



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE
CONCRETO COMO AGENTE DE CURA INTERNA EM
CONCRETO COM CINZA DE CASCA DE ARROZ**

BÁRBARA JORDANI

São Leopoldo, Março de 2016.

BÁRBARA JORDANI

**ESTUDO DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE
CONCRETO COMO AGENTE DE CURA INTERNA EM
CONCRETO COM CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Marlova Piva Kulakowski

Co-orientadora: Prof. Dra. Angela Borges Masuero

Banca examinadora: Prof. Dra. Denise C. Dal Molin - UFRGS

Prof. Dr. Mauricio Mancio - Unisinos

Prof. Dra. Aguida Gomes de Abreu - Unisinos

São Leopoldo, Março de 2016.

J82e

Jordani, Bárbara.

Estudo do agregado graúdo reciclado de concreto como agente de cura interna em concreto com cinza de casa de arroz / Bárbara Jordani. – 2016.

105 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

“Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marlova Piva Kulakowski.”

“Coorientadora: Prof. Dra Angela Borges Masuero.”

1. Engenharia civil. 2. Agregado reciclado de concreto. 3. Cura interna. 4. Cinza de casca de arroz. I. Kulakowski, Marlova Piva. II. Masuero, Angela Borges. III. Título.

CDU 666.972

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Raquel Herbcz França – CRB 10/1795)


BÁRBARA JORDANI

**“ESTUDO DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE
CONCRETO COMO AGENTE DE CURA INTERNA EM
CONCRETO COM CINZA DE CASCA DE ARROZ”**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovada em 31 de março de 2016



Prof.^a Dr.^a Marlova Piva Kulakowski
Orientadora - UNISINOS



Prof.^a Dr.^a Luciana Paulo Gomes
Coordenadora do PPGEC - UNISINOS


Prof.^a Dr.^a Angela Borges Masuero
Coorientadora - UFRGS

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Dr.^a Aguida Gomes de Abreu - UNISINOS


Prof.^a Dr.^a Denise Carpena Coitinho Dal Molin - UFRGS


Prof. Dr. Mauricio Mancio - UNISINOS

Dedico este trabalho aos meus pais
Márcia e Duarte

AGRADECIMENTOS

Dedico estas páginas às pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho:

À Deus, por me dar a vida e saúde;

Aos meus pais Márcia e Duarte, que muito ouviram minhas reclamações durante os dois anos de mestrado, mas que sempre estavam ali para dar todo o suporte que eu precisava. Amo vocês!

Ao meu namorado Gustavo, pela ajuda e pelos momentos de paciência nos últimos dias da dissertação;

A minha orientadora, Professora Marlova Piva Kulakowski, que me acolheu e conduziu por todas as etapas deste trabalho;

A minha co-orientadora Professora Angela Masuero, que contribuiu com suas experiências e conhecimentos;

Ao pessoal do LMC – Mauricio, Rodrigo, Davi, Ingrid e Júlio; com quem convivi quase que diariamente durante meses, e que tornaram os meus dias mais divertidos;

Ao pessoal do NORIE – Demetrius e Airton que me acolheram e deram suporte durante os ensaios.

Aos colegas de mestrado – que compartilharam todos os momentos dessa conquista;

Aos amigos – que de uma forma geral acompanharam minha trajetória neste trabalho;

Aos bolsistas de iniciação científica, pelo interesse em aprender e pela dedicação;

Aos órgãos de fomento à pesquisa, CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, e FAPERGS e FINEP, pelo financiamento da pesquisa.

A Engemix pela doação de materiais;

Sem essas pessoas nada disto seria possível. Foi um trabalho árduo, que demandou esforço, físico e mental, mas que no final toda lágrima e todo o suor foram de fundamental importância para desenvolver um bom trabalho.

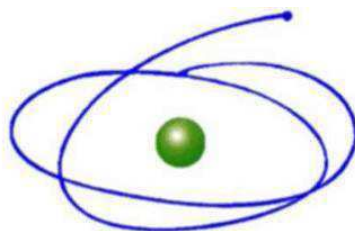
FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA

Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –
CAPES/PROSUP.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS.



C A P E S

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior



**Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico**



FAPERGS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	JUSTIFICATIVA	25
1.2	OBJETIVOS	27
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	27
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	27
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA	27
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	RETRAÇÃO.....	29
2.1.1	<i>Retração plástica.....</i>	29
2.1.2	<i>Retração por secagem.....</i>	30
2.1.3	<i>Fatores que influenciam a retração.....</i>	32
2.2	CURA	33
2.2.1	<i>Cura externa.....</i>	33
2.2.2	<i>Cura interna</i>	34
2.3	CINZA DE CASCA DE ARROZ	35
2.4	AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO (ARC)	39
2.4.1	<i>Concretos fabricados com ARC e CCA.....</i>	40
2.4.2	<i>AGRC como agente de cura interna.....</i>	41
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	45
3.1	PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS.....	45
3.1.1	<i>Fatores de controle e níveis de estudo.....</i>	45
3.1.2	<i>Fatores Fixos.....</i>	45
3.1.3	<i>Variáveis de Respostas.....</i>	46
3.2	MATERIAIS.....	46
3.2.1	<i>Cimento CP II F-32.....</i>	46
3.2.2	<i>Cinza de Casca de Arroz.....</i>	47
3.2.3	<i>Agregados.....</i>	50
3.2.4	<i>Absorção do agregado reciclado.....</i>	53
3.2.5	<i>Determinação do teor de argamassa aderida ao agregado reciclado</i>	55
3.2.6	<i>Aditivo</i>	56
3.2.7	<i>Água.....</i>	56
3.3	PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS	57
3.3.1	<i>Produção dos concretos</i>	57
3.3.2	<i>Moldagem e cura dos corpos de provas</i>	58
3.4	MÉTODOS DE ENSAIO	59
3.4.1	<i>Resistência à compressão axial.....</i>	59
3.4.2	<i>Absorção de água por capilaridade</i>	59
3.4.3	<i>Retração por secagem.....</i>	60
3.5	MÉTODOS DE ANÁLISE DE RESULTADO	61
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	62
4.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	62
4.2	RETRAÇÃO POR SECAGEM	69
4.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	75
5	CONCLUSÃO.....	81
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	82
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICES	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis de estudo	45
Tabela 2 - Caracterização física, química e mecânica do cimento.....	46
Tabela 3 - Caracterização química da CCA	47
Tabela 4 - Distribuição do tamanho das partículas de CCA e Cimento.....	49
Tabela 5 - Massa unitária e Massa específica do agregado miúdo utilizado na pesquisa	51
Tabela 6 - Caracterização granulométrica do agregado miúdo natural	51
Tabela 7 - Massa unitária e Massa específica do agregado graúdo natural utilizado na pesquisa	52
Tabela 8 - Caracterização granulométrica do agregado graúdo natural antes do ajuste.....	52
Tabela 9 - Massa unitária e Massa específica do agregado reciclado	53
Tabela 10 - Caracterização granulométrica do agregado graúdo reciclado.....	53
Tabela 11 - Argamassa aderida ao agregado reciclado de concreto.....	56
Tabela 12 - Característica do aditivo superplastificante.....	56
Tabela 13 - Consumo de materiais para os traços estudados	58
Tabela 14 – Compilação de ANOVA para resistência à compressão das idades estudadas. ...	63
Tabela 15 – ANOVA dos fatores independentes e das interações em relação a retração na idade de 14 dias.	72
Tabela 16 – ANOVA dos fatores independentes e das interações entre eles em relação a retração na idade de 28 dias.....	74
Tabela 17 - Quadro ANOVA dos fatores independentes e das interações entre eles em relação à taxa absorção de água por capilaridade	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da porosidade do concreto com a diminuição por meio da adição de CCA (a) Falha de empacotamento e (b) empacotamento adequado.....	36
Figura 2 - Difratoograma de Raios X da CCA utilizada no estudo.....	48
Figura 3 - Distribuição granulométrica da CCA e do cimento obtida por difratometria a laser	49
Figura 4 - Características micro estruturais da CCA: Imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura – elétrons secundários (a) distribuição granulométrica variada (ampliação 500x) (b) aspecto morfológico a partir de SE ampliação 15000x. Imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura – elétrons retro espalhados (c) homogeneidade da CCA por BSD ampliação 500x (d) aspecto morfológico a partir de SE ampliação 15000x....	50
Figura 5 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural	51
Figura 6 - Curva granulométrica dos agregados graúdos natural e reciclado	53
Figura 7 - Curva de absorção do ARC	54
Figura 8 – Vista geral dos corpos de prova preparados para o ensaio de absorção.....	60
Figura 9 - Pesagem das amostras utilizadas no ensaio de absorção de água.....	60
Figura 10 - Calibragem do equipamento usado no ensaio de retração por secagem.....	61
Figura 11 – Detalhe do corpo de prova posicionado para a realização do ensaio de retração por secagem.....	61
Figura 12 – Influência do tipo de cura e do teor de adição na resistência à compressão ao longo da idade.....	62
Figura 13 – Influência do efeito isolado do fator “Agregado” na resistência à compressão média aos 28 dias.....	64
Figura 14 – Influência do efeito isolado do fator “Agregado” na resistência à compressão média aos 91 dias.....	64
Figura 15 – Influência do efeito isolado do fator “Agregado” na resistência à compressão média aos 112 dias.....	65
Figura 16 – Influência do teor de adição de CCA na resistência à compressão média aos 28 dias.....	66
Figura 17 – Médias de resistência à compressão aos 28 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘CCA’, ‘agregado’ e ‘relação a/agl.....	67
Figura 18 – Médias de resistência à compressão aos 28 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’ e ‘ambiente de cura’, sem agregado de referência.	68
Figura 19 – Resultados de retração ao longo do tempo de concretos com agregado Referência: (a) Cura seca e (b) Cura úmida.....	69
Figura 20 – Resultados de retração ao longo do tempo de concretos com AGRC-seco: (a) Cura seca e (b) Cura úmida.	70
Figura 21 – Resultados de retração ao longo do tempo de concretos com AGRC-úmido: (a) cura seca e (b) cura úmida.	70
Figura 22 – Resultados de retração ao longo do tempo sem os traços de relação a/agl 0,42... ..	71
Figura 23 – Influência do tipo de agregado na retração aos 14 dias.	72
Figura 24 – Médias de retração aos 14 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’ e ‘CCA’	73
Figura 25 – Médias de retração aos 14 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’, ‘relação a/agl’ e ‘CCA’	74
Figura 26 – Médias de retração aos 28 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’ e ‘CCA’	75
Figura 27 – Influência do fator ‘Agregado’ na absorção de água aos 28 dias.	76

Figura 28 - Influência do fator 'CCA' na absorção de água aos 28 dias.....	77
Figura 29 – Representação esquemática da influência dos agregados na tendência de comportamento do concreto.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCM - Associação Brasileira de carvão mineral

a/agl – Relação água/aglomerante

AGRC- Agregado graúdo reciclado de concreto

AGRC-s – Agregado graúdo reciclado de concreto seco

AGRC-u – Agregado graúdo reciclado de concreto úmido

A.N – Agregado natural

ARC – Agregado reciclado de concreto

CANMET - Canada Centro de Tecnologia Mineral e Energia

CCA – Cinza de casca de arroz

CP's – Corpos de prova

C/S – Relação Cal e Sílica

CV- Cinza volante

CONAP – Companhia Nacional de Apicultura

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

RAA – Reação álcali agregado

RCD - Resíduos da construção civil

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

t/ano – tonelada por ano

RESUMO

JORDANI, B. **Estudo do agregado graúdo reciclado de concreto como agente de cura interna em concreto com cinza de casca de arroz**. São Leopoldo, 2016. 107 f. Dissertações (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. Ano.

Nos últimos anos o setor da construção civil está buscando alternativas para substituir as matérias primas utilizadas no processo de produção do concreto, visando preservar o meio ambiente reduzindo extrações da natureza. Diante disso, surge a reciclagem de materiais, que vem ganhando cada vez mais espaço dentro da atividade da construção civil. Uma das alternativas é a utilização de agregados reciclados de concreto (ARC), que podem ser empregados como substituição ao agregado natural. Outra possibilidade é o uso de pozolanas provenientes de resíduos, e dentre as diferentes opções a cinza de casca de arroz se destaca. A cinza de casca de arroz ainda não é largamente utilizada no ocidente, porém vem sendo explorada, sendo um resíduo do setor agropecuário. Após o processo de queima da casca do arroz, surge a cinza que possui grande concentração de sílica. O uso destas pozolanas contribui para diminuir o consumo de cimento. Além disto, o emprego de agregados reciclados pré-saturados pode atuar como um agente de cura interna de concretos, o que, em caso de concretos com pozolanas, pode ser um aspecto positivo para obter-se uma boa hidratação da pasta aglomerante. Este trabalho propõe investigar o efeito do emprego de agregados graúdos reciclados de resíduo de concreto (AGRC) como agente de cura interna em concretos produzidos com pozolana, frente a aspectos vinculados à durabilidade e ao comportamento mecânico. Avaliou-se a substituição do agregado graúdo natural (AN) por (AGRC) em teor determinado pelo Método de Dosagem para Cura Interna, seco e úmido, associado com a substituição de cimento por cinza de casca de arroz em teor de 20%, em dois ambientes de cura (U.R 60% e 100%). Para o estudo foi utilizado três relações a/agl (0,31; 0,42; e 0,53). Os resultados apontaram um efeito positivo do emprego da CCA em concretos fabricados com AGRC. A substituição de cimento por CCA em média pode aumentar a resistência à compressão. Os concretos fabricados com relação a/agl 0,31, para todos os concretos ensaiados, retornaram resistências na faixa de 35-45 MPa. Também foi possível notar retrações significativas até os 28 dias. Já para cura interna cabe ressaltar que o AGRC empregado saturado não apresenta comportamento de agente de cura interna, principalmente no ambiente crítico de ambiente com umidade relativa na ordem de 60%, considerada baixa.

