

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALINE CRISTIANE KUMPFER NASCIMENTO

**UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO
TRATADOS PELO MÉTODO DE PRÉ-IMERSÃO EM SOLUÇÕES DE
ÁCIDO ACÉTICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2015

ALINE CRISTIANE KUMPFER NASCIMENTO

**UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO
TRATADOS PELO MÉTODO DE PRÉ-IMERSÃO EM SOLUÇÕES
DE ÁCIDO ACÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr José Ilo Pereira
Filho

Coorientador: Profa. Dra. Caroline
Angulski da Luz

PATO BRANCO

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO TRATADOS PELO MÉTODO DE PRÉ-IMERSÃO EM SOLUÇÕES DE ÁCIDO ACÉTICO

ALINE CRISTIANE KUMPFER NASCIMENTO

No dia 16 de novembro de 2015, às 13h00min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovados como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, conforme Ata e Defesa Pública nº20-TCC/2015.

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. VOLMIR SABBI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. JOSÉ MIGUEL ETCHALUS (DACOC/UTFPR-PB)

RESUMO

NASCIMENTO, Aline C. K. **Utilização de agregados reciclados de concreto tratados pelo método de pré-imersão em soluções de ácido acético.** 2015. 54. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

Com o intuito de melhorar a aplicação do RCD, e assim reduzir os impactos ambientais provocados pela incorreta disposição final dos resíduos da construção civil, o presente trabalho explorou a aplicação da técnica de pré-imersão em ácido acético de agregados reciclado de concreto. Os agregados foram obtidos através de britagem em moinho de mandíbula e posteriormente tratados em tempos de 24 e 48 horas em concentrações de 1, 3 e 5% de ácido acético. Além dessas seis amostras tratadas, uma amostra base que não recebeu tratamento também foi testada. Essas sete amostras foram ensaiadas quanto absorção de água e suas densidades. Após o tratamento, sete grupos de concreto foram produzidos, substituindo 100% o agregado graúdo pelo agregado reciclado a fim de avaliar-se o melhoramento mecânico das amostras quando aplicadas na fabricação de concreto. Durante a fabricação do concreto foi realizado o *slump test* pra verificar a trabalhabilidade do concreto. Aos 3, 7 e 28 dias os grupos de concreto foram testados quanto a resistência à compressão. Os valores de resistência obtidos não tiveram grande variação entre os grupos, entretanto a amostra que recebeu tratamento de 1% de ácido por 24 hrs apresentou uma resistência 8% maior que as outras amostras. Portanto, provando um melhoramento da qualidade dos agregados, se viabiliza a sua utilização, uma vez que o reuso de materiais na construção civil vem se tornando indispensável.

Palavras-chave: RCD. Agregados. Amostras. Pré-imersão.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Aline C. K. **Use of recycled concrete aggregate treated by pre-soaking method in acetic acid solutions.** 2015. 54. Work presented as Conclusion of the Program (Bachelor's degree in Civil Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

In order to improve the recycling concrete aggregate (RCD - acronym in Portuguese) quality, and to decrease the environmental impacts by the improper disposal of the waste material from the civil construction industry, this research explored the application of the pre-soaking treatment in acetic acid solutions. The aggregates were obtained by crushing old concrete in a jaw mill. This material was separated in seven groups, and each group received a different treatment. They were treated during times of 24 and 48 hours in concentrations of 1, 3 and 5% of acetic acid. Also, one group of them did not receive any kind of treatment. Further, these seven groups were tested to get the water absorption and their specific gravity. After the treatment, seven groups of concrete were produced changing the virgin coarse aggregate for recycled aggregate in a 100%. Under these circumstances was possible to evaluate the mechanical improvement of the treated aggregates when they are used in concrete production. During the concrete fabrication, the *slump test* was made to verify the concrete workability. At the 3rd, 7th and 28th days the groups were tested to get the compressive strength. The obtained values of strength did not show substantial variation between the groups. However, the sample that received 1% of acid treatment during 24 hours showed values 8% higher than the others samples. About the final cost of the concrete, when it is compared to the conventional concrete, it has a higher cost. However, if there is a reuse of the acid, then the cost can be lower than the conventional concrete. This way, the use can be made possible since the recycling process in civil construction has become necessary.

Key words: RCD, aggregate, samples, pre-soaking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: RCD Coletados por Região do Brasil	16
Figura 2: Estrutura do agregado reciclado de concreto.....	27
Figura 3: Processo de tratamento e produtos obtidos	28
Figura 4: Fluxograma da Sequência de Trabalho Realizado	29
Figura 5: Moinho de mandíbula para moagem dos materiais	33
Figura 6: Peneira de 19 mm para pré-seleção do material	34
Figura 7: Peneiras para ensaio de granulometria.....	35
Figura 8: Tratamento do RCD	37
Figura 9: Tratamento do RCD	38
Figura 10: Resíduo do tratamento.....	39
Figura 11: Pesagem hidrostática.....	40
Figura 12: Curva de Abrams	42
Figura 13: Relação água materiais secos	43
Figura 14: Relações de agregado graúdo e miúdo	44
Figura 15: Moldes de corpos de prova	46
Figura 16: Cura dos corpos de prova	47
Figura 17: Rompimento de corpo de prova	48
Figura 18: Resistências à compressão	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamento com Ácido Acético	31
Tabela 2 - Resultado do Ensaio de Granulometria.....	35
Tabela 3 - Absorção de água	41
Tabela 4 - Abatimento	45
Tabela 5 - Resistência à compressão com erro padrão	48

LISTA DE SIGLAS

Lista de siglas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NM – Norma Mercosul

RCD – Resíduos da Construção Civil

SINDUSCON - SP – Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
2	AGREGADOS RECICLADOS	15
2.1	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E MEIO AMBIENTE	15
2.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RCD	17
2.3	CONCRETOS COM RCD	18
2.4	PROPRIEDADES DOS AGREGADOS DE RCD	19
2.4.1	Granulometria	19
2.4.2	Absorção	20
2.5	PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO COM RCD	20
2.5.1	Propriedades Físicas do Concreto Fresco	21
2.5.2	Propriedades do Concreto Endurecido	22
2.5.3	Consequências da adição de agregados reciclados de concreto em novos concretos	23
2.6	TRATAMENTO DE AGREGADOS RECICLADOS EM SOLUÇÕES DE ÁCIDO ACÉTICO	25
2.6.1	Propriedades do Agregado Virgem, Agregado Reciclado Não Tratado e Agregado Reciclado Tratado	25
2.6.2	Zona Interfacial Agregado-Argamassa	26
2.7	RESÍDUOS DA IMERSÃO DO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM SOLUÇÃO DE ÁCIDO ACÉTICO	27
3	MÉTODO DE TRABALHO	29
3.1	ESCOLHA DO MATERIAL	29
3.1.1	RCD	29
3.1.2	Agregado Miúdo e Cimento	30
3.2	TRATAMENTO DOS AGREGADOS RECICLADOS	31
3.2.1	Absorção e Porosidade	31
3.3	PREPARO DO CONCRETO DE AGREGADOS RECICLADOS	31
3.4	EQUIPAMENTOS	32
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	33
4.1	MOAGEM E DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS GRAÚDOS	33
4.2	TRATAMENTO COM ÁCIDO ACÉTICO	36

4.2.1	Resíduo do tratamento com ácido acético	38
4.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	39
4.4	DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS PARA PRODUÇÃO DO CONCRETO	41
4.4.1	Determinação do Fator Água Cimento (a/c).....	41
4.4.2	Determinação da quantidade de materiais secos	43
4.4.3	Determinação do Traço Final.....	44
4.5	SLUMP TEST – CONSISTENCIA DOS CONCRETOS	45
4.6	DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA DO CONCRETO – MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO	45
4.6.1	Moldagem dos Corpos-de-Prova	45
4.6.2	Ensaio de Compressão.....	47
5	CONCLUSÃO.....	51
5.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O concreto sempre esteve diretamente relacionado com a história da humanidade, não somente por sua função construtiva, mas também por permitir que historiadores desvendem mistérios sobre a evolução humana. Esse material de construção tem suas propriedades e características desenvolvidas através do estudo de novas tecnologias.

O uso da argamassa como material construtivo data de 11000 anos atrás, mas o início do uso de seus resíduos é bem mais recente. Agregados reciclados foram massivamente utilizados na Alemanha durante o pós Guerra Mundial (LAPA, 2011). Entretanto, as construções produzidas naquele tempo, estão agora sendo substituídas por novas construções e todo esse cenário de renovação cria uma enorme quantidade de resíduo, gerando um volume expressivo (SCHNEIDER, 2003).

Não recebendo uma adequada solução, os resíduos de construção civil impactam o meio ambiente. Na maioria dos casos, os RCD's (resíduos de construção e demolição) são despejados em aterros sanitários, áreas limitadas e com altos custos de implantação, além de não ser uma destinação ambientalmente correta. Por esta razão, o uso de RCD em novos concretos é uma área de pesquisa interessante e merecedora de atenção.

A principal causa que afeta a qualidade dos RCD's é a grande quantidade de argamassa aderida na superfície do agregado, resultando em uma alta porosidade resultando em uma zona interfacial mais fraca entre o agregados reciclado e a argamassa na produção do novo concreto, o que diminui consideravelmente a resistência e o desempenho mecânico do concreto de RCD(TAM et al, 2007).

