

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL ¹ MORTARS PRODUCED WITH CIVIL CONSTRUCTION RESIDUE

Guilherme Amaral De Moraes², Flávia Izabel Bandeira³, Diego Alan Wink Consatti⁴, Katia Carolina Hunhoff Botelho⁵, Lucas Fernando Krug⁶

¹ Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil na UNIJUI.

² Graduado em Engenharia Civil e Mestrando em Modelagem Matemática pela UNIJUI.

³ Graduanda em Engenharia Civil na UNIJUI.

⁴ Graduando em Engenharia Civil na UNIJUI.

⁵ Graduada em Engenharia Civil na UNIJUI.

⁶ Graduado em Engenharia Civil na UNIJUI. Mestre pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

Resumo

A construção civil é responsável pela maior parte dos resíduos produzidos atualmente, esses resíduos são gerados durante o processo de construção. Essa grande quantidade de resíduos existentes precisam ter uma destinação ambientalmente adequada. Os benefícios do reaproveitamento desse material são tanto a sustentabilidade, como a diminuição dos custos na aquisição de novos materiais de construção, diminuindo a extração de matéria-prima. A produção de argamassas utilizando resíduos é algo que surgiu mais ultimamente se comparado com o uso no concreto. Pelo fato da argamassa não possuir agregados graúdos, a substituição ocorre na quantidade de agregados miúdos naturais, que mais especificadamente se trata da areia, sendo este o material em maior porcentagem na mistura. Neste trabalho, elaboraram-se argamassas com resíduos da britagem do concreto proveniente da construção civil. Escolheram-se três tipos de traço, nas proporções de 1:1:4, 1:1:6 e 1:1:8. Analisaram-se amostras de argamassa compostas com apenas areia natural, e com 10, 20 e 30% de substituição da areia natural, por resíduos reciclados de concreto, originados em obras da construção civil. Os corpos de prova moldados a partir dessas diferentes misturas foram testados em diferentes idades, quanto à resistência mecânica de tração na flexão, e de compressão e a durabilidade por ensaios de capilaridade e carbonatação. A partir dos ensaios realizados, concluiu-se que conforme o aumento do resíduo na porcentagem dos traços ocorreu um aumento na quantidade de água nas consistências, na retenção de água, na absorção por capilaridade e na carbonatação. As resistências mecânicas de tração na flexão e de compressão diminuíram conforme o aumento do resíduo na porção do traço. Palavra-Chave: Reciclagem. Resistência mecânica. Carbonatação.

Abstract

Civil construction is responsible for most of the residue currently produced, this residue is generated during the construction process. This large amount of existing residue must have an environmentally appropriate destination. The benefits of reusing this material are both

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

sustainability and cost reduction in the acquisition of new building materials, reducing the extraction of raw material. The production of mortars using residue is something that has emerged more recently compared to the use in concrete. Because the mortar does not have large aggregates, the substitution occurs in the quantity of natural small aggregates, more specifically the sand, which is the largest percentage in the mixture. In this work, mortars with concrete crushing residues from civil construction were elaborated. Three types of traces were chosen, in the ratios of 1: 1: 4, 1: 1: 6 and 1: 1: 8. Analyzed samples of mortar composed with only natural sand, and with 10, 20 and 30% substitution of the natural sand, for recycled concrete residues, from the construction works. The specimens molded from these different blends were tested at different ages, for mechanical tensile strength in flexure, compression and durability, by capillary and carbonation tests. From the tests performed, it was concluded that according to the increase of the residue in the percentage of the traces an increase in the amount of water in consistency, water retention, capillary absorption and carbonation occurred. The mechanical tensile strengths in flexion and compression decreased as the residue increased in the trace portion.

Keywords: Recycling. Mechanical resistance. Carbonation.

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. É necessário para que se tenha vantagem neste processo de reutilização, sempre verificar a qualidade e o desempenho destes resíduos, pelo fato de sua variação de composição, na qual pode haver a presença de eventuais contaminantes.

A indústria da construção é considerada a responsável por um consumo considerável de materiais, tanto com relação a quantidade como em diversidade. Para se ter uma ideia, fazendo uma comparação com a indústria automobilística, em relação ao seu consumo, medido em massa de materiais utilizados na produção, os valores podem chegar de 100 a até 200 vezes maior para indústria da construção (SOUZA, 2004).

Conforme Silva (2006) muitas empresas, atualmente, vêm dispondo recursos financeiros em equipamentos e na formação de quadros técnicos, com objetivo de eliminar a cultura do desperdício e estimular a cultura da redução de perdas, reutilização, e reciclagem de resíduos. A construção civil é um dos setores que causa maior impacto ambiental, pelo fato de possuir uma demanda elevada no consumo de matéria-prima.

