

Análise da profundidade de carbonatação em argamassas de revestimento com substituição parcial de areia natural por resíduo de construção civil (RCC)

Analysis of the carbonation depth in lime mortars with partial replacement of natural sand by civil construction residue (RCC)

Guilherme Amaral de Moraes, Acadêmico do curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ, Bolsista PET-UNIJUÍ.

guilherme_a_moraes@hotmail.com

Flávia Izabel Bandeira, Acadêmica do curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ, voluntária de pesquisa - UNIJUI.

flavia_izabel_b@hotmail.com

Lucas Fernando Krug, Professor Mestre do curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ, orientador – UNIJUI

lucas.krug@unijui.edu.br

Cristina Eliza Pozzobon, Professora Mestre do curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ, vice-reitora – UNIJUI

pozzobon@unijui.edu.br

Diego Alan Wink Consatti, Acadêmico do curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ, Bolsista PET-UNIJUÍ.

diegoconsatti@hotmail.com

Katia Carolina Hunhoff Botelho, Acadêmica do curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ, voluntária de pesquisa-UNIJUÍ.

katiahunhoffbotelho@hotmail.com

Bruna Gioppo Bueno, Acadêmica do curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ, voluntária de pesquisa-UNIJUÍ.

BRU_Gi_Bueno@hotmail.com@hotmail.com

Resumo

A indústria da construção civil é um setor produtivo que possui significativo papel na economia nacional. Em contrapartida, este setor se sobressai como uma atividade geradora de elevada

quantidade de resíduos. Com a finalidade de criar uma alternativa de reutilização desses materiais e desempenhar um papel frente à sustentabilidade, elaborou-se nesse trabalho argamassas com a utilização de resíduos da britagem do concreto, nas proporções 1:1:4, 1:1:6 e 1:1:8. Para cada traço realizou-se a argamassa referência, contendo apenas areia natural, e as outras com a substituição da areia natural por resíduo de concreto moído nas porcentagens de 10 %, 20% e 30%. Após moldagem e rompimento dos corpos de prova por tração na flexão, analisou-se a profundidade de carbonatação aos 7, 28 e 56 dias. Na análise dessa profundidade, de maneira geral, observaram-se valores pouco variáveis, entre os lotes com substituição de RCC, se comparados com o lote referência, algo positivo.

Palavras-chave: fenolftaleína; durabilidade; resíduos da britagem do concreto.

Abstract

The construction industry is a productive sector that plays a significant role in the national economy. In contrast, this sector stands out as an activity that generates a high amount of waste. In order to create an alternative of reuse of these materials and to play a role in the face of sustainability, it was elaborated in this work mortars with the use of concrete crushing residues, in ratios of 1: 1: 4, 1: 1: 6 and 1 : 1: 8. For each trait, the reference mortar containing only natural sand was used, and the others with the substitution of natural sand for the residue of ground concrete in the percentages of 10%, 20% and 30%. After molding and breaking of the tensile specimens by flexural traction, the carbonation depth was analyzed at 7, 28 and 56 days. In the analysis of this depth, in general, little values were observed, between the lots with substitution of RCC, if compared with the reference lot, something positive.

Keywords: phenolphthalein; durability; waste from the crushing of concrete.

1. Introdução

Segundo Lapa (2011) a Revolução Industrial causou um grande desenvolvimento nos setores que envolvem a Engenharia Civil ao proporcionar o desenvolvimento de novos materiais, assim como a criação de novas fontes de energia. Essa época foi marcada pelo surgimento mais intensificado do ferro, aço e concreto nas obras. Uma obra de construção civil é um processo bastante dinâmico, que envolve uma multiplicidade de tarefas, desde o seu início até ao seu final.

Conforme Jochem (2012) o controle nos processos de demolição e de desconstrução vêm possibilitando a separação de materiais que possuem um potencial de beneficiamento, esse processo ocorre em centrais de reciclagem para a geração de agregados reciclados dos resíduos de construção e de demolição. A redução no custo, na emissão de poluentes que causam impactos ambientais, no consumo de energia e na conservação das matérias-primas naturais, torna o uso do RCC em argamassas algo extremamente vantajoso.

