

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE TRATAMENTO EM
RCD PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS

Autor: Karolayne Sousa Tavares

Orientador: Prof. Dr. Bacus de Oliveira Nahime

Coorientador: Prof. Me. Lorena Araujo Silva

Rio Verde - GO

Julho – 2021

Instituto federal de educação, ciência e tecnologia goiano -
Campus rio verde
Bacharel em engenharia civil

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE TRATAMENTO EM
RCD PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS

Autor: Karolayne Sousa Tavares
Orientador: Prof. Dr. Bacus de Oliveira Nahime
Coorientador: Prof. Me. Lorena Araujo Silva

Trabalho de Curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Câmpus
Rio Verde, como requisito parcial
para a obtenção do Grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

Rio Verde – GO
Julho, 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

tT231u tavares, karolayne
 UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE TRATAMENTO EM RCD PARA
PRODUÇÃO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS / karolayne
tavares; orientador Bacus Nahime; co-orientador
Lorena Araújo. -- Rio Verde, 2021.
50 p.

TCC (Graduação em Engenharia Civil) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Agregado reciclado. 2. Concreto reciclado. 3.
Tratamento em RCD. I. Nahime, Bacus , orient. II.
Araújo, Lorena, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia Livro
 TCC -Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional – Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Karolayne Sousa Tavares

Matrícula: 2016102200840199

Título do Trabalho: UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE TRATAMENTO EM RCD PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: Artigo foi submetido na revista Cerâmica.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 29/07/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

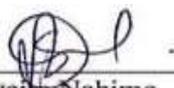
Rio verde, 29/07/2021.

Local Data

Karolayne Sousa Tavares.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Bacus de Oliveira Nahime

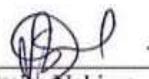
Assinatura do(a) orientador(a)

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CURSO (TC)

ANO	SEMESTRE
2021	01

No dia 07 do mês de julho de 2021, às 16 horas e 30 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes BACUS DE OLIVEIRA NAHIME, IDALCI CRUVINEL DOS REIS e MICHELL MACEDO ALVES, para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado “UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE TRATAMENTO EM RCD PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS RECICLÁVEIS ” da acadêmica KAROLAYNNE SOUSA TAVARES, Matrícula nº 2016102200840199 do curso de Engenharia Civil do IF Goiano – Câmpus Rio Verde. Após a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) acadêmico(a). Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que segue datada e assinada pelos examinadores.

Rio Verde, 29 de Julho de 2021.



Bacus de Oliveira Nahime

Nome:

Bacus de Oliveira Nahime



Nome:

Idalci Cruvinel dos Reis

Nome: Idalci Cruvinel dos Reis

MICHELL MACEDO
ALVES:04050331683
Assinado de forma digital por
MICHELL MACEDO
ALVES:04050331683
Data: 2021.07.27 20:22:46

Observação:

Nome: Michell Macedo Alves

() O(a) acadêmico(a) não compareceu à defesa do TC.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus, pela dádiva da vida e por ter me ajudar a passar por todos obstáculos durante o curso.

A nossa Senhora, por ter me dado o sustento e força nos momentos que pensei em desistir.

A minha mãe Maria Gorete de Sousa, heroína que me deu apoio nas horas difíceis de desânimo e cansaço. Por suas palavras de incentivo e dedicação, que foram primordiais para que eu chegasse até aqui, sem você a conclusão do curso e do meu sonho não seria possível, dessa forma, dedico essa conquista a você.

Ao meu pai João Maria Tavares, que apesar de todas dificuldades me fortaleceu, e sempre fez o seu melhor para que eu pudesse chegar até aqui, por compreender minha ausência enquanto eu me dedicava ao curso, com certeza seu apoio foi essencial para mim.

Ao meu irmão e sobrinho, Wanderly Sousa e Caio Carvalho por terem sido presente sempre que precisei, por acreditarem em mim e no meu potencial, quando eu mesma já não acreditava.

Ao professor, Bacus Nahime por ter aceitado ser meu orientador e ter dedicado seu tempo e paciência para a realização deste trabalho.

Ao professor Michel Macedo, por todos conselhos, amizade, correções e ensinamentos no meu processo de formação profissional.

A professora, coorientada Lorena, minha imensa gratidão, por ter aceitado trilhar essa árdua caminhada de conclusão de curso comigo, o seu desempenho foi essencial para minha motivação à medida que as dificuldades iam surgindo ao longo deste trabalho, sem você não teria conseguido concluir esta tarefa difícil.

As minhas melhores amigas Morgana Muniz, Karolaine Ramada e Rafaella Cristina, por estarem fielmente comigo desde o início do curso, me apoiando, dividindo todos momentos de alegrias e dificuldades, por todo companheirismo durante o percurso.

A Maressa Resende, que esteve comigo todos os dias, dividindo as frustrações e alegrias, minha gratidão por sua amizade durante esta jornada.

A Juliana Nobre, que fiz amizade nesses últimos anos do curso, porém foi de grande importância na minha caminhada, se fazendo presente no meu lado nos momentos difíceis da conclusão do curso, a você minha eterna gratidão.

Aos meus amigos Elyan Gustavo e Luana Oliveira, por sempre me ajudarem, disponibilizando seu tempo e paciência nas atividades do laboratório, por todas palavras de incentivo e por acreditarem que eu iria conseguir.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Karolayne Sousa Tavares, nascida em 16 de junho de 1997 na cidade de Belém, Pará. Ingressou no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Federal, campus Rio Verde, no curso de bacharelado em Engenharia civil no ano de 2016, realizando a defesa de seu trabalho de conclusão de curso em julho de 2021.

ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELA	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	x
1.3.1 Densidade	11
1.3.2 Absorção de água	11
1.3.4 Teor de contaminantes	12
1.3.5 Granulometria.....	12
1.4 Característica do concreto com agregado de RCD.....	13
1.4.1 Resistência à compressão	13
1.4.2 Absorção de água e permeabilidade	14
1.4.3 Porosidade	14
1.6 Referências Bibliográficas	17
3 CAPITULO I.....	23
RESUMO	23
INTRODUÇÃO.....	24
MATERIAIS E MÉTODOS	25
Materiais	25

Métodos.....	27
RESULTADOS E DISCURSÕES.....	30
CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	34

ÍNDICE DE TABELA

	Página
CÁPITULO I.....	25
Tabela I- Caracterização agregado muído.....	25
Tabela II- Caracterização agregado graúdo.....	27
Tabela III- Quantidade de material	27
Tabela IV- Abatimento tronco de cone	30
Tabela V- Absorção.....	30
Tabela VI- Índice de vazios.....	31
Tabela VII- Massa específica.....	31
Tabela VIII- Compressão axial 7 dias	31
Tabela IX- Compressão axial 28 dias.....	32
Tabela X- Resistência à tração por compressão diametral.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1- Triturador de entulho	25
Figura 2- Triturador de entulho	26
Figura 3- Agregado do RCD	26
Figura 4- Projeto experimental definido para o estudo	27
Figura 5- Absorção por imersão	29
Figura 6 - Absorção por capilaridade	29

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade Medida
%	Por cento	-
ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnica	-
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland	-
CP's	Corpos de prova	-
CP II F-32	Cimento Portland composto com fíler	-
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente	-
Cref.	Concreto Referência	-
C40%S	Concreto 40% Sem tratamento	-
C60%S	Concreto 60% Sem tratamento	-
C40%W	Concreto 40% Pré-saturação	-
C60%W	Concreto 60% Pré-saturação	-
C40%H	Concreto 40% Hidrofugante	-
C60%H	Concreto 60% Hidrofugante	-
ITZ	Zona de transição interfacial	-
Eq	Equação	-

g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico	-
kg	Kilograma	-
mm	Milímetros	-
Mpa	Megapascal	-
NBR	Norma Brasileira	-
NM	Norma Mercosul	-
OH	Hidroxila	-
RCD	Resíduos de Construção	-
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos	-

RESUMO

TAVARES, Karolayne Sousa. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, julho 2021. **Utilização de técnicas de tratamento em RCD para produção de concretos sustentáveis.** Orientador: Prof. Dr. Bacus Oliveira. Coorientadora: Prof. Me. Lorena Araujo Silva.

O reaproveitamento dos resíduos de construção civil e demolição (RCD) trata-se de uma medida mitigatória para o controle dos problemas ambientais causados pela elevada geração de resíduos nas obras de construção civil. A utilização do RCD em substituição de materiais convencionais na produção de materiais cimentícios tem mostrado resultados satisfatórios no tange ao comportamento reológico e mecânico dos mesmos. Faz-se ainda necessário o aumento do percentual de reaproveitamento destes resíduos para uma maior contribuição com o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, este trabalho tem o objetivo estudar diferentes técnicas de tratamento superficial no RCD para a produção de concretos sustentáveis, visando a melhoria das características dos resíduos. Foi utilizado um procedimento experimental a partir da produção de concretos com agregados naturais e agregados reciclados com e sem tratamento. As técnicas de tratamento empregadas foram: pré-saturação e aspersão de aditivo hidrofugante. Os corpos de prova foram avaliados quanto à trabalhabilidade, resistência mecânica à compressão e tração, e absorção de água por

capilaridade e imersão. Foi observado que a absorção de água no concreto com RCD, diminuiu, quando utilizado uma das técnicas de tratamento, em comparação ao não tratado, com o tratamento do RCD também notou-se uma melhora de 89, 21% na trabalhabilidade do concreto no estrado fresco com RCD, em comparação ao não tratado. Na resistência à compressão o concreto com RCD tratado teve 22, 73% de resistências a mais do que o não tratado.

PALAVRAS-CHAVES: Agregado reciclado; Concreto reciclado; Tratamento em RCD.