Novas técnicas para o uso e aperfeiçoamento de suas propriedades mecânicas e de aplicação têm sido estudadas para transformar esse resíduo em uma nova fonte de matéria-prima de qualidade. Uma dessas técnicas é a pré-imersão dos agregados reciclados em soluções ácidas que tem sido estudada por muitas universidades e pesquisadores ao redor do mundo. Este tratamento utiliza diferentes concentrações de ácidos, como o láctico, por exemplo, em que os agregados reciclados são imersos por determinados

períodos de tempo. Como resultado, os agregados diminuem a absorção de água devida à alta quantidade de argamassa aderida aos mesmos.

Entretanto, ácidos fortes são utilizados nos estudos de imersão, o que torna a técnica não viável, tendo em vista sua aplicação em canteiros de obra e concreteiras, levando em conta a segurança e o alto custo desses ácidos. Por esse motivo, neste trabalho a viabilidade e uso de um ácido fraco, o ácido acético, serão investigados, sendo a chave para contornar problemas como danos ao agregado, manuseio deste material e alto custo de ácidos fortes.

De modo a encontrar uma solução para destinação deste grande volume de RCD, este trabalho tem como objetivo utilizar da técnica de pré-imersão em solução de ácido acético, como ácido fraco e de baixo custo. Para tanto este trabalho seguirá a seguinte proposta: (i) realização de avaliação e análise da comparação da absorção entre agregados virgens, agregados reciclados tratados e não tratados; (ii) confecção de corpos de prova com agregados reciclados tratados e não tratados, comparando suas resistência à compressão; e por fim (iii) analisar os resultados determinando a viabilidade econômica e técnica da aplicação de concretos reciclados na construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVA

A construção civil e seu acelerado crescimento vêm gerando um aumento significativo na utilização de recursos naturais e minerais, e com isso aumentando a produção de resíduos de construção e demolição (RCD). Essa questão impacta diretamente com o meio ambiente e qualidade de vida, pontos muito discutidos atualmente, buscando cada vez mais soluções de preservação de recursos.

Sem uma destinação correta e planejada na maioria das cidades do Brasil, pois apenas 5% delas, segundo o IBGE, possuem usinas de destinação e reciclagem para o RCD, a solução mais adequada é a utilização do mesmo pela própria indústria da construção civil, onde a própria geradora deveria fazer a gestão e utilização dos resíduos (IBGE, 2015).

A mais comum utilização dos RCD's no mundo hoje, é o emprego de agregados de resíduos britados na confecção de argamassas e concretos, sendo de aspecto importante quanto à não utilização de recursos novos,

reduzindo a exploração desregrada e aumentando os índices de reciclagem, o que é ecológico e humanamente correto.

Entretanto, um dos grandes problemas nessa absorção dos próprios resíduos é o baixo desenvolvimento tecnológico na maioria das obras e empresas brasileiras, sem um controle do material utilizado e produzido. Não se pode ter um alto nível de qualidade sem que estudos detalhados e acompanhamento de profissionais com conhecimento técnico para o método de produção estejam desenvolvidos.

Sem dúvidas, a melhor forma para se lidar com os RCD's é não produzindo os mesmos (GAVILA, BERNOLD, 1994, SNOOK et al., 1995 apud TAM et al., 2006). Mas uma vez que isso é difícil no campo da construção civil, pesquisas em torno do melhoramento desses recursos para reaproveitamento têm sido realizadas, como por exemplo, o tratamento desses agregados para melhoramento de suas propriedades mecânicas por meio do tratamento da zona interfacial entre o agregado reciclado e a nova camada de argamassa, e diminuição da porosidade da mesma. O termo *pre-soaking*, método de pré-imersão de agregados reciclados britados em soluções ácidas, é uma das soluções grandemente estudada por cientistas de países desenvolvidos com altas taxas de demolição de edificações antigas e construção de novas, gerando um grande acúmulo de RCD's.

Como resultado da implantação de métodos de melhoramento como o de imersão, uma melhor qualidade dos agregados reciclados pode ser atingida, com agregados menos porosos, com menor absorção de água aumentando sua gama de aplicação, como por exemplo, em concretos estruturais. O uso de materiais reciclados, bem como a utilização de agregados virgens, seriam otimizadas. Desta forma, reciclar seria uma potencial solução minimizadora de resíduos encaminhados para aterros, redução de gastos com transporte dos mesmos e diminuição do desregrado uso de recursos naturais (TAM, 2009). Tendo listados esses pontos vê-se a importância da realização do estudo dos RCD's tratados no presente trabalho, no qual serão realizados ensaios e tratamento com ácido acético comparando o desempenho do material reciclado tratado com o que não receberá tratamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Investigação do melhoramento das características mecânicas de concretos produzidos com RCD's provenientes de concretos pelo tratamento de pré-imersão em soluções de ácido acético.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a redução de absorção dos agregados reciclados tratados;
- Apontar as propriedades mecânicas do concreto com utilização dos resíduos de construção e demolição de concreto;
- Analisar os resultados obtidos para a determinação da viabilidade econômica e sustentável do concreto com RCD's tratados.

2 AGREGADOS RECICLADOS

O reaproveitamento de materiais reciclados vem cada vez mais se difundindo, pois é atraente às novas políticas de conscientização mundial, o mundo se encontra em uma fase “verde”, em que o ser humano volta o olhar para causas de recuperação do tão grande desgaste que causou nas últimas décadas de desenvolvimento social e tecnológico.

Desta maneira mais e mais pesquisadores e empresas procuram uma destinação para o RCD. Uns realmente preocupados com a natureza e recursos minerais, outros interessados no “marketing” alcançado nesse momento.

2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E MEIO AMBIENTE

Considerado uma das maiores descobertas e conquistas da humanidade, o concreto teve e tem um papel muito importante na história. A evolução do ser humano está diretamente ligada à utilização de matérias e técnicas cada vez mais inovadoras para obtenção de moradia e proteção.

Composto de aglomerantes, agregados e água, a princípio, o concreto vem recebendo inúmeras adições e melhoramentos, provindos de estudos minuciosos, rentáveis e que aumentam a qualidade e aplicação do concreto. Mas além do melhoramento na fabricação e qualidade do concreto, uma consideração muito importante é a destinação dos RCD's, resíduos de construção e demolição provenientes da construção civil, que gera um volume expressivo sem destinação certa criando uma preocupação em torno dos impactos ambientais que esse tipo de material pode causar.

Todo o concreto produzido, novas construções, todo o cenário de renovação e desenvolvimento cria, uma gigante quantidade de resíduos (SCHNEIDER, 2003). Sem dúvida, a melhor forma de se tratar os resíduos é não criando os mesmos (GAVILA, BERNOLD, 1994, SNOOK et al., 1995 apud TAM et al., 2006). Mas quando esses resíduos não recebem um tratamento ou uma aplicação, o antigo concreto é depositado em aterros sanitários. Entretanto, mesmo sendo um destino final, não é a melhor forma de se desfazer deste material. Aterros sanitários são locais com altas custos de

implantação e manutenção, e que não são os locais ambientalmente corretos para deposição final dos RCD'S.

Um estudo da ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, estima uma quantidade RCD coletada no ano de 2010 em 99.354ton/dia, mas deve-se considerar que este valor é o coletado, não o gerado, e que as prefeituras apenas coletam os resíduos lançados nos logradouros.

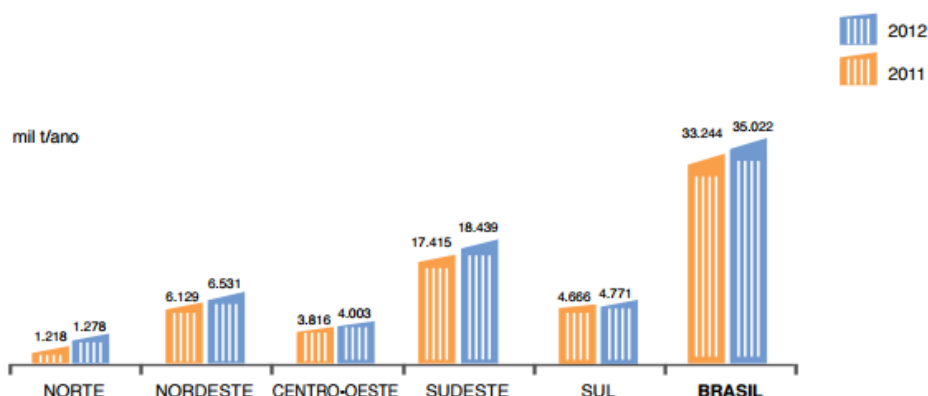


Figura 1: RCD Coletados por Região do Brasil
Fonte: ABRELPE

A falta de efetividade ou, em alguns casos, a inexistência de políticas públicas que disciplinam e ordenam os fluxos da destinação dos resíduos da construção civil nas cidades, associada ao descompromisso dos geradores no manejo e principalmente na destinação dos resíduos, provocam uma série de impactos ambientais (SINDUSCON, 2005). Desta forma, como medida paliativa as próprias prefeituras, a fim de minimizar esses impactos e conforto público, arcam com custos e transporte, coletando os resíduos. Entretanto, esta não pode ser considerada solução, já que apenas incentiva a continuação da produção e disposição em locais inapropriados.

A fim de minimizar essa atividade desregulada de acúmulo de resíduos em locais indevidos, são existentes um conjunto de leis e normas técnicas. Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), é obrigação dos municípios a criação do Plano Integrado de Gerenciamento, seja ele para geração de resíduos formais, aquelas provindas de construções, ou informais, produzidas pelos próprios proprietários das edificações, em pequenas manutenções.

2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RCD

O CONAMA define diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Segundo a resolução nº 307(CONAMA, 2002), resíduos da construção civil: são os 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. São resíduos geralmente compostos por materiais volumosos e pesados.

No presente trabalho, resíduos de construção, mais especificamente resíduos de concreto utilizados como agregados reciclados são englobados materiais da Classe A: resíduos reutilizáveis como agregados, de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto (CONAMA, 2002).

