

ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA DE CONCRETO SUBSTITUINDO O AGREGADO NATURAL POR AGREGADO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

Luiz Paulo Totene

Graduando em Engenharia Civil - Universidade de Araraquara – Uniara
Departamento de Ciências da Administração e Tecnologia, Araraquara – São Paulo
luizpaulo.totene@gmail.com

Professor Me. Fábio Braga da Fonseca

Mestre em Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – USP
– São Carlos – São Paulo

Resumo: O artigo tem a finalidade de apresentar os Resíduos de Construção Civil, bem como desenvolver um traço que será analisado e comparado às resistências através de controle tecnológico de um concreto utilizando agregados naturais contra um concreto que terá parte da sua composição por agregados reciclados. O intuito é analisar e viabilizar o uso dos resíduos da construção para fabricação do concreto que poderá ser reutilizado novamente em obras, diminuindo assim a quantidade gerada, reaproveitando um material que seria descartado ou até mesmo que ficasse exposto em locais que prejudicariam o meio ambiente. Seguindo as normas e realizados todos os testes conforme procedimentos, obtiveram-se resultados significativos e interessantes, foi necessário num primeiro instante, classificar os materiais a serem utilizados para esta análise e definir os métodos embasados nos termos das normas que serviram de base para a realização dos traços. Conseguindo assim chegar a valores positivos, ou seja, através da análise estatística, foi observado que as resistências do concreto com o agregado reciclado atenderam as expectativas, atingindo valores de resistências estipulados através do traço trabalhado, podendo assim ser produzido concreto com resíduos de construção e demolição.

Palavras-chave: Agregado; Ambiental; Construção; Controle Tecnológico; Resíduos.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONCRETE RESISTANCE REPLACING THE NATURAL AGGREGATE BY AGGREGATE OF CONSTRUCTION WASTE

Abstract: *The article aims to present the Civil Construction Waste, as well as to develop a trait that will be analyzed and compared to the resistances through technological control of a concrete using natural aggregates against a concrete that will have part of its composition by recycled aggregates. The purpose is to analyze and make feasible the use of construction waste to manufacture the concrete that can be reused again in works, thus reducing the amount generated, reusing a material that would be discarded or even exposed in places that would harm the environment. Following the standards and performed all the tests according to procedures, significant and interesting results were obtained, it was necessary at first, to classify the materials to be used for this analysis and to define the methods based on the norms that served as the basis for the realization of the traits. In order to arrive at positive values, that is to say, through statistical analysis, it was observed that the resistance of the concrete with the recycled aggregate met the expectations, reaching resistance values*

stipulated through the worked line, thus producing concrete with construction residues and demolition.

Keywords: *Aggregate; Construction; Environmental; Resistences; Technological Control.*

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é grande responsável por geração de resíduos, sejam da própria obra e/ou reforma. Resíduos estes que, na maioria das vezes, são destinados e descartados em locais inapropriados, mas que se tiverem um manejo correto poderia ser transformado e utilizado para outros fins.

Ao observar a grande quantidade de resíduos da construção (concreto usinado, restos de pisos cerâmicos, tijolos, mármore, etc.), este artigo visa encontrar um destino diferenciado para estes materiais que seriam descartados e não teriam utilidade alguma.

Este artigo tem como objetivo analisar a situação dos resíduos de construção civil e comparar a sua resistência utilizando os agregados naturais, e após, substituindo parte do natural pelo agregado reciclado.

Optou-se por analisar a substituição do agregado pelo reciclado, pois, se obtivessem resultados positivos e significativos, poderia ser reutilizado, diminuindo a quantidade de resíduos dispostos em descartes ou em locais inapropriados e reduzir o volume coletado.

Outro fator atrelado às obras seria o uso excessivo de matérias primas. Seu uso desordenado, constante ou abusivo, faz com que esgote os recursos, e para isso será analisado uma forma de substituição parcial ou total deste agregado. A construção civil gera muitos resíduos, se parte deste material pudesse ser reutilizado para outros fins, teríamos uma menor concentração de uso de matéria prima, uma diminuição dos impactos ambientais, visto que, na maioria das vezes esses resíduos não são alocados em locais apropriados ou destinados conforme a sua classificação de risco.