Conceitua-se argamassa como uma mistura plástica cimentosa, a qual é composta principalmente de cal hidratada, cimento Portland, água e areia, e que penetra nas interfaces dos blocos construtivos, fazendo a aglomeração firmemente (GUIMARÃES, 1997). Segundo Carasek (2007) as funções das argamassas variam conforme a sua finalidade ou aplicação, podendo ser para construção de alvenarias, revestimento de paredes e tetos, revestimento de pisos, revestimentos cerâmicos e recuperação de estruturas. O presente estudo irá realizar as análises e ensaios apenas de argamassas com função de revestimento de paredes.

A NBR 13529 de 1995 define um sistema de revestimento como algo composto por argamassa e pelo acabamento decorativo, devendo ser previsto em projeto a natureza da base, as condições de exposição, o desempenho e o acabamento final. Ainda conforme essa norma o revestimento de argamassa é o cobrimento da superfície, composto de uma ou mais camadas superpostas de argamassa, e que está preparado para receber o acabamento final.

Para Sabbatini (2008) um revestimento de argamassa deve apresentar um conjunto de propriedades específicas, para que cumpra as suas funções de forma adequada, tanto no estado fresco, como no estado endurecido. É necessário compreender as suas propriedades e os fatores que influenciam a sua obtenção, pois assim é possível analisar o comportamento do revestimento nas mais diversas situações.

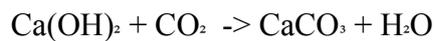
A durabilidade, por exemplo, é uma importante propriedade que pertence ao estado endurecido e é analisada durante o período de uso do revestimento, em relação ao desempenho diante das ações do meio externo com o decorrer do tempo. A fissuração, a espessura excessiva, a qualidade das argamassas, a proliferação de microrganismo, e a falta de manutenção periódica afetam diretamente a durabilidade (SABBATINI, 2008).

Conforme Siqueira (2006), atualmente, uma das grandes preocupações do profissional de engenharia civil está relacionada com a vida útil das estruturas, algo que se liga diretamente à sua durabilidade. A facilidade ou dificuldade que os agentes agressivos aos materiais têm para entrar na argamassa ou em outros elementos do sistema construtivo é o que determina a durabilidade da estrutura.

Para Moura (2007) a qualidade de um sistema de revestimento está diretamente ligada às características de salubridade, conforto e durabilidade que ele apresenta. Quando

se refere à durabilidade deve ser analisada a conservação e a integridade do revestimento, além do custo com a manutenção.

Uma das propriedades que se relaciona com a durabilidade é a carbonatação, a qual é uma reação química que ocorre de maneira esperada nas argamassas. Essa reação acontece devido à presença da cal na mistura, que em contato com o gás carbônico presente na atmosfera faz com que os grãos endureçam por recombinação química entre o hidróxido de cálcio e o gás carbônico (BAUER, 2012). A reação de carbonatação é a seguinte:



Ainda segundo Bauer (2012) essa reação exige a presença de água, e ocorre na temperatura ambiente, em um processo que deve ocorrer de forma lenta, pois se acelerada resulta na insuficiência dos cristais de carbonatos, prejudicando a durabilidade do produto final. Uma das causas da insuficiência de carbonatação da cal é a desagregação da camada de reboco. A aplicação da película de pintura sucede num intervalo maior de 30 dias da execução do reboco, com a finalidade de garantir o tempo de carbonatação da cal.

A carbonatação se processa pelo mecanismo de difusão, que é um processo de transporte de massa em um sistema físico-químico. Quanto maior for a compactação da argamassa, espera-se que a difusão seja menor, por se tratar de um fenômeno de transporte de massa através de um fluido. O coeficiente efetivo da difusão do CO_2 depende da concentração do dióxido na atmosfera além da dimensão, do grau de umidade, e da distribuição dos seus poros (SPERB, 2003).