Palavras-chave: agregado reciclado de concreto; cura interna; retração; cinza de casca de arroz.

ABSTRACT

JORDANI, B. **Study of recycled coarse aggregate concrete as internal curing agent in concrete with rice husk ash.** São Leopoldo, 2016. 107 f. Dissertação (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

During the last years, the construction sector has been looking for alternatives to replace the raw materials used for concrete production, in order to reduce environmental impact. The waste recycling as raw material for civil construction can be one of solutions to this problem. One example of this kind of solution is to use the recycled concrete aggregate, which can be used as alternative for the natural aggregate. Another possibility is to use some waste as pozzolanic material, as the rice husk ash. After the burning of the rice hull, it becomes the ash, which has a large concentration of silica. The use of these pozzolans can contribute to reduce the consumption of cement. Furthermore, the usage of pre-saturated recycled aggregate can act as an internal concrete curing agent, which in the case of concretes with pozzolans can be a good way to obtain a better hydration of the binder paste. This study proposes to investigate the effect of the usage of concrete recycled coarse aggregate (RCCA) as an internal curing agent in concrete produced with pozzolan, in order to evaluate the durability and mechanical behaviour. It was evaluated the replacement of natural coarse aggregate (AN) by RCCA. The content of RCCA is related to the binder consumption and it was employed dry and wet. The cement replacement by rice husk ash was done at 20% and it was used three water to binder (w/t) relationships (0.31, 0.42, and 0.53). The curing process was developed in two cure environments (U.R 60% and 100%). The results indicated that the CCA produces positive effect on concrete made with AGRC. The concrete made with respect to w/b 0.31 for all tested concretes returned resistances in the range of 35-45 MPa. The effect of RCCA as internal curing agent is significant when the concrete is cured in a humid environment only for compressive strength. In dry environment, it does not work as internal curing agent. It was also noted significant retractions up to 28 days. As for domestic demand it is noteworthy that the saturated employee AGRC has no internal curing agent behaviour, especially in the critical environment with relative humidity of around 60%, considered low.

Keywords: recycled aggregate concrete; internal curing; retraction; rice husk ash.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de uma trajetória evolucionista, o homem utilizou de forma deliberada os recursos naturais para o desenvolvimento de suas atividades, sem preocupar-se com a possibilidade de sua exaustão.

Porém, o cenário econômico atual não é condizente com o cenário ecológico, demonstrando com isso a necessidade de readaptação das relações entre o homem e a natureza. Segundo Guerra (2008), o setor da construção civil está vivendo o desafio de praticar uma atividade de grande impacto ambiental, buscando soluções e sistemas que conduzam a um desenvolvimento sustentável.

Atualmente a reciclagem é uma alternativa para amenizar o impacto de resíduos da construção civil (RCD) no meio ambiente, visto que a atividade da construção civil gera uma quantidade significativa deste rejeito e consome uma grande parte dos recursos naturais (energia e materiais). Conforme o Departamento Nacional de Produção Mineral foi realizado um levantamento em 2014 onde foi apontado que o consumo de agregados (areia e pedra britada) no Brasil para a construção civil foi de 741 milhões de toneladas naquele ano. Já o consumo de cimento é da ordem de 64,9 milhões de toneladas por ano, mostra o estudo feito pelo SNIC, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento em dezembro de 2015.

Visto que é grande o volume de agregados naturais utilizados no Brasil, há a necessidade de mudanças na construção civil. Uma das alternativas é o uso de resíduos na substituição de recursos naturais. Estes resíduos são transformados em agregados, retornando à cadeia produtiva da construção. O agregado reciclado de concreto (ARC) é uma destas alternativas em substituição ao agregado natural (PANDOVAN,2013)

Hisham *et al.* (2012) observam que quando introduzidos estes agregados reciclados na mistura de concreto, em substituição parcial ou total do agregado padrão, esta utilização tem um efeito negativo na pasta de concreto no estado fresco. Segundo os autores, o ARC, por possuir maior porosidade que o agregado natural, absorve a água da mistura e com isso a trabalhabilidade da pasta é afetada, resultando em uma mistura menos trabalhável. Este comportamento faz com que aumente a demanda de água na mistura para manter a consistência, principalmente em concretos com relações a/c baixas, e, por vezes, para conseguir manter a relação a/c é necessário aumentar o consumo de cimento. Tal efeito pode ser reduzido através da utilização de aditivo superplastificante. Os autores citados ainda

verificaram que a resistência do concreto foi reduzida em até 25%, dependendo do teor do agregado natural substituído por ARC e da relação a/c.

No entanto, quando a perda de trabalhabilidade do concreto é compensada com aditivos superplastificante, algumas vezes a absorção de água do concreto pelo ARC pode diminuir a relação a/c efetiva do concreto, contribuindo para manter a resistência à compressão em relação ao mesmo concreto produzido com 100% de agregado padrão, ou até mesmo aumentá-la (NOGUEIRA, 2015). Por sua vez, o efeito negativo do aumento do consumo de cimento pode ser compensado pelo emprego de pozolanas (KULAKOWSKI et al, 2014).

Um parâmetro a ser considerado na produção de concreto com ARC é a retração, fenômeno que está ligado diretamente às deformações da pasta de cimento, concreto e argamassas, sem a existência de qualquer carregamento. A principal causa da retração é a perda de água da pasta de cimento (HASPARYK et al., 2005).

Por apresentar uma maior porosidade, os ARC que são previamente saturados antes da mistura, absorvem certa quantidade de água, que pode ser considerada como água livre e com isso ocorre o efeito conhecido de “cura interna”, que melhora as propriedades da matriz de cimento, hidratando as partículas de cimento que ainda não foram hidratados (BUTTLER, 2003).

Em pesquisa realizada por Troian (2010), os resultados para concretos fabricados com ARC demonstraram um aumento na absorção de água quando comparado com o concreto de referência. Porém, ao serem comparados os concretos com 50% de ARC 18 MPa e 50% de ARC 50 MPa, a absorção do primeiro foi na ordem de 30% maior do que do segundo. De acordo com a autora, este resultado já era esperado porque concretos mais resistentes são menos porosos.

Por sua vez, as pozolanas em geral são empregadas para diminuir consumo de cimento e melhorar propriedades do concreto. Pozolanas podem ser naturais de origem vulcânica ou artificial, que são materiais resultantes de processos industriais ou provenientes de tratamento térmico com atividade pozolânica (NBR 12653/1992), e podem ser divididas em argilas calcinadas, cinzas volantes e outros materiais.

Entre as diversas adições pozolânicas existentes, entre elas a cinza volante, o metacaulim, a sílica ativa, destaca-se a cinza da casca de arroz (CCA). Segundo FAO (2016), a produção global de arroz em 2014 foi de 744 milhões de toneladas, perante a qual o Brasil

se coloca como o 9º produtor mundial. A região sul do Brasil é a maior produtora de arroz e metade desta produção se localiza no Rio Grande do Sul. O beneficiamento do arroz gera uma quantidade significativa de casca de arroz, pois ela corresponde 20% que ao ser queimado gera uma cinza com teor de sílica e carbono.

A CCA recentemente comercializada, ainda no ocidente não está largamente difundida no uso corriqueiro. Deste modo, o meio acadêmico vem buscando entender cada vez mais o comportamento do uso desta pozolana (ERHART et al., 2014; CEZAR, 2011; ZERBINO et al., 2011).

Neste contexto, a presente pesquisa propõe investigar o efeito do emprego de agregados reciclados de resíduo de concreto como agente de cura interna em concretos produzidos com cinza de casca de arroz, frente a aspectos vinculados à durabilidade e ao comportamento mecânico.

1.1 JUSTIFICATIVA

Uma maneira de reduzir o impacto ambiental causado pelas ações de extrações de matéria prima da natureza é a utilização de resíduos de construção civil, resíduo que hoje se apresenta em grande em volume nas cidades e em sua maioria, depositados em lugares inapropriados. O RCD é uma destas alternativas, este é composto de diferentes materiais utilizados durante toda a execução da obra. Já ARC são resíduos provenientes apenas de concretos, com isso apresentam características melhores do que as do RCD.

Conforme Buttler e Corrêa (2006), os resíduos de concreto gerados em fábricas de pré-moldados mostram um interessante potencial para serem reciclados, pois apresentam uma homogeneidade e uma existência insignificante de contaminantes quando comparados aos RCD.

A utilização de ARC no concreto vem sendo investigada, e algumas pesquisas indicam que os concretos produzidos com agregados reciclados, em algumas circunstâncias, podem até mesmo apresentar melhor desempenho quando comparado aos concretos com agregados naturais (PEREIRA, 2012). Porém, algumas vezes, conforme Fedumentti (2013), o seu emprego pode aumentar a porosidade do concreto e, com isso, diminuir sua durabilidade.

Akçay e Tasdemir (2010) mencionam que o uso de agregado reciclado de concreto é uma opção para realizar a cura interna do concreto, já que estes agregados são porosos. A cura interna auxilia na hidratação das partículas de cimento e na prevenção de fissuras por retração.

Alguns autores, entre eles Buttler (2003) e Cabral et al. (2010), atribuem ação de cura interna a agregados graúdos reciclados, este trabalho busca esclarecer se esta ação realmente pode ser atribuída a agregados com dimensão máxima característica de agregado graúdo.

A melhoria da durabilidade dos concretos pode ser obtida pelo uso de pozolanas, tais como sílica ativa (KULAKOWSKI et al., 2009), argilas calcinadas e metacaulim (SOUZA e DAL MOLIN, 2005), cinza volante (NATH e SARKER, 2011) e CCA (CHAO-LUNG et al., 2011).

O entendimento sobre durabilidade de estruturas de concreto é essencial para contribuir no prognóstico do comportamento do concreto em longo prazo, prevenir manifestações patológicas nas estruturas, contribuir para a sustentabilidade, economia e durabilidade das mesmas (MEDEIROS et al., 2011).

Outro fator importante relacionado à durabilidade de concreto é a retração, fenômeno que desencadeia as fissuras nas estruturas de concreto. Kage e Ohno (2011) mencionam que o aparecimento de fissuras causa a perda de desempenho da estrutura em longo prazo, e com isso prejudica a durabilidade, relacionada à perda de estanqueidade e à resistência. Güneyisi et al. (2012) acrescentam que as propriedades de permeabilidade e retração estão ligadas à durabilidade de concreto, e que tais propriedades podem ser melhoradas em concretos com substituição de cimento por adições minerais.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de arroz, e grande parte dessa produção está localizada no Rio Grande do Sul. A CCA é composta em sua maior parte por silicatos, e sua estrutura é classificada como não cristalina. Devido à forma de suas partículas, após passar por um processo de beneficiamento, pode ser empregada como pozolana (YING et al., 2013). O estudo de Siddique e Khan (2011) ressaltam alguns aspectos positivos no uso de cinza de casca de arroz como pozolana no concreto, como uma melhora na resistência, benefícios ambientais relacionados à eliminação de resíduos e a redução das emissões de dióxido de carbono devido à redução de cimento.

Contudo, Kulakowski et al. (2014) ao trabalharem com a produção de concreto, substituindo o agregado natural por ARC, em 25% e 50%, e o cimento por CCA, em 10% e 20%, observaram que o melhor desempenho referente à resistência à penetração de cloretos foi obtido em concretos com 50% de ARC e 20% de CCA, mostrou em média de 91% de

melhora quando comparado com o concreto produzido com 50% de ARC sem CCA em sua composição.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo geral investigar o efeito do emprego de agregados graúdos reciclados de resíduo de concreto como agente de cura interna em concreto produzido com cinza de casca de arroz.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- investigar o comportamento dos teores de AGRC dosados como agente de cura interna;
- analisar a influência do AGRC e CCA na resistência à compressão, retração e absorção de água de concretos;
- analisar a influência do tipo de cura dos concretos.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta pesquisa é dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo inclui a introdução e justificativa, demonstrando a problemática do estudo e sua relevância, na sequência estão descritos os objetivos do estudo.