ABSTRACT

TAVARES, Karolayne Sousa. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, July 2021. Use of treatment techniques in RCD for the production of sustainable concrete. Advisor: Prof. Dr. Bacus Oliveira. Co-advisor: Prof. Me. Lorena Araujo Silva.

The reuse of civil construction and demolition waste (CDW) is a mitigation measure for the control of environmental problems caused by the high generation of waste in civil construction works. The use of RCD to replace conventional materials in the production of cementitious materials has shown satisfactory results in terms of their rheological and mechanical behavior. It is also necessary to increase the percentage of reuse of these wastes for a greater contribution to sustainable development. In this context, this work aims to study different surface treatment techniques in RCD for the production of sustainable concrete, aiming to improve the characteristics of waste. An experimental procedure was used from the production of concrete with natural aggregates and recycled aggregates with and without treatment. The treatment techniques used were: pre-saturation and spraying of a water repellent additive. The specimens were evaluated for workability, mechanical resistance to compression and traction, and water absorption by capillarity and immersion. It was observed that the absorption of water in concrete with RCD, decreased, when using one of the treatment techniques, compared to untreated, with the

treatment of RCD an improvement of 89.21% was also noted in the workability of concrete on the platform fresh with RCD, compared to untreated. In compressive strength, the concrete with treated RCD had 22.73% more strength than the untreated one.

KEYWORDS: Recycled aggregate; concrete recyclable; superficial treatment.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a urbanização e a revolução tecnológica causaram alterações no estilo de vida, modo de produção e consumo da população, conseqüentemente, ocorrendo um aumento na quantidade e diversidade da produção de resíduos sólidos [1]. É possível afirmar, que o setor da construção civil é responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos naturais, e também um dos setores que mais gera resíduos sólidos de construção e demolição (RCD) [2].

O Conselho Regional de Meio Ambiente (CONAMA) recomenda que a gestão correta do RCD seja feita através do descarte exclusivamente em aterros inertes, ou da reciclagem dos resíduos, de forma a minimizar os impactos ambientais ocasionados. A reutilização do RCD traz redução do volume de descarte em aterros e lixões clandestinos, dessa forma, além de diminuir o volume de lixo, é possível diminuir as emissões de carbono que são ocasionadas nas operações de transporte até a destinação final [3].

Além dos objetivos para benefícios ambientais, a reutilização do RCD também influencia no aspecto econômico, trazendo benefícios através da redução da necessidade de aquisição de matéria-prima natural e redução de custos com transportes. No pilar social, haveria criação de um elo da cadeia produtiva da construção com a da reciclagem [4].

A maior parte desses resíduos gerados nas obras é composto por argamassa, tijolo, concreto, cerâmica, gesso, madeira, etc. [5]. Dessa forma, o RCD pode ser utilizado como matéria prima alternativa para a construção civil, como por exemplo, na forma de agregados na produção do concreto, tijolo e argamassa. O agregado de RCD tem por finalidade substituir em porcentagens parciais ou totais o material natural empregado.

As principais diferenças encontradas no agregado de RCD e agregado natural, são: a forma do grão, onde por sua vez os agregados reciclados tendem a ter uma forma mais irregular; a densidade, que é menor nos agregados reciclados e a absorção de água, que tende a ser maior nos agregados reciclados [6].

O agregado de RCD por absorver mais água quando comparado ao agregado natural, afeta diretamente na água disponível para a mistura, conseqüentemente influenciam na hidratação do cimento e na trabalhabilidade do concreto [7].

Para melhorar as características e conseqüentemente reduzir os efeitos negativos do RCD na produção do concreto, faz-se uso de técnicas de tratamentos superficiais, essas técnicas visam diminuir a principal diferença entre o agregado reciclado e o natural, que é a absorção de água do RCD na produção do concreto. Com a diminuição da absorção, conseqüentemente melhora-se as características do concreto no estado fresco, facilitando o processo de mistura, e no estado endurecido, melhorando as propriedades físicas.

Uma das técnicas de tratamento superficial, é a aplicação de aditivos hidrofugantes, esse tratamento tem o objetivo de reduzir parte dos efeitos negativos do RCD na produção do concreto, fazendo melhorias restritas apenas às condições reológicas, mas não influenciando na redução da porosidade presente no mesmo [8].

Os aditivos hidrofugantes tem função hidrofóbica, ou seja, ao adicionar o aditivo hidrofugante no RCD, forma-se uma camada dificultando a absorção de água no concreto, porém essa camada não impede que entre e saia vapor de água do mesmo [9].

Ao utilizar o método de tratamento superficial com emulsão hidrofugante, observou-se que ao aplicar a emulsão, a fim de dificultar a entrada de agentes externos no concreto, resulta-se em uma diminuição da absorção de água, e aumento na durabilidade do concreto [10].

A absorção de um material, está diretamente relacionado a sua porosidade, para determinar esse percentual, é necessário a imersão do material em água, por um período de 24 horas [11].

Dessa forma, a fim de compensar a água absorvida pelo agregado reciclado, além do tratamento com hidrofugantes, há outra técnica de tratamento superficial conhecida como pré-saturação, que consiste basicamente em pré-saturar o RCD com água por períodos de tempos variados. Essa compensação pode ser feita ao adicionar a quantidade de água absorvida pelo RCD, na água de amassamento do concreto, ou através da pré-saturação por um período de 24 horas do agregado reciclável, sendo que a porção de água absorvida pelo agregado reciclado será determinada pelo ensaio de absorção do agregado [12].

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o comportamento físico e mecânico do concreto com agregado reciclado, após ser aplicada as técnicas de tratamentos superficiais no RCD.

1.1 Geração e impacto dos resíduos de construção e demolição civil

No cenário atual mundial, dentre vários tópicos, um dos problemas que é enfrentado, é a geração de resíduos sólidos pela indústria da construção civil, apesar de já existirem várias diretrizes que tem o foco de regulamentar a disposição e o gerenciamento de RCD neste ramo da construção civil [2]. Ainda com o crescimento da geração de resíduos durante os anos, muitos municípios, optam pela destinação dos RCD de maneira ambientalmente inadequada. É crescente a preocupação com o meio ambiente e com a inadequada gestão desses resíduos, por isso, torna-se presente a importância em transformar RCD em um material potencialmente útil, como os agregados reciclados.

A construção civil pode ser praticada de maneira sustentável, quando baseada na prevenção e redução dos resíduos através do desenvolvimento de tecnologias limpas, como por exemplo, ao optar em utilizar materiais recicláveis, reutilizáveis ou sub-produtos. Quando não se há um conhecimento de tecnologias para os processos de reciclagem dos resíduos gerados, conseqüentemente o mesmo será depositado na natureza, e ocasiona inúmeros problemas ambientais, sendo inevitável a geração de resíduos em um processo de fabricação [13; 14].

Embora seja de grande importância a destinação adequada dos resíduos gerados, tornam-se de extrema importância pôr em práticas ações que tenham como objetivo a redução do entulho diretamente na fonte de geração [15].

O concreto reciclável, ou seja, produzido parcialmente ou totalmente com agregado de RCD, possui características diferentes do concreto produzido com agregado natural, onde essas diferenças dependem principalmente do tipo de qualidade do agregado reciclado utilizado, por isso, é possível obter um concreto reciclável com resistência média à alta, para fins estruturais [16].

Dessa forma, pode-se dizer que a reutilização do RCD é a melhor alternativas para a minimização dos problemas oriundos do seu descarte inadequado, trazendo benefícios, como a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, por consumo de reciclados, redução do consumo de energia na produção e transporte para os aterros, e a redução do que mais preocupa os ambientalistas: a poluição.

As ações para alcançar a sustentabilidade na sociedade devem abranger desde a escala individual, onde cada indivíduo faz o seu papel contribuindo da sua forma ao crescimento sustentável, até a escala mundial, mediante debates, encontros, acordos entre organizações, sejam participantes do governo ou não, com o intuito de contribuir para o crescimento sustentável [17].

Na Europa, os percursos do processo de reciclagem de resíduos de construção e demolição, o concreto reciclado já encontra-se sendo utilizado em concreto armado, para casas residências de médio padrão, portos marítimos e em concretos de alta resistência [18].

A Comunidade Europeia realizou várias obras com concretos recicláveis, de resíduos de concreto e alvenaria, realizando a mistura de ambos. Essas obras eram e continuam sendo monitoradas para que se possa avaliar o comportamento desses concretos com relação à durabilidade [19].

É importe primeiramente avaliar a composição média dos resíduos, onde vários fatores devem ser levados em consideração, como por exemplo, a tipologia construtiva oriunda do resíduo a ser utilizado, as técnicas construtivas existentes, ou seja, resíduos de construção ou demolição, e por fim, os matérias disponíveis em cada região. Sendo assim, esses os principais fatores que influenciarão a composição dos RCD [12].

Ao analisar a composição dos RCD em geral, pode-se perceber que a maior parte da composição possui alto percentual de concreto, material cerâmico e argamassa, levando em consideração esses dados obtidos que independem da região e estado [20].

1.2 Classificação e reciclagem dos resíduos de construção e demolição

O RCD pode ser definido como todo descarte de resíduo sólido da construção civil, sendo eles, por novas construções, demolições, reformas, limpeza do terreno, etc. [21] Dessa forma, esses resíduos são apresentados de forma heterogênea, pois incluem diferentes tipos de materiais, como descarte de concreto, argamassa, plásticos, madeiras, metais, tijolo, telhas, dentre outros. Cerca de 50% dos resíduos no Brasil, são de construção informal e canteiro de obras, oriundo de perdas físicas [15].

