tubos, dentre outros. São resíduos oriundos da própria construção, reforma ou de outras obras de infraestrutura;
- resíduos classe B: Resíduos recicláveis para outras destinações, como por exemplo, madeiras, papel, papelão, plásticos, metais e vidro;
- resíduos classe C: Resíduos que ainda não foram criadas tecnologias viáveis para sua reciclagem, como por exemplo, o gesso;

- resíduos classe D: Resíduos proveniente do processo de construção, como por exemplo, óleos, solventes, tintas, dentre outros.

A resolução do CONAMA também estabelece um código de cores para os diferentes tipos de resíduos conforme Figura 3 (BRASIL, 2002).

Figura 3: Cores para cada tipo de material



Fonte: Educação ambiental, 2017.

A classificação e gerenciamento dos RCC tem o objetivo de diminuir o impacto gerado pela construção, e também de planejar o descarte e a destinação correta desses resíduos gerados (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Reduzir os riscos de impactos ambientais e os custos na construção civil são razões que tornam a reciclagem uma prática sustentável. Com isso o uso de agregados reciclados na produção do concreto se torna uma prática viável (FERREIRA, 2007).

### 2.3 CONCRETO

Concreto segundo Neville (2013), é qualquer massa produzida por meio cimentante, onde este meio é a reação entre o cimento hidráulico e a água. É um dos insumos mais utilizados na construção, composto por cimento, agregado graúdo, miúdo, água, e ar podendo conter ou não adições de aditivos químicos, que tem por função melhorar as suas propriedades (COUTO et al., 2013).

A NBR 12655 (2015) fala que, os materiais que compõem o concreto não devem apresentar substâncias prejudiciais a durabilidade do concreto ou provocar danos à armadura (concreto armado) e devem ser adequados para o seu devido fim.

Segundo Couto (2013), o concreto pode ser produzido no próprio canteiro de obras de forma convencional *in loco* como também é conhecido, ou produzido em centrais de concreto, que recebe o nome de concreto usinado.

Com o desenvolvimento da construção civil e o aumento da complexidade das estruturas, o mercado exige uma maior qualidade em relação ao concreto, que atenda a todas as demandas que o mercado da construção exige. Com isto, existe uma gama de variedades de concretos, dentre eles estão o concreto usinado, armado, protendido e autoadensável dentre outros (PEREIRA, 2019).

## **2.4 CONCRETO RECILADO**

Em todo o mundo têm surgido pesquisas com a intenção de propor uma solução para reduzir os resíduos de RCC que o setor produz, e o concreto reciclado tem sido uma alternativa para amenizar essas consequências geradas pelo seu setor (LEITE, 2001).

A NBR 15116 define concreto reciclado como:

[...] material destinado a usos como enchimentos, contrapiso, calçadas e fabricação de artefatos não estruturais, como blocos de vedação, meio-fio (guias), sarjeta, canaletas, mourões e placas de muro. Estas utilizações em geral implicam o uso de concretos de classes de resistência C10 e C15 da ABNT NBR 8953.

O concreto de agregado reciclado é classificado como um agregado artificial. Este concreto tem aplicações na engenharia como concretos magros, blocos pré-moldados, contrapisos, calçadas e bancos. Esses exemplos de concretos não estruturais permitem o uso integral de agregados reciclados (NEVILLE, 2016). Com um controle apropriado da substituição e da porosidade dos agregados reciclados, de acordo com Isaia, et al. (2011) é possível empregar concreto com agregado reciclado para a finalidade estrutural.

É possível se produzir concreto com agregados derivados de RCC, substituindo os agregados convencionais (naturais ou britados) de forma parcial ou total (GONÇALVES, 2001). Entretanto é de suma importância o controle de sua porosidade. Quando produzido com resíduos de



construção, cabe a atenção ao processo de triagem, eliminando-se ao máximo a presença de materiais indesejados, como por exemplo, gesso e madeira (ISAIA, et al. 2011).