Em torno de 50% dos RCD's são originados na construção informal e canteiros de obras (SINDUSCON-SP, 2005). Não recebendo tratamento adequado ou uma destinação final para os RCD's, eles acabam sendo levados para aterros sanitários, ou simplesmente são colocados em bota-foras ilegais, onde acabam acumulando-se por vários anos ou mesmo por décadas até formar terrenos artificiais aparentemente estáveis.

A reutilização é uma forma de destinação dos resíduos. Muitas vezes consiste em um aproveitamento sem nenhum ou mínimo tipo de tratamento. Utilizados como sub-base para aterros em sua maioria, não recebem uma transformação. Já a reciclagem é o processo pelo qual o resíduo é tratado, modificado, sendo considerado como matéria-prima no ciclo de produção (BUDKE et al ,2011).

Para o CONAMA, agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia. Sendo que a reciclagem dos RCD

será bem sucedida quando for estabelecida uma metodologia, onde exigirá conhecimentos relacionados a diferentes especializações para o desenvolvimento de um produto destinado a ser um material de construção alternativo. Desta forma, alternativas como a produção de agregados britados de RCD surgem como um novo produto, ou seja, um produto reciclado, mas que se tratado corretamente pode vir a ser utilizado na produção de novas construções.

O agregado reciclado a partir de concretos antigos é um material proveniente de moagem. Por motivo deste processo ele possui uma formação particular de argamassa juntamente com o agregado virgem usado na produção do concreto antigo (QIAN, 2014). Esse material possui suas próprias características, que podem ser estudadas e melhoradas para aplicação na construção civil, diminuindo a deposição deste material em locais não adequados.

2.3 CONCRETOS COM RCD

No fim do século XX, a geração de uma enorme quantidade de resíduos se tornou um dos maiores problemas ambientais do mundo. RCD's produz quase a metade do total de resíduos provenientes da indústria. Por outro lado, o consumo de agregados naturais na produção de concreto, tem crescido com o crescimento da produção e aplicação de concreto, já que esses agregados significam o maior volume de material para esse produto. Desta forma, reciclar pode representar uma forma de converter um resíduo em uma matéria-prima, tendo um potencial grande de redução de resíduos dispostos em aterros, ao mesmo tempo em que se preservam as fontes de material virgem, sem distúrbios ambientais (MARINKOVIÄ et al., 2012).

Mesmo com pesquisas na área de reciclagem de concreto, os agregados reciclados têm sido utilizados na fabricação de concretos com baixa resistência mecânica, ou aplicados como aterros e sub-bases para estradas. Embora a utilização desses agregados seja permitida em alguns países na fabricação de concretos estruturais, a quantidade utilizada permanece próxima a 1% de agregados reciclados (MARINKOVIÄ et al., 2012).

Agregados reciclados de concreto são geralmente triturados e separados de outros materiais, como aço, papel, madeira e muitos outros materiais, uma vez que os RCD's não possuem uma homogeneidade quanto a sua composição.

2.4 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS DE RCD

Agregados reciclados de concreto podem ser produzidos a partir de a) corpos de prova após ensaios, b) concreto de antigas construções ou c) resíduo de fabricação de concreto. A diferença é que agregados de construção e demolição é que eles não são totalmente limpos, apenas com a adesão de argamassa de cimento, mas possuem também uma gama de materiais provenientes das edificações. Desta forma, para serem utilizados devem passar por uma separação e seleção, e finalmente serem utilizados como substitutos de agregados virgens num novo concreto (NAGATAKI et al., 2004 apud RAO et al., 2007).

Assim como agregados virgens tem suas propriedades ensaiadas, a qualidade nos agregados reciclados, em termos de distribuição, absorção, abrasão, etc. também devem ser verificados.

2.4.1 Granulometria

Tanto agregados miúdos e graúdos podem ser obtidos a partir de inúmeras moagens e subsequente remoção de impurezas. Em geral, uma serie de moagens sucessivas são utilizadas para obtenção de uma granulometria desejada, entretanto quanto mais o material é triturado, mais material pulverulento é gerado (RAO et al., 2007). A melhor distribuição de tamanho de partículas é alcançada geralmente com uma única moagem, pois não produz tanto agregado miúdo e material fino. A granulometria é importante, pois sabendo essa propriedade é possível fazer uma comparação entre o tamanho dos agregados virgens e os britados, fabricando um concreto com características parecidas.

2.4.2 Absorção

A absorção de água em agregados reciclados varia de 3 a 12%, com o valor dependente do tipo de concreto usado para produção do agregado (JOSE, 2002; KATZ, 2003; RAO, 2005 apud RAO et al., 2007). Nota-se que este valor é bem maior que o determinado para agregados naturais, onde a absorção é em torno 0,5-1% (RAO et al., 2007). A alta porosidade dos agregados reciclados é a responsável pela alta absorção comparada aos agregados virgens. Essa porosidade elevada pode ser atribuída ao resíduo de argamassa aderida ao agregado original. Essa argamassa aderida varia de uma porcentagem de 25 a 65% do peso do agregado (JUAN, GUTIERREZ, 2004).

A diminuição dessa argamassa aderida por meio de sucessivas moagens traria uma diminuição da absorção de água pelo agregado, entretanto quanto maior o número de moagens maior o custo produtivo de reaproveitamento de RCD, o que torna o processo menos viável e mais dispendioso de energia. Seria necessário um método de controle quantitativo para qualidade do agregado (JUAN, GUTIERREZ, 2004).

2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO COM RCD

A produção de concreto com RCD pode ser realizada da mesma forma que é produzido concreto convencional com agregados virgens, entretanto é necessário se tomar algumas medidas de qualidade, como por exemplo, a consideração quanto à absorção de água quando se mensurar a quantidade de água para a mistura.

A determinação de um traço com um concreto de RCD deve ser mais rigorosa levando em conta as seguintes considerações (RILEM, 1994):

- Na determinação de um traço para concreto usando agregado reciclado com qualidade variável é necessário o uso de um desvio padrão elevado, em ordem de se alcançar resistências desejada;
- Em um traço que necessita atingir determinado *slump*, a relação água cimento deve ser aproximadamente 5% maior do que a determinada para um concreto convencional;

- Traços experimentais são obrigatórios e apropriados dependendo da origem e das propriedades dos agregados reciclados, a fim de se alcançar uma trabalhabilidade, relação a/c, e resistências desejáveis.

2.5.1 Propriedades Físicas do Concreto Fresco

O concreto é considerado fresco até o momento em que se dá o início da pega e após o fim da mesma ele é considerado um concreto endurecido. Como concreto fresco ele apresenta certas propriedades, dentre essas propriedades é importante citar:

- a) Trabalhabilidade;
- b) Textura;
- c) Integridade da massa: segregação;
- d) Retenção de água: exsudação;

2.5.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é umas das principais propriedades do concreto fresco, levando em conta a execução de estruturas e lançamento de concreto. Podendo ser definida como a propriedade que facilita a mistura, aplicação e acabamento em uma condição íntegra e homogênea do concreto (CARASEK, 2004). Os fatores que interferem a trabalhabilidade são: a consistência, proporção entre cimento e agregado, proporção entre agregado miúdo e graúdo, forma dos grãos dos agregados e o tipo de aditivo (PETRUCCI, 2005).

A fim de se mensurar essa trabalhabilidade o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone - *Slump Test* mede a consistência do concreto indiretamente, fornecendo uma metodologia simples para controle de uniformidade de produção do concreto fornecendo uma metodologia simples e convincente para se controlar a uniformidade da produção do concreto em diferentes betonadas. Sugere também se a dosagem foi realizada na forma correta, onde o desempenho do abatimento indicará a uniformidade da trabalhabilidade (GEYER, 2006).

2.5.1.2 Exsudação

Exsudação é a tendência da água de amassamento de vir à superfície do concreto recém-lançado. Por esse motivo a parte superior do concreto se torna porosa e com menor resistência devido à grande quantidade de água. Em busca de uma melhor trabalhabilidade uma adição superior de água é feita, entretanto o problema da exsudação se deve a esse excesso de água. Com o devido proporcionamento do concreto e relação a/c, esse problema pode ser evitado, trazendo um concreto trabalhável, aplicando-se uma quantidade de água não além da necessária (ALMEIDA, 2002).

Segundo a NBR-NM 102:96 Concreto – Determinação da exsudação, dois métodos de ensaio para a determinação da exsudação do concreto no seu estado fresco podem ser aplicados. O primeiro método é aplicado a uma amostra compactada manualmente e no segundo método a amostra é adensada por vibração e depois sujeita a vibração intermitente através de uma mesa vibratória (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996). A principal função do ensaio é determinar a parte d'água que se separa da mistura do concreto, onde tende a subir para a superfície do concreto após a vibração.

2.5.2 Propriedades do Concreto Endurecido

2.5.2.1 Resistência à compressão

A principal propriedade do concreto endurecido é a sua resistência à compressão. O concreto por ser um material frágil, possui uma ótima resistência à compressão, enquanto sua resistência à tração é bem reduzida (PETRUCCI, 2005).

Alguns fatores são importantes na obtenção de uma maior qualidade e resistência do concreto. Quanto maior a relação água/cimento, menor a resistência tende a ser. A cura contínua do concreto nas idades iniciais é de grande importância para uma ótima hidratação do concreto (NEVILLE, 1997).

Para determinação da resistência à compressão do concreto, a NBR 5739:1994 – Concreto: Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos

descreve o método de ensaio a ser utilizado para determinar a resistência final à compressão do concreto estudado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007)

2.5.2.2 Durabilidade do concreto endurecido

Segundo NEVILLE (1997), a durabilidade de uma estrutura de concreto é o desempenho satisfatório, para a finalidade para a qual foi projetada, durante toda sua vida útil esperada.