A classificação do RCD deve ser feita de acordo com o risco ambiental que o material causa, a fim de ocorrer o correto destino e manuseio. Para isso, no Brasil existe a norma NBR ABNT 10001 [23] que determina a classificação do RCD em resíduos de classe III – inertes, pois esses resíduos possuem minerais que não são poluentes e são considerados inertes quimicamente [24; 25; 26].

A classificação dos resíduos também pode ser feita de acordo com a presença do teor de impurezas que chega nas usinas, sendo assim, tida com base nos tipos de componentes que predominam no resíduo [22].

No Brasil, o Conselho Regional do Meio Ambiente (CONAMA) sugere que para a triagem dos resíduos, e posteriormente a reciclagem, a classificação seja tida segundo a resolução nº307 do ano de 2002, que classifica o RCD em:

Classe A: todos resíduos que podem ser reutilizáveis ou recicláveis, como agregados compostos por diversos materiais de origem mineral, como por exemplo, produtos à base de cimento como blocos, concretos, argamassas, e produtos cerâmicos como tijolos, telhas etc;

Classe B: todos resíduos que podem ser recicláveis para outras destinações, como por exemplo, plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, asfaltos e outros.

Classe C: todos resíduos sem tecnologia de reciclagem disponível, como por exemplo, o resíduo do gesso.

Classe D: todos resíduos considerados perigosos, como por exemplo, tintas, solventes, óleos e outros.

Após ser feita a classificação e triagem do resíduo, inicia-se o processo de reciclagem. Basicamente a técnica para reciclar o RCD consiste em tritura-lo até obter um agregado em dimensões desejadas [27]. A quantidade de vezes que esse resíduo deve ser britado, varia de acordo com granulometria desejada da partícula.

O equipamento geralmente utilizado para essa britagem é o triturador mecânico de entulho, o mesmo permite que a reciclagem seja feita no próprio canteiro de obras, dispensando o transporte para usinas de reciclagem.

Porém, há outros tipos de equipamentos para a mesma finalidade, como o britador de impacto, que realiza a britagem do resíduo em uma câmara de impacto através do choque de martelos e pelo choque de placas de impacto fixas; britador de mandíbulas, que tritura o resíduos através da compressão, porém como não é capaz de reduzir muito a dimensão do grão, é mais utilizado para produzir grãos com maiores granulometria; e o moinho de martelos, mais utilizado com britador secundário, pois tem a capacidade de triturar em menor quantidade e utilizado para produzir agregado com menor granulometria.

Algumas características do RCD, são afetadas pelo modo e equipamento realizado na reciclagem, como o teor de impurezas, a granulometria, forma, resistência dos grãos, entre outros. Porém, não há um tipo de britador que apresente melhor resultado, por isso recomenda-se ajustar os processos de reciclagem, a fim de obter melhores resultados técnicos e econômicos [28].

1.3 Característica dos resíduos de construção e demolição

Os agregados de RCD tem as propriedades amplamente variáveis, pois são materiais compostos por diferentes composições possíveis, ou seja, o concreto que inclui agregados de concreto tem propriedades distintas daquelas feitas com agregados de cerâmica, entre outros fatores, como a granulometria, absorção de água e a densidade, que afetam nas características mecânicas e durabilidade do concreto [29].

Ao utilizar o RCD como agregado na produção do concreto, como substituição total ou parcial pelo agregado comum, denomina-se o concreto como concreto reciclável [30].

Pode-se dizer que os agregados de RCD são mais porosos que os naturais [31] estando relacionada diretamente à existência da pasta de cimento endurecida e cerâmica [21]. Dessa forma, afetando diretamente na resistência mecânica de qualquer sólido, incluindo o concreto [32; 33].

Antes de avaliar as características mecânicas e de durabilidade dos concretos recicláveis, é importante avaliar alguns requisitos dos agregados de RCD, como por exemplo, os valores de densidade, absorção de água, teor contaminante e granulometria.

1.3.1 Densidade

A densidade é determinada por meio da relação entre o valor da massa do material e seu volume [8]. Os agregados reciclados apresentam em sua maioria uma densidade menor, quando comparado aos agregados naturais. Isso se justifica pela presença de pasta de cimento mais porosa e menos densa ligada ao agregado natural, no caso das partículas cimentícias, ou pela presença de materiais mais leves, como a cerâmica vermelha [34].

É importante frisar, que ambas grandezas, densidade e absorção, podem ser correlacionadas, pois são influenciadas diretamente com o volume de vazios (poros) dos agregados [35].

1.3.2 Absorção de água

O RCD absorve um percentual muito elevado de água em comparação ao agregado natural [36] pois a presença da pasta de cimento e da cerâmica ocasionam uma porosidade nesse agregado reciclado [37; 38; 39]. Pode-se dizer que essa é uma das características que mais difere o agregado natural do agregado de RCD.

Os agregados reciclados de concreto, tem taxas de absorção de água mais significativas nos agregados miúdos do que graúdos, pelo fato do maior teor de argamassa ser aderido aos grãos do agregado miúdo [39;40]. Além da granulometria, a absorção também está relacionada diretamente com a porosidade dos componentes do resíduo, ou seja, quanto

maior a porosidade, maior a taxa de absorção, sendo assim, pode-se considerar que os agregados de alvenaria absorvem mais água do que os de concreto.

Dessa forma, o agregado RCD por apresentar um maior teor de absorção de água, pode afetar de maneira negativa na durabilidade do concreto e argamassa, e dificultar a trabalhabilidade no estado fresco dos mesmos.

1.3.4 Teor de contaminantes

Quando se menciona o teor de contaminantes no RCD, pode considerar todos materiais não inertes, ou qualquer outro tipo que irá prejudicar a qualidade do concreto ou argamassa produzidos com agregado de RCD [22]. Como por exemplo, os cloretos, sulfatos, matéria orgânica e produtos industrializados, sendo esses: papéis, plástico, tecido, borracha, além também de vidro, betume, vegetação, terra, gesso, madeira e outros.

As impurezas ou contaminantes presentes no RCD, podem provocar efeitos negativos na durabilidade e nas propriedades mecânicas do concreto reciclado. Por isso, a retirada desse material deve ser feita assim que detectado sua presença, apesar de não ser considerado um processo fácil e nem econômico, mas considerado de extrema necessidade para preservar a qualidade do concreto produzido com RCD.

Dentre os contaminantes, o que mais prejudica o concreto reciclado é o gesso, pois o mesmo é responsável pela expansão do concreto ou argamassa, devido a presença do sulfato, por isso que em todas as normas é estabelecido limites rigorosos ao conteúdo de sulfatos [41].

1.3.5 Granulometria

Por fim, a análise da granulometria dos grãos também se faz importante, pois determina as características de concreto e argamassa, influenciando na trabalhabilidade, resistência mecânica, permeabilidade, consumo de aglomerantes, absorção de água, etc.

Para os agregados reciclados, a granulometria pode ser determinada de acordo com o tamanho que o resíduo será processado, o equipamento utilizado, entre outros fatores [41].

De forma geral, os agregados de RCD apresentam uma distribuição granulométrica diferente da resultante do agregado natural, pois há uma diferença entre a granulometria dos agregados, onde apresentam composição e dureza distintas [37].

Sendo assim, pode-se afirmar que os agregados reciclados de concreto apresentem curvas granulométricas similares aos agregados naturais, e não sendo afetado pela resistência do concreto comum (produzido com agregado natural) [27]. Porém, quando se trata dos agregados reciclados de alvenaria, mesmo que haja modernas centrais de reciclagem, obter um produto final da britagem que seja semelhante a granulometria do agregado natural [42].

Entretanto, por haver presença de pasta de cimento aderida no RCD, a superfície do agregado torna-se mais rugosa, e devido à grande quantidade de rochas britadas, é mais angular, diferentemente do agregado natural, que pode ser considerado com granulometria equidimensional.

A forma dos grãos do agregado, afetam diretamente no empacotamento, trabalhabilidade e volume de água que será necessário para produzir concreto ou argamassa, pois quanto melhor o formato e mais equidimensional mais fácil sua utilização [43].

1.4 Característica do concreto com agregado de RCD

Assim como os agregados reciclados apresentam características distintas do agregado natural, o concreto reciclado também se difere do concreto comum, em geral o grau de diferença está relacionado ao tipo e qualidade do agregado reciclado.

As características modificadas ao adotar o uso do RCD como agregado na produção do concreto são: resistência mecânica, porosidade e permeabilidade, absorção de água, entre outros [41].

1.4.1 Resistência à compressão

O concreto reciclado, no estado endurecido apresenta uma resistência à compressão, geralmente menor ou igual ao concreto convencional. Entretanto, a diferença entre os concretos, pode variar de acordo com o tipo e qualidade do agregado e o consumo de cimento.

Há uma variedade de estudos que comparam a resistência entre os concretos reciclado com os concretos convencionais, porém, não apresentando um resultado uniforme e não coincidentes [44]. Encontra-se estudos que apresentem em cerca de 40% na queda da resistência e outros estudos que relatam até 8,5% de aumento na resistência.

Sendo assim, para que haja uma comparação satisfatória, é necessário saber quais os parâmetros se mantêm constantes e quais materiais se compara, não pode considerar para todos os casos os resultados obtidos, pois sempre serão situações bem específicas.

1.4.2 Absorção de água e permeabilidade

O fato de o agregado reciclado absorver um valor maior de água em comparação ao agregado comum, influencia conseqüentemente que o concreto reciclado apresente um maior consumo de água durante a mistura. Além da heterogeneidade presente no agregado reciclado, que dificulta o controle de consistência do mesmo [38].