Segundo Guimarães (1997) para que ocorra a estabilização da cal presente na argamassa é importante a ocorrência da carbonatação, proporcionando um novo corpo de grãos sólidos que se entrelaçam com os demais contidos na mistura. Enquanto não ocorre a estabilização da cal, existe a probabilidade de suas partículas deformarem a superfície do reboco, com pequenas concavidades e saliências, interferindo na estética e conservação do reboco. Para Vaghetti (1999) várias pesquisas indicam que a carbonatação é especialmente influenciada pelo fator água/cimento, pela porosidade e pela permeabilidade, sendo que quanto menor for o valor dessas propriedades, menor será a profundidade de carbonatação apresentada.

2. Procedimentos metodológicos

Para o presente estudo, conforme encontrado na revisão bibliográfica, sobre os traços de argamassa mais frequentemente utilizados no país, foram definidos três traços diferentes. A proporção que segue a sequência de uma quantia unitária de cimento para uma quantidade de cal e de areia natural. Lembrando que a substituição parcial do RCC de concreto ocorreu dentro da porção definida de areia e a relação água/ materiais secos variou entre 0,17 e 0,18. Os traços dosados em massa ficaram estabelecidos em 1:1:4, 1:1:6 e 1:1:8. Além disso, cada um desses traços possui quatro lotes diferentes. Confeccionou-se um lote como referência, sem substituição de areia natural por RCC, e outros três lotes com a substituição de 10, 20 e 30% de areia natural por RCC. No total, foram 12 lotes, envolvendo os 3 tipos de traços, e os 4 lotes para cada um desses traços.

2.1 Moldagem e cura

Todas as moldagem dos corpos de provas (CPs) dos 3 traços, cada um, com 4 lotes cada, ocorreram com o uso de um misturados mecânico, também chamado de argamassadeira. A capacidade máxima de materiais que podem ser adicionados na cuba dessa máquina, sem que ocorra transbordamento, ou perda de material, ficou definida em 2912 kg, aceitando uma pequena variação nessa quantidade, conforme o traço ou a porcentagem. Esse misturador conta com dois níveis de velocidade de mistura, sendo divididas em baixa e alta.

Durante todas as moldagens foi utilizada a velocidade baixa, e seguida uma sequência padrão de adição de cada material no misturador. Inicialmente o cimento, a cal e a água foram adicionados na cuba da argamassadeira, formando o que é chamado de pasta, e misturados durante 30 segundos em velocidade baixa. Após isso, foi adicionado o RCC e a areia natural e realizada a mistura por mais um minuto e meio. A Figura 1 apresenta a argamassadeira utilizada nas moldagens e os recipientes com os materiais, conforme a dosagem definida para cada lote.

Figura 1: Recipientes com os materiais dosados e a argamassadeira



Fonte: autoria própria (2017).

Após o preparo da argamassa, foi realizada a aplicação do material nos moldes. A preparação dos mesmos seguiu os procedimentos da NBR 13279 de 2005, com o uso de óleo nas formas, para facilitar a desmoldagem, e conferência da vedação correta de cada molde, evitando o vazamento de material da fôrma. Para a moldagem fixou-se o molde na mesa de consistência (Flow Table), e foi aplicado 30 golpes em 30 segundos, tanto para primeira camada, como para segunda camada, sendo seguido pelo rasamento na superfície do molde. Essa norma estabelece o uso de moldes prismáticos, com dimensões 4x4x16, para realização dos rompimentos. No total o laboratório conta com 6 formas prismáticas, sendo que cada uma delas molda 3 CPs por vez, totalizando 18 CPs prismáticos por moldagem.

Cada um dos 12 lotes que foram moldados, confeccionou-se 2 CPs prismáticos para cada uma das três idades definidas de rompimento. Seguindo essa quantidade de CPs confeccionados por lote, foi possível realizar três lotes por dia de moldagem, assim

fazendo o uso de todas as fôrmas prismáticas disponíveis no laboratório. A Figura 2 apresenta os moldes prismáticos na mesa de quedas, durante a realização das moldagens.