Uma das alternativas encontradas para outro destino destes resíduos são as instalações de usinas de coleta dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) que recolhem estes resíduos, passam por uma triagem para separação dos materiais que poderão servir como agregado e em seguida por um processo de trituração ou britagem para formar os materiais que substituirão os naturais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Setor da Construção Civil é um dos setores que mais emprega e que gera renda e que desenvolve um país. Cerqueira (2017) relata que o percentual da construção civil em relação ao PIB representa 6,2% e acrescenta ainda que em quesitos de estabelecimentos industriais e empregos chega a 34% e 24% respectivamente. Por outro lado, consome muitos recursos naturais e responde à geração de muitos resíduos na maioria das vezes na forma de “entulho”. Em termos legais surgiu a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2002, que define deveres e responsabilidade, integra um novo sistema de gestão onde impõe ao gerador reduzir, reutilizar e reciclar, bem como dispor e tratar dos seus resíduos de maneira a diminuir os impactos.

Devido ao grande aumento populacional e conseqüentemente a necessidade de criar novos espaços urbanos (comerciais ou residenciais), obras de construção civil de pequeno a grande porte começaram a surgir e reorganizar os cenários urbanísticos. Em qualquer local em que iniciava este progresso, era possível observar novos bairros sendo construídos, porém atrelado a esta evolução estão os resíduos gerados por estas obras, sejam elas de construção, reforma ou demolição. Por ano são geradas toneladas de RCD, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em seu último Panorama realizado conforme tabela 1, registrou que em 2016 foram coletados 45,1 milhões de toneladas de RCD no Brasil, uma diminuição de 0,08% em comparação com os dados de 2015. Porém o que pode-se observar ainda é que muitas vezes estes resíduos não têm a sua destinação ou descarte de forma correta, sendo alocados em áreas clandestinas, terrenos baldios, cursos d'água, beira de estradas que por sua vez causam grandes transtornos para quem mora próximo, sem contar no impacto social e ambiental que este entulho despejado de maneira inapropriada pode causar.

TABELA 1 – Total de Resíduos Coletados no Brasil e por Região

Região	2015	2016	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Brasil	123.721/0,605	123.619	0,600
Região	2015	2016	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Norte	4.736/0,271	4.720	0,266
Região	2015	2016	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Nordeste	24.310/0,430	24.387	0,428
Região	2015	2016	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Centro-Oeste	13.916/0,901	13.813	0,882
Região	2015	2016	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Sudeste	64.097/0,748	63.981	0,741
Região	2015	2016	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Sul	16.662/0,570	16.718	0,568

Fonte: ABRELPE/IBGE 2016

De acordo com Pinto apud Karpinski (2009, p. 12) “A construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social”. Detém de uma grande importância na economia brasileira, porém se destaca também por ser responsável por impactos ambientais, seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos.

Os Resíduos de Construção segundo NBR 15114 (2004, p. 5) são:

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.

Estes materiais também são classificados em 4 classes, listados de A à D. Na Classe A, estão dispostos os resíduos adequados a serem reutilizáveis como agregados, tais como :

- Demolição, reformas e reparos de pavimentação;
- Demolição, reformas e reparos de edificação (tijolos, blocos, telhas etc.);
- Processo de fabricação ou demolição de peças pré-moldadas em concreto.

Na Classe B temos também materiais recicláveis porém utilizados para outras destinações como plástico, papel, metais, vidros, madeiras e outros. Já a Classe C, apresenta materiais que ainda não foram desenvolvidas técnicas ou métodos de para as suas aplicações, como os materiais feitos em Gesso por exemplo. E os da Classe D, que são materiais considerados nocivos e perigosos, como solventes, tintas, radioativos, óleos entre outros.

Conforme Martins (2012), os resíduos da construção podem estar atrelados pela deficiência na falta de planejamento, uma vez que, a falta de definir etapas e atividades gera um maior desperdício dos insumos destinados para a realização de cada tarefa. Então o que se recomenda é uma gestão controlada destes resíduos, capaz de minimizar ou até mesmo eliminar, e os que não são reutilizáveis, dispor em locais que evitem um menor prejuízo ao meio ambiente.