O segundo capítulo descreve a revisão bibliográfica dos assuntos pertinentes ao tema de pesquisa, com enfoque em retração do concreto, cura interna, cinza de casca de arroz, concretos produzidos com agregado reciclado e pozolanas.

O capítulo três contempla o programa experimental da pesquisa, assim como os materiais e métodos utilizados no estudo, bem como o programa experimental executado.

Os resultados, as análises e discussões desses resultados são apresentados no quarto capítulo.

Enfim, o quinto capítulo releva as conclusões da pesquisa, respondendo aos objetivos proposto do estudo.

1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Tendo definido o objeto de estudo e objetivos da pesquisa, podem-se traçar as delimitações da pesquisa.

Muitos são os fatores que influenciam as características físicas e mecânicas do concreto, afetando sua durabilidade, como por exemplo, o tipo de cimento, a relação a/c, os agregados, as condições de ensaio, os métodos utilizados, entre outros. Devido a estas variáveis, surge a necessidade de se delimitar o programa experimental desenvolvido, com os seguintes itens em destaque:

- Tipo de cimento: como o objetivo da pesquisa é verificar a influência de utilização do ARC e substituição parcial do cimento por CCA, optou-se por trabalhar com o cimento CP-II-F-32 por sua composição não apresentar adições pozolânicas.

- Percentual de substituição de cimento: os percentuais de substituição de cimento por CCA será de 20% em massa, percentual embasado em outros estudos deste assunto, como por exemplo, os estudos realizados por Krug (2011), Fedumenti (2013), Cecconello (2013).

- Percentual de substituição do agregado graúdo: o percentual de substituição de AGRC será determinado através do Método de Dosagem para Cura Interna.

- Tipo de agregado graúdo: O agregado utilizado é proveniente de resíduo da produção de pré-moldados de concreto, submetida à cura convencional, com fck 35 MPa, britados em um britador de mandíbulas e pré-classificado em peneira, adotando-se a fração passante na peneira de malha de abertura 19 mm e retida na 4,8 mm.

- Tipo de cinza de casca de arroz: a cinza utilizada é uma cinza gerada através de reator de leito fluidizado e comercializada pela Pilecco Nobre Alimentos Ltda.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica serão apresentados assuntos pertinentes ao estudo como retração do concreto, resíduo de concreto, cura interna, cinza de casca de arroz, associação de agregados reciclados de concretos e pozolanas e métodos de absorção de água e porosidade.

2.1 RETRAÇÃO

Retração é um fenômeno que está relacionado com as deformações em pastas de cimento, argamassas e concreto, sem a presença de qualquer carregamento (HASPARYK et al., 2005), e normalmente está associado à diminuição de volume, levando geralmente ao surgimento de fissuras quando houver restrições à livre movimentação. Em grande parte dos casos, esta deformação vincula-se à perda de água. Desta forma, pode-se dizer que a retração é uma propriedade da pasta de cimento, sendo que a ação do agregado é restritiva às deformações de retração.

O fenômeno da retração pode ser subdividido em cinco tipos distintos, sendo: elas a retração plástica, retração por secagem, retração autógena, retração térmica e retração por carbonatação. Cada tipo acontece em idades particulares e apresentam magnitudes diferentes, dependendo dos materiais utilizados e suas proporções, além das condições ambientais de exposição.

No estado fresco do concreto o fenômeno da retração pode ocorrer pela perda de água por exsudação, evaporação, absorção de água pelos agregados, absorção de água pelas fôrmas e percolação por juntas. Estas formas de perda de água ocasionam a retração plástica. No entanto, a perda de água no concreto endurecido acontece quando o mesmo é exposto a ambientes com umidade relativa menores a 100%, o que dá origem à retração por secagem (HELENE e ANDRADE, 2010).

Pode-se dizer que a frequência de ocorrência de fissuras por retração é maior para as ocasionadas pela retração plástica e pela retração por secagem, e estas podem ser minimizadas pela ação dos agentes de cura de interna. Desta forma, estes dois tipos são destacados na sequência, apesar do programa experimental desta pesquisa ter investigado apenas a segunda.

2.1.1 Retração plástica

A retração plástica ocorre no concreto fresco, ainda em seu estado plástico, e geralmente está associada ao assentamento do concreto nas fôrmas. Quando este

assentamento não é uniforme, por presença de obstáculos e restrições, poderão surgir fissuras (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Como exemplos destas obstruções, pode-se citar as armaduras de uma laje, ou mesmo tubulações embutidas.

Retração plástica caracteriza-se ainda pela perda de água em velocidade maior do que a taxa de exsudação de água para a superfície, ocasionando perda de plasticidade superficial (enrijecimento), acompanhado pela contração do concreto. Esta perda de plasticidade, segundo Mehta e Monteiro (2014), faz com que o concreto não possa se reacomodar na contração e, não possuindo ainda resistência à tração, geram-se fissuras. Essas fissuras predominam em superfícies horizontais (lajes) e ocorrem quando o concreto está sendo lançado na superfície. Alguns fatores como temperatura, umidade relativa do ambiente, velocidade do vento e relação a/c influenciam na retração (NEVILLE, 1997).

Diniz, Fernandez e Kuperman (2011) relatam que quanto maior for a velocidade de evaporação da água, maior é a probabilidade de aparecimento de fissuração por retração. Com isso, surge a importância de se realizar um procedimento de cura adequado do concreto (HELENE e ANDRADE, 2010).

2.1.2 Retração por secagem

A retração por secagem ocorre no concreto endurecido, nas idades iniciais, cuja umidade relativa interna do concreto ainda é elevada (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Nestas idades, o concreto não possui resistência à tração compatível com as tensões geradas pela perda de água.

Segundo Bishop (2002), a retração por secagem pode ser definida como uma deformação dependente do tempo devida à perda de água em condições de temperatura e umidade relativa constante desfavoráveis ao concreto. Estas condições ambientais levam à perda brusca de água, o que gera tensões capilares internas. Nas idades iniciais, estas tensões internas superam a resistência à tração do concreto, tendo como consequência o surgimento de fissuras.

Desta forma, assim que o concreto se encontrar endurecido ao final da pega, é necessário promover condições de cura com elevada umidade relativa, próxima a 100%, para evitar a perda brusca de água (HELENE e ANDRADE, 2010).

A retração por secagem é uma propriedade importante a ser estudada, pois está relacionada com a durabilidade dos concretos. Em especial, nos concretos fabricados com agregados reciclados, segundo Buttler (2003) a retração por secagem merece destaque. O

agregado reciclado de concreto possui uma camada de argamassa aderida na sua superfície e, de acordo com o autor, este aspecto demanda uma quantidade maior de água na mistura, o que pode resultar uma retração por secagem maior. Soma-se a este aspecto, o fato de que a substituição parcial do agregado padrão, geralmente de baixa porosidade, por um agregado poroso pode ser prejudicial ao comportamento perante a retração.

Para um melhor entendimento sobre o mecanismo de retração por secagem, é necessário um estudo dos diversos tipos de água presentes na mistura.

A *água capilar* refere-se à água existente nos macro poros e pode ser identificada como água livre, pois não causa variação de volume quando é retirada, enquanto a água contida nos capilares pequenos (5 – 50 µm) pode ocasionar retração do sistema. A retirada da água livre não gera danos ao material, mas a remoção da água retida por tensão capilar gera retração (ISAIA, 2011).

De acordo com estudo de HASPARYK et al. (2005), a *água adsorvida* aparece junto à superfície das paredes moleculares dos produtos de hidratação e está fisicamente presa à superfície do sólido, devido à influência de forças de atração que, quando rompidas, causam a retração da pasta por secagem. A água adsorvida da pasta pode ser facilmente perdida, por secagem da pasta à umidade relativa igual ou inferior à 30%. Esta perda de água é responsável pela retração na pasta de cimento hidratado.

Já a *água quimicamente combinada*, ou de cristalização, caracteriza-se por estar presente nas moléculas dos produtos de hidratação da pasta de cimento. Esta não é perdida no processo de secagem, mas é liberado a partir da decomposição dos hidratos, o que acontece por aquecimento (HASPARYK et al., (2005); ISAIA, (2011)).

Por fim, a *água interlamelar* é a água agregada à estrutura do silicato de cálcio hidratado e entre as lamelas formadas durante a cristalização dos silicatos, por meio do avanço do grau de hidratação. A perda deste tipo de água causa retração, mas só ocorre quando sob umidade relativa do ar inferior a 11% (ISAIA, 2011).

De acordo com esses conceitos pode-se verificar que o fenômeno de retração se manifesta com facilidade no concreto. Cabral et al. (2010) complementam que, em concretos expostos a ambientes com grau de saturação inferior a 100% de umidade relativa, provavelmente a retração por secagem ocorra.

2.1.3 Fatores que influenciam a retração

A existência de diversos fatores pode interferir na propriedade de retração, tanto na magnitude, como na probabilidade de ocorrer a fissuração do concreto.

Segundo o estudo de Neville (1997), a granulometria e o tamanho dos agregados não apresentam influência na retração, porém as misturas com diâmetros maiores se tornam em traços mais pobres de cimento, com isso minimiza a retração causada. Em contrapartida, os estudos de Grassl, Wong e Buenfeld (2010) e Wong et al., (2009) afirmam que a dimensão do agregado tem influência na formação de microfissuras provocadas pela retração.

Mehta e Monteiro (2008) mencionam que a granulometria, dimensão máxima, forma e textura dos agregados influenciam na retração por secagem do concreto.

Dentro deste contexto, quando se executa um concreto com um alto teor de agregado reciclado é esperado que este concreto possua retração maior que os concretos produzidos com agregados naturais, visto que os agregados reciclados apresentam 30 a 40% de argamassa aderida, este teor de argamassa aderida ao agregado potencializa uma maior retração e conseqüentemente o aparecimento de fissuras. (POON et al., 2002).

Outro fator importante a ser considerado é a condição de cura, Bauer (2001) salienta que a cura em água reduz a retração da peça na fase em que o concreto tem pouca resistência, fator importante por evitar formação de fissuras de retração, que podem comprometer a impermeabilidade do concreto.

Os pesquisadores Bissonnette, Pierre e Pigeon (1999) observam em seu estudo que quanto maior a relação a/c resulta em uma maior quantidade de perda de massa, em virtude de um teor de água livre presente na matriz cimentícia o que resulta em um aumento da retração.

Helene e Andrade (2010) abordam na literatura que o uso de adições, como escória e pozolanas, e aditivos redutores de água e retardadores de pega também podem influenciar na retração do concreto, pois aumentam o volume de poros finos no produto de hidratação do cimento. Por outro lado, o uso de alguns aditivos pode minimizar o efeito da retração. Os autores também salientam a influência do tempo e umidade, devido a retração ser uma deformação que ocorre ao longo do tempo.

2.2 CURA

A cura do concreto é um procedimento fundamental para a hidratação do cimento. De acordo com Bauer (2001), entende-se por “cura do concreto” um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, a qual deverá reagir com o cimento, hidratando-o. É um processo mediante o qual se mantém um teor de umidade satisfatório, evitando a evaporação de água da mistura, garantindo ainda, uma temperatura favorável ao concreto durante o processo de hidratação dos materiais aglomerantes, de modo que se possam desenvolver as propriedades desejadas.

O processo de cura favorece a resistência mecânica à ruptura e ao desgaste, impermeabilidade, durabilidade e resistência ao ataque de agentes agressivos. Outro fator importante a ser considerado é que um concreto bem curado apresenta uma superfície de melhor qualidade, evitando a formação de fissuras de retração (BAUER, 2001). Além disso, Dal Molin et al. (2005) ressaltam a importância da cura em matrizes cimentantes com pozolanas para garantir as reações das mesmas com os produtos de hidratações do cimento.

A cura do concreto pode ser classificada em dois tipos principais, cura externa e cura interna.

2.2.1 Cura externa

A cura externa é aquela tradicionalmente realizada nos canteiros de obras, ou em empresas de pré-fabricação, em todos os tipos de concreto. De acordo com Bauer (2001) são:

Cura úmida baseia-se em manter a superfície do concreto úmida por meio de aplicação de água na sua superfície para evitar que ocorra evaporação da mesma;

Cura química consiste num produto que forma uma película na superfície do concreto que impede que haja evaporação da água do concreto;

Cura térmica a vapor realizadas em câmaras ou locais especiais, normalmente em produtos pré-fabricados, onde contribui para a otimização do traço ao mesmo tempo em que garante a umidade necessária ao concreto, acelerando a velocidade de ganho de resistência pelo aquecimento.

O autor ainda cita a “***cura ao ar***”, aonde não são tomados cuidados especiais para se evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento. Deve-se observar que a ausência de cura não deve ser tratada como “cura ao ar” como menciona o autor. É importante salientar que o processo de cura não realizado de forma adequada, causa

perda de resistência do concreto, além de problemas patológicos, como, por exemplo, fissuras de retração.