Conforme Moura (2007) o uso de revestimentos de argamassa em grande escala no sistema construtivo tem gerado um grande interesse pelos pesquisadores e pelas empresas construtoras.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

O interesse em buscar novas técnicas e formas construtivas, para melhorias do setor produtivo e um melhor entendimento do comportamento e das propriedades das argamassas de revestimento. Segundo Jochem (2012) existem várias possibilidades de aplicações para esse RCC em argamassas, podendo ser para revestimento ou para o assentamento. O problema não se encontra em achar uma aplicação para esse resíduo, mas sim enfrentar os problemas de ausência de parâmetros de controle da produção e a aplicação dessas argamassas, e também a variabilidade das propriedades, por se tratar de um material heterogêneo, com diferentes granulometrias. Nos revestimentos de argamassa que contém agregado reciclado ocorrem os mesmos problemas verificados em argamassas compostas somente por agregado natural, mas é que na maioria dos casos esse RCC é utilizado sem o conhecimento técnico necessário, e sem identificar as propriedades, a relação com o agregado natural, e o traço ideal que deve ser utilizado.

A questão principal do estudo é se a utilização de RCC em substituição parcial de areia natural modifica as propriedades de desempenho mecânico e de durabilidade de argamassas. O objetivo é analisar o desempenho mecânico e a durabilidade de argamassas produzidas com substituição parcial de areia natural por RCC.

Revisão bibliográfica

As argamassas há milhares de anos vêm sendo amplamente utilizada na construção de edifícios, na tentativa de melhorar a sua qualidade, proteger, e tornar as construções mais sólidas. Há mais de 8 mil anos, os povos antigos empilhavam tijolos argila ou de pedras umas sobre as outras de modo aleatório e utilizavam para fazer a interligação desses materiais uma fina camada de argila amassada com água (PAULO, 2006).

As argamassas envolvem uma mistura homogênea, e possuem propriedades de endurecimento e aderência. Alguns critérios são levados em conta para classificar as argamassas, sendo eles a natureza, quantidade ou tipo do aglomerante, consistência, plasticidade ou densidade de massa da argamassa, fornecimento de preparo e a função (CARASEK, 2007). Conforme Guimarães (1997) a argamassa adquiriu o significado de 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.

Para Azeredo (1987) numa construção civil, a argamassa representa como se fosse uma cola, sendo um elemento que fixa os materiais entre si. A argamassa é a responsável pela ligação dos elementos da alvenaria, bem como pela estética servindo como um creme para fundo de maquiagem de uma pele, proporcionando uma qualidade do acabamento, tanto interno como externo. Conforme 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 e tetos.

As argamassas atualmente produzidas em obra têm o seu preparo realizado de forma empírica, sem o uso de qualquer traço, e sua mistura fica sob a responsabilidade de um servente, que não possui nenhuma noção técnica, mas sim apenas uma grande experiência na prática, realizando o serviço. É possível verificar que a designação de um traço de argamassa é realizada simplesmente

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

para cumprir uma formalidade, ou também para gerar um orçamento de custos. (AZEREDO, 1987).

Mesmo em obras de pequeno porte, o problema com o uso de argamassas em proporções inadequadas, principalmente em revestimentos, gera prejuízos na qualidade final da edificação. É normal que a dosagem seja feita subjetivamente por um mestre ou pedreiro na obra, e o resultado dessa argamassa se torna uma incógnita quanto a suas características e propriedades (RECENA 2015).

Conforme Guimarães (1997) no Brasil não existem proporções especificadas para definir um traço de argamassa, ao contrário de como ocorre em outros países. Na falta de indicações específicas, os traços mais utilizados no país, tanto para assentamento como para revestimento, são os 1:1:6 e 1:2:9. Em Recena (2015) é sugerido três tipos de traços para argamassas de revestimento, sendo eles 1:0,5:4, considerado um traço forte, o traço médio de 1:1:6, e o mais fraco na proporção de 1:2:9.

Segundo Moura (2007) as argamassas de revestimento têm em sua composição com aglomerantes, agregado, água, e podendo em alguns casos ter a presença de adições e aditivos. O cimento exerce a função do aglomerante, sendo responsável pela união dos agregados envolvidos. A cal na mistura contribui com a plasticidade, que é algo que interfere muito na trabalhabilidade da argamassa no estado fresco. Os agregados são a areia natural e o RCC que têm função dar volume e estrutura para a argamassa.

Conforme Carasek (2007) a consistência é a propriedade das argamassas, que quando é aplicada uma ação de cargas, faz com que a argamassa tenha maior ou menor facilidade de se deformar. A presença da cal hidratada na argamassa é a responsável por proporcionar a capacidade de retenção de água. Essa retenção é uma propriedade essencial para um produto construtivo, com composição de elementos de alto poder de absorção, e influencia na plasticidade e trabalhabilidade das argamassas (GUIMARÃES, 1997).