Estima-se que a extração de matérias primas do meio ambiente para execução de obras civis gira em torno de 75%, Segundo Scillag (2010) “de tudo o que extrai da natureza, apenas entre 20% e 50% das matérias-primas naturais são realmente consumidas pela construção civil”, o mesmo autor cita que de toda a quantidade dos resíduos gerados, seja ele de construção ou demolição, os volumes podem chegar até duas vezes maiores do que o de lixo sólido urbano gerado.

Carelli (2010), afirma que 60% dos resíduos totais produzidos nas cidades brasileiras são de origem da construção civil, e apenas em São Paulo se estima uma produção de 17 mil toneladas/dia. Completa ainda que em obras que utilizam do processo convencional de construção, seja ela residencial ou comercial, os valores de resíduos são de 0,10 a 0,15m³ do total dos materiais utilizados em obra, estando divididos ainda em: 50% referente à alvenaria, concreto, argamassas e cerâmicos; 30% madeiras; 10% gesso; 7% papel, plástico e metais; e 3% constituídos de resíduos perigosos e não recicláveis. E completa exemplificando algumas possíveis finalidades que estes materiais teriam após serem utilizados na fase da construção em:

1. Alvenaria, Concreto, Argamassas e Cerâmicos: Podem ser reutilizados em obras para reaterros, dependendo da necessidade de estabilidade e compactação; Sub-base e base de pavimentos; Contrapisos; Produção de Argamassas; Concretos não estruturais ou britagem para produção de Agregados Reciclados.
2. Madeiras: Procedimento ideal seriam a utilização e reutilização da mesma em obra até não ter mais nenhuma serventia, esgotando todas as suas possibilidades de manuseio, após, uma alternativa seria a transformação em cavacos para serem utilizados em caldeiras em substituição a madeira virgem.
3. Papel e Papelão: Enviados para recicladores que produzem através deles outras embalagens e artefatos que incorporam produtos de papel reciclado em seu processo de fabricação.
4. Plástico: Mesma destinação do papel será reutilizado para produção de outros artefatos, porém, se faz necessário uma identificação prévia e especificação do material, considerando o tipo de polímero e onde pode ser aplicado.
5. Metal: Sua destinação final são empresas no Setor de Siderurgia, mais apropriadas para transformar os metais recebidos em outros produtos que possam ser novamente comercializados.
6. Gesso: Este material se faz importante para as empresas produtoras de cimento, pois em seu processo elas utilizam do gesso como uma substância na composição do cimento comercial.
7. Resíduos Perigosos: Geralmente são encaminhados para aterros industriais, onde os mesmos possuem tecnologia para minimizar os riscos causados pelas embalagens dos produtos, uma vez que, não se tem um processo para reciclagem e reuso.

Para tanto a lei nº 12305/10, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), onde promove a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos de forma correta, dando responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida útil de cada insumo consumido na construção civil. Afirma Egle (2009) “As soluções para a adequada destinação dos diferentes

resíduos já têm trazido resultados bastante positivos no setor. Lixões a céu aberto, depósitos de resíduos em aterros ou terrenos vazios é um cenário que tem se dissipado”.

3 DESENVOLVIMENTO

O estudo deste artigo tem por finalidade analisar e comparar a resistência na substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Para tal, foi realizado o estudo de granulometria dos materiais utilizados, classificados e definidos os métodos de realização e comparação.

Para tal, antes de apresentar o traço de concreto determinado, será identificado os materiais que serão utilizados segundo NBR 7211/2005; NBR 15114/2004 e NBR 5733/1991:

1. Agregado miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos com abertura de malha de 0,15 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM (Norma Mercosur) 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.
2. Agregado gráudo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.
3. Agregado reciclado: Materiais granulares provenientes do beneficiamento de resíduos de construção que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, de aterros sanitários ou outras obras de engenharia.
4. Cimento Portland Ari CPV: Aglomerante hidráulico obtido através da moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte por silicatos de cálcio.