2.2.2 Cura interna

A cura interna baseia-se em utilizar um material “acumulador de água” que são incorporados na mistura. Normalmente são partículas de pequenas dimensões que armazenam grande quantidade de água e possuem a capacidade de liberá-la durante a hidratação do cimento. Estas características podem ser encontradas em agregados leves, agregados reciclados e polímeros superabsorventes (REPETTE, 2011).

No entanto, alguns autores ao fazerem uso de agregado graúdo reciclado de resíduos de construção e demolição, na condição saturada, ainda afirmam que estes podem também atuar como agente de cura interna, pois mencionam que a eventual liberação da água retida no AGRC pode melhorar as condições de cura interna do concreto, conforme hipóteses levantadas por Butler (2003), Cabral et al., (2010) e Machado Jr. et al., (2000).

A cura interna também pode ser subdividida em duas categorias:

- Cura interna com água incorporada: fundamenta-se quando o agente de cura atua como um reservatório de água, que aos poucos é liberada. Durante o processo de hidratação, tais inserções com a água incorporada são esvaziadas, remanescendo por fim macro poros preenchidos com ar. Como a presença de poros influencia negativamente as propriedades do concreto, deve ser incorporada apenas a quantidade de água necessária para impedir a auto dissecação, que pode ser estimada pelo modelo de Powers;

- Cura interna com agentes seladores: consiste quando o agente de cura atua na prevenção ou no retardo da perda de água. Este tipo de aditivo é composto de polímeros solúveis que, quando dispersos na mistura de concreto, se junta á água por pontes de hidrogênio, formando um filme impermeável que reduz a taxa de evaporação pela superfície exposta (JENSEN e HANSEN, 1996).

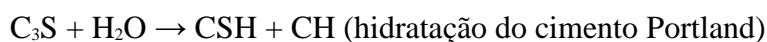
Dos métodos citados, a cura interna com água incorporada é a que melhor se aplica aos concretos de baixa relação *a/c*, visto que estes não possuem o mínimo necessário de água para promover a plena hidratação de todo o cimento. Assim, pode-se adicionar uma quantidade extra de água à mistura. Como o agente de cura interna fica disperso no interior do concreto, não há dificuldades de acesso ao interior das peças de baixa permeabilidade, problema este que a cura externa não consegue contornar (KOVLER e JENSEN, 2005).

No item 2.4.2 será discutido o uso de AGRC como agente de cura interna.

2.3 CINZA DE CASCA DE ARROZ

A NBR 12653/2015 estabelece, dentre outras exigências, que para um material ser classificado como pozolânico, a quantidade de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ deve ser de no mínimo 70% para materiais das Classes N e C, e de pelo menos 50% para dos da Classe E. Portanto, adicionando ao cimento um material pozolânico, cujos óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 estão presentes em estado amorfo ou com sua estrutura cristalina fraca, em presença de água e à temperatura ambiente, estes óxidos reagem com o hidróxido de cálcio (produzido pela hidratação dos silicatos do cimento Portland) formando compostos que possuem propriedades aglomerantes.

A principal reação pozolânica envolve a formação de silicato de cálcio hidratado (CSH), similar ao produzido pela hidratação dos silicatos de cálcios do cimento Portland, como o C3S. As reações podem ser descritas como:



Onde: C = CaO, S = SiO_2 , H = H_2O

Entende-se que as adições minerais, principalmente as pozolânicas, agem na microestrutura da pasta e na interface pasta/agregado por meio da formação de compostos hidratados que refinam os poros e o tamanho dos grãos. Sendo assim, as adições minerais reduzem a conectividade dos poros da pasta, também atuam na microestrutura de proteção da armadura, tornando mais compacta e menos permeável (ISAIA, 2003).

A produção de arroz no estado do Rio Grande do Sul, segundo a CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento, na safra de 2013/2014 chegou em 8,1 milhões toneladas, e previsão para 2015/2016 é de 7,8 milhões toneladas para o estado. Essa grande produção garante que o estado seja destaque na produção do grão de arroz, transformando em um dos principais produtores.

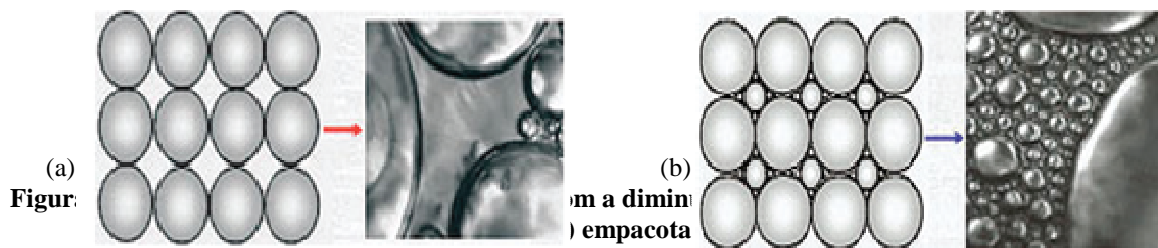
A casca de arroz é composta aproximadamente por 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra (CEZAR, 2011). Após sua queima, um dos componentes que permanece em maior quantidade é a sílica. Além da sílica, o potássio, cálcio e sódio também são encontrados na composição da cinza da casca de arroz. A coloração da cinza pode variar de branca acinzentada a preta, devido o carbono presente na cinza. Quanto

mais escuro for a CCA indica maior concentração de carbono em sua composição, também é indicativo de alto grau de reatividade e sílica amorfa (TASHIMA, 2006).

O resíduo originado do processo da queima da casca do arroz é utilizado comumente como biomassa na geração de energia e calor em determinadas indústrias, porém a maioria das vezes este resíduo é descartado sem destinação correta. Além disso, é um coproduto valioso na utilização com o cimento, pois como visto anteriormente, após o processo de queima da casca se transforma em cinza com uma alta concentração de sílica, propriedade fundamental na produção de concretos quando usada como pozolana.

2.3.1.1 Características e propriedades da CCA

A CCA possui concentração de sílica amorfa ou semicristalina, geralmente acima de 75%, variando conforme o valor de perda ao fogo. Apresenta geralmente elevada superfície específica, o que a torna, associada a presença de sílica reativa, uma adição mineral com elevada atividade pozolânica (DUART, 2011). Em razão do seu efeito pozolânico, reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e forma silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Esta reação ocorre lentamente, e por ser mais lenta que a reação de hidratação da cal do cimento Portland, colabora para o ganho de resistência. Com a incorporação das partículas finas de CCA no concreto, acontece a segmentação dos poros maiores, e a diminuição do teor de Ca(OH)_2 associado com a sílica, resultando uma interface pasta/agregado mais uniforme (Figura 1).



Fonte: FURQUIM, 2012.

De acordo com Duart (2011), no concreto, as reações pozolânicas da CCA com os produtos de hidratação do cimento geram alterações positivas na microestrutura do mesmo, o que promove um aumento na resistência à compressão, uma diminuição da porosidade e um refinamento dos poros, um aumento da durabilidade e um aumento da coesão do concreto no estado fresco. Essas reações podem provocar um efeito negativo à carbonatação. Cascudo e Carasek (2011) afirmam que as reações pozolânicas podem reduzir as reservas alcalinas, pois acontece uma redução na quantidade de Ca(OH)_2 precipitado na pasta de cimento.

2.3.1.2 Concretos com adição de CCA

O resíduo rejeitado no meio ambiente é um agente poluidor, porém quando adicionado em concretos podem oferecer muitos ganhos em relação à durabilidade e à resistência. As mais utilizadas são a sílica ativa produzida na siderurgia do silício, a escória de alto forno resíduo gerado da fabricação do aço, a cinza volante com origem na queima do carvão mineral em termoelétrica, e a CCA (HOPPE, 2008).

Para concreto no estado endurecido, a incorporação de CCA aumenta a resistência à compressão e diminui a permeabilidade. Essa redução na permeabilidade favorece maior durabilidade aos concretos. Porém, é necessário ter cuidado no teor de adição, pois dependendo do teor utilizado pode prejudicar o desempenho dos concretos (KUNTZ, 2006). Saraswathy e Song (2006) sugerem um teor de substituição até 30% em massa.

Rego (2004), em sua pesquisa, observou que os concretos produzidos com CCA residual apresentaram valores maiores de resistência em relação ao concreto referência. Aponta que o teor de 5% de CCA resultou um aumento de 17% na resistência, o autor reforça a utilização desta pozolana tanto para o ponto de vista de melhoria das propriedades quanto para a sustentabilidade do processo de fabricação do concreto.

Em estudo realizado por Isaia et al., (2010), é exposta a possibilidade da substituição de 15% de cimento por CCA natural, com perda não significativa de resistência à tração, módulo de elasticidade e resistência à compressão para concretos entre 25MPa e 40MPa.

A retração de concretos produzidos com CCA natural e moída até a idade de 300 dias, foi pesquisado por Meira (2009) que, ao avaliar os resultados obtidos, observou que todos os concretos com adição mineral apresentaram retrações inferiores ao concreto referência no final dos 300 dias. Também foi observado que em um mesmo percentual de adição mineral, os concretos com CCA natural mostraram menores retrações em relação aos concretos com CCA moída. A autora explica que este resultado tem relação com a redução da atividade pozolânica e menor quantidade de C-S-H formado, à medida que aumenta o teor de CCA natural.

A adição de CCA promove melhorias na produção de concretos, reduzindo consideravelmente as cargas dos íons passantes e a retenção de íons em geral, principalmente dos cloretos (SOKOLOVICZ, 2013). Porém Frizzo (2001) comenta que além das várias vantagens atribuídas ao uso de pozolanas, alguns efeitos negativos acontecem com o uso

desses subprodutos, como a redução de reserva alcalina por consequência do consumo do Ca(OH)_2 nas reações pozolânicas do concreto. Isso se justifica pela rapidez com que ocorre a carbonatação da camada que cobre a armadura, em relação ao concreto armado, resultando na corrosão do aço após um determinado tempo.

Dentro deste contexto, ao trabalhar com incorporação de CCA no concreto é interessante salientar a probabilidade de ocorrer reação álcali agregado (RAA). Zerbino et al. (2012) ao mencionar que o emprego de CCA pode promover ou inibir a reação álcali agregado, explicam que este efeito pode estar relacionado com o tamanho das partículas da CCA, isto é, quanto maior for a partícula, pior é o desempenho da CCA na reação álcali agregado.

Hasparyk (1999) analisou a eficiência do emprego de CCA na redução das expansões da RAA. A autora estudou o efeito da adição de diversos teores de CCA (4%, 8%, 12% e 15%) pelo método acelerado da ASTM C 1260/94, e constatou que o teor de adição de 15% foi o mais eficaz. No entanto, o percentual de 12% de adição foi suficiente para reduzir as expansões a níveis aceitáveis, abaixo de 0,10% aos 16 dias.

Guillante (2015) confirma os resultados encontrados por Hasparyk (1999), ao testar a utilização da CCA, do resíduo de cerâmica vermelha (RCV) e a combinação CCA+RCV na mitigação da RAA. Os resultados encontrados pela autora se mostraram eficaz perante às exigências da ASTM C-1567 (2013), pois todas as amostras apresentaram expansões dentro do limite de 0,10%, permitido pela norma, na idade de 16 dias. Foram estudadas 6 misturas, 4, apresentaram expansões superiores à 0,10%, aos 22 dias de ensaio, são elas: 10% CCA, 20% CCA, 10%RCV e 10%CCA+RCV. As misturas contendo 20% RCV e 20%CCA+RCV, apresentaram expansões inferiores à 0,10% ao longo de todo o ensaio. Portanto, a autora menciona que as amostras confeccionadas com RCV e CCA+RCV, apresentaram melhor desempenho quando comparadas às amostras confeccionadas com CCA.

Contudo, é importante ressaltar que a reação álcali agregado existe na presença de agregado reativo, que deve possuir uma caracterização da sua microestrutura, e de uma fonte de umidade constante. Ou seja, a maior preocupação para os concretos com CCA perante a RAA deve ocorrer quando este é empregado na construção de elementos sujeitos à ação da água periodicamente ou constantemente. Logo, por exemplo, para o emprego em estruturas ou paredes internas de uma edificação, onde não haja presença de umidade, é provável que não ocorra RAA.

2.4 AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO (ARC)

De acordo com a ABNT NBR 15116: 2004, o conceito de agregado reciclado de concreto, é descrito como sendo o beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, sendo composto na sua fração graúda e que tenha no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Ao analisar a granulometria do agregado reciclado graúdo, Buttler (2003) observa uma redução na dimensão máxima do agregado reciclado quando comparado com o natural, destacando que a influência do britador de mandíbulas sobre a dimensão das partículas.

Quando se trata da forma e a textura dos ARC mistos percebe-se que são mais rugosas, porosas e lamelares em relação os agregados naturais, e tendem a apresentar formas mais angulares com taxas de superfície/volume maiores (LEITE, 2001).