O concreto produzido de RCC segundo Leite (2001), apresenta aumento no consumo de cimento devido a sua alta absorção de água, em consequência disso apresenta baixa trabalhabilidade. Por ser poroso, o agregado proveniente de resíduos de construção utiliza a água da pasta de cimento, que acarreta em uma perda de consistência em pouco tempo. Em relação ao concreto endurecido, os agregados reciclados resultam em maior retração do que os agregados naturais (ISAIA, et al. 2011).

Sendo assim, de acordo com Figueiredo Filho (2011), é indispensável utilizar um sistema de dosagem que considere as propriedades desses agregados, como, teor de finos, taxa de absorção de água, massa específica, textura e forma dos agregados. Pois essas características irão influenciar as propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido.

Segundo Santos (2016), apesar de serem válidas as leis de dosagem tradicionais para os concretos com agregado reciclado. Figueiredo Filho (2011) afirma que, é indispensável realizar um estudo para dosar concretos com resíduos provenientes da construção, esse estudo deve ser baseado nos ensaios com aplicação de energia, como a medida da trabalhabilidade e compensação da taxa de absorção dos agregados, de maneira a obter misturas homogêneas, que apresentem melhor trabalhabilidade.

## **2.5 AGREGADOS**

Os agregados são materiais granulares muito utilizados em argamassas, concretos, ferrovias, obras geotécnicas dentre outras e construções em geral (BAUER, 2019).

Os agregados possuem importância técnica, econômica e estrutural na construção civil. Ocupam de 70% a 80% do volume nos concretos, e influenciam diversas propriedades do concreto através de características como porosidade, absorção de água, forma, textura superficial e granulometria (ISAIA, et al. 2011).

De acordo com Neville et al. (2013), os agregados constituem 1/3 do volume da massa de concreto e sua qualidade é de grande importância, em razão de não somente limitar a resistência do concreto, mas também de poder alterar a sua durabilidade e desempenho estrutural.

A forma e textura dos agregados possuem influência na resistência a flexão e compressão do concreto. Se o agregado apresenta uma textura áspera, terá maior aderência ao concreto (NEVILLE et al. 2013). Ainda de acordo com Neville et al. (2013), a resistência à

compressão dos concretos não deve ser maior de que a resistência do maior número de agregados nele contidos.

A distribuição granulométrica dos agregados na produção de concretos e argamassas tem grande influência, na qualidade dos materiais produzidos, em seu estado plástico contribui na trabalhabilidade e em seu estado endurecido na resistência e compacidade (AMBROZEWICZ, 2012).

De acordo com a NBR 7211 (2009), os agregados podem ser classificados de acordo com o tamanho do grão:

Agregado miúdo: areias naturais ou industriais, seus grãos passam pela peneira de 4,75 mm.

Agregado graúdo: britas proveniente de rocha estável, seus grãos passam pela peneira de 75mm.

### **2.5.1 Agregados Reciclados**

A construção civil é a maior consumidora de matéria-prima entre os setores industriais. Sendo assim, a utilização de agregado reciclado é uma necessidade, utilizar agregado reciclado na produção de concreto se evita o consumo de recursos naturais não renováveis, além de impedir que milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição sejam lançados em aterros (ISAIA et al. 2011).

A NBR 15116 (2004) determina agregado reciclado como “[...] material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infra-estrutura [...]”.

O agregado reciclado é obtido através da britagem de entulho selecionado contendo, porções de concreto, argamassas, e elementos cerâmicos. São rejeitados materiais como madeira, metais, restos orgânicos ou qualquer outro material que possa apresentar algum comportamento indesejado quando incorporado ao concreto (ISAIA et al. 2011).

Por serem considerados mais secos que os de origem natural, o agregado de RCC tem maior absorção de água, isso faz com que sua trabalhabilidade e também sua resistência sejam afetadas (CABRAL, 2007). Ainda de acordo com Cabral, (2007), os agregados reciclados têm apresentando valor de massa específica menores que os naturais, ainda assim, podem ser utilizados na fabricação de artefatos de concreto por causa de o seu peso próprio ser inferior quando comparado com os agregados naturais.