A permeabilidade pode ser relacionada à absorção e durabilidade do concreto, uma vez que a penetração de água é considerada uma das condições para que ocorra alguns mecanismos de deterioração seja efetivado [27]. Dessa forma, pode-se afirmar que os concretos reciclados tendem a ser menos duráveis.

1.4.3 Porosidade

Por serem mais porosos, o agregado de RCD tem a maior facilidade de fragmentar, e conseqüentemente, diminuindo a resistência à esforços mecânicos ou de abrasão [37].

Partindo desse pressuposto, o aumento da porosidade e a fraca ligação entre o agregado e a matriz, são responsáveis por essa redução de resistência do concreto reciclado. Porém, se a porcentagem de substituição do agregado reciclado por agregado natural for pequena, pode afetar menos no desempenho do concreto [36; 12].

1.5 Tratamento superficial pré-saturação

Com a finalidade de proporcionar melhorias nas características dos RCD, e consequentemente dos concretos produzidos com o mesmo, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, utiliza-se técnicas de tratamentos superficiais. Nesta pesquisa, uma das técnicas de tratamento superficial utilizada é a de pré-saturação do RCD.

Vários autores recomendam o uso do RCD em condição saturada, a fim de evitar que o mesmo retire água da pasta, devido à elevada absorção dos reciclados [27; 39; 45; 46; 28]. Entretanto, o grau de saturação influencia nas propriedades do concreto reciclado [44].

Ao aumentar o consumo de água, para que a mistura de concreto ou argamassa, atinja a trabalhabilidade adequada, influencia diretamente a porosidade, e a superfície específica das partículas. A existência dessa correlação, se dar pelo fato que grande parte dos poros estão interligados com a superfície dos agregados e são permeáveis [48].

A saturação é feita a fim de compensar a água absorvida pelo agregado reciclado, em contrapartida, ao fazer a saturação completa do agregado de RCD, pode afetar o desempenho mecânico do concreto no estado endurecido, ocasionando a exsudação da água [12; 48].

Em mistura de cimento com agregado reciclado, mesmo que haja adesão entre a nova matriz cimentícia e a pasta remanescente da partícula, o fato de a mistura demandar uma quantidade maior de água, ocasiona a redução da resistência mecânica do concreto reciclado [49].

Ao saturar parcialmente o RCD, nota-se a formação de uma interface pasta-agregado mais consolidada, que resulta na melhoria das propriedades mecânicas do concreto, porém não há como afirmar a quantidade exata de água necessária para a pré-saturação dos agregados reciclados [50].

Diante do exposto, recomendam-se que valores intermediários para essa pré-saturação, entre 80% e 90%, evitando a perda de consistência do concreto nos primeiros 10 a 30 minutos da mistura, e estabelecendo uma quantidade mais exata de água absorvida pelo agregado [34].

1.6 Tratamento superficial com hidrofugante

A segunda técnica de tratamento superficial utilizada nesta pesquisa, é a aplicação de aditivo hidrofugantes, que visa reduzir parte dos efeitos negativos do RCD, e

consequentemente do concreto produzido com o mesmo. Essa técnica visa em especial, reduzir o aumento da absorção de água do agregado reciclado, diminuindo o aumento da demanda de água para alcançar uma dada condição de trabalhabilidade.

É importante frisar, que essas melhorias estão relacionadas apenas às condições reológicas e não comprometem a redução da porosidade presente no RCD.

Ao molhar uma superfície, o líquido tende a entrar pelos capilares devido a tensão superficial, que se resulta de duas forças opostas, a de adesão e a força coesiva [52]. A capilaridade depende de parâmetros físicos, entre o líquido e um sólido, como por exemplo, o ângulo de contato, rugosidade e tensão superficial [52].

Sendo assim, os hidrofugantes podem ser utilizados para impedir que haja penetração de cloreto no concreto, de tal forma que, ao inserir o mesmo nos poros do concreto se forma uma camada que impede a entrada de líquido (mas não impede a entrada e saída de vapor de água).

Os aditivos hidrofugantes encontrados atualmente no mercado são todos sílico-orgânicos. Os silanos são hidrofugantes incolores, caracterizados de acordo com o tamanho das moléculas, reatividade e solubilidade em água e solvente orgânico [8].

Ao revestir a superfície do agregado reciclado com emulsão de silano, a fim de proteger dos agentes externos, resulta-se em uma diminuição a absorção de água, aumento da durabilidade do concreto e proteção da armação de aço [10].

Para que haja uma vantajosa adesão entre o hidrofugante e o substrato, deve-se levar em conta a molhabilidade, onde a emulsão deve molhar adequadamente o mesmo. Isso acontece quando a tensão superficial do substrato é maior que a tensão superficial do líquido, e quando há uma baixa viscosidade do líquido para que possa fluir [53].

Entretanto, muitas das superfícies de cerâmica e minerais, apresentam a tensão superficial maior do que dos líquidos. Dessa forma, a absorção das emulsões com hidrofugantes sobre a superfície do substrato pode exercer forças de adesão acima da resistência de coesão do silano.

Os silanos possuem grupos funcionais químicos que ao reagirem com os grupos silanóis resultam em uma adesão ao substrato, que podem ser feitas por ligações covalentes [54].

A reação é feita em quatro etapas, ocorrendo primeiro a hidrólise dos grupos caracterizados como hidrolisáveis, logo após, ocorre a condensação para oligômeros, que fazem as ligações de hidrogênio com os grupos OH do substrato, e por fim, acontece a etapa da secagem, que é formada por uma ligação covalente no substrato e há perda de água [8].

Na etapa da secagem, quando a superfície do substrato tratada é aquecida em até 120°C, por um período de 30 a 90 minutos, acontece as ligações covalentes. Os estudos que comparam as propriedades de vários laminados de poliéster tratados com silano, e observase que a secagem à 110°C tem melhor desempenho do que nos tratados em temperatura ambiente, e à temperatura de 160° tem menor desempenho [54].

Há três diferentes técnicas de tratamento superficial que tem a finalidade de simular, em laboratório, o tratamento em escala industrial, são elas: Aspersão, gotejamento e imersão [8].

A técnica de aspersão, busca simular uma condição industrial, aspergindo os agregados sob os transportadores de correia, na própria usina de reciclagem, a segunda técnica, é o gotejamento no agregado, por meio de um misturador de eixo vertical ou betoneira, antes da mistura dos demais materiais durante a dosagem do concreto, pôr fim a última técnica, o tratamento consiste em imergir as amostras em emulsão de silano, essa técnica requer uma instalação adicional, na usina de reciclagem ou na usina de concreto.

1.6 Referências Bibliográficas

- [1] J. A. FERREIRA; L. A. ANJOS, Cad. Saúde Pública **17**, 3 (2011), 689-696.
- [2] V. M. JOHN; V. AGOPYAN, Reciclagem de resíduos na construção. In: Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da USP (PCC USP), 2001.
- [3] CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, prescrito na resolução nº307. 2002.
- [4] J. A. PASCHOALIN FILHO; G. ORCIOLLI. Viabilidade econômica de utilização de resíduos de construção e demolição reciclados em usinas de reciclagem. In: SEMEAD – Seminário em Economia e Administração, São Paulo, 2013.
- [5] X. Duran, H. Lenihan, B. O'Regan, Resources, Conservation and Recycling **46**, 3 (2006) 302.

- [6] UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, SIDNEY (UTS). Recycled construction and demolition materials for use in roadworks and other local government activities. University of technology, 1999.
- [7] G. J. GONZÁLEZ; R. D. ROBLES; J. A. VALDÉS; J. M. POZO; I. M. ROMERO. *Materials* **7**, 9 (2014), 6224-6236.
- [8] F. S. WINNIE, “Tratamento superficial dos agregados reciclados RCD com hidrofugantes”, Tese Me., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2016) 166p.
- [9] M. MEDEIROS; P. R. DO L. HELENE. *Materials and Structures* **41**, 1 (2008) 59-71.
- [10] Y. G. ZHU; S. C. KOU; C. S. POON; J. G. DAI; Q. Y. LI; *Cement and Concrete Composites* **35**, 1 (2013) 32-38.
- [11] R. S. MOTTA; “Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego”. Tese Me., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2005) 134p.
- [12] M. B. LEITE; “Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição”. Tese Dr., Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2001) 270p.
- [13] E. VAZQUEZ. *Ibracon* **4**, 206 (2001) 11-21.
- [14] A. M. BUTTLE, “Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade da reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados”. Tese Me. Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos (2003) 220p.
- [15] U. E. L. SOUZA; J. C. PALIARI; A. C. ANDRADE; V. AGOPAN. “Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito” in: simpósio nacional – desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. São Paulo 1999. 48 p.
- [16] E. VÁZQUES; M. BARRA. “Recycling of aggregates in the construction industry” in: Cib symposium in construction and environment: theory into practice, São Paulo, Brazil. 2000. 8p.
- [17] J. DA C. MARQUES NETO; V. SCHALCH. *Revista Engenharia Civil* **36**, (2010) 41-50.
- [18] G. L. VIEIRA. “Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição”. Diss. Me. Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2003. 151p.