Concretos que contêm agregados lamelares possui a tendência de apresentar menor trabalhabilidade, o que não ocorre com agregados mais arredondados, pois os grãos têm melhor empacotamento, e desta maneira, apresentam menor volume de vazios no concreto (BUEST NETO, 2006).

Os ARC, por apresentarem maior porosidade, afetam a absorção de água do concreto e com isso pode demandar mais água na mistura (TROIAN; WERLE, 2010). Tais propriedades podem interferir na resistência à compressão, a abrasão e ao módulo de deformação. (NETO, 2011).

Leite (2001) expõe a necessidade de estudar a absorção de água dos agregados reciclados de concreto. O autor comenta que, quanto maior a porosidade desse agregado e menor a taxa de saturação, maior será a quantidade de água absorvida da matriz de concreto novo.

Malesev et al. (2010) verificaram em sua pesquisa que para manter a trabalhabilidade do concreto semelhante ao concreto produzido com agregado natural é necessário fazer pré-molhagem ou realizar compensação de água. Padovan (2013) avaliou a influência de realizar a pré-molhagem do ARC em diferentes teores, com ou sem a utilização de aditivo, a autora concluiu que os diferentes teores afetam a trabalhabilidade do concreto, e também mencionou que concretos produzidos com ARC sem o uso de aditivo demandou até 10% de água a mais na mistura.

Concretos fabricados com o uso de ARC necessitam de maior consumo de cimento, devido a este fato o uso de pozolanas alternativas tem sido empregado em

substituição parcial do cimento. Marinkovic et al. (2010), assim como outros autores, comprovam a necessidade de se usar um pouco mais de cimento na mistura, em torno de 5 % em proporção para concreto com agregado reciclado de concreto a fim de obter melhores resultados de resistência à compressão e trabalhabilidade. Ainda segundo estes autores, quando o concreto é transformado em agregado, certa quantidade de argamassa e cimento permanecem ligados às partículas.

Alguns estudos recomendam a viabilidade do uso de ARC em teores de substituição do agregado natural de até 50% (GONZÁLES et al 2011; TROIAN (2010).

2.4.1 Concretos fabricados com ARC e CCA

Concretos fabricados com adições minerais tendem a ser mais coesos com a redução considerável da tendência à segregação e à exsudação, em relação a um concreto sem adição. Inclusive pode-se mencionar que a água necessária em concretos com adições geralmente se eleva com o aumento da porcentagem adicionada (DAL MOLIN, 2011).

Erhart et al. (2014) comentaram em seu estudo que concretos com 20% de CCA + 50% de ARC apresentaram um melhor resultado a compressão axial em relação aos outros traços estudados. Também afirmam que este traço demonstrou menor índice de absorção de água e vazios. Concluíram que a incorporação de CCA causou uma melhora nas propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto, chegando a valores superiores quando comparados com o concreto referência.

Outra pesquisa que trabalhou com ARC e CCA em misturas de concreto foi realizada por Tangchirapat et al. (2008). Os resultados indicaram que quando incorporada a CCA ocorre um acréscimo na resistência à compressão de concretos com ARC em relação aos concretos com ARC que não utilizaram CCA. Apesar disso, este comportamento não foi constatado para a resistência à tração. A questão de durabilidade não foi levantada no trabalho referido.

Observa-se que na medida em que é adicionada a CCA na mistura, os resultados de resistência à compressão tenderam a aumentar. Concretos com 50% de ARC e 20% de CCA obtiveram um acréscimo de 5% em relação ao concreto referência. O mesmo autor ressalta que o uso combinado de ARC e 20% CCA indicaram uma redução nos valores de retração por secagem, esta interação trouxe um efeito positivo, onde ocorreu uma redução dos poros dos concretos tanto com uso de CCA quanto com o emprego de ARC (CECCONELLO, 2013).

2.4.2 AGRC como agente de cura interna

A necessidade de compensar a absorção de água do ARC faz com que diversos autores estudem formas de realizar esta compensação. Dentre elas, pode-se citar a pré-molhagem ou pré-saturação.

Fedumenti (2013) relata que utilizou o procedimento de pré-molhagem do ARC, calculou a quantidade de água através da massa de água de compensação, acrescida de 10% de água de amassamento. Menciona também que era realizada a homogeneização dos agregados naturais com o AGRC por 10 minutos dentro da betoneira, sendo protegida a cuba para evitar a evaporação da água. Ceconello (2013) compartilha o mesmo procedimento de pré-molhagem do ARC.

As autoras Troian (2010) e Werle (2010) optaram por realizar pré-molhagem por 10 minutos antes de entrar na mistura. A pré-molhagem do material é recomendada devido à capacidade dos agregados absorverem a água designada a hidratação do cimento e à trabalhabilidade do concreto. Considerando este fato, faz-se necessária a realização de uma compensação da absorção de água do material reciclado utilizado para a produção de novos concretos (ETXBERRIA et al., 2007).

Assim como ocorre com os agregados leves, a absorção dos agregados reciclados influencia diretamente nas propriedades dos concretos. Butler et al. (2013) afirmam que os agregados reciclados utilizados na condição seca absorvem uma parte considerável da água da mistura, podendo influenciar negativamente na trabalhabilidade. Para isso a pré-molhagem dos agregados reciclados antes da mistura tem sido recomendada.

A eventual liberação da água retida no AGRC pode melhorar as condições de cura interna do concreto, conforme hipóteses levantadas por Butler (2003), Cabral et al., (2010) e MACHADO Jr. et al., (2000), funcionando então o ARC como um agente de cura interna.

A água de pré-molhagem absorvida primeiramente pelos agregados reciclados, após torna-se disponível dentro da pasta, podendo hidratar as partículas de cimento não hidratadas, com isso favorecendo o processo de cura do concreto. A presença de água no agregado proporciona também a formação de uma boa zona de transição entre a nova pasta e o agregado reciclado, afirma Cabral et al., (2007).

Buttler (2003) entende que agregados não saturados, misturados simultaneamente com os demais materiais da mistura, irão absorver maior quantidade de água e partículas de cimento, enfraquecendo a zona de transição, ocorrendo uma redução de resistência.

Com a utilização de materiais porosos, como os ARC, ocorre uma absorção de parte da água de amassamento pelo material reciclado, podendo promover uma cura interna e diminuição da água livre na mistura, acarretando um aumento na resistência à compressão (NEVELLE, 1995).

Indicando a necessidade de mais estudos para elucidar o comportamento do movimento de água entre AGRC e a matriz no qual está inserido, Cordeiro (2013), ao empregar AGRC com diversos teores de saturação de água aponta nas suas considerações finais que o teor de umidade do agregado reciclado influi significativamente na resistência à compressão. No entanto, a autora não deixa claro se esta influência é positiva ou negativa.

Os pesquisadores Kovler e Jensen (2007) relatam em sua pesquisa que a absorção de água relativamente elevada dos agregados reciclados pode ser difícil de ser utilizada como agente de cura interna. A fração de pasta de cimento do agregado reciclado possui uma estrutura porosa e fina, o que não pode fornecer água para o agregado graúdo reciclado, cuja porosidade pode potencialmente conter água de cura interna, pois está coberta com pasta de cimento o que dificulta a troca de água. Ou seja, a disponibilidade de água dos agregados reciclados fica comprometida.

O comportamento da adição de agregados miúdos reciclados de concreto como agente de cura interna foi estudado por Kim e Bentz (2008). Os autores colocam que, com o uso dos agregados reciclados, ocorreu uma redução significativa na retração, aproximadamente 70% de redução, nas idades entre 1 e 56 dias. Ou seja, baixa retração, pois os agregados reciclados atuaram como agente de cura interna.

Bentz, Lura e Roberts (2005) propuseram uma equação para calcular a água que deve ser absorvida pelo agente de cura interna que irá auxiliar na hidratação da pasta de cimento. Segundo os autores, para calcular a quantidade de agregado reciclado determinado como agente de cura interna necessária para que o mesmo assumisse a função de reservatório interno de água para posterior hidratação, aplica-se a Equação 1.

$$M_{LWA} = \frac{C_f \times CS \times \alpha_{\max}}{S \times \phi_{LWA}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

M_{LWA} = material necessário para cura interna (kg/m³)

C_f = consumo de cimento (kg/m³)

CS = encolhimento químico (g/água/g)

$\alpha_{\text{máx.}}$ = grau de hidratação do cimento

S = grau de saturação do agregado

Φ_{LWA} = absorção do agregado (%)

Pickel (2014) expõe seu ponto de vista a respeito da equação proposta por Benz, Lura e Roberts (2005), colocando que a tentativa de fornecer cura interna através do agregado graúdo para fabricação de concreto poderia resultar na limitação da eficácia da cura interna, pois causaria uma redução do volume de pasta dentro da zona de influência de cada partícula de cura interna. Esta equação não leva em consideração este fato e concentra-se apenas sobre a massa de agregado necessário para a cura interna.

O desempenho geralmente inferior de concreto contendo agregados reciclados pode ser parcialmente compensado pela cura interna adequada, como a umidade contida no agregado poroso foi gradualmente liberado para permitir a hidratação do cimento contínuo. Segundo os autores, os resultados obtidos através de seus estudos são promissores porque mostraram que agregado derivado de concreto reciclado pode ser efetivamente usado para obter misturas com desempenho compatível ao de misturas contendo agregados naturais, contribuindo para a sustentabilidade (YILDIRIM et al., 2015).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

As variáveis serão impostas com a finalidade de atingir os objetivos do presente estudo, sendo elas as variáveis de controle, variáveis fixas, e variáveis de resposta.

3.1.1 Fatores de controle e níveis de estudo

Os fatores de controle estudados nesta pesquisa, e os níveis de teste foram:

- Relação água/aglomerante de 0,31; 0,42 e 0,53 - a escolha de diferentes relações a/agl visa obter resistências distintas, objetivando identificar a melhor relação para a substituição do cimento por cinza e do agregado natural pelo reciclado;

- Teor de cinza de casca de arroz de 0 e 20% - o teor escolhido é embasado em estudos realizados no Programa de Pós-graduação Engenharia Civil da Unisinos (FEDUMENTI, 2013; CECONELLO, 2013) além de pesquisas bibliográficas;

- Teor de agregado graúdo reciclado de concreto variando de 33 a 41%, conforme o consumo de cimento - foi determinado pelo Método de Dosagem para Cura Interna (BENTZ; LURA e ROBERTS, 2005) em substituição ao agregado natural;

- Condições de umidade do ARC - seco e úmido (saturado).

Para melhor entendimento, as variáveis de controle são apresentadas na Tabela 1 - Variáveis de estudo

Tabela 1 - Variáveis de estudo

a/agl	0,31		0,42		0,53	
	Pozolanas		Pozolanas		Pozolanas	
AGRC	0	20% CCA	0	20% CCA	0	20% CCA
0	x	x	x	x	x	x
Seco (AGRC-s)	x	x	x	x	x	x
Úmido (AGRC-u)	x	x	x	x	x	x

3.1.2 Fatores Fixos

As variáveis do presente estudo têm por determinação os seguintes fatores fixos:

- Tipo do cimento: Cimento Portland CII F 32;

- Tipo de adição mineral: Cinza de casca de arroz proveniente de um único lote;

- Tipo de agregado reciclado de concreto: Proveniente de resíduo da produção de laje pré-fabricada tipo Roth, submetida à cura convencional, com f_{ck} de 35 MPa, britada em um britador de mandíbulas.

3.1.3 Variáveis de Respostas

As variáveis de resposta estudadas propostas são:

- Resistência à compressão;
- Retração por secagem;
- Absorção de água por capilaridade;

3.2 MATERIAIS

Os materiais que foram empregados nesta pesquisa são descritos na sequência.

3.2.1 Cimento CP II F-32

O cimento utilizado é o CP II F – 32 da empresa Itambé, escolhido pelo fato de não possuir adição pozolânica em sua composição de acordo com a norma NBR 11578 (ABNT, 1991). Na Tabela 2 é apresentada a caracterização física, química e mecânica, conforme descrição fornecida pelo fabricante de acordo com o lote de produção do cimento.

A distribuição granulométrica do cimento está na Figura 3.

Tabela 2 - Caracterização física, química e mecânica do cimento.

Parâmetros	CP II F-32	Parâmetros	CP II F-32
Al ₂ O ₃ (%)	4,4	Início de Pega (h:mm)	03:10
SiO ₂ (%)	18,49	Fim de Pega (h:mm)	04:00
Fe ₂ O ₃ (%)	2,59	Água Const. Normal (%)	27,30
CaO (%)	59,93	Blaine (cm ² /g)	3,410
MgO (%)	4,76	#200 (%)	2,2
SO ₃ (%)	2,78	#325 (%)	14,6
Perda ao Fogo (%)	4,92	fc 1 dia (MPa)	14,9
CaO Livre (%)	1,37	fc 3 dias (MPa)	28,6
Resíduo Insolúvel (%)	1,74	fc 7 dias (MPa)	33,8
Equivalente Alcalino (%)	0,62	fc 28 dias (MPa)	42,00
Expansão á Quente (mm)	0,00	Massa específica (g/cm ³)	3,1030

3.2.2 Cinza de Casca de Arroz

A cinza de casca de arroz utilizada para a realização da pesquisa possui o patamar de queima controlado, bem como a moagem proveniente da queima da biomassa, fornecida pela empresa Pilecco Nobre Alimentos Ltda.