A resistência mecânica é uma propriedade do revestimento de resistir às ações mecânicas das mais diferentes naturezas, tem um aumento com a redução da proporção de agregados na argamassa e possui uma relação inversamente proporcional com a quantidade de água/cimento. Essa propriedade tem dependência com a natureza e o consumo dos agregados e aglomerantes da argamassa, além da compactação da argamassa durante a execução (SABBATINI, 2008). Conforme Sperb (2003) a absorção capilar, também chamada de capilaridade, é outra propriedade que tem relação com a durabilidade das argamassas, e é responsável pela penetração de líquidos na mistura. A entrada do líquido na argamassa é provocada pela tensão superficial, em que a atração entre as moléculas do líquido é menor do que a atração exercida pelos vasos capilares da argamassa. Essas moléculas na superfície são sugadas para dentro da argamassa até que seu peso equilibre a tensão capilar.

Uma das propriedades que se relaciona com a durabilidade é a carbonatação, que 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:



01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

H²O

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.

Metodologia

O cimento utilizado para realização dos ensaios é o tipo CP II- Z 32, do fabricante CAUÊ, que possui adição de material pozolânico. A escolha desse tipo de cimento ocorreu devido ao fato de ser facilmente encontrado na cidade de Ijuí-RS e na região.

Para a caracterização desse material executou-se o ensaio da massa específica, regido pela NBR NM 23 de 2001, na qual determina a massa específica com a utilização do frasco de Le Chatelier, e o ensaio da massa unitária solta, regido pela NBR NM 45 de 2006, na qual determina a massa unitária solta dos agregados. Encontrando uma massa específica de 3,15 kg/dm³ e uma massa unitária solta de 1,10 kg/dm³.

A cal utilizada para realização dos ensaios é do tipo CH-III, do fabricante CAL CEM, que é uma cal hidratada para argamassas. Para a caracterização desse material executaram-se os mesmos ensaios de massa específica e de massa unitária solta, realizados no cimento. Encontrando uma massa específica de 2,39 kg/dm³ e uma massa unitária solta de 0,68 kg/dm³.

O agregado natural utilizado na realização dos ensaios foi a areia média natural. Para caracterização dessa areia realizou-se a composição granulométrica, regida pela NBR NM 248 de 2001, que estabelece o peneiramento de amostras do agregado, sendo verificada a porcentagem retida e passante nas peneiras determinadas, encontrando assim o diâmetro máximo e o módulo de finura. A massa específica, explicitada na NBR 9776 de 1987, na qual determina a massa específica com a utilização do frasco de Chapman. A massa unitária solta descrita na NBR NM 45 de 2006 foi realizada através do preenchimento de um recipiente específico e pesagem do mesmo. O coeficiente médio de inchamento, obtido conforme a NBR 6467 de 2006, determina o inchamento de agregados miúdos. Encontrando assim, um diâmetro máximo de 1,20 mm, um módulo de finura de 1,62, uma massa específica de 2,57 kg/dm³, uma massa unitária solta de 1,49 kg/dm³, e um coeficiente de inchamento de 1,29.

O RCC utilizado no presente estudo foi fornecido pela central de triagem de resíduos de construção Resicon, localizada no município de Santa Rosa-RS. Esse material se trata de um resíduo de concreto miúdo britado, gerado na realização de obras na construção civil. O RCC foi colocado para secar da mesma forma como foi realizado com a areia. Encontrando assim, um diâmetro máximo de 4,80 mm, um módulo de finura de 2,46, uma massa específica de 2,51 kg/dm³, uma massa unitária solta de 1,27 kg/dm³, e um coeficiente de inchamento de 1,26.

A água utilizada na pesquisa foi fornecida pelo Laboratório de Engenharia Civil (LEC), proveniente da rede de abastecimento do campus da UNIJUI.

A substituição parcial do RCC de concreto ocorreu dentro da porção definida de areia. Os traços 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,

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

foram 12 lotes, envolvendo os 3 tipos de traços, e os 4 lotes para cada um desses traços.

A consistência é uma propriedade analisada com a argamassa no estado fresco e realizada seguindo o estabelecido pela NBR 13276 de 2002. Para a retenção de água, os ensaios dessa propriedade são regidos pela NBR 13277 de 2005, que determina a retenção de água em argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Para a realização dos ensaios em estado endurecido da argamassa, ocorreu a moldagem dos corpos de prova (CPs) e posteriormente sua cura. Todas as moldagem dos 3 traços, cada um, com 4 lotes cada, ocorreram com o uso de um misturados mecânico, também chamado de argamassadeira. Cada um dos 12 lotes que foram moldados, confeccionou-se 2 CPs prismáticos para cada uma das três idades definidas de rompimento, além de 3 CPs cilíndricos para a capilaridade.

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 Figura 1 apresenta todos os 108 CPs moldados para estudo, durante a realização da cura seca.