- [19] S. M. LEVY. “Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos, Produzidos Com Resíduos de Concreto e Argamassa” Tese Me. Escola Politécnica Universidade de São Paulo 2001. 208p.
- [20] G. L. VIEIRA; D. C. C. DAL MOLIN. Ambiente Construído **4**, 4 (2004) 47-63.
- [21] S. C. ÂNGULO. “Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclado”. Diss. Me. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo 2000. 155p.
- [22] R. A. J. LIMA. “Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos”. Diss. Me. Universidade de São Paulo 1999. 240p.
- [23] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 10004, “Resíduos sólidos – Classificação”, Rio de Janeiro (2004).
- [24] S. M. LEVY. “Reciclagem de entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas”. Diss. Me. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 1997. 146p.
- [25] M. TORRING. “Management of construction and demolition waste streams”. In: materials and technologies for sustainable construction – cib world building. Gävle, Sweden 1998. 1911–1918p.
- [26] P. V. FILHO; J.S. CORDEIRO. “Construction solid waste and urban drainage: a problem to be solve”. In: Cib symposium in Construction and environment: theory into 200. 12p.
- [27] T. C. HASEN. “Recycling of Demolished Concrete and Masonry”. In: Taylon & Francis 1 ed. London (1992).
- [28] CUR. Commissie Voor Uitvoering Van Research. Rapport 125. Holanda 1998.
- [29] J. BRITO; A. PEREIRA; J. CORREIA. Cem. Concr. Compos. 27 (2005) 429-433p.
- [30] T. C. RILEM. Materials and Structures 27 (1994) 557-559p.
- [31] M.C. LIMBACHIYA; K. R. DHIR; T. LEELAWAT. Materials and structures **33**, 9 (200) 574-580p.
- [32] P. K. METHA; P.J.M. MONTEIRO. “Concreto: estrutura, propriedades e materiais”. In: IBRACON 4 ed. São Paulo (2008).
- [33] R. KUMAR; B. BHATTACHARJEE. Cement and Concrete Research **33** (2003) 155-164p.

- [34] S. ÂNGULO; A. FIGUEREIDO. “Concreto: Ciência e Tecnologia”. In: G. C. Isaia 1 ed. São Paulo (2011).
- [35] M. S. JUAN; P. A. GUTIÉRREZ. *Construction and Building Materials* **23**, 2 (2009) 872-877p.
- [36] J. BRITO; N. SAIKA. “Recycled Aggregate in Concrete: Use of Industrial, Construction and Demolition Waste”. In: Springer Science 1 ed. London (2013).
- [37] S. NAGATAKI. *Cement and Concrete Research* **34**, 6 (2004) 965-971p.
- [38] F. T. PACHECO. “Handbook of recycled concrete and demolition waste”. In: Woodhead Publishing Limited 1. Ed. Cambridge (2013).
- [39] B. P. J. VIEIRA; J. R. CORREIA; J. BRITO. *Cement and Concrete Research* **41**, 5 (2011) 533-541p.
- [39] S. HASABA; M. KAWAMURA; K. TORIUK. “Drying shrinkage and durability of concrete made of recycled concrete aggregates”. In: Translation of the Japan Concrete Institute (1981) 55-60p.
- [40] C. T. HANSEN; H. NARUD. *Concrete International* **5**, 1 (1983) 79-83p.
- [41] J. A. R. LIMA. “Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos”. Diss. Me. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (1999) 240p.
- [42] R. R. SCHULZ; HENDRICKS. “Recycling of masonry rubble. Recycling of demolished”. In: E&FN Spon 2. ed. Londres (1992).
- [43] T. C. HANSEN. *Materials and Structures* **19**, 3 (1986) 201-246p.
- [44] M. BARRA. “Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado em su aplicación como hormigón armado”. Tese Dr. Universitat Politècnica de la Catalunya. Barcelona, (1996) 223p.
- [45] C.R. ANDRADE; C. J. ROCHA; JR. PRUDÊNCIA; L. R. CHERIAF. “Aproveitamento do entulho da construção civil como agregado para concreto”. In: II simpósio internacional de qualidade ambiental, PURGS (1998) 139-143p.
- [46] B. B. J. ONSECA; J. S. COSTA; W. CONCIANI. “Aproveitamento do entulho da construção civil como agregado para concreto”. In: II simpósio internacional de qualidade ambiental, PURGS (1998) 95-99p.

- [47] G. HAWLITISCHEK. “Caracterização das propriedades de agregados miúdos reciclados e a influência no comportamento reológico de argamassas”. In: universidade de São Paulo (2013).
- [48] C. S. POON. Cement and Concrete Research **34**, 1 (2004) 31-36p.
- [49] C. S. POON; Z. H. SHUI; L. LAM. Construction and Building Materials **18**, 6 (2004) 461-468p.
- [50] M. OLIVEIRA; E VAZQUEZ. Waste Management **16**, 1-3 (1996) 113-117p.
- [51] G. BARNES; I. GENTLE. Interfacial Science **2** (2011)
- [52] D. OR; M. TULLER. “Capillarity”. In: Encyclopedia of Soils in the Environment. 1. ed. (2005) 155-164p.
- [53] I. Newton. “A treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light”. In: Opticks 1 ed. (2015).
- [54] E. PLUEDDEMANN. “Silane couplinh agentes”. In: Springer 2. ed. New York, (1991).

2 OBJETIVOS

GERAL

A pesquisa tem como objetivo avaliar as diferentes técnicas de tratamentos superficiais no RCD, a fim que de haja melhoria nas características do RCD e consequentemente nos concretos produzido com o mesmo.

ESPECÍFICOS

Serão realizadas as seguintes abordagens:

- Comparar as características do RCD com e sem a aplicação das técnicas de tratamentos superficiais;
- Avaliar o desempenho do concreto reciclável, quando submetido a diversos ensaios laboratoriais.

3 CÁPITULO I

(Normas de acordo com a revista Cerâmica)

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE TRATAMENTO EM RCD PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS

Use of RCD treatment techniques for the production of sustainable concrete

RESUMO

O reaproveitamento dos resíduos de construção civil e demolição (RCD) trata-se de uma medida mitigatória para o controle dos problemas ambientais causados pela elevada geração de resíduos nas obras de construção civil. A utilização do RCD em substituição de materiais convencionais na produção de materiais cimentícios tem mostrado resultados satisfatórios no que tange ao comportamento reológico e mecânico dos mesmos. Faz-se ainda necessário o aumento do percentual de reaproveitamento destes resíduos para uma maior contribuição com o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de estudar diferentes técnicas de tratamento superficial no RCD para a produção de concretos sustentáveis, visando a melhoria das características dos resíduos. Foi utilizado um procedimento experimental a partir da produção de concretos com agregados naturais e agregados reciclados com e sem tratamento. As técnicas de tratamento empregadas foram: pré- saturação e aspersão de aditivo hidrofugante. Os corpos de prova foram avaliados quanto à trabalhabilidade, resistência mecânica à compressão e tração, e absorção de água por capilaridade e imersão. Foi observado que a absorção de água no concreto com RCD, diminuiu, quando utilizado uma das técnicas de tratamento, em comparação ao não tratado, com o tratamento do RCD também notou-se uma melhora na trabalhabilidade do concreto no estrado fresco com RCD, em comparação ao não tratado. Na resistência à compressão o concreto com RCD tratado teve um melhor resultado do que o não tratado.

Palavras-chaves: Agregado reciclado; Concreto reciclado; Tratamento em RCD.

ABSTRACT

The reuse of civil construction and demolition waste (CDW) is a mitigation measure for the control of environmental problems caused by the high generation of waste in civil construction works. The use of RCD to replace conventional materials in the production of cementitious materials has shown satisfactory results in terms of their rheological and mechanical behavior. It is also necessary to increase the percentage of reuse of these wastes for a greater contribution to sustainable development. In this context, this work aims to study different surface treatment techniques in RCD for the production of sustainable concrete, aiming to improve the characteristics of waste. An experimental procedure was used from the production of concrete with natural aggregates and recycled aggregates with and without treatment. The treatment techniques used were: pre-saturation and spraying of a water repellent additive. The specimens were evaluated for workability, mechanical

resistance to compression and traction, and water absorption by capillary action and immersion. It was observed that the absorption of water in the concrete with RCD, decreased, when using one of the treatment techniques, compared to the untreated one, with the treatment of RCD it was also noted an improvement in the workability of the concrete on the fresh bed with RCD, in compared to untreated. In compressive strength, the concrete with treated RCD had a better result than the untreated one.

Keywords: Recycled aggregate; Recycled concrete; Treatment in RCD.

INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das indústrias que mais consomem recursos naturais e conseqüentemente umas das que mais gera resíduos sólidos de construção e demolição no mundo [1]. No Brasil são gerados em cerca de 180 a 250 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), e estima-se que a geração dos resíduos sólidos construção civil e demolição (RCD) seja na ordem de 68,5 x 10 t/ano [2,3].

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente [4] é possível classificar o RCD como resíduos de classe A, aqueles materiais que podem ser triturados, reutilizados ou reciclados, os mesmos não podem ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, por isso a disposição final adequada é em aterros inertes, ou a reciclagem. Recomenda-se a reciclagem como melhor opção, pois é também uma forma de contribuir para o desenvolvimento sustentável, e gerar novos produtos a serem comercializados para a construção civil.

Observa-se, no entanto, que as incertezas relacionadas ao comportamento do concreto nos estados fresco e endurecido quando se utiliza agregados reciclados dificulta a aceitação da técnica por parte da indústria da construção civil. Tais incertezas estão relacionadas a heterogeneidade do material, bem como às características intrínsecas de cada tipo de resíduo. Os agregados reciclados de resíduos de concretos possuem em sua superfície um percentual de argamassa residual porosa, menos densa e com uma zona de transição interfacial (ITZ) entre a argamassa e o agregado que varia de acordo com a quantidade e tamanho do agregado reciclado, ocasionando alteração nas propriedades do concreto [1].

Portanto, devido a sua composição, o agregado reciclado de concreto possui maior porosidade que agregados naturais e conseqüentemente um maior consumo de água no concreto. Devido ao aumento na taxa de absorção de água causado ao utilizar o RCD, podem influenciar também no desenvolvimento mecânico do concreto, fazendo-se necessário o uso de tratamentos superficiais. Em geral esses agregados, possuem propriedades bastante variáveis, o que pode variar ainda mais de acordo com o tratamento recebido [5].