A caracterização química da pozolana foi realizada no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVM) da Unisinos, empregando a técnica de Fluorescência de raios X por dispersão de energia (ED-XRF) no equipamento EDX-720 SHIMADZU, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização química da CCA

Parâmetro	Teor (%)
SiO ₂	94,99
K ₂ O	1,01
SO ₃	0,57
Cl	0,43
CaO	0,33
MnO	0,20
Al ₂ O ₃	0,18
P ₂ O ₅	0,10
Fe ₂ O ₃	0,06
TiO ₂	0,01
MgO	0,01
ZnO	0,00
P.F.	2,12

A composição de fases da CCA, obtidos através de Difratoograma de Raios-X (Figura 2), se mantém praticamente amorfa, com alguns picos de material cristalino. Foram encontrados picos, basicamente, de Cristobalita e Quartzo na amostra. Conforme Angel et al (2009), os picos aliado à presença de zonas cristalinas refere-se a contaminações do material inerte empregado, areia (sílica cristalina na forma de quartzo), essencial no processo de fluidização da casca de arroz. O difratograma apresenta halo de baixa intensidade, entre 20 e 35°, seguindo relatos de Angel et al. (2009).

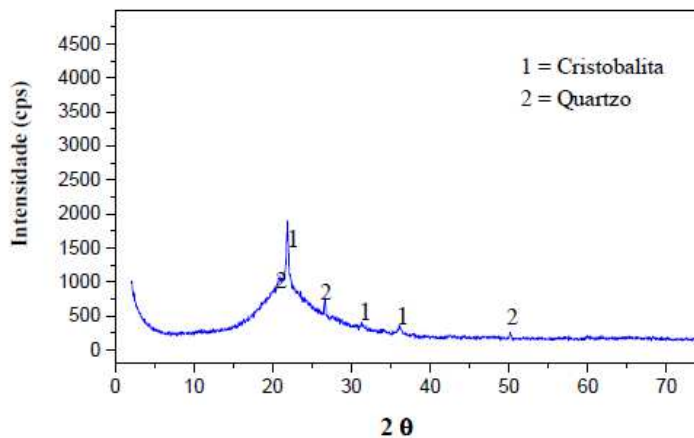


Figura 2 - Difratograma de Raios X da CCA utilizada no estudo

Para Cordeiro, Filho e Fairbairn (2009) a presença da cristobalita na amostra é derivada da temperatura de queima do material. Para os autores, a queima de CCA, em temperaturas superiores a 800°C, gera a presença de cristobalita.

Ao realizar-se o peneiramento mecânico da CCA, para fins de caracterização da finura, verificou-se que as partículas da CCA apresentam uma tensão superficial muito elevada, proporcionando um aglomeramento das partículas, impedindo a realização do ensaio por meio da massa retida nas peneiras número 200 e 325. Essa tensão superficial pode estar correlacionada à finura da amostra, quanto mais fina as partículas de CCA, maior a tensão sobre elas mesmas durante o ensaio. Optou-se por realizar o peneiramento manual, onde se observa que o material apresenta-se, na totalidade, passando as peneiras de 75 e 53 μm . Já no resultado de distribuição granulométrica via laser (Figura 3), verifica-se que o tamanho médio das partículas é de 7,97 μm .

A Tabela 4 apresenta os valores de diâmetro equivalente a 10, 50 e 90% de massa acumulado. Observa-se que 90% (D90) das partículas apresentam diâmetro menor que 28,93 μm , e apenas 10% atribuem-se a granulometria menor que 2,44 μm . Segundo Rodrigues (2008), a finura tem uma grande importância para a caracterização do material, já que quanto mais fino melhor será o preenchimento dos vazios, apresentando assim o efeito de fíler. Por outro lado, a finura elevada da CCA, observando o diâmetro médio D50 de 7,97 μm , contempla o questionamento da forma de utilização em usinas de concreto e argamassa, quanto à segurança no trabalho. Tamanhos de partículas muito pequenos podem provocar problemas respiratórios em operários. Della (2001) já alertou que utilização destas cinzas, por

um período de 5 a 10 anos, podem gerar problemas de silicose, que comprometem as vias respiratórias, e até mesmo câncer.

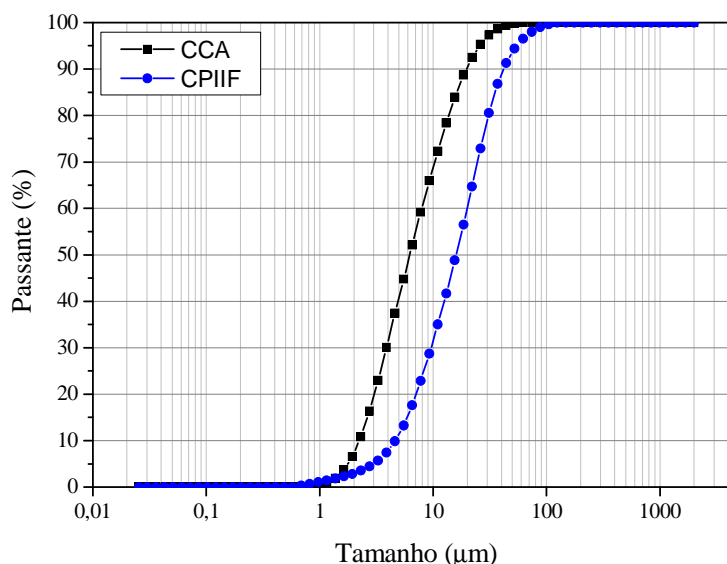


Figura 3 - Distribuição granulométrica da CCA e do cimento obtida por difratometria a laser

Tabela 4 - Distribuição do tamanho das partículas de CCA e Cimento

Característica	CCA (μm)	Cimento (μm)
Diâmetro < 10%	2,38	4,66
Diâmetro < 50%	7,04	15,98
Diâmetro < 95%	28,7	54,61
Diâmetro médio	8,38	18,73

A caracterização micro estrutural da CCA, apresentada na Figura 4, mostrou que o material é homogêneo, com grãos muito pequenos, já observado na granulometria. O formato alongado e poroso, parecido com uma “espiga de milho”, normalmente observado em cinzas de casca de arroz (Della, 2001) não foi detectado neste material. Este fato deve-se ao elevado grau de finura da amostra, onde os poros foram corrompidos, deixando o material mais homogêneo. As partículas de maior dimensão encontradas na CCA apresentam uma forma lamelar, visualizados na Figura 4b. A Figura 4a e 4b apresentam imagens de microscopia obtidas através do detector elétrons secundários (SE), com aumento de 500 (4a) e 15000 (4b) vezes. Já as figuras 4c e 4d são imagens obtidas através de detector de elétrons retro espalhados (BSD), também com aumento de 500 (4c) e 15000 (4d) vezes.

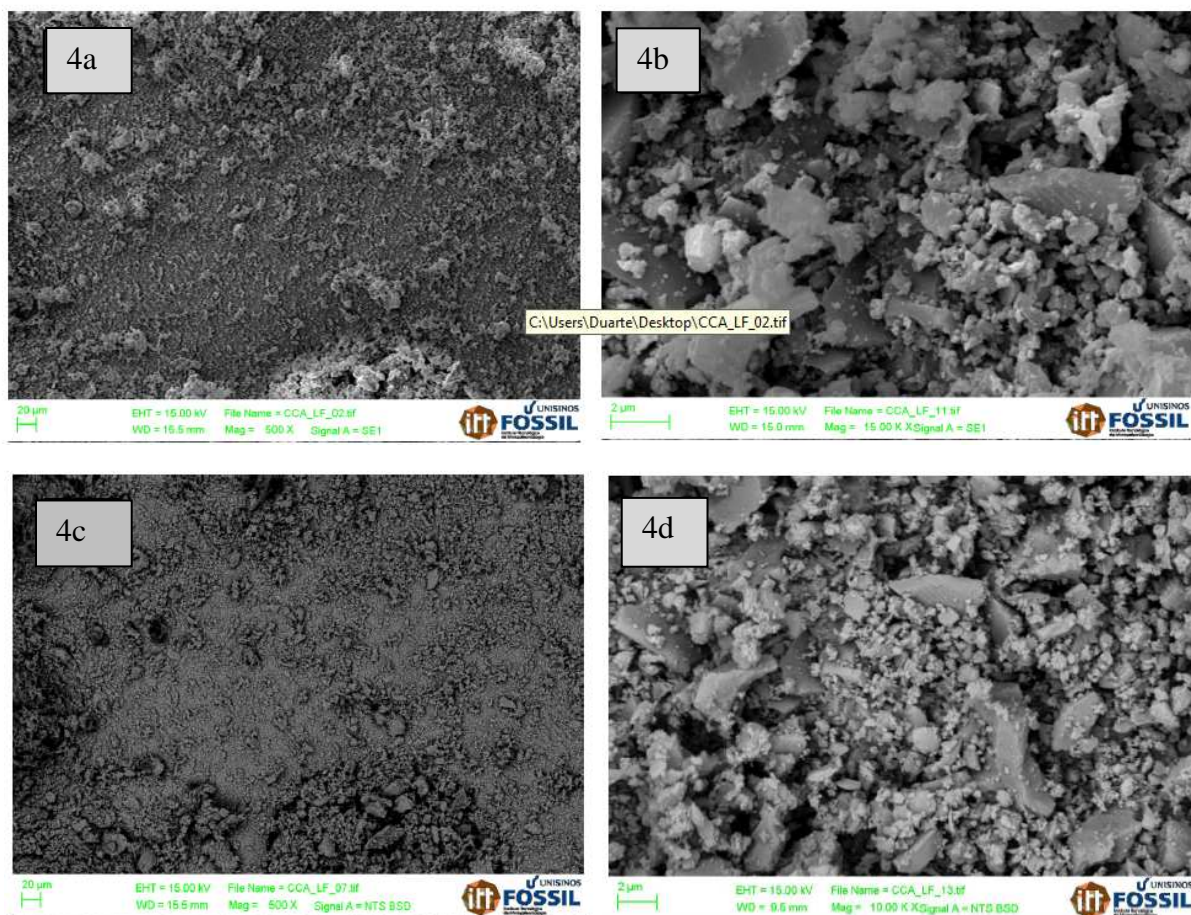


Figura 4 - Características micro estruturais da CCA: Imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura – elétrons secundários (a) distribuição granulométrica variada (ampliação 500x) (b) aspecto morfológico a partir de SE ampliação 15000x. Imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura – elétrons retro espalhados (c) homogeneidade da CCA por BSD ampliação 500x (d) aspecto morfológico a partir de SE ampliação 15000x.

Empregando o mesmo lote de CCA do presente trabalho, o índice de atividade pozolânica foi testado em dois momentos distintos. Fedumenti (2013) ao avaliar pelo método vigente da ABNT NBR 5752:1992, que emprega 35% de pozolana em volume, ajustando a consistência com água e com aditivo, obteve IAP de 105 e 133%, respectivamente. Já Guillante (2015), caracterizando o IAP pela ABNT NBR 5752:2014, com 25% de pozolana em massa e ajuste da consistência com aditivo, obteve um IAP de 131%, bem acima do limite mínimo de 90%.

3.2.3 Agregados

3.2.3.1 Agregado Miúdo Natural

O agregado miúdo foi doado pela empresa Engemix, localizada na cidade de Sapucaia do Sul/RS. Consiste de uma areia de origem quartzosa disponível comercialmente.

A caracterização da areia foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Unisinos, onde foram feitas as curvas granulométricas, massa específica e massa unitária que seguiram a ABNT NM 248:2003, ABNT NBR NM 52:2009 e ABNT NM 45:2006, respectivamente. A areia foi seca em estufa para a realização da caracterização, bem como para a utilização para esta pesquisa. Posteriormente foi armazenada em tonéis de plástico de 100 litros com fechamento com anel metálico zincado. Os dados referentes à caracterização da areia são apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6, bem como na curva granulométrica da Figura 5.