Para caracterização dos agregados, gráudo e miúdo, foram utilizadas peneiras para determinar a sua massa unitária bem como a sua classificação através do método de peneiramento. Para classificar um agregado como gráudo, o material não ultrapassa a peneira de 4,8mm, em contraponto, para classificar o miúdo, o material está concentrado abaixo dessa peneira segundo a NBR NM 248 (2003). Para a obtenção do traço a ser analisado, foi

desenvolvido este método de granulometria no laboratório e elaborado uma planilha com as porcentagens de massas que ficaram retidas em cada peneira, e em seguida chegando a valores das suas massas unitárias através da NBR NM 45 (2006) e as massas específicas aparentes através da NBR NM 52 (2009) e NBR NM 53 (2009). Os resultados dos agregados analisados estão apresentados na Tabela 2, 3, 4 e nos Gráficos 1 e 2.

A Tabela 2 apresenta a granulometria do agregado miúdo, onde se classificou dois tipos (areia fina e média). Quanto menor o espaçamento da peneira mais retenção de material fino será obtido como no exemplo da peneira 0,3 mm, para a areia fina, temos um percentual retido de 75,90% e para a média de apenas 30,84%.

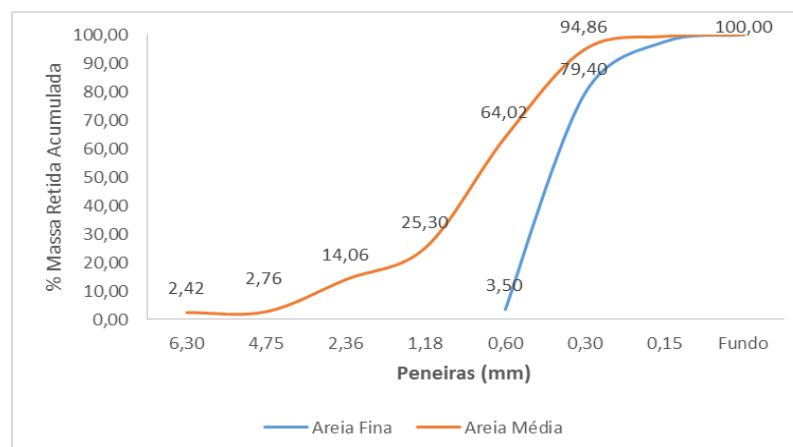
TABELA 2 – Granulometria do Agregado Miúdo

Peneiras	Areia Fina		Areia Média	
	Peso Retido	% Retida	Peso Retido	% Retida
Mm	g		g	
6,3	-	-	12,10	2,42
4,75	-	-	1,70	0,34
2,36	-	-	56,50	11,30
1,18	-	-	56,20	11,24
0,6	17,70	3,50	193,60	38,72
0,3	379,40	75,90	154,20	30,84
0,15	90,40	18,10	22,70	4,54
Fundo	12,50	2,50	3,00	0,60

Fonte: própria

O Gráfico 1 ilustra os resultados dos dados obtidos na Tabela 2 com a comparação entre a areia fina e média, relacionando a abertura das peneiras (mm) com a massa retida acumulada (%).

GRÁFICO 1 – Curva Granulométrica dos Agregados Miúdos



Fonte: própria

A Tabela 3 apresenta a granulometria do agregado graúdo, onde se classificou três tipos (brita 0, brita 1 e reciclado). Quanto maior o espaçamento da peneira mais retenção de material graúdo será obtido como no exemplo da peneira 12,5 mm, para o reciclado, temos um percentual retido de 35,92%, para a brita 1 71,30% e para a brita 0 não temos massa retida, significando que em sua composição todo material é menor que 12,5 mm passando todo agregado pela malha.