Um concreto deve ser resistente à deterioração e degradação, sendo que o aparecimento das mesmas de uma forma precoce se deve à erros de projeto e de execução, inadequação dos materiais, má utilização da obra, agressividade do meio ambiente, falta de manutenção e ineficiência ou ausência de controle da qualidade na Construção Civil.

Mais especificamente, uma diretriz encontrada na literatura técnica diz que a durabilidade da estrutura de concreto é determinada por três fatores (TUTIKIAN, HELENE, 2011):

- a) Composição ou traço do concreto;
- b) Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
- c) Cura efetiva do concreto na estrutura;

2.5.3 Consequências da adição de agregados reciclados de concreto em novos concretos

2.5.3.1 Resistência à compressão de concreto com agregados reciclados

Através de pesquisas, tem sido reportado que uma redução da resistência em concretos com RCD. O que se pode notar é que essa redução é diretamente relacionada com alguns parâmetros como o concreto usado na fabricação do agregado reciclado (alta, media ou baixa resistência), quantidade utilizada, relação a/c e a umidade do agregado reciclado (CRENTSIL et al., 2001; AJDUKIEWICZ, KLISZCZEWICZ, 2002 apud RAO et al., 2007).

A origem do RCD utilizado tem grande interferência na resistência final do concreto levando em conta que esse resíduo pode não ter uma qualidade

uniforme, uma vez que pode ser oriundo de diferentes canteiros de demolição. Por esse motivo, um critério de aceitação de material deve ser implantado, bem como o uso de um alto desvio padrão no cálculo do traço deste concreto (MARINKOVIÄ et al., 2012).

2.5.3.2 Absorção de concretos com agregados reciclados

Agregados reciclados possuem uma alta absorção de água o que afeta a trabalhabilidade do concreto, assim pede uma maior adição de água para saturar os agregados, a fim de que os mesmos não retirem a água necessária para hidratação do cimento. Alguns estudos mostram testes de trabalhabilidade do concreto com agregados pré-imersos em água para que estejam saturados. Já outros estudos mostram a adição de uma maior quantidade de água na mistura do concreto (HASEN, 1992).

Entretanto, essa água adicional pode reduzir a resistência do concreto, uma vez que esta é diretamente proporcional à relação a/c da mistura. Outra consideração importante é a formação de uma interface menos resistente devido essa água superficial, além da camada de argamassa antiga que é muito porosa. Essa interface é diferente da interface natural entre agregado virgem e argamassa, conseqüentemente seu desempenho e características serão diferentes. É conhecido que a resistência do concreto depende da resistência interfacial entre agregado e argamassa, onde esta ligação é a fase mais fraca do concreto (POON et al, 2004)

2.5.3.3 Concreto reciclado e economia

Segundo VIEIRA e DAL MOLIN (2004), a utilização de agregado reciclado no concreto, em proporções devidamente controladas não afeta a resistência e muito menos a durabilidade do concreto com relação à corrosão das armaduras. Inclusive se consegue observar melhoras em algumas propriedades. É possível afirmar também que há fortes indícios da economia gerada a partir da utilização do agregado reciclado.

Uso de agregados reciclados em concreto promove uma promissora solução para o problema de gerenciamento de resíduos, além de uma

diminuição com gastos monetários e ambientais de matéria-prima de agregados (RAO et al.2007)

2.6 TRATAMENTO DE AGREGADOS RECICLADOS EM SOLUÇÕES DE ÁCIDO ACÉTICO

Com a crescente onda de adoção de RCD's na construção, estudos a fim de melhorar a sua qualidade têm sido discutidos. O uso dos RCD's proporciona economia de espaços de aterros e uso de recursos naturais. Entretanto, a qualidade dos agregados reciclados é baixa limitando sua utilização a sub-bases e concretos de baixa resistência.

A principal causa dessa baixa resistência é explicada pela significativa quantidade de argamassa antiga aderida ao agregado, o que traz uma alta porosidade, absorção de água e uma zona interfacial mais fraca entre nova argamassa e agregados (TAM et al., 2006).

Um melhoramento das propriedades dos agregados reciclados é uma solução para uma maior resistência e durabilidade do concreto produzido com os mesmos. Uma tecnologia utilizada é o método de *pre-soaking*, que traduzindo diretamente do inglês significa pré-imersão. Essa técnica consiste em banhos em soluções de ácidos em diferentes concentrações, com diferentes períodos de tempo (ISMAIL; RAMLI, 2013).

O principal motivo para uso dessa técnica é a diminuição da quantidade de argamassa aderida aos agregados reciclados, resultando numa menor camada fraca, reduzindo a absorção e conseqüentemente aumentando a resistência na zona interfacial.

2.6.1 Propriedades do Agregado Virgem, Agregado Reciclado Não Tratado e Agregado Reciclado Tratado.

Muitos estudos são realizados internacionalmente em relação ao tratamento de pré-imersão em soluções de ácidos. Um desses estudos, realizado pelos cientistas Ismail e Ramli, recentemente, aponta a comparação das propriedades e desempenho entre agregados virgens, agregados de RCD não tratados e agregados reciclados tratados pelo método de pré-imersão.

Segundo o mesmo estudo, baseado em resultados experimentais mostra que os agregados reciclados têm propriedades físicas e mecânicas deterioradas em comparação com os agregados virgens. A densidade dos agregados reciclados possui uma redução de aproximadamente 10% em comparação com os agregados virgens. Além disso, os agregados reciclados têm uma absorção de água muito maior do que os agregados virgens, até oito vezes maiores.

Tanto a densidade reduzida, bem como a alta absorção de água nos agregados reciclados são devidas à antiga argamassa aderida ao agregado de RCD, que é "leve" e porosa por natureza. Por esse motivo a resistência mecânica dos agregados reciclados tende a ser inferior.

Entretanto, as propriedades físicas dos agregados reciclados mostraram-se melhoradas após a imersão em ácido. Esse tratamento remove uma porção da camada de argamassa fraca e algumas partículas indesejadas da zona interfacial. Outro importante fator encontrado é uma diminuição da absorção em até 28% nos agregados reciclados.

2.6.2 Zona Interfacial Agregado-Argamassa

Agregado reciclado de concreto é um material resultante da moagem de antigos concretos. Devido a esse processo de moagem, o agregado reciclado possui uma constituição de uma camada de argamassa antiga aderida ao agregado virgem. Como retratado previamente neste trabalho, os agregados reciclados também possuem uma gama de características próprias. Uma delas, a porosidade, comumente alta devida à fraca camada de argamassa antiga. Essa camada também é responsável pela reduzida resistência dos concretos produzidos com esse material, característica encontrada pelo fato da alta absorção provinda da alta porosidade da antiga argamassa na zona interfacial entre a nova argamassa e os agregados reciclados.

Poon et al. (2004) investigou o efeito da zona interfacial na resistência a compressão do concreto com agregados reciclados. Através de microscópios de varredura visualizaram que a zona interfacial deste concreto consiste principalmente em hidratos porosos soltos, enquanto no concreto com agregado virgem possui uma interface com hidratos densos.

Tam et al. (2005) demonstra que concreto com agregados reciclados possui uma microestrutura muito mais complicada que a do concreto convencional. Os agregados reciclados dão ao concreto, duas zonas interfaciais entre agregado e argamassa: uma entre o agregado virgem e argamassa antiga, e mais uma entre o agregado reciclado e a argamassa nova. A estrutura do concreto produzido com agregados reciclados é mostrada na Figura 2.

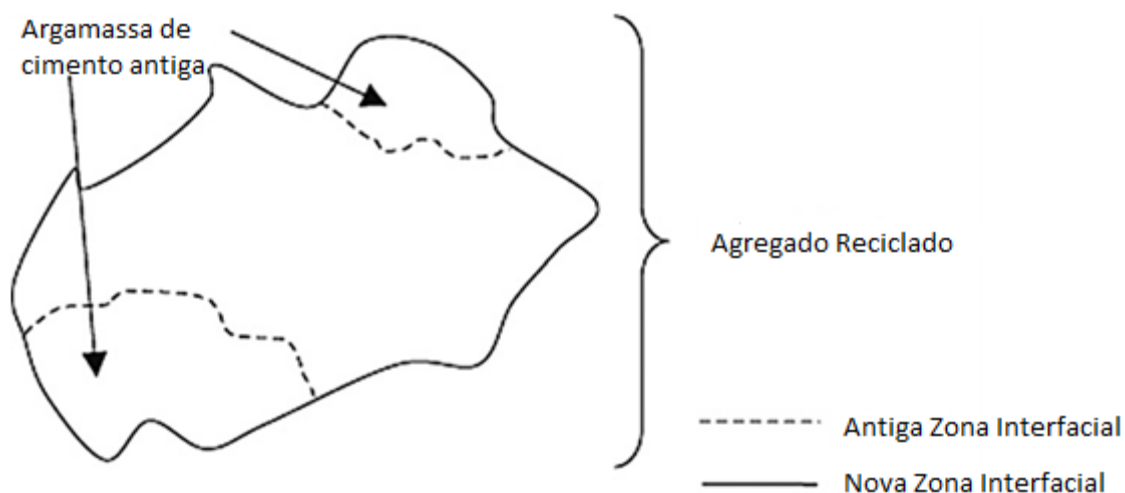


Figura 2: Estrutura do agregado reciclado de concreto
Fonte: TAM V. W., 2009

A principal intenção do tratamento com imersão em soluções de ácido acético é eliminar a antiga zona interfacial ou torná-la mais forte. Com essa imersão a parte fraca da antiga argamassa será dissolvida tornando o agregado menos poroso e diminuindo a absorção do mesmo, uma melhor resistência mecânica poderá ser alcançada.