Figura 2: Moldagem dos corpos de prova prismáticos

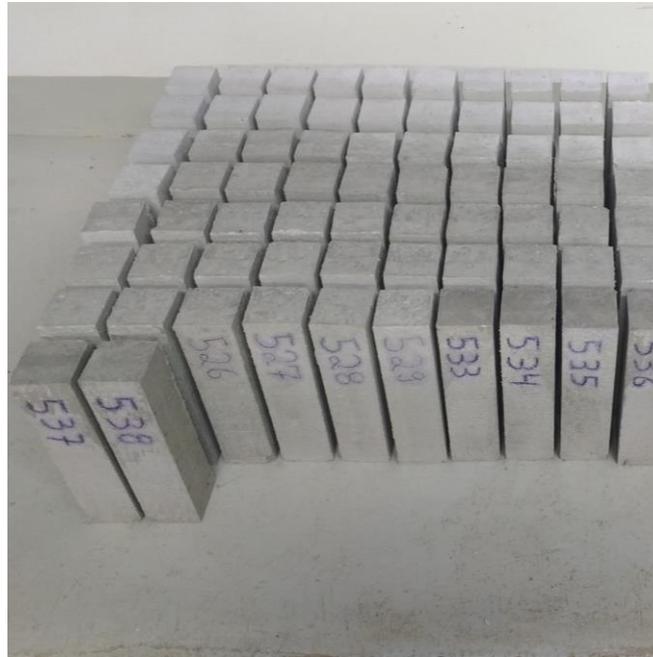


Fonte: autoria própria (2017).

As desmoldagens dos CPs ocorreram no dia posterior às moldagens, sendo cada CP devidamente numerado em sequência, para facilitar a identificação do lote que ele correspondia. O processo seguinte foi levar os CPs desmoldados e numerados para a realização da cura, até que atingissem as idades definidas para a realização dos ensaios, tanto de resistência mecânica como de capilaridade e carbonatação.

Ainda seguindo a norma NBR 13279 de 2005 a cura dos CPs devem seguir uma temperatura semelhante à utilizada na moldagem, ficando próxima a 23 °C, e uma umidade relativa do ar variando entre 55% e 65 %. Pelo fato do laboratório possuir sua câmara úmida, com uma umidade fixa de 95%, optou-se pela cura seca dos CPs, pois a umidade relativa do ar, apesar de variar, normalmente se encontra entre 40% e 70%, algo mais próximo do indicado pela norma. A umidade elevada existente na câmara úmida do laboratório, além de estar em desacordo com o estabelecido pela norma, impede o processo de carbonatação da argamassa, algo que é prejudicial para a cura da cal por se tratar de um aglomerante hidráulico, diminuindo as resistências mecânicas dos CPs, conforme relatado no referencial teórico. A Figura 3 apresenta todos os CPs moldados para estudo, durante a realização da cura seca.

Figura 3: Cura seca dos corpos de prova prismáticos



Fonte: autoria própria (2017).

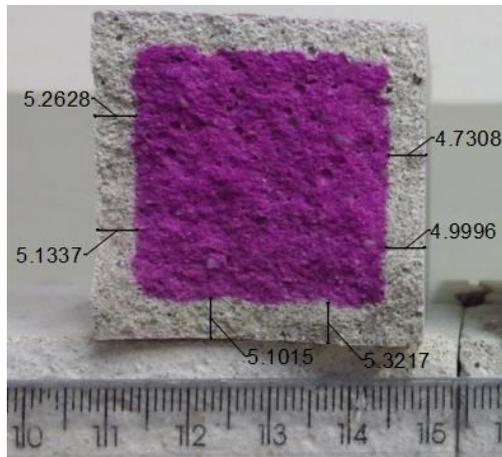
Verificando as idades de rompimentos para tração na flexão e para compressão indicadas na norma NBR 13279 de 2005, e ajustando no cronograma que o estudo deveria seguir, foram estabelecidas as idades de 7, 28 e 56 dias contados a partir da data da moldagem de cada CPs, para ocorrerem os ensaios.

2.2 Carbonatação

A análise dessa propriedade seguiu procedimentos experimentais, encontrados na revisão bibliográfica, pelo fato de existir uma ausência normativa. O ensaio utilizou como base a metodologia encontrada no estudo de Ladeira (2017), intitulado a resistência à carbonatação de argamassas fabricadas com nanotubos de carbono sintetizados diretamente sobre cimento Portland. Utilizando um borrifador com a solução alcoólica de fenolftaleína foram aspergidas as faces internas dos CPs, os quais tiveram o rompido realizado pelos ensaios de tração na flexão e uma das metades utilizada para a realização deste ensaio. A coloração provocada pela aplicação deste reagente na face do CP foi registrada com o uso de imagens, sendo que para todas foi seguido os mesmos parâmetros de configuração, para garantir uniformidade na comparação.