Conforme já citado anteriormente o agregado graúdo reciclado tem menor densidade e possui maior absorção de água que os naturais, isto está associado à quantidade de argamassa que o concreto original aderiu ao agregado natural. O concreto que originou o resíduo também vai influenciar na resistência a compressão devido à relação água/cimento (GONÇALVES, 2001).

### 3 METODOLOGIA

O estudo tem a finalidade de avaliar a resistência à compressão dos concretos produzidos com agregado reciclado. Optou-se por utilizar um traço padrão conforme Tabela 2, partir desse traço foi substituída a porcentagem de 5%, 10% e 15% dos agregados miúdo e graúdo por reciclado.

Tabela 2: Traço padrão do concreto

Traço Padrão			
Componentes	Descrição	Massa (kg) dosagem para 30 L	Traço unitário (massa)
Aglomerante	Cimento CPV - ARI	12	1
Agregado miúdo	Areia Média	24	2,04
Agregado graúdo	Brita 1	34	2,80
Água	-	7,2	-
Relação água cimento (%)		0,60	

Fonte: autora, 2020.

A Tabela 3 a seguir, apresenta a composição do traço com substituição de 5% dos agregados. Onde foram substituídos 1,2 kg de agregado miúdo reciclado e 1,7 kg de agregado graúdo reciclado do traço padrão.

Tabela 3: Traço com substituição de 5% dos agregados

Traço 5%			
Componentes	Descrição	Massa (kg) dosagem para 30 L - Concreto 5% M	Massa (kg) dosagem para 30 L - Concreto 5% G
Aglomerante	Cimento CPV - ARI	12	12
Agregado miúdo	Areia Média	22,8	24
Agregado miúdo	Reciclado	1,2	-
Agregado graúdo	Brita 1	34	32,3
Agregado graúdo	Reciclado	-	1,7
Água	-	7,2	7,2
Relação água cimento (%)		0,60	

Fonte: autora, 2020.

A Tabela 4 a seguir, apresenta a composição do traço com substituição de 10% dos agregados. Onde foram substituídos 2,4 kg de agregado miúdo reciclado e 3,4 kg de agregado graúdo reciclado do traço padrão.

Tabela 4: Traço com substituição de 10% dos agregados

Traço 10%			
Componentes	Descrição	Massa (kg) dosagem para 30 L - Concreto 10% M	Massa (kg) dosagem para 30 L - Concreto 10% G
Aglomerante	Cimento CPV - ARI	12	12
Agregado miúdo	Areia Média	21,6	24
Agregado miúdo	Reciclado	2,4	-
Agregado graúdo	Brita 1	34	30,6
Agregado graúdo	Reciclado	-	3,4
Água	-	7,2	7,2
Relação água cimento (%)		0,60	0,60

Fonte: autora, 2020.

A Tabela 5 a seguir, apresenta a composição do traço com substituição de 15% dos agregados. Onde foram substituídos 3,6 kg de agregado miúdo reciclado e 5,1 kg de agregado graúdo reciclado do traço padrão.

Tabela 5: Traço com substituição de 15% dos agregados

Traço 15%			
Componentes	Descrição	Massa (kg) dosagem para 30 L - Concreto 15% M	Massa (kg) dosagem para 30 L - Concreto 15% G
Aglomerante	Cimento CPV - ARI	12	12
Agregado miúdo	Areia Média	20,4	24
Agregado miúdo	Reciclado	3,6	-
Agregado graúdo	Brita 1	34	28,9
Agregado graúdo	Reciclado	-	5,1
Água	-	7,2	7,2
Relação água cimento (%)		0,60	

Fonte: autora, 2020

Os agregados reciclados fornecidos tinham como procedência resíduos de obra, como por exemplo, tijolos, concreto, cerâmica e argamassa. O agregado miúdo utilizado para este estudo foi areia natural média, e o agregado graúdo utilizado foi brita nº1 de origem basáltica.