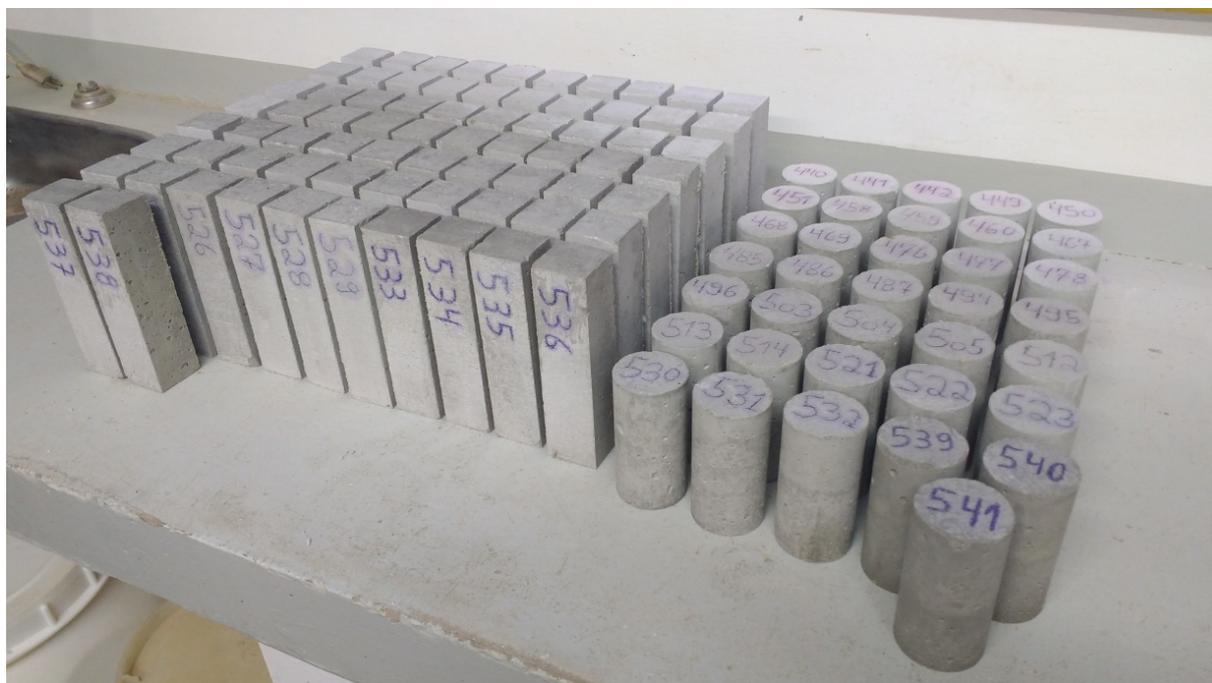


Figura 1 - Cura seca dos corpos de prova prismáticos e cilíndricos (Autoria própria (2017))

Verificando as idades de rompimentos para tração na flexão e para compressão indicadas na norma NBR 13279 de 2005, foram estabelecidas as idades de 7, 28 e 56 dias contados a partir da

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

data da moldagem de cada CPs, para ocorrerem os ensaios.

A tração na flexão e a compressão foram realizadas de acordo com a norma NBR 13279 de 2005. Para cada um dos 12 lotes produzidos foi moldado 2 CPs prismáticos por idade, sendo 3 idades, assim totalizando 72 CPs para a realização do ensaio de tração na flexão, e as metades de cada um desses CPs rompidas por tração, utilizada para o ensaio de compressão.

Na realização do ensaio de absorção foram utilizadas duas normas, pelo fato que uma norma complementa a outra. A NBR 15259 de 2005 normatiza a absorção por capilaridade em argamassas de revestimento, e a NBR 9779 de 1995 envolve a determinação da capilaridade tanto para argamassas como para concretos. Ambas as normas utilizadas estabelecem os mesmos procedimentos de preparo dos CPs para realizar o ensaio. Com os CPs atingindo a idade de cura de 28 dias, contados a partir da data da moldagem, foram levados pra a estufa.

A análise da carbonatação 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 1% 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 foram seguidos 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.

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.

Resultados

Determinação da consistência

A quantidade de água presente em todos os lotes produzido no estudo se estabeleceu através dos parâmetros seguidos pela norma NBR 13276 de 2002. A Tabela 1 apresenta as massas de cada um dos materiais secos utilizados nas proporções, o total de materiais secos envolvidos, a quantidade de água encontrada, a média de espalhamento na mesa, além da relação da quantidade de água com o total de materiais secos.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