2.7 RESÍDUOS DA IMERSÃO DO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM SOLUÇÃO DE ÁCIDO ACETICO

Após o tratamento dos agregados reciclados na solução de ácido acético, os mesmos são retirados, lavados em água e utilizados na produção do novo concreto. Este tratamento gera um resíduo, um hidrogel amorfo gerado através da mistura de componentes presentes na argamassa presente nos agregados reciclados, que foram desintegrados da mesma através da ação do ácido, e o próprio ácido (Figura 3).

Esse tratamento tem como resíduo sais de cálcio que são solúveis em água como o Acetato de Cálcio de Magnésio (CMA) que pode ser utilizado como um sal descongelador não corrosivo biodegradável, que já foi escolhido pela Administração Federal Norte Americana de Rodovias como o substituto do cloreto de sódio para derretimento da neve acumulada nas estradas durante as nevascas. Outra potencial utilização do CMA é com um aditivo para a combustão de carvão em usinas termoelétricas, onde o mesmo age como um catalisador e removedor de sulfeto de hidrogênio, liberado pelo carvão (LEINEWEBER, 2002).

Muitas empresas têm investido na produção e venda do CMA, como uma substância não perigosa e de uso massivo futuramente. Como viabilidade de produção, esse resíduo do tratamento de agregados reciclados pode ser uma das fontes na produção do CMA.

Outro produto são os cristais de carbonato de cálcio, que possuem uma ampla aplicação como na indústria de papel, fabricação de fibras e polímeros.

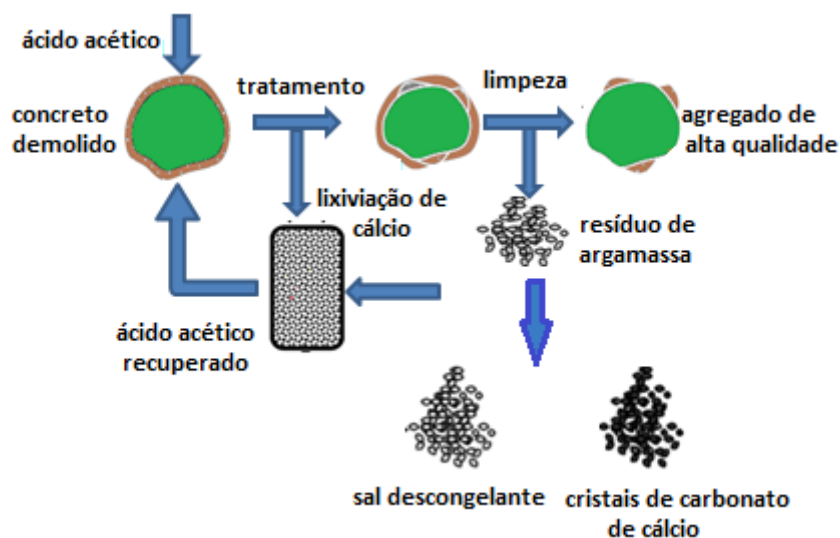


Figura 3: Processo de tratamento e produtos obtidos
Fonte: QUIAN, 2015.

3 MÉTODO DE TRABALHO

Como forma de uma pesquisa explanatória, quantitativa e qualitativa, ao longo deste trabalho foram realizados ensaios e tratamento de agregados reciclados britados de concretos antigos, para identificação das características dos mesmos, bem como a resistência do concreto produzido com esses agregados. A fim de alcançar dados que representassem as vantagens e desvantagens do uso dos RCD's os seguintes procedimentos foram realizados e os materiais foram avaliados na parte prática desde trabalho.

O fluxograma da Figura 4 demonstra os trabalhos que foram planejados para realização neste trabalho. Entretanto o ensaio de exsudação foi descartado por dificuldade de execução por falta de equipamentos específicos e manuseio de uma pessoa somente.

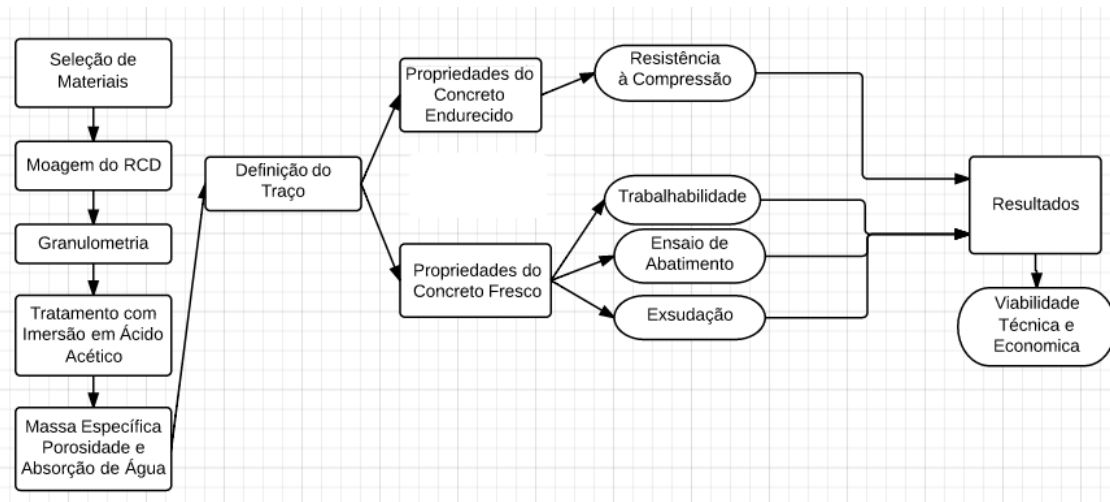


Figura 4: Fluxograma da Sequência de Trabalho Realizado
FONTE: Autora (2015)

3.1 ESCOLHA DO MATERIAL

3.1.1 RCD

Foram produzidos concretos utilizando agregados graúdos reciclados na substituição de agregados graúdos virgens de basalto. Para isso a escolha do material a ser triturado teve de ser a mais homogênea possível para uma verdadeira comparação de resultados.

Sabendo-se que o laboratório de materiais da UTFPR realiza trabalhos de consultoria relacionados à determinação da resistência mecânica de corpos de provas, esses corpos de prova descartados foram utilizados como concreto antigo na produção do agregado reciclado de concreto.

3.1.1.1 Moagem do RCD na Granulometria Desejada

A moagem do RCD de concreto foi feita através do moinho de mandíbula. O intuito era alcançar uma granulometria similar a brita 1, a mais usualmente utilizada em obras cotidianas, com uma dimensão máxima de 19mm. Entretanto, durante o processo de moagem, muitos finos e agregados de dimensões reduzidas foram produzidos. Foram utilizadas peneiras para determinação da granulometria e melhor estudo e aplicação destes agregados.

3.1.1.2 Características do material

Para se determinar as características e propriedades do material foram necessários os ensaios: de determinação da massa específica dos agregados e absorção de água, onde foram seguidos os parâmetros da NBR NM 53: 2003 - Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água para a realização do ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Como um dos objetivos de estudo era a relação entre a absorção do agregado reciclado *in natura* e tratado, essas características foram realizadas antes e depois do tratamento.

3.1.2 Agregado Miúdo e Cimento

Para a composição do traço do concreto executado e testado foi utilizada a areia natural média. Para a mesma foi realizado o ensaio para determinação de umidade, para posteriormente realizar-se a correção da água a ser adicionada à mistura.

O cimento utilizado foi o CP II-Z32, que foi adquirido na região de Pato Branco-PR. O cimento Portland composto é um aglomerante hidráulico obtido

pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno ou materiais carbonáticos, nos teores especificados de 4,2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11578 – Cimento Portland, 1991). No caso do CP II-Z32, há uma adição de pozolana em torno de 6 à 10%.

3.2 TRATAMENTO DOS AGREGADOS RECICLADOS

Sete grupos de agregados reciclados foram separados para a fabricação de sete lotes de corpos de prova, com a granulometria utilizada para concretos convencionais de britas 1. Desses grupos de agregados um não recebeu tratamento com imersão, os outros seis receberam diferentes concentrações e tempos de imersão, como está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamento com Ácido Acético

	Am1	Am2	Am3	Am4	Am5	Am6	Am7
Concentração	0%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
Tempo Imersão (hr)	24	24	24	24	48	48	48

FONTE: Autora (2015)

3.2.1 Absorção e Porosidade

Após a imersão foram analisadas as absorções dos sete grupos e fez-se uma comparação entre os valores, bem como os valores referentes à porosidade.

3.3 PREPARO DO CONCRETO DE AGREGADOS RECICLADOS

Com os sete grupos de agregados preparados foram feitos sete lotes de concreto, moldando 9 corpos de prova para cada lote, seguindo a NBR 5738

(2011). Com os moldes de cilindros de 10x20cm. Os corpos de prova foram rompidos nas idades 3, 7 e 28 dias, três corpos de prova para cada data de testes de compressão. O intuito era comparar as propriedades mecânicas entre os lotes.