Para este estudo foi utilizado o cimento Portland de alta resistência CPV-ARI, utilizou-se o mesmo devido a sua alta resistência inicial e também por não conter adições em sua composição, visando assim não influenciar nos resultados finais dos ensaios.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos durante a realização do experimento são descritos no Capítulo a seguir.

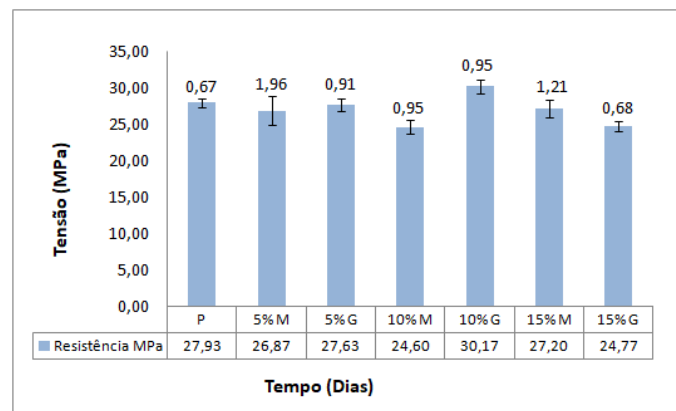
### 4.1 ENSAIOS MECÂNICOS

Para a determinação da resistência à compressão axial, foram realizados os ensaios com os corpos de prova cilíndricos. Os rompimentos foram feitos aos 7, 14 e 28 dias, os resultados apresentados são uma média das três amostras para cada traço que foi analisado para cada idade.

Para medir o quão diferente os valores das amostras são entre si foi necessário calcular o desvio padrão, como foi realizada uma quantidade pequena de amostras utilizou-se a fórmula do desvio padrão de amostragem. O desvio padrão está representado junto aos gráficos de resultado de resistência à compressão. Os gráficos apresentados a seguir, mostram os valores obtidos para a resistência à compressão dos corpos de prova de acordo com o tempo de cura e a porcentagem em que os resíduos foram substituídos como agregado para o concreto.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos aos 7 dias. Pode-se observar inicialmente que quase todas as amostras com incorporação de RCC não apresentaram grande perda de resistência quando comparadas com o traço padrão. Os traços 10% M e 15% G apresentaram uma pequena perda de resistência, onde o traço 10% M apresentou perda de 12% e o 15% G apresentou perda de 13% de resistência em relação ao traço padrão. O desvio padrão calculado para esses dois traços foi de 0,95 para o traço 10% M e de 0,68 para o traço 15% G.

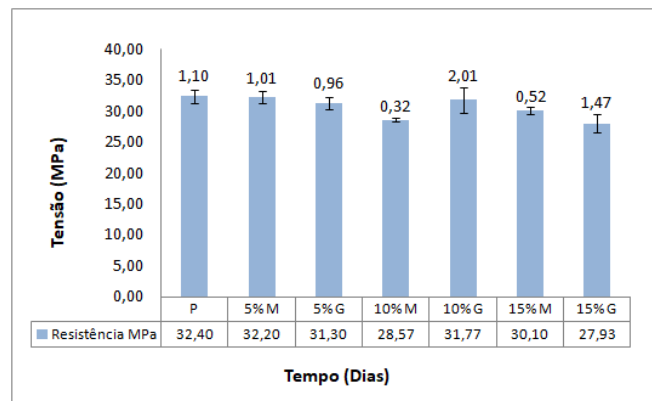
Figura 4: Resistência à compressão na idade de 7 dias



Fonte: autora, 2020.