TRAÇO 1:1,4					
REF	Cimento (g)	486	20%	Cimento (g)	486
	Cal (g)	486		Cal (g)	486
	Areia (g)	1944		Areia (g)	1554
	Total de materiais secos (g)	2916		RCC (g)	388
	Quantidade de água (g)	560		Total de materiais secos (g)	2914
	Média de espalhamento na mesa (mm)	253.64		Quantidade de água (g)	580
	Relação Água/Materiais secos	0.192		Média de espalhamento na mesa (mm)	253.33
			Relação Água/Materiais secos	0.199	
10%	Cimento (g)	486	30%	Cimento (g)	486
	Cal (g)	486		Cal (g)	486
	Areia (g)	1746		Areia (g)	1358
	RCC (g)	194		RCC (g)	582
	Total de materiais secos (g)	2912		Total de materiais secos (g)	2912
	Quantidade de água (g)	550		Quantidade de água (g)	590
	Média de espalhamento na mesa (mm)	251.81		Média de espalhamento na mesa (mm)	251.65
Relação Água/Materiais secos	0.189	Relação Água/Materiais secos	0.203		
TRAÇO 1:1,6					
REF	Cimento (g)	364	20%	Cimento (g)	364
	Cal (g)	364		Cal (g)	364
	Areia (g)	2184		Areia (g)	1748
	Total de materiais secos (g)	2912		RCC (g)	436
	Quantidade de água (g)	500		Total de materiais secos (g)	2912
	Média de espalhamento na mesa (mm)	251.63		Quantidade de água (g)	530
	Relação Água/Materiais secos	0.172		Média de espalhamento na mesa (mm)	251.97
			Relação Água/Materiais secos	0.182	
10%	Cimento (g)	364	30%	Cimento (g)	364
	Cal (g)	364		Cal (g)	364
	Areia (g)	1966		Areia (g)	1528
	RCC (g)	218		RCC (g)	656
	Total de materiais secos (g)	2912		Total de materiais secos (g)	2912
	Quantidade de água (g)	520		Quantidade de água (g)	540
	Média de espalhamento na mesa (mm)	252.39		Média de espalhamento na mesa (mm)	251.38
Relação Água/Materiais secos	0.179	Relação Água/Materiais secos	0.185		
TRAÇO 1:1,8					
REF	Cimento (g)	292	20%	Cimento (g)	292
	Cal (g)	292		Cal (g)	292
	Areia (g)	2336		Areia (g)	1864
	Total de materiais secos (g)	2920		RCC (g)	466
	Quantidade de água (g)	490		Total de materiais secos (g)	2914
	Média de espalhamento na mesa (mm)	253.76		Quantidade de água (g)	510
	Relação Água/Materiais secos	0.168		Média de espalhamento na mesa (mm)	250.46
			Relação Água/Materiais secos	0.175	
10%	Cimento (g)	292	30%	Cimento (g)	292
	Cal (g)	292		Cal (g)	292
	Areia (g)	2096		Areia (g)	1630
	RCC (g)	232		RCC (g)	698
	Total de materiais secos (g)	2912		Total de materiais secos (g)	2912
	Quantidade de água (g)	500		Quantidade de água (g)	530
	Média de espalhamento na mesa (mm)	252.73		Média de espalhamento na mesa (mm)	251.54
Relação Água/Materiais secos	0.172	Relação Água/Materiais secos	0.182		

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Determinação da retenção de água

A propriedade de retenção de água nas argamassas produzidas no estudo foi obtida através do ensaio estabelecido pela NBR 13277 de 2005. A Figura 2 apresenta o gráfico com os valores encontrados de retenção de água para cada um dos lotes produzidos.

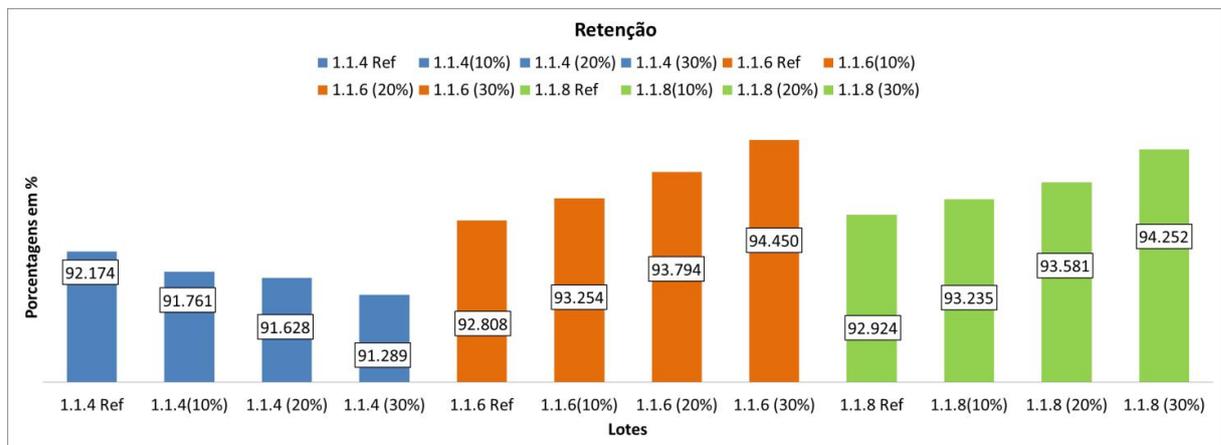


Figura 2 - Gráfico com os resultados da retenção de água (Autoria própria (2017))

Resistência à tração na flexão

Os valores de resistência à tração na flexão foram obtidos durante os rompimentos realizados conforme a NBR 13279 de 2005. A Figura 3 apresenta os gráficos com os valores de resistência à tração na flexão em Megapascal (MPa) para as três idades de rompimento, nos três traços analisados no estudo, e para cada um de seus lotes de substituição de RCC.