As técnicas de tratamentos superficiais visam amenizar os problemas associados à porosidade causada pelo RCD no concreto, a fim de proporcionar melhores condições nas propriedades físicas e mecânicas do concreto reciclável. De forma geral, as técnicas buscam impedir a absorção da água de emassamento por parte do agregado, o que comprometeria a trabalhabilidade e o processo de hidratação do cimento Portland, pois o agregado quando é utilizado seco, a alta demanda de água que o mesmo absorve expulsa o ar dos poros ocasionando bolhas de ar na mistura e enfraquecendo a ITZ [6] Neste trabalho optou-se pelo tratamento de aspersão com aditivo hidrofugante e a técnica de pré-saturação do RCD.

Ao tratar a superfície de agregados com material hidrofugante a mesma apresenta melhor trabalhabilidade no estado fresco [7]. Pois, o tratamento com hidrofugante dificulta que a superfície se molhe, conseqüentemente reduzindo a água necessária para moldar concretos e argamassas, de tal modo a evitar as bolhas que se formam na mistura, melhorando a ITZ e as propriedades mecânicas do concreto.

De acordo com os autores [8] recomenda-se a pré-saturação do agregado para compensar a água absorvida, levando em consideração o valor da absorção no período de 24 horas, ou parte desse valor, para ser apenas parcialmente saturado [9]. Porém com o emprego dessa técnica, não é possível garantir que a relação água/cimento determinada para o concreto com agregado natural, seja mantida no concreto produzido com agregado de RCD. Ao fazer a pré-saturação, a água tem a possibilidade de migrar para a matriz durante o processo de mistura, elevando a relação a/c e causando o enfraquecimento da ITZ entre pasta/agregado, podendo ocasionar ainda a hidratação retardada do cimento [10].

A partir desses pressupostos, este estudo tem como objetivo avaliar as técnicas de tratamento superficial para os resíduos de concreto, a fim de reduzir uma das maiores problemáticas que este resíduo ocasiona no concreto, sendo esta, o consumo elevado de absorção de água e também de suas propriedades físicas. Sendo assim, o enfoque deste tema justifica-se pela importância para que o concreto reciclável possa ser mais habitualmente utilizado no mercado de construção civil, além de contribuir para a consolidação do que se entende por crescimento sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo desta pesquisa baseou-se na avaliação dos tratamentos superficiais para melhoria do agregado de RCD de concreto. Foram produzidos quatro diferentes traços de concreto para um estudo comparativo de concretos com agregados natural e reciclado com e sem tratamento. Os tratamentos adotados foram: pré-saturação por 24 horas e aspersão com aditivo hidrofugante.

Materiais

O material cimentício utilizado foi o Cimento Portland II- F32, com adição de fíler calcário, em teor 6 a 10%. Esse material foi caracterizado a partir da determinação de sua massa específica, em conformidade com a norma [32] obtendo-se o valor de 3.03 g/cm³.

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural, a qual foi caracterizada de acordo com as normas brasileiras pertinentes a seguir: [33] e [34], cujo os resultados estão apresentados na Tabela I.

Tabela I- Caracterização agregado miúdo
[Table I- Small aggregate characterization]

Dimensão (mm)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)
0,6 < d ≤ 2	2,5	1,49

¹ - ABNT NBR NM 52:2009; 2 - ABNT NBR NM 45:2006.

Para a caracterização dos agregados graúdos seguiu-se as recomendações a norma brasileira [35]. Os valores estão presentes na Tabela II.

Tabela II- Caracterização agregado graúdo
[Table II- Coarse aggregate characterization]

Dimensão (mm)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)	Absorção (%)
4,8 < d ≤ 9,5	2,75	1,56	1,18

² - ABNT NBR NM 6458:2017.

Para ser feita a reciclagem dos resíduos a fim de utilizar como agregado, precisa ser feita a britagem, o peneiramento e remoção dos materiais que possam ser contaminantes [11].

Desse modo, os resíduos utilizados na pesquisa, foram produzidos a partir de corpos de prova (CP) de concreto passando por um processo de trituração no triturador mecânico de entulho (Figura 01 e 02), posteriormente realizou-se o peneiramento, selecionando os grãos passantes na peneira de 9,5 mm e retidos na peneira de 4,8 mm, equivalente as dimensões da brita utilizada no concreto produzido com agregados naturais.



Figura 1: Triturador de entulho
[Figure 1: Rubble crusher].



Figura 2: Triturador de entulho
[Figure 2: Rubble crusher].

Foi observado, após o processo de trituração, que os agregados reciclados apresentavam formatos mais angulares (Figura 03); em contraposição ao formato predominantemente cúbico dos agregados naturais. O formato do agregado possui influência direta na trabalhabilidade, empacotamento e quantidade de água de amassamento para o concreto [31].



Figura 3: Agregado de RCD

[Figure 3: DRC aggregate]

Os teores de absorção de água dos agregados reciclado e natural, determinado em conformidade com as recomendações da norma brasileira [30], foram respectivamente 4,9% e 1,18%. Os resultados obtidos estão em concordância com a literatura [12], que retrata que o agregado reciclado possui maior porosidade em função da argamassa residual que envolve o agregado que de fato influenciam diretamente na absorção de água.

Métodos

A pesquisa baseou-se na comparação de um concreto referência, produzido com agregados naturais, com concretos sustentáveis, produzidos a partir da com substituição parcial de 40% e 60% do agregado graúdo natural pelo agregado reciclável, com diferentes formas de tratamento.

O procedimento experimental foi tido conforme ilustrado na Figura 4, onde foram confeccionados 15 corpos de prova cilíndricos de dimensões 10cmx20cm, de acordo com a norma [29]. Para produção do traço foi definido: um traço referência com agregado natural, um traço com substituição parcial de 40% (C40%S) outro com substituição parcial 60% de agregado reciclado seco (C60%S), um traço com substituição parcial de 40% (C40%W) e outro com substituição parcial 60% de agregado reciclado pré- saturado (C60%W), um traço com substituição parcial de 40% (C40%H) e outro com substituição parcial 60% de agregado reciclado com aspersão do aditivo hidrofugante (C60%H).

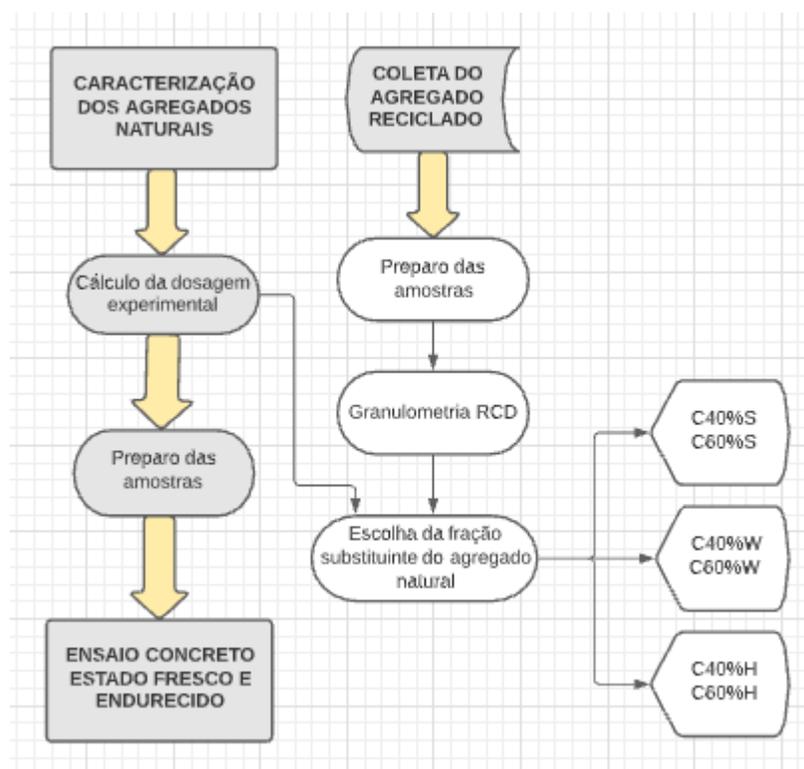


Figura 4: Projeto experimental definido para o estudo
[Figure 4: Experimental design defined for the study].

A dosagem experimental foi feita pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), por meio do qual obteve-se um traço inicial de 1: 1,54: 1,54 :0,45 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: a/c). Este mesmo traço foi utilizado para a produção do concreto referência e dos concretos recicláveis, realizando-se, no entanto, a variação da relação a/c para a correção do abatimento, o qual foi definido em 130mm ± 10mm. A Tabela III apresenta a quantidade de material empregado para produção de 15 CPs de cada concreto mencionado.

Tabela III- Quantidade de material

[Table III- Quantity of material]

TRAÇO	Cimento (Kg)	Agregado Graúdo (Kg)	Agregado Reciclado (Kg)	Condição do agregado
C _{Ref.}	14,05	21,70	-	Natural
C40%S	14,05	13,02	8,68	Seco
C60%S	14,05	8,68	13,02	Seco
C40%W	14,05	13,02	8,68	Pré-Saturado
C60%W	14,05	8,68	13,02	Pré-Saturado
C40%H	14,05	13,02	8,68	Aditivo Hidrofugante
C60%H	14,05	8,68	13,02	Aditivo Hidrofugante

A absorção de água do RCD em 24 horas, pode-se atingir até 80% de absorção, sendo assim, nesse tempo pode-se prever a quantidade adicional de água necessária para a mistura do concreto [13]. Partindo desse pressuposto, a pré-saturação do RCD se deu através da imersão do agregado na água por um período de 24 horas a fim de saturar totalmente e eliminar qualquer excesso de água na superfície do mesmo.