A Figura 5, apresenta os resultados obtidos aos 14 dias. Observa-se que teve um aumento de resistência de todos os traços, inclusive os traços que inicialmente apresentaram perda de resistência em relação ao traço padrão. Os traços que haviam apresentado baixa resistência inicial, aos 14 dias apresentaram um aumento de resistência onde o traço 10% M atingiu resistência de 28,57 MPa e o traço 15% G alcançou 27,93 MPa. O desvio padrão calculado aos 14 dias para esses dois traços foi de 0,32 para o traço 10% M foi e de 1,47 para o 15% G.

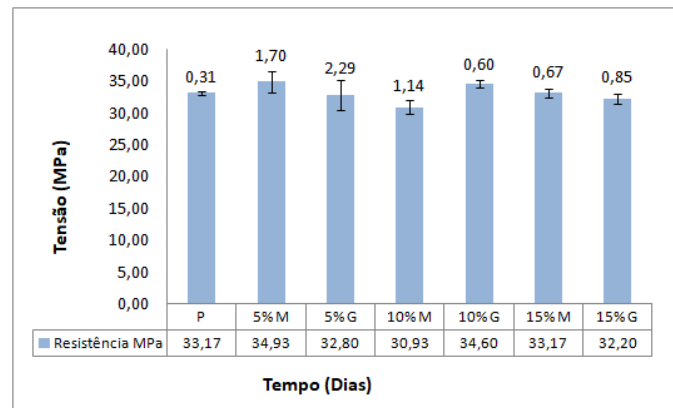
Figura 5: Resistência à compressão na idade de 14 dias



Fonte: autora, 2020.

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos aos 28 dias. Observa-se que todos os traços tiveram um aumento de resistência, assim atingindo resistências superiores a 30 MPa, até mesmo os traços com substituição de 15% do agregado natural por reciclado, onde o traço 15% M atingiu resistência de 33,17 MPa e o 15% G alcançou 32,20 MPa. O Desvio padrão calculado para esses traços foi de 0,67 para o 15% M e de 0,85 para o 15% G.

Figura 6: Resistência à compressão na idade de 28 dias



Fonte: autora, 2020.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste estudo foi realizar um estudo de viabilidade da utilização de resíduo de construção civil como carga em concreto, substituindo até 15% dos agregados graúdos ou miúdos naturais por reciclados. Para isso, foi necessário garantir a qualidade dos agregados reciclados, que pode ser obtida através da análise granulométrica e do ensaio de massa específica dos agregados. Sendo assim, pode-se afirmar que muitos são os benefícios do estudo de ampliação do uso dos resíduos de construção civil como agregado para concreto.

Na preparação do concreto pode-se concluir que, apesar de os agregados oriundos de resíduos de construção civil serem mais porosos que os naturais, na produção dos concretos com substituição de 5%, 10% e 15% de agregado natural por reciclado, não se necessitou adicionar mais água a massa do concreto, apresentando ainda assim valores de ensaio de abatimento de tronco de cone próximos ao traço padrão.

A substituição parcial dos agregados naturais por reciclados na produção do concreto se mostrou tecnicamente viável, levando em consideração os resultados obtidos de resistência à compressão. Podendo assim, substituir até 15% dos agregados naturais por reciclado sem perder resistência. Sendo assim, pode-se concluir que, em um cenário de sustentabilidade a reciclagem dos resíduos de construção civil é um recurso muito importante para o desenvolvimento econômico e social do país.

De uma forma geral o estudo apresentou mais uma opção de agregado para ser utilizado ao concreto, sendo feito a partir da britagem dos resíduos de construção civil. Podendo assim ser utilizado em obras que não necessite de resistências elevadas, como casas, blocos de concreto,

pavers, contrapisos e calçadas. O estudo não proporcionou uma economia significativa, mas apresentou uma solução ecologicamente correta para os resíduos gerados pelo setor da construção civil.