3.4 EQUIPAMENTOS

Foi necessária uma gama de equipamentos para a realização dos ensaios necessários para esse trabalho. Entre eles podem-se listar os seguintes:

- Balanças com capacidade necessária para os materiais para produção do concreto;
- Balança hidrostática;
- Cestos para realização de ensaio de umidade;
- Jogo de peneiras para ensaio de granulometria;
- Baldes plásticos para armazenamento de materiais;
- Baldes metálicos para secagem do material em estufa;
- Betoneira;
- Moldes para corpos de prova com diâmetro 10cm e altura de 20cm;
- Haste de compactação;
- Tanque de água;
- *Slump Test*: cone metálico, base e haste de compactação;
- Régua;
- Prensa Hidráulica com sistema de medição de força para ensaio à compressão em corpos-de-prova cilíndricos;
- Estufa – com capacidade de manter a temperatura no intervalo de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- Desempenadeira de madeira – para nivelar a superfície do concreto;
- Concha ou pá - de tamanho adequado para encher o recipiente com os agregados em ensaio;
- Moinho de mandíbula para moagem de resíduos de construção e demolição;
- Baldes plásticos tampados para tratamento dos agregados;

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 MOAGEM E DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS GRAÚDOS

Como a moagem (Figura 5) dos corpos dos corpos de prova de concreto, a fim de gerar os agregados reciclados britados, produz um material não homogêneo quanto a sua granulometria, era ideal a realização da determinação da composição granulométrica, através da NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica.



Figura 5: Moinho de mandíbula para moagem dos materiais
Fonte: Autora (2015).

É importante ressaltar o fato de o material ter sido totalmente peneirado em uma peneira de 19 mm (Figura 6), a fim de estabelecer-se uma dimensão máxima de trabalho. O material não passante nesta peneira era novamente

triturado até atingir essa dimensão. Após essa pré-seleção o material foi avaliado granulometricamente através de um grupo de peneiras (Figura 7).



Figura 6: Peneira de 19 mm para pré-seleção do material
Fonte: Autora (2015)



Figura 7: Peneiras para ensaio de granulometria
Fonte: Autora (2015).

Com uma amostra representativa pesando 2,00 kg do agregado britado, escolhida após a realização de uma mistura de no mínimo duas vezes e quarteamento do material segundo a NBR 7211: 2009, foi realizado o ensaio num conjunto de peneiras mostrado na Tabela 2. Com estes valores foi realizada classificação do resíduo, pesando a quantidade de material acumulado em cada uma das peneiras e determinando sua porcentagem na amostra inicial.

Tabela 2 - Resultado do Ensaio de Granulometria

Peneiras (mm)	Peso Retido	% Retida	% Retida Acumulada
----------------------	--------------------	-----------------	---------------------------

12	940,34	47,02	47,02
9	268,77	13,44	60,46
4,75	528,39	26,43	86,89
2	154,53	7,73	94,62
0,425	81,43	4,07	98,37
Fundo	32,50	1,63	100
Total do Peso Retido: 2,00kg			

FONTE: Autora (2015).

A partir da NBR NM 248:2003, foi possível determinar o módulo de finura do agregado através da soma das porcentagens acumuladas nas peneiras da série normal utilizadas, dividido por cem. O valor de módulo de finura obtido foi de $M_f=3,9$.

Dimensão Máxima Característica do agregado é a peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Como o material foi peneirado numa peneira de 19 mm, após a moagem, a dimensão máxima do mesmo é de 19 mm, isso explica a grande porcentagem de agregado acumulado na primeira peneira 12 mm. O material foi classificado assim como agregado graúdo.

4.2 TRATAMENTO COM ÁCIDO ACÉTICO

Sete porções de 20 kg de agregados reciclados britados foram separadas para seguir-se o planejamento de tratamento dos mesmos. A amostra sem tratamento, Am1, foi somente colocada em imersão em água para posterior ensaios de absorção, enquanto as seis outras amostras receberam o tratamento de pré-imersão em soluções de ácido acético.

O ácido acético foi fornecido pelo curso de química da UTFPR, e para tanto foi necessário um requerimento e plano de uso do reagente.

As três amostras de 1,3 e 5% de concentração de ácido acético em um período de 48hrs foram as primeiras a receberem o tratamento. O tratamento se iniciou no dia 15 de setembro e terminou no dia 17, 48 horas depois do início. Após serem retiradas, as amostras foram lavadas várias vezes para

retirar o máximo de resíduo de ácido possível, a fim de interromper o tratamento.

As três amostras de 1,3 e 5% de concentração, mas com tratamento de 24hrs, foram colocadas em imersão no dia 17 e retiradas no dia 18, e também lavadas em água limpa.



Figura 8: Tratamento do RCD
Fonte: Autora (2015).



Figura 9: Tratamento do RCD
Fonte: Autora (2015).

4.2.1 Resíduo do tratamento com ácido acético

O resíduo é uma junção de um material sólido (sais de cálcio) depositado no fundo do recipiente e uma substância líquida formada principalmente pela solução de ácido acético com partículas sólidas dispersas no material (Figura 10). Esse material deve, depois do tratamento, ser filtrado e separado. Os sólidos poderão ser utilizados como matéria prima para a produção de sal descongelante e cristais de carbonato de cálcio. Já a solução aquosa, poderá ser reutilizada para tratamento de novos agregados reciclados.



Figura 10: Resíduo do tratamento
Fonte: Autora (2015)

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A sequência de trabalho pede a realização dos ensaios para determinação absorção de água de agregados graúdos seguindo as especificações da NBR NM 53/2003, na condição saturada superfície seca, sempre destinados ao uso de concreto.

Cada uma das sete amostras de agregados teve de ser analisada para um comparação de redução de absorção, importante fator na qualificação de um concreto produzido com RCD.

A tendência esperada é de que com o tratamento houvesse uma redução da absorção, e com isso uma menor quantidade de água na interface composta por argamassa antiga e a futura camada de argamassa.

Após a imersão, sejam os agregados que receberam tratamento tanto a amostra que foi imersa em água limpa foram pesados imersos em água com o auxílio de um cesto metálico e balança hidrostática, obtendo-se a massa em água da amostra (m_a). A Figura 9 mostra o esquema para pesagem nesta condição.



Figura 11: Pesagem hidrostática
Fonte: Autora (2015)

Todas as amostras foram retiradas do cesto e secas com panos para obtenção das suas superfícies secas, mas saturadas de água. Foi realizada a pesagem das amostras nessa condição obtendo-se a massa ao ar saturada com superfície seca (m_{sat}).

Para determinação da massa ao ar da amostra seca (m_s), todas as amostras foram levadas à estufa por 24hrs à uma temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

A Equação (4) permite essa determinação e a Tabela 6 apresenta os valores de absorção para as amostras.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

A = Absorção d'água.

Tabela 3 - Absorção de água

Amostras	Am1	Am2	Am3	Am4	Am5	Am6	Am7
Absorção %	6,21	6,2	6,54	6,36	7,5	7,87	8,5

FONTE: Autora (2015).

4.4 DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS PARA PRODUÇÃO DO CONCRETO

Todos os concretos produzidos neste trabalho utilizaram Cimento Portland, areia média, agregado reciclado de concreto, em substituição de brita, e água. Para determinação do traço foi levado em conta o fator de uma resistência desejada de 20MPa.

A resistência média prevista para dosagem não é diretamente o f_{ck} e sim o f_{cjm} . Para determinação do f_{cjm} adota-se a Equação (5) recomendada na ABNT 12655:2006.

$$f_{cjm} = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (5)$$

Onde:

f_{cjm} = resistência média do concreto à compressão a j dias de idade, em MPa;

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em MPa; s_d = desvio-padrão da dosagem, em MPa;

S_d = desvio padrão obtido de uma amostra com n resultados disponíveis;

Para um traço de agregados e cimento medidos em massa, bem como a determinação da umidade dos agregados foi controlada, o $S_d = 4,0$. Desta forma a resistência média prevista será $f_{cjm} = 26,6$ MPa.

4.4.1 Determinação do Fator Água Cimento (a/c)

A resistência do concreto quanto aos esforços mecânicos depende da relação a/c, uma vez que quanto maior o fator água cimento, menor será a resistência do concreto.

Utilizando as Curvas de Abrams na Figura 10, utilizando a relação entre x e f_{c28} foi determinada um valor para $x=0,57$, sendo esse valor a relação de água para cada kg de cimento no traço.

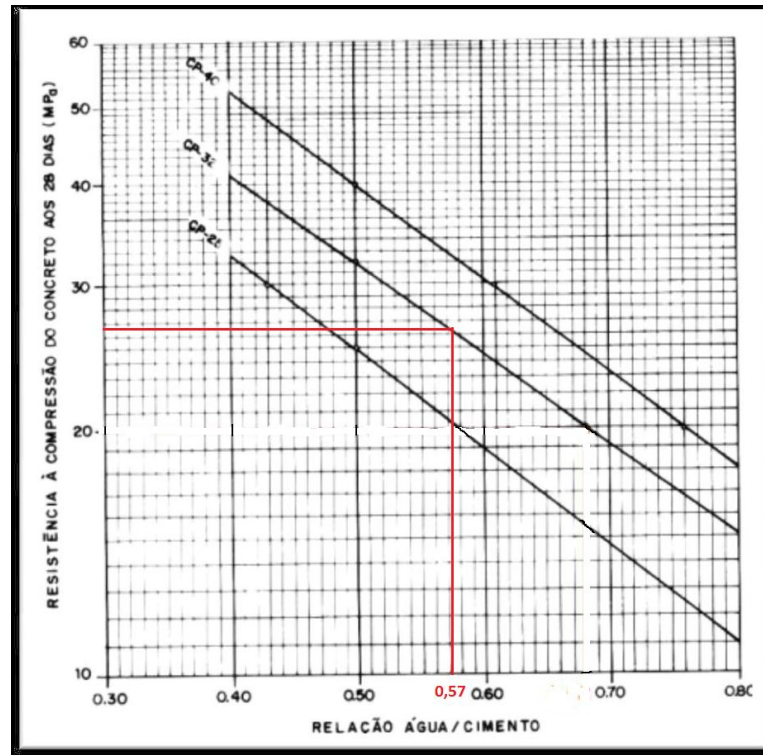


Figura 12: Curva de Abrams
Fonte: Dosagem do concreto por Rodrigues (2003).