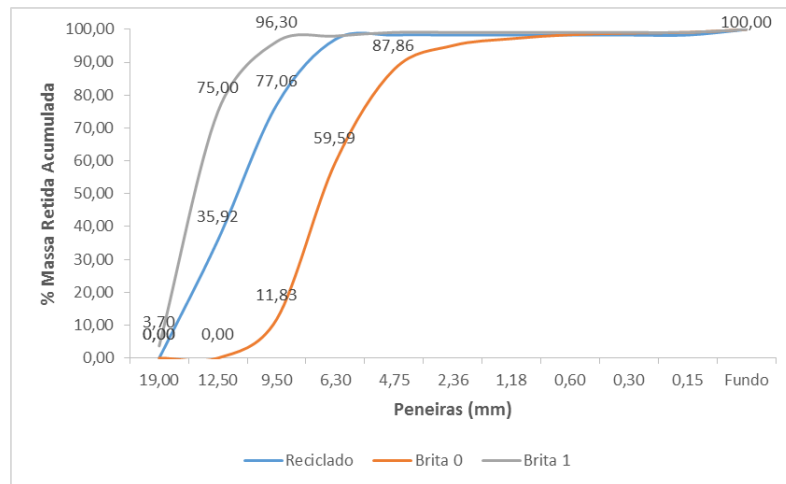
TABELA 3 – Granulometria do Agregado Graúdo

Peneiras	Reciclado		Brita 0		Brita 1	
	Peso Retido	% Retida	Peso Retido	% Retida	Peso Retido	% Retida
mm	G		G		G	
19	-	-	-	-	183,00	3,70
12,5	718,40	35,92	-	-	3566,00	71,30
9,5	822,80	41,14	118,30	11,83	1064,00	21,30
6,3	398,80	19,94	474,60	47,46	85,00	1,70
4,75	26,00	1,30	285,70	28,57	55,00	1,10
2,36	-	-	72,40	7,24	-	-
1,18	-	-	21,00	2,10	-	-
0,6	-	-	12,00	1,20	-	-
0,3	-	-	5,00	0,50	-	-
0,15	-	-	2,00	0,20	-	-
Fundo	34,00	1,70	9,00	0,90	50,00	1,00

Fonte: própria

O Gráfico 2 ilustra os resultados dos dados obtidos na Tabela 3 com a comparação entre o reciclado, a brita 1 e brita 0, relacionando a abertura das peneiras (mm) com a massa retida acumulada (%).

GRÁFICO 2 – Curva Granulométrica dos Agregados Graúdos



Fonte: própria

A Tabela 4 apresenta as massas unitárias e as específicas dos agregados classificados anteriormente. Massa Específica é a unidade de volume de um material excluindo dele seus poros permeáveis, e Massa Unitária, é a relação do volume por um recipiente, ambos tendo os seus resultados obtidos através dos procedimentos sendo realizados conforme as normas.

TABELA 4 – Massas Unitárias e Específicas dos Agregados

Material	Massa Unitária (Kg/m ³)	Massa Específica (g/cm ³)
Areia Fina	1500	1,70
Areia Média	1700	1,84
Reciclado	1086	1,39
Brita 0	1500	1,78
Brita 1	1500	1,81

Fonte: própria

Após a realização dos ensaios, chegou-se ao seguinte traço de concreto que será utilizado para a realização da comparação das resistências:

$$1 : 2,07 : 2,57 : 0,45$$

Sendo que o traço está em massa, temos a seguinte relação:

1 = Parte que representa o volume de cimento em kg;

2,07 = Parte que representa o volume de agregados miúdos em kg;

2,57 = Parte que representa o volume de agregados graúdos em kg;

0,45 = relação água/cimento em litros.

Para o concreto com os agregados naturais usou-se as seguintes proporções: entre as areias, usou-se 20% de areia fina e 80% de areia média; entre as britas, 10% de brita 0 e 90% de brita 1.

Para o concreto com os agregados reciclados usou-se as seguintes proporções: entre as areias, usou-se 20% de areia fina e 80% de areia média; entre as britas, 10% de brita 0, 45% de brita 1 e 45% de agregado reciclado.