Houve o registro da reação em escala, com o uso de uma régua graduada junto à imagem, para possibilitar as medições da profundidade da carbonatação em direção à superfície até o interior do CP. As imagens da reação em cada CP foram transferidas para o software Autodesk AutoCAD, versão 2015, colocadas em escala através da existência da régua na imagem, e assim realizada a marcação de cotas de profundidade de carbonatação. A Figura 4 apresenta a reação da fenolftaleína em um dos CPs utilizados no estudo, com a marcação das cotas indicando a profundidade de carbonatação e a existência da régua na parte inferior para gerar um fator escala para a imagem.

Figura 4: Ensaio de carbonatação com o uso do reagente fenolftaleína



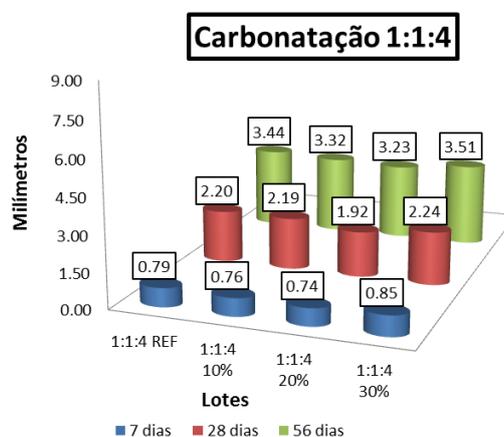
Fonte: autoria própria (2017).

Para cada lote produzido, em cada uma das três idades de rompimento, realizaram-se esses ensaios de carbonatação, com o uso de dois CPs, para obter uma média da profundidade de carbonatação entre os dois. A zona carbonatada na parte mais próxima da superfície do CP apresentou-se incolor, e a não carbonatada mais no interior do CP apresentou uma coloração rosada, sendo possível medir a profundidade da frente de carbonatação na transição de uma zona para a outra.

3. Resultados

Os resultados da carbonatação foram obtidos com o uso de métodos experimentais, encontrados em bibliografias, seguindo todos os processos e etapas descritas na metodologia. A Figura 5 apresenta o gráfico com as profundidades de carbonatação para o traço 1:1:4, e com cada um de seus lotes de substituição de RCC, nas 3 idades do ensaio.

Figura 5: Gráfico com as profundidades de carbonatação para o traço 1:1:4

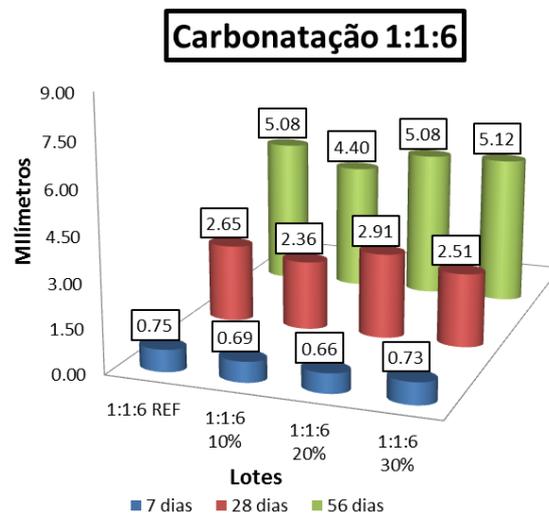


Fonte: autoria própria (2017).

Analisando as profundidades de carbonatação no traço 1:1:4 foi possível perceber o comportamento para cada uma das idades verificadas, entre todos os lotes de porcentagem de substituição. Em cada uma das 3 idades da realização das medições das profundidades de carbonatação, verificou-se um aumento proporcional na profundidade carbonatada, dentro de cada lote, conforme o decorrer das idades.