Com o valor de x foi possível determinar o peso da água ($P_{\text{água}}$) pela Equação (6).

$$x = \frac{P_{\text{água}}}{P_{\text{cimento}}} \quad (6)$$

Onde:

$P_{\text{água}}$ = Peso da água em kg;

P_{cimento} = Peso do cimento em Kg;

Desta forma, para cada saco de cimento (50kg)

$$0,57 = \frac{P_{\text{água}}}{50}$$

$$P_{\text{água}} = 28,5\text{kg}$$

4.4.2 Determinação da quantidade de materiais secos

A devida relação entre os materiais secos, agregados graúdos e miúdos, e a quantidade de água é o que determina a trabalhabilidade do concreto. Para tanto é importante à realização de uma proporção correta entre os mesmos. A partir da Equação (7) é determinada a relação entre a água e os materiais secos.

$$A\% = \frac{P_{\text{água}}}{P_c + P_m} \quad (7)$$

Onde:

A% = relação água/materiais secos;

P_c = Peso do cimento;

P_m = Peso de materiais secos (areia + brita).

Segundo Rodrigues e Freitas (2000), a relação A% é dada através do tipo de agregado e do adensamento a ser aplicado para o concreto (Figura 11). No concreto deste trabalho foram utilizados agregados graúdos tipo brita e adensamento manual, resultando em uma A%=9%, elevando esse valor para 9,55 devido a brita ter dimensão máxima de 19 mm.

Tipo de Agregado	Tipo de adensamento	
	Manual	Vibrado
Seixo	8%	7%
Brita	9%	8%

Obs: O valor A% refere-se a areia natural e ao agregado graúdo de d_{max} igual a 25 mm. Para d_{max} até 19 mm, somar 0,5% e para d_{max} igual a 38 mm, diminuir 0,5%. Para areia artificial, somar 1%.

Figura 13: Relação água materiais secos

Fonte: Materiais de Construções por Araújo, Rodrigues & Freitas (2000).

$$0,095 = \frac{28,5}{50 + P_m}$$

$$P_m = 250kg$$

Com o valor da massa de agregados foi necessário determinar as quantidades de brita e areia. E novamente através de valores tabelados da Figura 12 para brita e areia média (areia utilizada para produção do concreto deste trabalho) foi possível determinar uma porcentagem de areia de 45% e com a Equação (8), determinados os valores das massas de areia e brita.

Agregado Graúdo	% de areia		
	Fina	Média	Grossa
Seixo	30	35	40
Brita	40	45	50

Figura 14: Relações de agregado graúdo e miúdo
FONTE: Dosagem do concreto por Rodrigues (2003).

$$P_a = \%areia \times P_m \quad (8)$$

Onde:

% areia = areia média (45%).

$$P_a = 112,3kg$$

$$P_b = 137,5kg$$

Desta forma obteve-se o traço: 1: 2,75: 2,25: 0,57

4.4.3 Determinação do Traço Final

O traço foi determinado através da quantidade de agregados reciclados tratados foram obtidos e através das relações de porcentagens de cada material nos itens 4.4.1 e 4.4.2 deste trabalho.

Para cada lote de concreto, foram separados 16 kg de agregado graúdo reciclado tratado. Através dessa massa, todos os outros componentes da mistura foram quantificados. A correção de água devida a umidade da areia foi realizada.

Como os agregados reciclados haviam recebido tratamento e estavam saturados em água, os mesmos foram deixados secando por 24 hrs antes de

serem utilizados. Desta forma, foi possível utilizá-los na forma saturado superfície seca, fato importante uma vez que por ainda possuírem argamassa aderida aos mesmos terem uma absorção de água relativamente grande, o que poderia interferir na água de hidratação do concreto.

4.5 SLUMP TEST – CONSISTENCIA DOS CONCRETOS

Para os sete lotes de concreto produzidos com as amostras de RCD foram realizados ensaios de *Slump Test* descrito pela NBR NM 67 (1998). O ensaio de *Slump Test* foi realizado através do seguinte procedimento:

- Montagem do tronco de cone sobre a placa metálica nivelada. Na sequência o mesmo foi preenchido com concreto dividido em três camadas compactadas por 25 golpes cada. Após a compactação foi nivelada a superfície do concreto;
- Retirou-se o tronco de cone;
- Colocou-se a haste sobre o cone e medido o abatimento

Na Tabela 4 estão apresentados os valores de abatimento para cada lote de concreto produzido com as sete amostras de agregados.

Tabela 4 - Abatimento

Amostras	Am1	Am2	Am3	Am4	Am5	Am6	Am7
Abatimento (cm)	20	17	20	21	18	22	20

FONTE: Autora (2015).

4.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA DO CONCRETO – MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO

4.6.1 Moldagem dos Corpos-de-Prova

Sete lotes de nove corpos de prova foram feitos. No dia 29 de setembro todas as amostras foram moldadas após o concreto ser produzido em uma betoneira do canteiro de obras do curso de Engenharia Civil.

A sequência para colocação dos materiais na betoneira foi primeiramente uma parte da água, depois agregado miúdo, agregado graúdo reciclado, cimento e o restante da água.

Durante a moldagem dos corpos de prova foi necessário o uso de desmoldante nos cilindros, a fim de lubrificar e facilitar a retirada do concreto no dia seguinte. Como descreve a NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, duas camadas de concreto foram dispostas recebendo 12 golpes cada, pois os moldes possuem 10 cm de diâmetro (Figura 14).



Figura 15: Moldes de corpos de prova
Fonte: Autora (2015).

Os corpos de prova foram desmoldados 24 horas depois, identificados e colocados em tanques (Figura 16) para a cura conforme a NBR 9479/2006: Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova.



Figura 16: Cura dos corpos de prova
Fonte: Autora (2015).

4.6.2 Ensaio de Compressão

Nas datas de 3, 7 e 28 dias após a moldagem dos corpos-de-prova e devida cura realizada, os mesmos foram ensaiados na prensa hidráulica (Figura 17) para determinação da resistência à compressão segundo a NBR 5739/2007: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

A Tabela 5 apresenta os valores em MPa das resistências à compressão das amostras de concreto, bem como as médias, desvios padrões e erros.



Figura 17: Rompimento de corpo de prova
Fonte: Autora (2015).

Tabela 5 - Resistência à compressão com erro padrão

Amostras	Am1	Am2	Am3	Am4	Am5	Am6	Am7
3º dia	10,82	9,17	10,94	10,7	7,29	7,64	10,82
	12,22	10,44	8,28	8,28	6,37	7,64	10,82
	8,91	11,71	9,93	7,17	6,10	8,91	10,82
Média	10,65	10,44	9,71	8,71	6,59	8,06	10,82
Desvio Padrão	1,66	0,87	0,95	1,3	0,44	0,54	0
Erro Padrão	0,96	0,52	0,54	0,74	0,25	0,31	0
7º dia	17,83	14,01	12,73	14,01	12,73	8,91	12,73
	16,55	14,01	12,73	15,28	15,28	12,73	16,55
	15,28	17,83	12,73	14,01	12,73	16,55	12,73
Média	16,55	15,28	12,73	14,43	13,58	12,73	14,00
Desvio Padrão	0,92	1,57	0	0,52	1,05	2,70	1,53
Erro Padrão	0,52	0,90	0	0,30	0,60	1,55	0,90
28º dia	16,51	25,4	17,13	17,78	20,32	19,30	21,59

	20,32	25,4	19,05	22,86	15,24	17,5	24,13
	22,86	22,59	20,32	23,5	20,32	19,05	17,79
Média	19,89	24,46	18,83	21,38	18,63	18,62	21,17
Desvio Padrão	2,24	1,12	1,13	2,21	2,07	0,69	1,18
Erro Padrão	1,30	0,64	0,64	1,28	1,19	0,40	0,68

FONTE: Autora (2015).

A Figura 18 relaciona as resistências à compressão de todas as amostras de concreto. É possível verificar que a Am2 tem a maior resistência aos 28 dias, em torno de 9% maior que a Am1 que demonstrou resistências maiores nas datas de 3 e 7 dias.

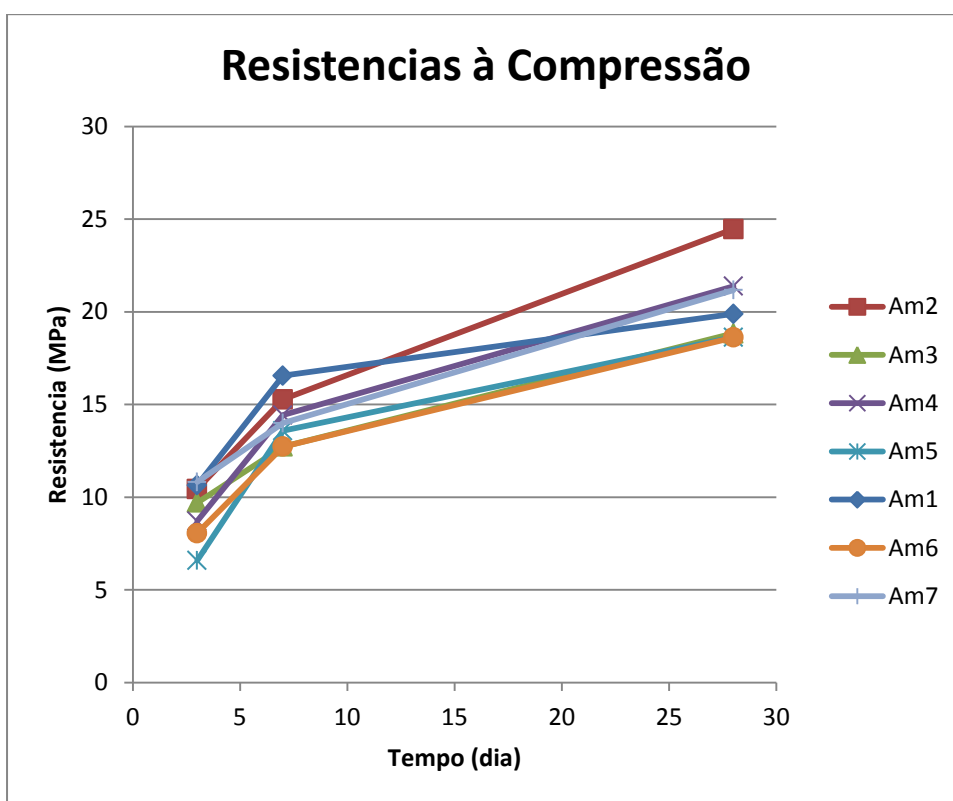


Figura 18: Resistências à compressão
Fonte: Autora (2015).