Tabela 5 - Massa unitária e Massa específica do agregado miúdo utilizado na pesquisa

Ensaio	Resultados (g/cm ³)
Massa unitária	1,55
Massa específica	2,55

Tabela 6 - Caracterização granulométrica do agregado miúdo natural

Peneiras	Retida (%)	Acumulada (%)
4,8	1	1
2,4	7	8
1,2	11	19
0,6	19	38
0,3	33	71
0,15	27	98
Fundo <0,15	2	100
Módulo de finura	2,35	
Dimensão máxima (mm)	4,8	

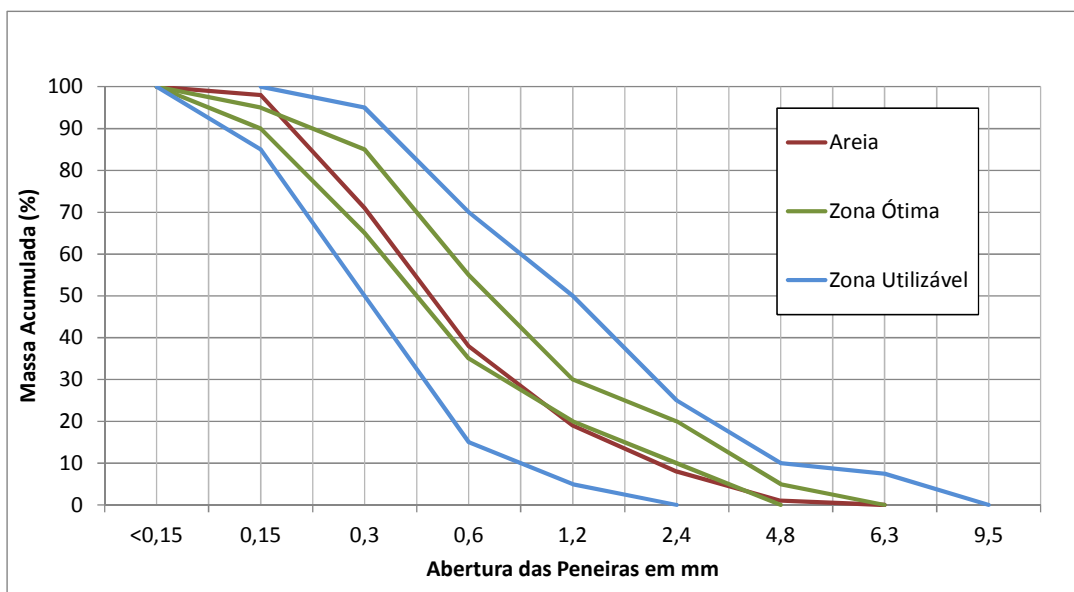


Figura 5 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural

3.2.3.2 Agregado Graúdo Natural

O agregado graúdo natural foi também doado pela empresa Engemix. Material de origem de rocha basáltica fragmentada e britada. Foi utilizado apenas material passante na peneira #19 mm e retida na peneira #4.8mm.

A caracterização da brita foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Unisinos, onde foram feitas as curvas granulométricas, massa específica e massa unitária que seguiram a ABNT NM 248:2003, ABNT NBR NM 53:2006 e ABNT NBR NM 45:2006, respectivamente. A brita foi lavada e seca ao ar à temperatura ambiente em local fechado, após este processo a brita foi armazenada em tonéis de plástico de 100 litros com fechamento com anel metálico zincado. Massa específica e a unitária são apresentados na Tabela 7 e os dados obtidos para a caracterização granulométrica original são apresentados na Tabela 8 e na curva granulométrica da Figura 6.

Tabela 7 - Massa unitária e Massa específica do agregado graúdo natural utilizado na pesquisa

Ensaio	Resultados (g/cm ³)
Massa unitária	1,60
Massa específica	2,90

Tabela 8 - Caracterização granulométrica do agregado graúdo natural antes do ajuste

Peneiras	Retida %	Acumulada %
19	13	13
12,5	77	90
9,5	8	98
6,3	2	100
4,8	0	100
Dimensão máxima (mm)	25	
Módulo de finura	7,11	

3.2.3.3 Agregado Graúdo Reciclado

O ARC foi proveniente de resíduo da produção de laje pré-fabricada tipo Roth, submetida à cura convencional, com fck 35MPa, britada em um britador de mandíbulas. Adotando-se a fração passante na peneira de malha de abertura 19 mm e retida na 4,8 mm.

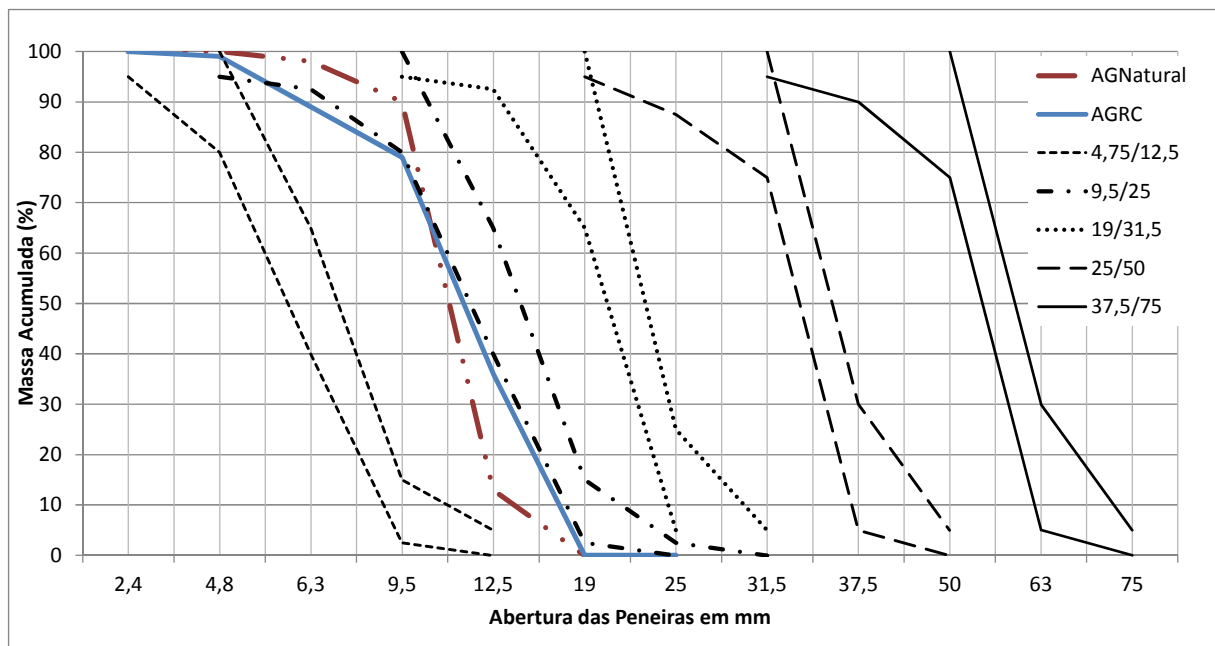
O ARC foi seco na estufa e foi armazenado em tonéis de plástico de 100 litros com fechamento com anel metálico zincado. Os dados da caracterização do material estão apresentados a seguir na Tabela 9 e na Tabela 10, e curva granulométrica na Figura 6.

Tabela 9 - Massa unitária e Massa específica do agregado reciclado

Ensaio	Resultados (g/cm ³)
Massa unitária	1,12
Massa específica	2,21

Tabela 10 - Caracterização granulométrica do agregado graúdo reciclado

Peneiras	Retida (%)	Acumulada (%)
19	36	36
12,5	43	79
9,5	10	89
6,3	10	99
4,8	1	100
Dimensão máxima (mm)		19
Módulo de finura		7,25

**Figura 6 - Curva granulométrica dos agregados graúdos natural e reciclado**

Para isolar o efeito da diferença da distribuição granulométrica dos agregados graúdos, ajustou-se a curva do agregado graúdo natural peneirando-o, separando as frações retidas em cada peneira e compondo uma nova granulometria de acordo a do AGRC.

3.2.4 Absorção do agregado reciclado

Para a execução do ensaio de absorção do agregado reciclado foi utilizado o método empregado por Werle (2010), utilizando-se 1 Kg da fração total de agregado

reciclado. As amostras de agregados foram secas em estufa até constância de massa (variação de $\pm 0,1g$), resfriadas e mantidas em dessecadores contendo sílica gel, antes de serem submetidas ao ensaio de absorção.

O ensaio de absorção foi realizado em duas etapas:

Primeira etapa - A amostra seca e previamente pesada era colocada dentro de um recipiente vazado e submersa em água. Ao alcançar 1 minuto, o material era retirado da água, seco superficialmente com um pano úmido, e a nova massa era determinada;

Segunda etapa – Registro da absorção ao longo do tempo: Uma amostra seca de agregados é colocada em um recipiente vazado, acoplado a uma balança hidrostática, e o conjunto foi submerso em água, aonde são registrados os valores de acréscimo de massa, com o auxílio de balança hidrostática, nos seguintes intervalos de tempo: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30 e 60 minutos; 2, 3, 4, 5, 6, 24, 48 e 72 horas.

Entre cada leitura realizada, o material foi cuidadosamente agitado, com o auxílio de uma espátula, a fim de facilitar a saída de ar aprisionado entre as partículas de agregados. Ao final das 72 horas, o material foi retirado da água e levado à estufa, onde permanece até a constância de massa. Após foi determinada a massa do material, sendo a perda de material durante o ensaio não deve ser superior a 0,05%. O ensaio foi realizado em duplicata.

A curva de absorção de água é apresentada na Figura 7. É possível observar que aos 10 minutos, ocorreu uma absorção de 6,29% e às 24 horas 10,34%. O ponto de saturação deste conjunto de dados ocorre aos 31,6 minutos com uma absorção de 8,96%.

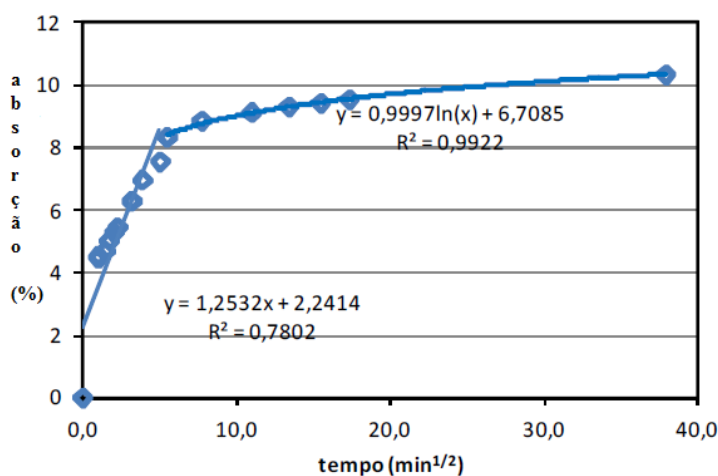


Figura 7 - Curva de absorção do ARC

3.2.5 Determinação do teor de argamassa aderida ao agregado reciclado

Para realizar a determinação do teor de argamassa aderida ao agregado reciclado foi utilizado o método proposto por Ferreira (2007) estendido por uma segunda etapa proposto por Sanchez (2004).

Com base no estudo de Ferreira (2007) ao aplicar um choque térmico nas partículas, ocorre a desintegração e separação dos componentes. Para a aplicação do método proposto pelo autor, é necessário 1 Kg de agregado reciclado de cada fração utilizada, seca em estufa à temperatura de $100 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 24h ou até à constância de massa. A amostra é pesada e colocada em um forno mufla, pré-aquecido à temperatura de 800°C , durante aproximadamente 3 horas. Ao retirar a amostra do forno mufla, a mesma é despejada sobre uma tela metálica, no interior de um tanque contendo água fria. Após retirada do tanque, o material é novamente colocado em estufa em uma temperatura de $100 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 24h ou até a constância de massa. Após este procedimento, a amostra é retirada da estufa, resfriado após o material é colocado sob um pano, para que com a ajuda de um martelo de borracha promova a desintegração da argamassa. Realizado isto, a amostra é peneirada de maneira a eliminar a fração passante na peneira com malha de abertura 4,75 mm, o restante da amostra é pesado.

A segunda etapa proposta por Sanchez (2004) consiste na imersão da fração da amostra passante na peneira de malha de abertura 4,75 mm em ácido clorídrico, à temperatura ambiente. O ácido tem por objetivo provocar a desintegração e separação da argamassa aderida ao agregado. A amostra é submetida ao ácido clorídrico por um período de 72 horas. Em seguida, o material é removido do ácido, lavado e peneirado em malha de abertura 0,075 mm, a fim de separar os agregados miúdos. A amostra é seca em estufa, à temperatura de $100 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 24h, e então resfriada. Tanto a fração retida quanto a passante na peneira com malha de abertura 0,075 mm. A Tabela 11 apresenta os valores obtidos após os ensaios.