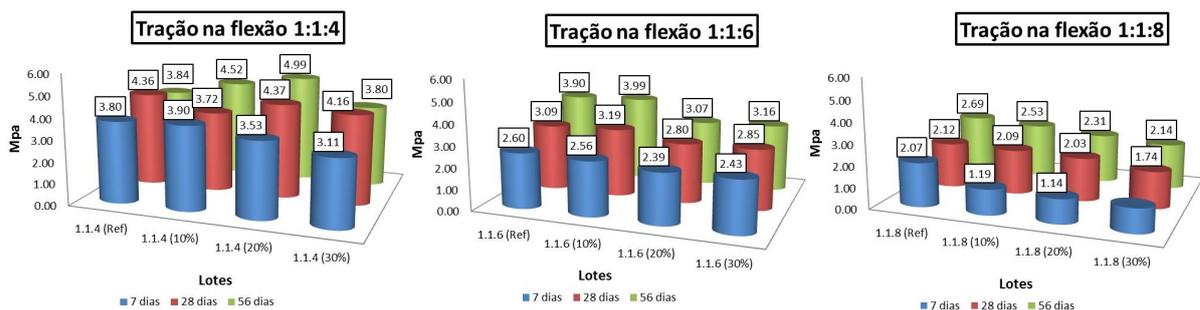


Figura 3 - Gráficos com os resultados da resistência à tração na flexão (Autoria própria (2017))

Resistência à compressão

Os valores de resistência à compressão foram obtidos durante os rompimentos gerados conforme a NBR 13279 de 2005. A Figura 4 apresenta os gráficos com os valores de resistência à compressão em Megapascal (MPa) para as três idades de rompimento, nos três traços analisados

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

no estudo, e para cada um de seus lotes de substituição de RCC.

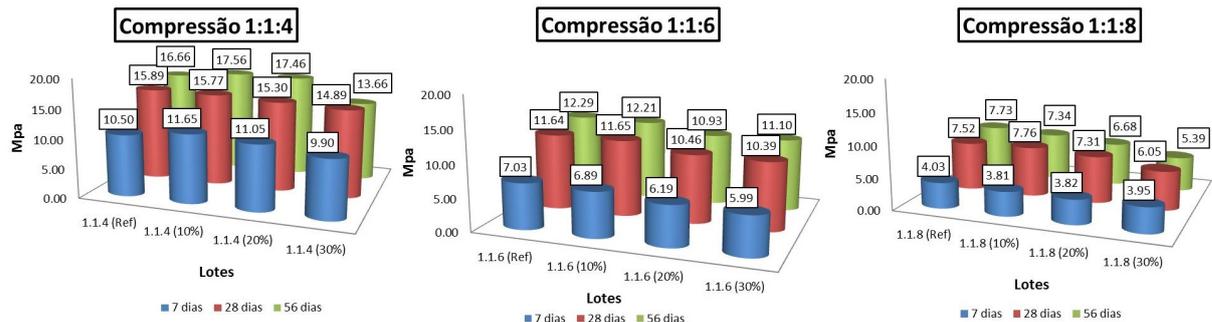
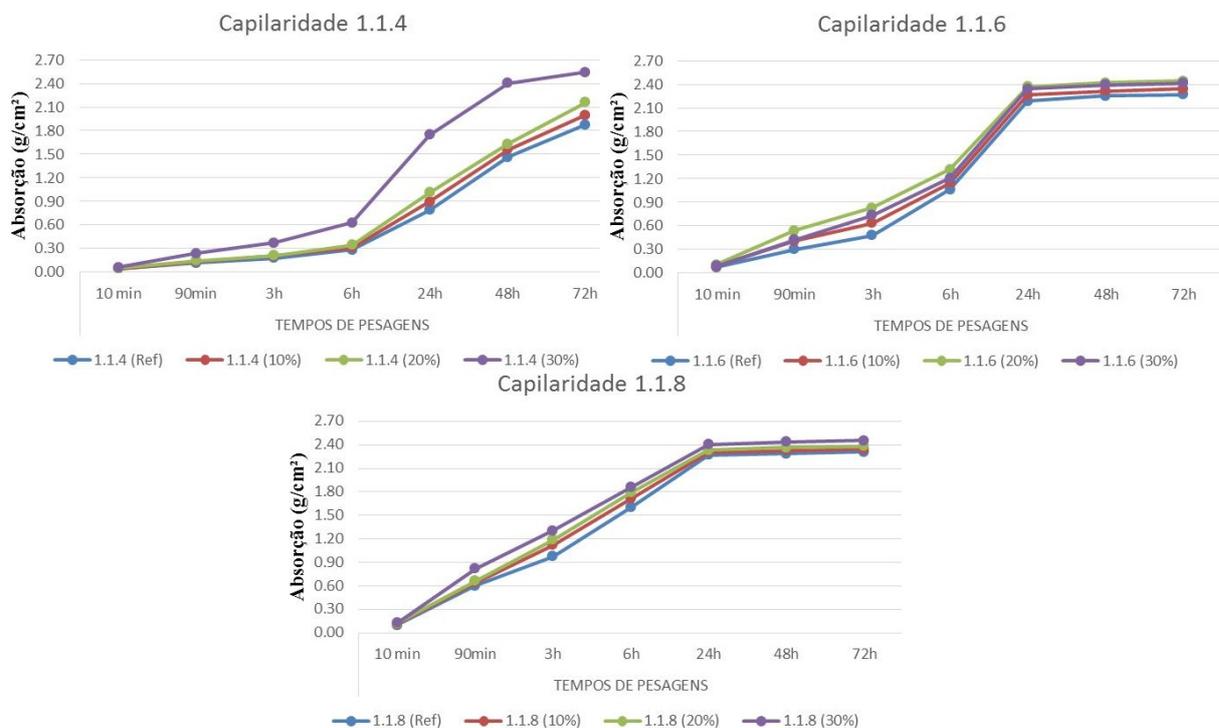