4 RESULTADOS

Após definição, caracterização, classificação e obtenção de traço, realizaram-se os ensaios conforme NBR 5738/2003, onde norteia quais os procedimentos corretos a serem executados para obter resultados confiáveis. Para essa comparação, ensaiou-se a compressão

axial e a tração por compressão diametral, ou seja, verificando qual a resistência do concreto para compressão e tração, além de analisar estatisticamente os resultados e observar a variação de resistências de um corpo de prova para outro, consiste em perceber se o traço trabalhado tem muita alternância entre seus valores.

A Figura 1 representa ilustrativamente os materiais que são compostos os agregados reciclados.

FIGURA 1 – Agregados Reciclados



Fonte: <http://www.mattiazzi.com.br/public/uploads/1437676389.jpg>

A Figura 2 mostra os corpos de prova moldados recebendo a cura imersos em água, conforme diretriz da NBR 5738/2003.

FIGURA 2 – Corpos de prova imersos em tanque



Fonte: própria

Para realização dos ensaios das amostras, utiliza-se um aparelho que aplica uma carga uniformemente distribuída no corpo de prova e força-o até o rompimento do concreto. A Figura 3 ilustra o aparelho utilizado para o teste.

FIGURA 3 – Aparelho para realização de teste de Compressão e Tração Diametral



Fonte: própria

A Tabela 5 mostra as resistências das amostras por compressão axial e a Tabela 6 as resistências à tração diametral, comparando os resultados aos 7 dias de vida.

TABELA 5 – Comparação de Resistências Compressão Axial

COMPRESSÃO AXIAL		
7 DIAS	AGREGADOS NATURAIS	COM AGREGADO RECICLADO
	MPa	MPa
CP 1	35,01	29,67
CP 2	33,61	23,68
CP 3	24,19	28,39
CP 4	30,81	26,99
CP 5	34,89	32,59
CP 6	26,61	30,56

Fonte: própria

TABELA 6 – Comparação de Resistências Tração por Compressão Diametral

TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL		
7	AGREGADOS NATURAIS	COM AGREGADO RECICLADO
DIAS	MPa	MPa
CP 1	9,10	6,24
CP 2	8,28	7,96
CP 3	9,93	7,58
CP 4	10,70	5,47
CP 5	8,59	7,13
CP 6	7,00	6,24

Fonte: própria

A Tabela 7 mostra as resistências das amostras por compressão axial e a Tabela 8 as resistências à tração diametral, comparando os resultados aos 28 dias de vida.

TABELA 7 – Comparação de Resistências Compressão Axial

COMPRESSÃO AXIAL		
28	AGREGADOS NATURAIS	COM AGREGADO RECICLADO
DIAS	MPa	MPa
CP 1	52,71	34,38
CP 2	53,22	32,09
CP 3	52,33	45,84
CP 4	48,89	36,54
CP 5	52,71	37,56
CP 6	52,33	31,45

Fonte: própria

TABELA 8 – Comparação de Resistências Tração por Compressão Diametral

TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL		
28	AGREGADOS NATURAIS	COM AGREGADO RECICLADO
DIAS	MPa	MPa
CP 1	11,59	7,70
CP 2	9,93	6,56
CP 3	11,40	7,70
CP 4	13,37	8,02
CP 5	10,25	10,76
CP 6	12,67	9,93

Fonte: própria

Em sequência, será apresentada a análise estatística característica dos dois traços trabalhados, responsável por informar qual a variação dos resultados e classificar a qualidade do material conforme funções dadas por:

$$f_{ck,j} = \frac{2x(f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_{m-1})}{m-1} - f_m \quad (1)$$

$$m = \frac{n}{2} \quad (2)$$

Onde:

$f_{ck,j}$ = Resultado esperado da resistência do traço analisado (20 MPa).

f_1, f_2, \dots, f_{m-1} , = Resultado unitário de cada corpo de prova.

n = Número de amostras.

m = Número de amostras dividido por 2.