As diferenças no tratamento de cada amostra trouxeram diferenças de resistências, que podem ter inúmeras explicações através da variação da ação de cada concentração e tempos em que as amostras foram submetidas. Considerando que a Am1, a amostra sem tratamento, apresenta o maior valor de resistência aos 7 dias, e que sua resistência aos 28 dias é maior que as obtidas pelas amostras Am3, Am5 e Am6, possivelmente essas amostras tiveram um enfraquecimento dos agregados durante o tratamento.

A amostra Am2 recebeu um tratamento de 1% por 24 hrs, apresentando o melhor valor geral das amostras, o que indica uma concentração ótima para esse material, pois a mesma foi capaz de retirar as partículas fracas, mas não enfraqueceu os agregados.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de explorar uma técnica pouco conhecida no Brasil, o tratamento e pré-imersão de agregados reciclados em soluções de ácido, mais especificamente, ácido acético visando o aumento da qualidade de concretos produzidos com RCD de concreto.

Com relação à absorção dos agregados tratados com ácido acético era esperada uma redução da mesma. Entretanto, os valores encontrados não representaram significativa redução. Os grupos tratados por 24 horas mostraram uma estagnação de valores, com valores na casa dos 6%, assim como a amostra não tratada. Já os agregados tratados durante 48 horas relataram absorções superiores ao grupo de controle sem tratamento.

O fato de a universidade não possuir um microscópio de varredura eficiente e de acesso fácil, não se pode realizar um estudo do comportamento da interface do agregado. A estagnação na absorção, sem elevação nem significativa redução pode ser explicada hipoteticamente pelo fato de as partículas retiradas pelo banho de 24 horas não serem numerosas o suficiente para reduzir um volume poroso. Quanto ao aumento na absorção dos grupos de 48 horas de tratamento pode ser admitido que o tratamento foi longo demais, causando um enfraquecimento e deixou a camada de argamassa ainda mais porosa, fato que pode ter influenciado nas resistências dos concretos fabricados com esses agregados.

Com base nos dados obtidos com os ensaios de compressão verificou-se que as resistências apresentaram comportamento parecido entre todas as amostras no terceiro e sétimo dias. Já no 28º dia, a amostra Am2 alcançou uma resistência maior do que as demais. Considerando os erros padrões, o valor de 23,82 para Am2 e 21,19 para Am1, esse aumento de resistência para AM2 é considerável mesmo pequeno.

A baixa resistência dos concretos das amostras Am3, Am4, Am5, Am6 e Am7 se explicam a enfraquecimento ocorrido pelo tratamento com ácido, que por ser muito forte para estes agregados com este tipo de concreto fez a camada de argamassa fosse comprometida e não tratada.

Certamente seria necessário refazer as amostras com mais critério e considerando os erros pré-cometidos, ou fazer mais amostras e

melhoramentos, como por exemplo, uma aplicação granulométrica mais eficiente, com menos areia natural e considerando não somente agregado graúdo de RCD, mas também agregado miúdo. Todavia esta é uma área de grande importância de pesquisa e estudo, principalmente pela incorporação de resíduos pela própria produtora, a construção civil.

A viabilidade técnica e sustentável deste tratamento pode ser explorada para aplicação, uma vez que incorpora estes agregados, antes resíduos, como em um ciclo na própria construção civil. Desta forma é uma potencial eliminadora de gastos e preocupações ambientais com disposição final dos mesmos, e também como ampliação das técnicas construtivas com agregados reciclados em usos mais nobres e com melhor qualidade de material.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como forma de sugestão para trabalhos futuros seguem algumas recomendações:

- Maior cuidado com a granulometria: Aplicação de agregado miúdo de RCD substituindo parte da areia natural, como foi feito com o agregado graúdo.
- Analisar o Comportamento global do concreto em algum modelo estrutural. Ex: viga, laje, blocos estruturais.
- Utilizar um melhor critério na adição de água para se obter um Slump menor.
- Tratamento e filtragem do resíduo após o tratamento. Desta forma é possível saber quantos reusos o mesmo pode ter.

REFERÊNCIAS

ABRELPE: **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais: Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** 2010.

ALMEIDA, Luiz C. de. **Estruturas IV: Concreto Armado. Notas de Aula de Engenharia Civil.** Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11758: Cimento Portland composto.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:2006** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003. Emenda 1:2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2009** Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479:2006.** Camara Úmida Para Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 102: Concreto – Determinação da exsudação.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67:1998** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BUDKE, Régis; CARDOSO, Jackson R.; VALE, Silvio B. do. **Resíduos de Construção Civil: Classificação, normas e reciclagem.** Artigo do XXIV ENTMMME. Engenharia de Minas e Meio Ambiente. Salvador, 2011.

CARASEK, Helena. **Argamassas.** Capítulo 26. Artigo de pós-graduação em Geotecnia e Construção Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiás, 2004.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Gestão dos resíduos da construção civil**. Resolução CONAMA nº. 307. Brasília, 2002.

GEYER, André Luiz B. **Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco**. Informativo técnico – Realmix, Ano 2 n.2, 2006.

HASEN, TC. **Reciclagem de concreto e argamassa de demolição**. RILEM Report. Londres, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb/default.shtm>>. Acesso em 27 maio de 2015.

ISMAIL, Sallehan; RAMLI, Mahyuddin. **Propriedades técnicas de agregados reciclados tratados de concreto (RCA) para fins estruturais**. Universidade de Sains. Malasia, 2013.

JUAN, Marta Sanchez; GUTIERREZ, Pilar Alaejos. **Estudo da Influência da Argamassa presente nos agregados reciclados**. Construction and Building Material, Laboratório de Estruturas e Materiais. Madri, 2009.

LAPA, José Silva. L299e. **Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra [manuscrito]** / José Silva Lapa – 2011.

LEINWEBER, Daniel B. **Produção de Acetato de cálcio de magnésio a partir de soluções aquosas de ácido acético diluído**. Tese de Mestrado, Universidade de Wisconsin- Madison. EUA, 2002.

MARINKOVIÄ, Snežana B.; IGNJATOVIÄ, Ivan S.; RADONJANIN, Vlastimir S.; MALESE, and Mirjana M. **Agregados Reciclados de Concreto para Uso Estrutural - Uma Revisão de Tecnologias, Propriedades e Aplicações**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Belgrado. Servia, 2012.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 2ª ed., Tradução por Salvador E. Giammuso, São Paulo: Editora Pinni, 1997 p.749.

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião; PAULON, Vladimir Antonio. **Concreto de cimento Portland**. Ed. 14. 307p. Porto Alegre, 2005.

POON, C.S.; SHUI, Z.H.; LAM, L. **Efeito da microestrutura da zona interfacial na resistência à compressão do concreto com agregados reciclados**. Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, PR China, 2004.

QIAN, Xin. **Estudo de Tratamento de Ácido Fraco em Agregados Reciclados Graúdos**. Programa de Pós Graduação da Universidade do Alabama, 2014).

RAO, Akash; JHAB, Kumar N. MISRAA, Sudhir. **Uso de Agregados Reciclados de Resíduo de Construção e Demolição de Concreto**. Departamento de Engenharia Civil do IIT Kanpur. India, 2007

RILEM(International Union of Testind and Research Laboratories for Materials and Structures). **Agregados reciclados e agregado reciclado de concreto**. 1994.

RODRIGUES, E. H. V.; ARAÚJO, R. C. L.; FREITAS, E. G. A. **Concreto de Cimento Portland**. Materiais de Construções. Ed.1. Editora Universidade Rural, v.1, 203p, cap. 5. Rio de Janeiro, 2000.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003

SINDUSCON- SP - SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil- A experiência do SindusCon-SP**. Disponível em <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes/manual_residuos_solidos.pdf>. Acesso em 24 maio de 2015.

TAM, Vivian W. Y.. **Comparando a implementação de reciclagem de concreto nas indústrias australianas e Japonesas**. Journal of Cleaner Production, University of Western Sydney, Austrália, 2009.

TAM, Vivian W.Y. TAM, C.M.; LEA, K.N.. **Remoção de argamassa de cimento remanescente de agregados reciclados utilizando tentativas de pre-soaking**. Griffith Escola de Engenharia, Queensland. Departamento de Edifícios e Construção, Hong Kong, 2007.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Ed. G. C. Isaia. São Paulo, IBRACON, 2011, 1v.

VIEIRA, Geilma L.; DAL MOLIN, Denise C. C. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Artigo apresentado Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 47-63, out./dez. 2004.