Comparando o comportamento entre os lotes com substituição de RCC, com o lote Ref, pode-se concluir que o lote 20% apresentou valores um pouco menores, e que o lote 30%, obteve valores um pouco mais elevados de carbonatação, ambos em todas as idades medidas. A Figura 6 apresenta o gráfico com as profundidades de carbonatação para o traço 1:1:6, e com cada um de seus lotes de substituição de RCC, nas 3 idades do ensaio.

Figura 6: Gráfico com as profundidades de carbonatação para o traço 1:1:6

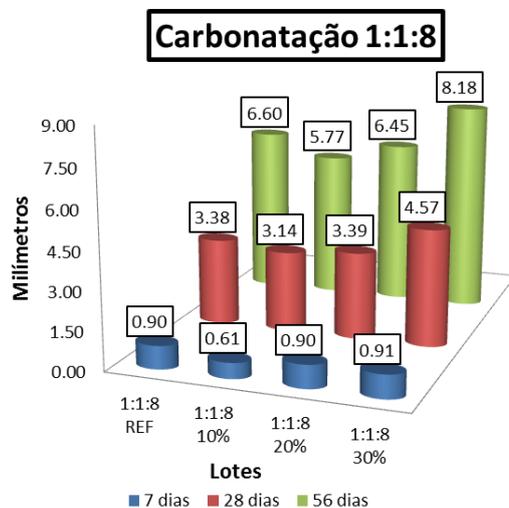


Fonte: autoria própria (2017).

Analisando as profundidades de carbonatação no traço 1:1:6 é possível perceber o comportamento para cada uma das idades verificadas, entre todos os lotes de porcentagem de substituição. Em cada uma das 3 idades da realização das medições das profundidades de carbonatação, verificou-se um aumento proporcional na profundidade carbonatada, dentro de cada lote, conforme o decorrer das idades.

Analisando o comportamento entre os lotes com substituição de RCC, com o lote Ref, pode-se concluir que todos obtiveram um comportamento muito semelhante, em todas as idades, com apenas o lote 10% apresentando valores mais baixos nas profundidades de carbonatação. A Figura 7 apresenta o gráfico com as profundidades de carbonatação para o traço 1:1:8, e com cada um de seus lotes de substituição de RCC, nas 3 idades do ensaio.

Figura 7: Gráfico com as profundidades de carbonatação para o traço 1:1:8



Fonte: autoria própria (2017).

Analisando as profundidades de carbonatação no traço 1:1:8 é possível perceber o comportamento para cada uma das idades verificadas, entre todos os lotes de porcentagem de substituição. Em cada uma das 3 idades da realização das medições das profundidades de carbonatação, verificou-se um aumento proporcional na profundidade carbonatada, dentro de cada lote, conforme o decorrer das idades.

Comparando o comportamento entre os lotes com substituição de RCC, com o lote referência, pode-se concluir que o lote 10% apresentou valores um pouco menores, e que o lote 30%, obteve valores um pouco mais elevados de carbonatação, ambos em todas as idades medidas. A Tabela 1 apresenta as velocidades de carbonatação em milímetros por dia, para todos os lotes, nas 3 idades do ensaio.

Tabela 1: Velocidade carbonatação para todos os lotes analisados

Velocidade de carbonatação em milímetros/dia			
	7 dias	28 dias	56 dias
1:1:4 REF	0.11	0.08	0.06
1:1:4 10%	0.11	0.08	0.06
1:1:4 20%	0.11	0.07	0.06
1:1:4 30%	0.12	0.08	0.06
	7 dias	28 dias	56 dias
1:1:6 REF	0.11	0.09	0.09
1:1:6 10%	0.10	0.08	0.08
1:1:6 20%	0.09	0.10	0.09
1:1:6 30%	0.10	0.09	0.09
	7 dias	28 dias	56 dias
1:1:8 REF	0.13	0.12	0.12
1:1:8 10%	0.09	0.11	0.10
1:1:8 20%	0.13	0.12	0.12
1:1:8 30%	0.13	0.16	0.15

Fonte: autoria própria (2017).