Figura 4 - Gráficos com os resultados da resistência à compressão (Autoria própria (2017))

Absorção por capilaridade

Os valores de absorção por capilaridade foram obtidos quando os CPs atingiram a idade de 28 dias, contados a partir da data da moldagem, seguindo o que estabelece nas duas normas utilizadas no ensaio, que são a NBR 15259 de 2005 e a NBR 9779 de 1995. A Figura 5 apresenta os gráficos com a quantidade de absorção por capilaridade em gramas por centímetros quadrados (g/cm^2), para cada um dos tempos de pesagens dos CPs, nos traços analisados no estudo, e com cada um de seus lotes de substituição de RCC.



01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Figura 5 - Gráficos com as absorções por capilaridade (Autoria própria (2017))

Carbonatação

Os resultados da carbonatação foram obtidos com o uso de métodos experimentais, encontrados em bibliografias (LADEIRA, 2017). A Figura 6 apresenta os gráficos com as profundidades de carbonatação, para todos os traços analisados no estudo, e com cada um de seus lotes de substituição de RCC, nas três idades do ensaio.

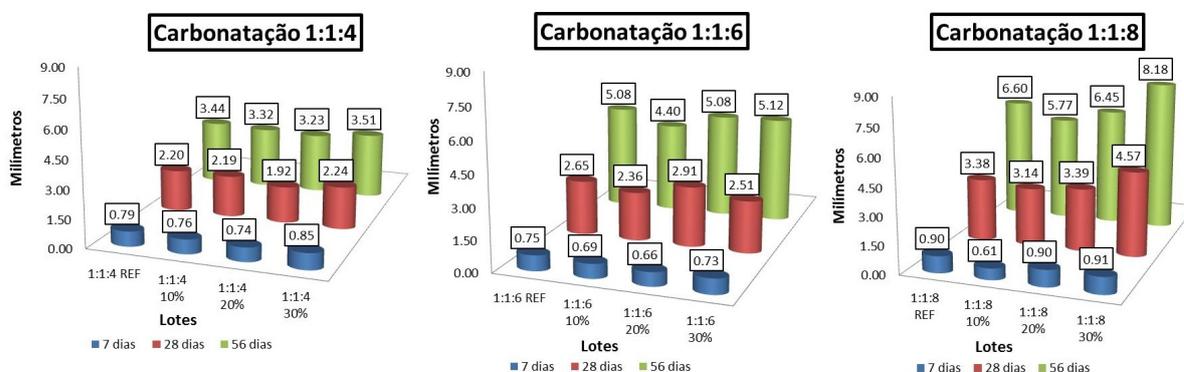


Figura 6 - Gráficos com as profundidades de carbonatação (Autoria própria (2017))

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 consequentemente 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. A Tabela 2 apresenta as velocidades de carbonatação em todas as idades e traços analisados.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

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

Conclusões

Considerando que os objetivos dessa pesquisa eram avaliar a utilização de RCC em substituição parcial de areia natural em argamassas, através de ensaios da tração na flexão, de compressão, de capilaridade e de carbonatação, e desta forma, chegar a uma resposta se isso modifica as propriedades de desempenho mecânico e de durabilidade de argamassas de revestimento. Através da literatura estudada e da análise e discussão dos resultados obtidos nesse experimento chegou-se a algumas conclusões.

Os ensaios de consistência e de retenção de água apesar de não serem citados nos objetivos, foram fundamentais para a obtenção de mais informações sobre o comportamento do RCC nas argamassas, em cada lote produzido. Aliás, a consistência é um ensaio antecessor indispensável para a produção das argamassas que serão utilizadas nos ensaios estabelecidos nos objetivos.

Quanto à consistência, verificando entre os traços produzidos a relação entre a quantidade de água e os materiais secos presente nas misturas, observou-se que quanto maior foi a quantidade de cimento e de cal no traço, maior foi o consumo de água, e conseqüentemente uma maior relação água/materiais secos. O cimento e a cal são materiais de granulometria mais fina que os agregados miúdos, como a areia e o RCC, assim justificando uma maior absorção de água. Analisando o comportamento dessa relação dentro de cada um dos traços estudados, percebeu-se um crescimento conforme o aumento da quantidade de RCC adicionado no traço. Esse crescimento indica uma provável presença de uma maior quantidade de materiais finos no RCC, se comparados com os existentes na areia natural, necessitando assim mais água na mistura, e conseqüentemente gerando um aumentando na relação.