Como sugestão para futuros trabalhos, fica a utilização de aditivos para melhorar a qualidade do concreto produzido, realizar estudos que verifique a durabilidade dos concretos produzidos com estes materiais, os ensaios das propriedades mecânicas já analisadas, mas com outros teores de substituição de agregados naturais por reciclado.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2017**. São Paulo, 2017. Disponível em: <[https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama\\_abrelpe\\_2017.pdf](https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf)>. Acesso 19 set. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento, Rio de Janeiro, 2015.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

ABRECON, **Gestão de resíduos garante benefícios na construção civil**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/gestao-de-residuos-garante-beneficios-na-construcao-civil/>>. Acesso em 27 ago. 2020.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção. Normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo. PINI. 2012.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

\_\_\_\_\_. Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção, novos materiais para a construção civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 307, 5 julho 2002. **Diário Oficial da União**, n. 136, p. 95-96.

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra et al. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, n. 336, p. 448-460, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ce/v55n336/16.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2020.



---

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra et al. Estimativa de desempenho para concretos feitos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição de algumas cidades brasileiras. **Esteira. Res.** São Carlos, v. 15, n. 6, pág. 1037-1046, 2012. Disponível em <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-14392012000600030](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392012000600030)>. Acesso em: 02 Set. 2020.

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 2007. 254f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

CAMPOS, Renan Serralvo et al. Influência dos agregados reciclados nas propriedades reológicas e mecânicas do concreto autoadensável. **Matéria.** Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, e. 11964, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rmat/v23n1/1517-7076-rmat-S1517-7076201700010300.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2020.

COUTO, José Santos; CARMINATTI, Rafael Lima; NUNES, Rogério Reginato; MOURA, Ruan Carlos. O concreto como material de construção. **Caderno de Graduação Ciências Exatas e Tecnologias.** Sergipe, v. 1, n. 17, p. 49-58, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/download/552/566#:~:text=Quando%20o%20concreto%20%C3%A9%20utilizado,armadura%20que%20%C3%A9%20ativa%20pr%C3%A9>>. Acesso em: 05 Set. 2020.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL: Lixo e reciclagem, 2017. Disponível em: <<http://mmj.redelivre.org.br/page/2/>>. Acesso em: 02 set. 2020.

FERNANDEZ, Jaqueline Aparecida Bória. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil.** Brasília, DF: IPEA, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7669?mode=full>>. Acesso em: 19 set. 2020.

FERREIRA, L. M. M. **Betões Estruturais Com Incorporação de Agregados Grossos Reciclados de Betão:** influência da pré-saturação. Lisboa, 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

FIGUEIRÊDO FILHO, João Gualberto Leite. **Avaliação da trabalhabilidade de concreto contendo agregado reciclado de argamassa.** 2011. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

GONÇALVES, Rodrigo Dantas Casilo. **Agregados reciclados de resíduos de concreto:** Um novo material para dosagens estruturais. 2001. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

ISAIA, Geraldo Cechella. et al. **Concreto:** Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011.

KARPINSK, Luisete Andreis; PANDOLFO, Adalberto; KUREK, Juliana; PANDOLFO, Luciana; GUIMARÃES, Jalusa. **Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil.** Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, Daniel Araújo; FELIX, Ludmylla Pires; COSTA, Leonardo Silva; SANTOS, Thiago Martins. Influência de agregados reciclados de resíduo de construção em propriedades mecânicas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Goiás, v. 11, n. 1, p. 16-34, 2016. Disponível em: < <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/35467>>. Acesso em: 05 Set. 2020.

LOVATO, Patrícia. S; POSSAN, Edna; DAL MOLIN, D. C .C. et al. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes, **Construction and Building Materials**, v. 26, n. 1, p. 437-447, 2012. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/257388926\\_Modeling\\_of\\_mechanical\\_properties\\_and\\_durability\\_of\\_recycled\\_aggregate\\_concretes](https://www.researchgate.net/publication/257388926_Modeling_of_mechanical_properties_and_durability_of_recycled_aggregate_concretes)>. Acesso em: 02 Set. 2020.