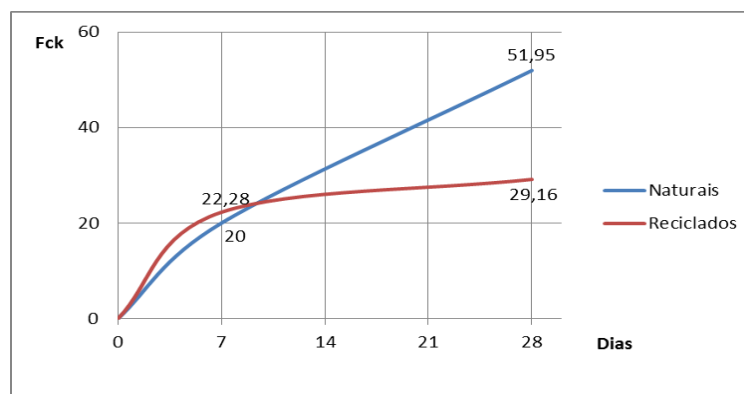
A Tabela 9 e o Gráfico 3, mostram os resultados estatísticos analisados à compressão aos 7 e aos 28 dias, e a Tabela 10 e o Gráfico 4, dos resultados à tração aos 7 e aos 28 dias dos corpos de prova e classifica-os levando em consideração o valor encontrado.

TABELA 9 – Análise Estatística à Compressão

ANÁLISE ESTATÍSTICA À COMPRESSÃO	
AGREGADOS NATURAIS	COM AGREGADO RECICLADO
Fck,7 – Cálculo com resistência obtida aos 7 dias	
20,00	22,28
Fck,28 – Cálculo com resistência obtida aos 28 dias	
51,95	29,16
CLASSIFICAÇÃO	
Atende O Fck Estimado	Atende o Fck Estimado

Fonte: própria

GRÁFICO 3 – Curva da Análise Estatística dos Resultados à Compressão Axial



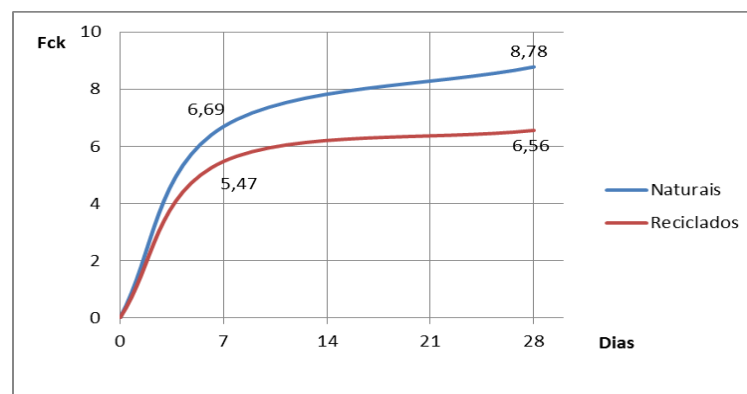
Fonte: própria

TABELA 10 – Análise Estatística à Tração

ANÁLISE ESTATÍSTICA À TRAÇÃO	
AGREGADOS NATURAIS	COM AGREGADO RECICLADO
Fck,7 – Cálculo com resistência obtida aos 7 dias	
6,69	5,47
Fck,28 – Cálculo com resistência obtida aos 28 dias	
8,78	6,56
RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA COM À COMPRESSÃO	
Aos 7 dias	
33,45%	24,55%
Aos 28 dias	
16,90%	22,50%

Fonte: própria

GRÁFICO 4 – Curva da Análise Estatística dos Resultados de Tração por Compressão Diametral



Fonte: própria

5 CONCLUSÕES

Observando os dados apresentados pode-se perceber que as resistências dos concretos analisados na compressão aos 7 dias já atenderam o esperado que era atingir um índice de 20MPa, porém quando feito a análise estatística, obteve-se um resultado à compressão maior com o concreto feito com agregados reciclados. Durante a realização dos traços, foi percebido que o concreto feito com os materiais reciclados absorveu mais água do que o com os materiais naturais, pois, o concreto reciclado ficou mais seco com menor trabalhabilidade que o outro. O fato de ter ocorrido essas mudanças em relação à água afeta diretamente as resistências, conforme visto na Tabela 9, onde os valores com o concreto reciclado foram superiores. O processo que influenciou foi na cura, onde, o reciclado absorvendo maior quantidade de água pode ter a melhor cura interna das partículas do concreto, não esquecendo