Para o agregado reciclado, sem nenhum tratamento superficial, foi colocado na estufa por 24 horas, com os demais agregados naturais, e após retirado da estufa, esperou-se atingir a temperatura ambiente para produção do concreto.

A técnica de tratamento superficial com aplicação do aditivo hidrofugante tem o objetivo de reduzir a permeabilidade dos agregados de RCD por hidrofugação do sistema capilar [14]. O agregado quando substituído por RCD no concreto tende a elevar a absorção de água, prejudicando a trabalhabilidade do mesmo. Por isso, a fim de melhorar essa condição no estado fresco, e também reduzir os efeitos negativos que o mesmo poderia ocasionar no estado endurecido usa-se o aditivo hidrofugante.

A emulsão para aspergir o RCD foi feita seguindo as recomendações da ficha técnica do hidrofugante TECPLUS 1 da marca Quartzolit e de acordo com a quantidade de absorção do RCD. Dessa forma a solução produzida foi de acordo com a equação A e B.

$$\text{Massa seca} \times \text{Absorção do RCD\%} = \text{Massa de água para Tratamento (A)}$$

$$\frac{1 \text{ litro de aditivo}}{100 \text{ quilos de RCD}} = \frac{x \text{ litro de aditivo}}{x \text{ quilos de RCD}} \quad (\text{B})$$

O tratamento com aditivo hidrofugante se deu por meio de aspersão da solução hidrofugante e água, para **simular uma condição** industrial na qual o agregado reciclado é tratado por aspersão, sob os transportadores de correia, na própria usina de reciclagem, até atingir a condição de molhabilidade superficial. A molhabilidade é a capacidade de um líquido se espalhar por completo em um sólido, dessa forma, uma superfície é considerada molhada, quando o líquido se espalha por essa superfície sem formar gotículas [15].

As amostras de RCD foram dispostas em bandejas (35x50cm) e foram tratadas através de aspersão da emulsão em três ciclos consecutivos. Após o primeiro ciclo, o material foi revirado com uma espátula e as aplicações subsequentes executadas em regiões não tratadas anteriormente.

Após aplicado a emulsão, o RCD foi colocado na estufa à uma temperatura de 110°C. Já que os estudos comprovam que a secagem à 110°C tem melhor desempenho do que nos tratados em temperatura ambiente [54]. 98o

Ensaio Estado Fresco

Para determinar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone, seguindo as recomendações da norma [28]. O abatimento foi definido no valor de 130mm ±

10mm para todos os traços e quando necessário realizou-se correção do fator a/c para atingir o abatimento definido para todos os traços.

Ensaio Estado Endurecido

Após o ensaio do concreto no estado fresco, os CPs foram moldados, e ao completar 24 horas, foram submetidos a cura submersa.

Ao atingir 7 e 28 dias de cura, respectivamente, foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial dos CP de acordo com a norma [27] utilizando-se uma prensa hidráulica com a capacidade máxima de compressão de 200tf.

Aos 28 dias, seguindo as recomendações da norma [26] realizou-se o ensaio de absorção por imersão, que determina o índice de vazios e massa específica, relacionados à porosidade do concreto.

O ensaio foi realizado para cada traço após a cura de 28 dias. Foram colocados em estufa há uma temperatura de $\pm 105^{\circ}\text{C}$, e medido as massas secas por 24, 48 e 72 horas. Posteriormente, as amostras foram retiradas da estufa, resfriadas a temperatura ambiente e imersos em água, por 72 horas. Realizou-se novamente as medidas de massa com uma balança hidrostática da amostra imersa em água, e medido fora da água em condição saturada.



Figura 5: Absorção por imersão
[Figure 5: Absorption by immersion]

Para o ensaio de absorção por capilaridade seguiu-se as recomendações da norma brasileira [16]. Após completar 28 dias de cura, foram retiradas 4 amostras de corpo de prova de cada traço, colocados na estufa. Após 72 horas as amostras foram retiradas da estufa, resfriadas a temperatura ambiente e determinou-se a massa seca em uma balança de precisão de 0,01g.

As amostras foram colocadas em um recipiente com água até atingir o nível $\pm 0,5$ cm, pesadas em 4, 6, 24, 48 e 72 horas. Após a última etapa, rompeu-se as amostras por compressão diametral de acordo com as recomendações da norma [17].



Figura 6: Absorção por capilaridade
[Figure 6: Capillarity absorption]

Esse ensaio foi feito com amostras de cada traço, ao atingir 28 dias de cura [17]. Utilizou-se a prensa EMIC com capacidade de 30tf e velocidade com velocidade de aplicação de 0,05 MPa.

RESULTADOS E DISCURSÕES

Slump Test

Na tabela IV estão apresentados os resultados de abatimento em função da relação a/c, nota-se que o fator de relação variou de acordo com o traço, com o objetivo de conservar o abatimento definido de $130\text{mm} \pm 10\text{mm}$. Observa-se que os concretos produzidos com agregados reciclados secos apresentaram relação a/c superior ao concreto referência ($a/c = 0,45$), sendo o aumento diretamente proporcional à quantidade de RCD utilizado. Isto é, os concretos com substituições de 40% e 60% apresentaram relação a/c de 0,50 e 0,52, respectivamente, indicando que quanto maior a porcentagem de substituição, maior a quantidade de água requerida para a trabalhabilidade especificada.

Esse comportamento está em concordância com a literatura. A granulometria e excesso de finos do RCD ocasiona uma maior absorção de água durante a mistura, influenciando de forma direta na trabalhabilidade do concreto [5]. Portanto, o maior o consumo de água para atingir a trabalhabilidade adequada, está relacionado com a porosidade e também com a superfície específica das partículas de RCD.

O concreto C40%W não apresentou variação no fator água/cimento, entretanto, o concreto C60%W apresentou uma variação de 2,22%, mesmo assim, nota-se que o RCD ao ser pré-saturado, demonstra uma melhoria na trabalhabilidade. Esse resultado provou que está em consonância com a literatura [18] pois, o mesmo justifica que essa melhoria do concreto com agregado pré-saturado é devido ao aumento de água livre na mistura.

O concreto C40%H e C60%H apresentaram um aumento na relação a/c de 2,22% e 4,44% respectivamente, apresentando um percentual de variação menor quando comparado ao concreto com RCD sem tratamento. Isso ocorre pelo fato de que o tratamento com aditivo afeta na consistência ao tratar o RCD com uma ação hidrofugante, que conseqüentemente, retarda a cinética de absorção de água [19]. Tal resultado comprova que o tratamento superficial, diminui a absorção elevada de água ocasionada pelo RCD.

Tabela IV- Abatimento tronco de cone
[Table IV- Slump test]

TRAÇO	Fator água/cimento	Slump Test (cm)
C _{Ref.}	0,45	13
C40% S	0,50	14
C60% S	0,52	13

C40% W	0,45	14
C60% W	0,44	14
C40% H	0,46	13
C60% H	0,47	13

Absorção de água por imersão e capilaridade, índices de vazios e massa específica.

Os resultados de absorção de água por capilaridade e por imersão estão apresentados na Tabela V, observa-se que a absorção aumentou com o teor de substituição do RCD seco, apresentando um aumento em relação ao C_{Ref} de 161% e 110% de absorção por capilaridade, 32% e 30,62% de absorção por imersão, para os concretos C40%S e C60%S, respectivamente. Para os concretos com tratamento superficial, nota-se que a absorção por imersão se manteve próximo ao valor do C_{Ref} , variando com um percentual de 0,38% para o C40%W e 3,48% para o C60%W, 1,29% e 12,40% para os concretos C40%H e C60%H, respectivamente.

Ao comparar o concreto sem tratamento e o concreto com tratamento superficial, observa-se que ao tratar o RCD antes de substituir como agregado no concreto, a absorção será menor, melhorando assim as propriedades do mesmo. O tratamento com aditivo hidrofugante melhorou a superfície do RCD, de hidrofílico para hidrofóbico, resultando na menor absorção de água [19].

O tratamento de pré-saturação está de acordo com o estudo [20] que comprova a viabilidade da pré-saturação para solucionar os problemas de absorção do RCD.

Tabela V- Absorção
[Table V- Absorption]

TRAÇO	Absorção	Absorção
	Capilaridade	Imersão
	(g/cm²)	(%)
C_{Ref.}	1,00	7,74
C40%S	2,61	10,22
C60% S	2,10	10,11
C40% W	1,58	7,77
C60% W	1,61	8,01
C40% H	1,78	7,84
C60% H	1,21	8,70

Calculou-se também o índice de vazios, que está apresentado na tabela VI.

Tabela VI- Índice de vazios
[Table VI - Voids index]

TRAÇO	Índice de vazios
	(%)
C_{Ref.}	15,02
C40%S	19,54
C60% S	19,29
C40% W	15,48
C60% W	16,15
C40% H	15,86

C60% H	17,10
---------------	-------

Como observado no ensaio de absorção, o concreto sem tratamento aumenta o índice de vazios com o percentual de substituição de RCD em relação ao C_{Ref} , apresentando um aumento de 30,26% do concreto C40%S e 30,09% do concreto C60%S. Esses valores confirmam que com o aumento da substituição do concreto sem tratamento, aumentam o valor de absorção [21]. Esses resultados encontram-se em concordância também com os estudos que verificaram o aumento do índice de vazios, está relacionado ao aumento da substituição de agregado reciclável por agregado natural [23,22].