MELO, Karoline Alves. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filler calcário**. 2005. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual para Implantação de Sistema de Gestão de Resíduo de Construção Civil em Consórcios Públicos**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/arquivos/4\\_manual\\_implantao\\_sistema\\_gestao\\_r esduos\\_construo\\_civil\\_cp\\_125.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/arquivos/4_manual_implantao_sistema_gestao_r esduos_construo_civil_cp_125.pdf)> Acesso em: 02 set. 2020.

MORAIS, M. H. L.; SOUZA, W. M. **utilização dos resíduos de cerâmica vermelha como agregado miúdo em concretos**. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4145>. Acesso em: 02 set. 2020.

NETO, J. C. M. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: Rima, 162 f. 2005.

NETO, R. G. R. **Estudo de dosagem de concreto para traços intermediários com agregados da região de João Pessoa**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia Civil). Centro de tecnologia da universidade federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman. 2016.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OCTAVIANO, Carolina. Sustentabilidade na construção civil: benefícios ambientais e econômicos. **ComCiência**, Campinas, n.122, out. 2010. Disponível em: <[http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-76542010000800004&lng=pt&nrm=iso](http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542010000800004&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 10 out. 2020.

PASSOS, Luciano; MORENO JUNIOR, Armando Lopes. Estudo da tensão de aderência entre barras de aço e concretos com agregados de resíduos de cerâmica vermelha. **Ambient constr**, Porto

---

Alegre, v. 18, n. 4, p. 361-375, 2018. Disponível em:

<[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1678-86212018000400361&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1678-86212018000400361&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 02 set. 2020.

PEREIRA, Caio. **Tipos de concretos utilizados na construção civil**. Disponível em:

<<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-concreto/#:~:text=Principais%20tipos%20de%20concreto%20e,alto%20desempenho%2C%20auto%20adens%C3%A1vel%2C%20celular>>. Acesso em: 05 Set. 2020.

PLANO INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2017. Disponível em:

<[https://www.piquerobi.sp.gov.br/arquivos/plano\\_integrado\\_de\\_gerenciamento\\_de\\_resIduos\\_da\\_co\\_nstruCAo\\_civil\\_02085618.pdf](https://www.piquerobi.sp.gov.br/arquivos/plano_integrado_de_gerenciamento_de_resIduos_da_co_nstruCAo_civil_02085618.pdf)>. Acesso em: 02 set. 2020.

POSSA, Suelen Alexandre; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. **Proposta de reutilização do resíduo de cerâmica vermelha proveniente da construção civil e demolições no município de Criciúma**. Santa Catarina, v. 22, p. 147-161, 2016. Disponível em:

<<http://periodicos.unesc.net/tecnoambiente/article/view/2968>>. Acesso em: 02 set. 2020.

RANGEL, Caroline Santana. **Influência de agregados graúdos nas propriedades estruturais de concreto de resistência normal e de alto desempenho**. Rio de Janeiro, 2015. 236 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

REIS, C. N. S. **Influência da utilização de agregado miúdo de RCD na aderência aço-concreto reciclado**. Bahia, 2009. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.

RISSI, Nadime Saraiva, **Análise do gerenciamento de resíduos da construção oriundos da arquitetura de interiores na ótica dos profissionais arquitetos em Caxias do Sul**. 2017. 177 f. Dissertação (Pós- Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

SANTOS, Ana Amélia Mota. **Concreto com agregado graúdo reciclado de concreto: Dosagem e produção**. 2016. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016.

SILVA, Patrícia Barbosa. **Estabilização de misturas de resíduos sólidos de demolição e da indústria cerâmica para uso em camadas de pavimentos viários**. 2014. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte) - Universidade de São Paulo, 2014.

WANG, J.; YU, B.; TAM, V. W. Y.; LI, J; XU, X. **Critical factors affecting willingness of design units towards construction waste minimization: Na empirical study in Shenzhen, China**. Journal of Cleaner Production, v. 221, p. 526-535, 2019.