A velocidade de carbonatação apresentou em cada idade, uma proximidade entre os lotes com substituição de RCC, dentro de cada um dos traços. Conforme ocorreu a

passagem das idades, a velocidade de carbonatação teve uma tendência de queda, principalmente nos traços 1:1:4 e 1:1:6 que possuem uma maior quantidade de cimento e de cal, e menor quantidade de areia, e conseqüentemente de RCC. O traço 1:1:8 apresentou uma constância nas velocidades de carbonatação, justificando assim os altos valores do crescimento de profundidade de carbonatação encontrados no decorrer das idades.

Nessa análise de profundidade de carbonatação, de maneira geral, apresentou valores muito próximos, entre os lotes com substituição de RCC, se comparados com o lote referência. Essa estabilidade entre os valores de carbonatação, conforme a adição de RCC nos lotes é extremamente positiva para o estudo, pois não indica uma interferência direta, e relevante do RCC, no processo de carbonatação.

4. Considerações finais

O objetivo principal deste estudo era avaliar a utilização de RCC em substituição parcial de areia natural em argamassas, através do ensaio de carbonatação. Em função disso a partir da pesquisa bibliográfica e análise dos resultados obtidos chegou-se a algumas conclusões.

Quanto à carbonatação a profundidade carbonatada, de maneira geral, apresentou valores muito próximos, entre os lotes com substituição de RCC, se comparados com o lote referência. Essa estabilidade entre os valores de carbonatação, conforme a adição de RCC nos lotes é extremamente positiva para o estudo, pois não indica uma interferência direta, e relevante do RCC, no processo de carbonatação. Conforme ocorreu a passagem das idades, a velocidade de carbonatação teve uma tendência de queda, nos traços que possuem uma maior quantidade de cimento e de cal, e menor quantidade de areia, e conseqüentemente de RCC. O aumento da quantidade de areia, e conseqüentemente de RCC nos traços, causou uma constância nas velocidades de carbonatação, justificando assim os altos valores do crescimento de profundidade de carbonatação encontrados no decorrer das idades.

Por fim cabe ressaltar que esse estudo contém resultados e conclusões iniciais, sobre um tema que ainda tem muito a ser explorado. São grandes as adversidades que o setor da construção civil sofre em relação à exploração de matérias primas, produção de materiais e excesso de resíduos tornando-se importante voltar-se cada vez mais a atividades que visam o desenvolvimento sustentável.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão: Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Rio de Janeiro, 1995.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. Materiais de construção. 2 v. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 538p.

CARASEK, Helena. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1. ed.. São Paulo: G. C. Isaia, 2007. p. 863-904.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. A cal - Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997. 285 p.

JOCHEM, Lidiane Fernanda. Estudo das argamassas de revestimento com RCD: Características físicas e propriedades da microestrutura. Dissertação (mestrado) - Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2012. 221 p.

LADEIRA, Lucas; CALIXTO, José Márcio; LADEIRA, Luiz Orlando; SOUZA, Tarcizo; DIAS, Ana Elisa. Resistência à carbonatação de argamassas fabricadas com nanotubos de carbono sintetizados diretamente sobre cimento Portland. 59º Congresso Brasileiro de Concreto. Bento Gonçalves, RS, 2017.

LAPA, José Silva. Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassa do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra. 2011. 133p. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Construção Civil ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, BH, 28 de fevereiro de 2011.

MOURA, Cristiane Borges. Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco. 2007. 234 p. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade acadêmica. Porto Alegre, dezembro de 2007.

SABBATINI, Fernando Henrique; BAÍA, Luciana Leone Maciel. Projeto e execução de revestimento argamassa. IV ed.. São Paulo: O nome da Rosa, setembro de 2008. 83 p.

SIQUEIRA, José Eduardo Lobato de. Utilização de fibras naturais e sintéticas em argamassas de revestimento de alvenaria: estudo comparativo de desempenho. 2006. 217p. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título Mestre em Engenharia Civil, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC. Florianópolis, SC, agosto de 2006.

SPERB, Júlio Emanuel Klafke. Carbonatação e absorção capilar de concretos com adição minerais e ativadores químicos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2003.

VAGHETTI, Marcos Alberto Oss. Efeitos da cinza volante com cinza de casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonatação do concreto de cimento portland. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 1999.