Esse aumento pode estar relacionado ao elevado teor de material pulverulento encontrado no RCD. E esse material é capaz de prender mais ar na mistura no estado fresco, e conseqüentemente quando endurecido, deixar maior quantidade de vazios [23].

E por fim, calculou-se os valores de massa específica, apresentados na tabela VII.

Tabela VII- Massa Especifica
[Table VII - Specific mass]

TRAÇO	Massa especifica seca (g/cm³)	Massa especifica saturada (g/cm³)
C_{Ref.}	2,27	2,42
C40%S	1,93	2,12
C60% S	1,90	2,09
C40% W	2,28	2,46
C60% W	2,13	2,30
C40% H	2,21	2,38
C60% H	2,11	2,20

Os resultados demonstram que com o aumento da substituição do agregado natural pelo agregado de RCD a massa específica seca e massa específica saturada do concreto diminuiu, o que se mostra de acordo com o índice de vazios e absorção do concreto.

Resistência à compressão axial

Com base nos resultados apresentados na Tabela VIII, o concreto C40%W e C60%W aumentaram em 3,88% e 7,07%, respectivamente em relação ao C_{ref} .

Tabela VIII- Compressão Axial 7 dias
[Table VIII- Axial Compression 7 days]

TRAÇO	Compressão Axial 7 dias (Mpa)
C_{Ref.}	17,52
C40% S	17,11
C60% S	16,2
C40% W	18,2
C60% W	18,76

C40% H	18,93
C60% H	20,85

O C60%H, teve a maior variação de resistência com 7 dias, atingiu percentual de 14,44% a mais em relação ao concreto referência. O C40%H também apresentou um aumento na resistência, resultando no valor de 8,04%. Entretanto, para o concreto C40%S e C60%S a resistência à compressão diminuiu em 2,3% e 7,5%, respectivamente. Existe uma probabilidade de 43,23% de que a adição do RCD no concreto, não tenha afetado a resistência à compressão axial aos 7 dias.

Para o ensaio de compressão axial aos 28 dias, são apresentados os resultados na tabela IX.

Tabela IX- Compressão Axial 28 dias
[Table IX- Axial Compression 28 days]

TRAÇO	Compressão
	Axial 7 dias (Mpa)
C_{Ref.}	22,85
C40% S	20,76
C60% S	20,82
C40% W	23,25
C60% W	24,07
C40% H	24,86
C60% H	25,48

Ao comparar o concreto C_{Ref.} com os concretos com substituição sem tratamento, nota-se que houve uma redução na resistência de 9,14% no concreto C40%S e 8,88% no concreto C60%S, a diminuição era esperada como já observado na literatura [24]. Observa-se que quanto maior a relação água cimento necessária para produzir o concreto a resistência tende a reduzir, ocorrendo um enfraquecimento na ligação entre o agregado e a matriz do concreto devido ao aumento da porosidade [25]. Pode-se correlacionar, que aumento na resistência também é devido ao fator a/c, pois ao tratar o RCD, esse valor sofreu uma variação menor em relação ao C_{Ref.} e conseqüentemente resultou em uma maior resistência à compressão axial em comparação ao concreto com elevada relação ao fator água/cimento.

Em suma, a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, considerando o C40% e C60%S levou um decréscimo na resistência a compressão. Entretanto, nota que o C60%S teve uma menor redução aos 28 dias. Esse fato pode ter ocorrido devido a água absorvida pelos agregados terem se tornado disponível com o passar do tempo, e hidratando as partículas remanescentes de cimento [21].

Resistência à tração por compressão diametral

Tabela X- Resistência à tração por compressão diametral
[Table X- Tensile strength by diametrical compression]

TRAÇO	Resistência a
	tração 28 dias (Mpa)
C_{Ref.}	3,03
C40% S	1,64

C60% S	2,13
C40% W	2,37
C60% W	2,39
C40% H	2,40
C60% H	2,42

A partir dos valores dados na tabela X, nota-se que a resistência a tração no concretos C40% e C60%S teve uma redução em cerca de 45,00% e 29,70%, respectivamente, quando comparado ao $C_{Ref.}$, podendo justificar que assim como na resistência à compressão, o concreto com RCD afeta na resistência a tração, e quanto maior o percentual a substituição por RCD, menor a resistência à tração. Para os concretos com tratamento superficial, também houve uma redução na resistência à tração quando comparado ao $C_{Ref.}$ com o percentual de 21,78% e 21,12% do concreto C40% W e C60% W, respectivamente, e diminuiu 20,79% e 20,13% para os concretos C40%H e C60%H.

CONCLUSÃO

O estudo apresentou resultados sobre as diferentes técnicas de tratamentos superficiais no agregado de RCD. Dessa forma, pode-se concluir que ao fazer o tratamento superficial no RCD, antes de substituir parcialmente no concreto, resultou-se em uma melhora nas propriedades, tanto no estado fresco, na trabalhabilidade da mistura, quanto no estado endurecido, nas propriedades mecânicas. Ao comparar o agregado sem tratamento e o tratado, nota-se que os tratamentos influenciam na cinética de absorção de água, pois os agregados de RCD quando tratados apresentaram uma diminuição na absorção de água ao ser adicionado no concreto e conseqüentemente melhorando as propriedades do estado endurecido. Este trabalho demonstrou que o método com aditivo hidrofugante apresenta um aumento na resistência à compressão aos 28 dias em comparação ao concreto referência. E, o tratamento de pré-saturação apresenta uma melhora significativa na trabalhabilidade do concreto, em relação ao tratamento com hidrofugante.

REFERÊNCIAS

- [1] V. TAM. “Quality improvement of recycled concrete aggregate by removal of residual mortar: A comprehensive review of approaches adopted”. In: *Construction and Building Materials*. 1. ed. Australia (2021).
- [2] N. GOUVEIA. “Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social”. In: *Ciência & Saúde Coletiva*, São Paulo (2012).
- [3] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *SENSO* (2010).
- [4] CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, prescrito na resolução nº307. 2002.
- [5] F. T. PACHECO. “Handbook of recycled concrete and demolition waste”. In: Woodhead Publishing Limited 1. Ed. Cambridge (2013).
- [6] M. B. LEITE; M. J. P. MONTEIRO. *Cement and Concrete Research* **81**, (2016) 38-48p.
- [7] N. S. KLEIN; J. BACHMANN; A. AGUADO. B. TORALLES. *Ciment and Concrete Research* **42**, 12 (2012) 1611-1620p.
- [8] K. K. SAGOE-CRENTSIL; T. BROWN; A. TAYLOR. *Ciment and Concrete Research* **31** (2001) 707-712p.
- [9] M. OLIVEIRA; E. VAZQUEZ; *Waste Management* **16**, 1-3 (1996) 113-117p.
- [10] J. OLEVEIRA; M. V. SILVA; S. J. PEREIRA; G. R. DIAS; T. FILHO. *Ambiente Construído* **14**, 1 (2014).
- [11] C. ULSEN; H. KAHN; G. HAWLITSCHK; E. A. MASINI; S. C. ÂNGULO; V. M. JOHN. *Construction and Building Marterials* **40** (2013) 1168-1173p.
- [12] P. BELIN; G. HABERT; M. THIERY; N. ROUSSEL. *Materials and Structures* **47** (2014) 1451-1465p.
- [13] J. BRITO; N. SAIKA. “Recycled Aggregate in Concrete: Use of Industrial, Construction and Demolition Waste”. In: Springer Science 1 ed. London (2013).
- [14] TECPLUS QUATZOLIT, WEBER (2019).
- [15] B. ARKLES. “Hydrophobicity, Hydrophilicity and Silanes”. In: *Paint Coat Ind.* Morrisville, PA (2006).
- [16] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 9779, “Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade”, Rio de Janeiro (2012).

- [17] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 72222, “Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos”, Rio de Janeiro (2011).
- [18] C. S. POON; Z. H. SHUI; L. LAM; H. FOK.; S. C. KOU. Cement and Concrete Research **34**, 1 (2004) 31-36p.
- [19] F. S. WINNIE; M. QUATTRONE; M. V. JOHN; S. C. ÂNGULO. Construction and Building Materials **146** (2017) 502-513p.
- [20] J. G. GONZÁLEZ; D. R. ROBLES; A. J. VALDÉS. Materials **7**, 9 (2014) 622-6236p.
- [21] C. FROTE; C. S. A. D. NÚBILA; A. NAGALLI; W. MAZER; G. MACIOSKI; S. O. L. OLIVEIRA. Matéria **22**, 2 (2017).
- [22] J. J. L. TENÓRIO; P. C. C. GOMES, C. C. RODRIGUES; T. F. F. ALENCAR. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais **5**, 5 (2012) 692-701p.
- [23] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 27, “Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório”, Rio de Janeiro (2001).
- [24] J. M. KHATIB. Cem. Concr. Res. **35** (2005) 763-769p.
- [26] F. S. WINNIE, “Tratamento superficial dos agregados reciclados RCD com hidrofugantes”, Tese Me., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2016) 166p.
- [27] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 9778, “Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica”, Rio de Janeiro (2009).
- [28] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 5739, “Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”, Rio de Janeiro (2018).
- [29] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 16889, “Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, Rio de Janeiro (2020).
- [30] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 5738, “Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”, Rio de Janeiro (2016).
- [31] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 53, “Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”, Rio de Janeiro (2003).
- [31] T.C. HANSEN. Materials and Structures (1986) 1945-1985p.
- [32] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 16605, “Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica”, Rio de Janeiro (2017).
- [33] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 52, “Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente”, Rio de Janeiro (2009).
- [34] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 545, “Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios”, Rio de Janeiro (2006).
- [35] Ass. Bras. Normas Técn., NBR NM 6458, “Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água”, Rio de Janeiro (2017).