Quanto à retenção de água verificou-se que a adição do RCC em pequenas quantidades, combinada com uma elevada quantidade de cal existente na mistura, causou uma queda na capacidade de retenção de água, a partir do aumento de substituição do RCC na mistura. Já quando o RCC se encontrava em grandes quantidades, chegando a muito próximo, e até superando a quantidade de cal na mistura, ocorreu um crescimento na porcentagem de retenção,

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

a partir do aumento da substituição do RCC.

Quanto à resistência de tração na flexão percebeu-se que os traços com maior quantidade de cimento nas misturas atingiram valores maiores de resistência, devido ao fato desse material ser extremamente importante no ganho de resistência nas argamassas. O crescimento das resistências a partir da evolução das idades de rompimento ocorreu, na sua maioria conforme o esperado. Ocorreu uma tendência de queda de resistência em todos os traços, conforme o aumento da substituição do RCC. Porém a porcentagem com 10% de substituição obteve valores muito próximos da referência, para todos os traços, algo que demonstra que não ocorreu uma queda acentuada de resistência com a adição do RCC nas misturas, podendo ser utilizado principalmente em pequenas quantidades.

Quanto à resistência de compressão constatou-se o mesmo ocorrido nas resistências à tração, com os traços com maior quantidade de cimento nas misturas atingindo valores maiores de resistência nas argamassas. Ainda semelhante aos resultados da resistência à tração, ocorreu uma tendência de queda de resistência em todos os traços, conforme o aumento da substituição do RCC. Porém a porcentagem com 10% de substituição obteve também valores muito próximos da referência, para todos os traços, demonstrando que não ocorreu uma queda acentuada de resistência com a adição do RCC nas misturas, e assim podendo ser utilizado principalmente em pequenas quantidades. O crescimento das resistências a partir da evolução das idades de rompimento só não ocorreu conforme o esperado para o traço 1:1:8. Esse traço possuía a maior quantidade de areia, e conseqüentemente de RCC de todos os traços, e observou-se uma pequena queda de resistência na idade de 56 dias, para todos os lotes com substituição. Esse resultado, nesse traço, é considerado ruim e não esperado no estudo, podendo indicar que em grandes quantidades, o RCC nas argamassas causa perda de resistência com o passar do tempo de aplicação.

Quanto à absorção por capilaridade comparando o comportamento entre os 3 traços desenvolvidos no estudo, pode-se perceber um crescimento nos valores de absorção, conforme o crescimento dos tempos de pesagens. Verificando dentro de cada traço percebe-se que o aumento do RCC causa um crescimento na absorção, pelo fato de necessitar de uma maior quantidade de água nas consistências, aumentando assim os vasos capilares, que servem de porta de entrada para a água por capilaridade, proporcionando uma elevação na absorção. A maior quantidade de materiais finos no RCC, se comparado à areia natural, explicam o aumento da quantidade de água nos lotes. Os traços com menor quantidade de cimento e de cal, e maior quantidade de areia, e conseqüentemente RCC na mistura apresentaram uma absorção inicial superior, até atingir 24 horas, e uma maior estabilização entre os valores a partir das 24 horas até alcançar a última pesagem em 72 horas. Quando essas quantidades se inverteram, o comportamento também se alterou, ocorrendo uma maior estabilização na absorção inicial, até atingir 6 horas, e um acentuado crescimento na absorção entre os valores a partir das 6 horas até alcançar a última pesagem em 72 horas.

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

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

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.

Para a realização dos ensaios desta pesquisa, envolvendo argamassas, inúmeras dificuldades foram encontradas, tanto pela falta de uma célula de carga, responsável pela precisão na aplicação de cargas. Esse estudo contém resultados e conclusões iniciais, sobre um tema que ainda tem muito a ser explorado, realizando um melhor aperfeiçoamento dos ensaios.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6467: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio: Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman: Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade: Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência: Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da retenção de água: Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado: Rio de Janeiro, 2005.

_____. 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.

_____. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade: Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica: Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios: Rio de

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 248: Agregados - determinação da composição granulométrica: Rio de Janeiro, 2003.

AZEREDO, Hélio Alves de. O edifício e seu acabamento. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1987. 178p.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. Materiais de construção. 1 v. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 488p.

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.

JOCHER, 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.

PAULO, Raquel Sofia V. M. Nascimento. Caracterização de Argamassas Industriais. 2006. 149 p.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Dissertação de mestrado apresentado na Universidade de Aveiro no Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro. Aveiro- Portugal, 2006.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. Conhecendo argamassa. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2015.188p.

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.

SILVA, Narciso Gonçalves. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2006. 180 p. Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Construção Civil- PPGCC, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 15 de março de 2006.

SOUZA, U.E.L. et. al., Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. Ambiente Construído, v.4, nº 4, 2004.

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.