também de relatar o efeito filler, que é a diminuição dos espaços vazios do concreto. O agregado reciclado tendo vários materiais na sua composição se adequa melhor e preenche os poros, reduzindo locais onde teriam bolhas aumentando assim consideravelmente a sua resistência. Com relação à tração, a Tabela 10 mostra que o concreto com os agregados naturais foi superior com representatividade de 33,45% comparado à resistência a compressão do mesmo, enquanto o concreto com os agregados reciclados tem um valor de representatividade de 24,55%, onde relatamos que a tração diametral se dá melhor no concreto com agregados naturais.

Por outro lado, obtendo os resultados dos corpos de prova aos 28 dias de vida, observa-se um aumento significativo na resistência do concreto com os agregados naturais, dando um salto de 20MPa, valor obtido aos 7 dias, para 51,95MPa. Enquanto na resistência do concreto com agregados reciclados, podemos observar também um aumento, porém não tão surpreendente, foi de 22,28MPa, aos 7 dias de vida, para 29,16MPa aos 28 dias.

Relacionando o processo executado chegamos à conclusão que é viável se utilizar concreto com agregados reciclados, seja ele com ou sem função estrutural, obtendo assim diminuição dos resíduos sólidos produzidos. Conforme visto na Tabela 1, a região sudeste é responsável por produzir cerca de 64.000 toneladas/dia de RCD, ela em si representa mais de 50% do total produzido no Brasil. Aplicando a prática do uso de resíduos reciclados para produção de concretos, poderia reduzir boa parte desta quantidade, criando uma solução sustentável e consciente, unindo um material descartado de volta as construções, remodelando o conceito de que resíduos podem sim serem reciclados e reutilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR – 15114 (2004) – **Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de Reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.**

_____. – 7211 (2005) – **Agregados para concreto - Especificação.**

_____. – 5733 (1991) – **Cimento Portland de alta resistência inicial.**

_____. – 5739 (2018) – **Concreto – Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos.**

_____. – 12655 (2015) – **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM (NORMA MERCOSUR) – 248 (2003) – **Agregados – Determinação da Composição Granulométrica.**

_____. – 45 (2006) – **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.**

_____. – 52 (2009) – **Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente.**

_____. – 53 (2009) – **Agregado Graúdo – Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água.**

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2016.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307**, de 05 de Julho de 2002. Dispõe sobre gestão dos Resíduos da Construção Civil. Brasília, 2002. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 20 de maio de 2018.

CARELLI, E. **Resíduos da Construção Civil devem ter destinação e gestão adequada**, 2010. Disponível em https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/residuos-da-construcao-civil-devem-ter-destinacao-e-gestao-adequada_6592_10_0. Acesso em 20 de maio de 2018.

CERQUEIRA, D. **Construção Civil representa 6,2% do PIB Brasil**, 2017. Disponível em <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>. Acesso em 20 de setembro de 2018.

EGLE, T. **A nova lei de destinação de resíduos sólidos desperta a necessidade de criação de políticas estaduais e municipais para reforçar práticas sustentáveis na cadeia produtiva** **REVISTA TECHNE**, nº 149, Agosto de 2009. Disponível em <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/149/destinacao-legal-a-nova-lei-de-destinacao-de-residuos-285831-1.aspx>. Acesso 20 de maio de 2018.

KARPINSKI, L. A. PANDOLFO, A. REINEHER, R. GUIMARÃES, J. C. B. PANDOLFO, L. M. KUREK, J. **Gestão diferenciada de Resíduos da Construção Civil**. Porto Alegre, 2009. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 164p.

MARTINS, F. G. **Gestão e Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil em Obras de Grande Porte – Estudo de Caso**. São Carlos, 2012. 188fl Tese (Mestrado em ciências, programa de Engenharia hidráulica e saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 218fl Tese (doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SCILLAG, D. **Os verdadeiros impactos da Construção Civil**, 2010. Disponível em https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2256_10_0. Acesso em 20 de maio de 2018.