Tabela 11 - Argamassa aderida ao agregado reciclado de concreto

Choque térmico			
Fração	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa aderida (%)
# 6,3	1000	576,5	42,35
# 9,5	1000	228,1	77,19
# 12,5	1000	428,5	57,15
#19	1000	275,9	72,41
Ataque químico			
Fração	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa aderida (%)
# 6,3	576,5	48,7	15,52
# 9,5	228,1	197,7	13,33
# 12,5	428,5	376,7	12,09
#19	275,9	249,5	9,57

O teor médio de argamassa aderida ao concreto foi de 62,3 %, o que pode ser coerente, uma vez que o resíduo de concreto foi originado na pré-fabricação de lajes tipo Roth, extrudadas. Este valor foi confirmado ao se fazer uma média ponderada com a distribuição granulométrica, obtendo-se um teor de argamassa de 62,6%. O teor de pasta foi de 12,6%. Com tal teor de argamassa pode-se dizer que o AGRC parece possuir uma porosidade significativa.

3.2.6 Aditivo

O aditivo utilizado na pesquisa foi um superplastificante à base de policarboxilatos de alto desempenho. Foi determinado o teor máximo de aditivo a ser adicionado com base na massa de cimento e no teor de sólidos para que não houvesse alteração na relação água/cimento dos concretos. A Tabela 12 apresenta as informações técnicas do aditivo, segundo o fabricante.

Tabela 12 - Característica do aditivo superplastificante

Teste	Método BASF	Especificação	Unidade
Aparência	TM 761B	Líquido branco turvo	Visual
pH	TM 112 B	5 - 7	-
Densidade	TM 103 B	1,067 - 1,107	g/cm ³
Sólidos	TM 613 B	28,5 - 31,5	%
Viscosidade	TM 117	< 150	cps

Fonte: NTC Brasil (2015)

3.2.7 Água

Foi utilizada água proveniente da rede de abastecimento local de São Leopoldo/RS, onde o órgão responsável pela sua potabilidade é o SEMAE.

3.3 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

3.3.1 Produção dos concretos

Para a produção dos concretos foi utilizado os equipamentos disponíveis no Laboratório de Materiais da Unisinos. Foi utilizada uma betoneira de eixo vertical, com capacidade para 56 litros.

Adotou-se o teor de argamassa igual a 55% e um concreto com consistência de Classe S100 (ABNT NBR 8953:2015). A consistência foi ajustada com o uso de aditivo superplastificante. Estes parâmetros foram definidos a partir do trabalho de Nogueira (2015), uma vez que foram empregados os mesmos agregados.

Em estudos realizados por Schafer et al. (2014) e por Nogueira (2015) testou-se e comparou-se a inserção do AGRC ao final da mistura, para evitar o efeito de absorção da água de amassamento. Nogueira (2015), empregando agregados secos, em misturas distintas, inseridos no início e ao final da mistura, obteve dados que indicam a menor absorção de água quando o AGRC é inserido como último item na mistura de concreto. Assim, neste trabalho, adotou-se a inserção do agregado reciclado no final da mistura. Para a pré-molhagem foi realizado o processo de saturação do AGRC 24h antes da concretagem, ficando o material completamente imerso em água e armazenado em caixas com tampas. Foram testados diversos tempos de drenagem da água superficial do agregado após a sua retirada da imersão, adotando-se o tempo de 5 minutos. Ou seja, o procedimento adotado foi retirar o AGRC da água e deixa-lo para escoar o excesso de água imediatamente antes de introduzir o agregado natural na betoneira.

Para a substituição do cimento por CCA e agregado natural por ARC foram realizadas em massa com compensação em volume (Equação 2) em função da diferença entre as massas específicas dos materiais. Desta maneira, foi possível manter o volume constante de pasta de aglomerante.

$$M_{ARC} = \frac{M_{AN}}{\gamma_{AN}} \times \gamma_{ARC} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

M_{ARC} = Massa do agregado reciclado;

M_{AN} = Massa do agregado natural;

γ_{AN} = Massa específica do agregado natural;

γ_{ARC} = Massa específica do agregado reciclado.

A Tabela 13 apresenta a relação de traços estudados e consumo de materiais para cada uma das misturas. Cada um dos traços foi rodado em uma só mistura. A quantidade de ARC por mistura foi determinada pelo formula de Bentz et al. (2005).

Tabela 13 - Consumo de materiais para os traços estudados

Agregado	CCA (%)	a/agl	C (kg/m ³)	Areia (m ³)	Brita (m ³)	ARC (m ³)	Água	M.E. (kg/m ³)	C real (kg/m ³)	Aditivo (%)	Slump (mm)
A.N.	0	0,31	581	666	1020	0	180	2540	603	0,27	150
A.N.	0	0,42	445	778	1001	0	187	2420	446	0,06	150
A.N.	0	0,53	360	848	988	0	191	2490	376	0,00	100
A.N.	20	0,31	465	765	984	0	184	2500	475	0,36	120
A.N.	20	0,42	356	836	974	0	188	2420	357	0,30	140
A.N.	20	0,53	288	884	968	0	191	2490	300	0,11	110
AGRC-s	0	0,31	581	666	510	424	180	2470	608	0,16	130
AGRC-s	0	0,42	445	778	500	416	187	2430	465	0,07	155
AGRC-s	0	0,53	360	848	494	411	191	2430	380	0,00	110
AGRC-s	20	0,31	465	533	408	339	144	2470	486	0,35	115
AGRC-s	20	0,42	356	623	400	333	149	2400	367	0,24	120
AGRC-s	20	0,53	288	678	395	329	153	2420	303	0,29	115
AGRC-u	0	0,31	581	666	510	424	180	2360	581	0,20	120
AGRC-u	0	0,42	445	778	500	416	187	2380	455	0,00	120
AGRC-u	0	0,53	360	848	494	411	191	2430	380	0,00	140
AGRC-u	20	0,31	465	533	408	339	144	2360	465	0,26	120
AGRC-u	20	0,42	356	623	400	333	149	2410	369	0,21	100
AGRC-u	20	0,53	288	678	395	329	153	2430	304	0,09	130

A.N = agregado natural; AGRC-s = agregado graúdo reciclado de concreto seco; AGRC-u = agregado graúdo reciclado de concreto úmido; a/agl = água/aglomerante; C = consumo de cimento teórico; M.E = massa específica no estado fresco; C real = consumo de cimento real.

3.3.2 Moldagem e cura dos corpos de provas

As formas cilíndricas de 10 x 20 cm, prismáticas de 7,5 x 7,5 x 28,5 cm e prismáticas de 6 x 6 x 18 cm, foram todas preenchidas em duas camadas e adensadas manualmente. Cilíndricas com 12 golpes, prismáticas de 7,5 x 7,5 x 28,5 cm com 21 golpes e prismáticas de 6 x 6 x 18 cm com 11 golpes.

Após 24h da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e submetidos a duas condições de cura, submersa em tanques com água e cal, e em sala climatizada com umidade controlada de 60 ± 2 %, com temperatura em 23 ± 2 °C. A moldagem e cura dos corpos de prova seguiram a ABNT NBR 5738:2003.

3.4 MÉTODOS DE ENSAIO

A seguir serão apresentados os métodos de ensaios que serão utilizados para cada variável de resposta a ser estudada na pesquisa.

3.4.1 Resistência à compressão axial

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), no laboratório NORIE, Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 10 cm x 20 cm. Para cada traço de concreto produzido foram ensaiados 6 corpos de prova cilíndricos nas idades de 28, 91 e 182 dias, sendo 3 curados em câmara úmida, submersos em tanques com água e cal, e 3 em sala climatizada.

3.4.2 Absorção de água por capilaridade

O método de ensaio foi baseado na metodologia proposta por Troian (2010) e Werle (2010), onde os autores adaptaram o método de RILEM TC 166- PCD.

Os corpos de prova que foram confeccionados com dimensões de 6 x 6 x 18cm, estes foram cortados em 3 fatias da região central do corpo de prova para o ensaio. Sendo utilizados as 3 fatias para cada traço estudado.

As amostras foram mantidas em estufa a 60°C até a estabilização de massa, após saírem da estufa, permaneceram em um dessecador até atingirem a temperatura ambiente, em sala com temperatura controlada (20°C±1°C). Retiradas do dessecador, as laterais das amostras foram seladas com fita adesiva, de maneira que impermeabilize a face. Um balão de látex foi colocado na superfície superior, para que não houvesse influência da umidade externa na face superior da amostra.

A superfície inferior permanecerá em contato com uma lâmina de água, com profundidade de 3 mm (Figura 8).

A absorção de água por capilaridade foi monitorada através da pesagem das amostras (Figura 9) nos seguintes intervalos de tempo: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30 e 60 minutos e 2, 3, 4, 5, 6, 24, 48, 72 e 96 horas. Para o registro da massa, as amostras foram retiradas da água e secas superficialmente com pano úmido para remover o excesso de água, de modo que a superfície permanecesse úmida.



Figura 8 – Vista geral dos corpos de prova preparados para o ensaio de absorção.



Figura 9 - Pesagem das amostras utilizadas no ensaio de absorção de água.

3.4.3 Retração por secagem

O ensaio de retração por secagem livre foi baseado na norma americana ASTM C-157 (1993). Foram confeccionados 4 corpos de provas prismáticos de 7,5 x 7,5 x 28,5 cm para cada traço, sendo 2 corpos de prova submetidos à cura úmida, submersos em tanques com água e cal dispostos em câmara úmida, e 2 corpos de prova em sala climatizada. As leituras foram realizadas nas idades de 1 dia (momento da desforma) e 4, 7, 14, 28, 56, 91 e 112 dias, no próprio ambiente de cura.

O equipamento utilizado para realizar as medidas foi o de retração para concreto (Figura 10), que fornece valores de variação dimensional. Para iniciar o ensaio é necessário primeiramente realizar a calibração, executada com a barra de calibragem que acompanha o equipamento. Foram realizadas 10 leituras em cada um dos corpos de prova nos concretos estudados (Figura 11), em todas as idades definidas.

No tratamento dos resultados, foi realizada uma análise de variabilidade dos resultados, calculando-se o desvio padrão das 10 leituras. A partir disto, eliminou-se os valores fora dos limites do desvio padrão. Calculou-se novamente o desvio padrão do novo conjunto de dados, sempre eliminando-se os valores considerados espúrios. Estes cálculos

foram realizados até redução dos dados a três leituras por corpo de prova. Assim, para cada idade, obteve-se 6 leituras para cada combinação de fatores de controle.

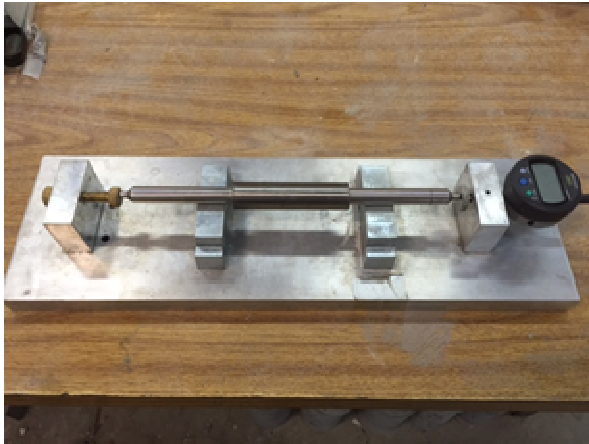


Figura 10 - Calibragem do equipamento usado no ensaio de retração por secagem

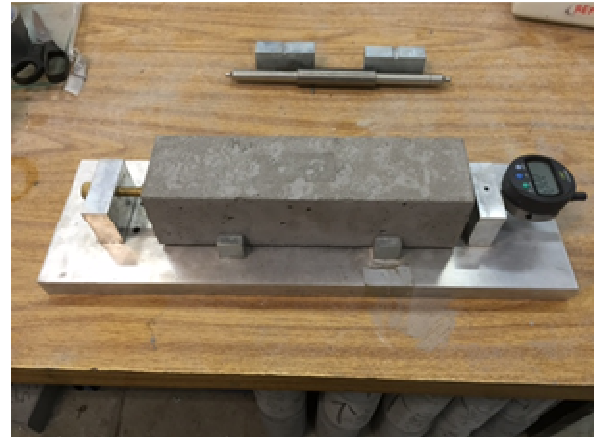


Figura 11 – Detalhe do corpo de prova posicionado para a realização do ensaio de retração por secagem

3.5 MÉTODOS DE ANÁLISE DE RESULTADO

Após a coleta e tabulação dos dados, foi realizado um tratamento dos dados com o objetivo de melhorar a qualidade dos dados obtidos. Utilizou-se os seguintes métodos de análise:

- Análise estatística simples;
- Análise de variância.

Estas análises foram executadas a partir de ferramentas de análise como o Excel e Statistica Trial Software versão de avaliação.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos e as análises estatísticas empregadas no tratamento dos dados. É importante destacar, neste momento, que o teor de AGRC é dependente do teor de aglomerante de cada traço estudado. Ou seja, os concretos de relação a/agl de 0,31 possuem maior teor de AGRC do que os concretos relação a/agl 0,42 e 0,53. Deve-se lembrar, ainda, que está diferente se deve ao método de dosagem empregado para cálculo do teor de agente de cura interna.

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A totalidade dos resultados de resistência à compressão estão apresentados na Tabela A 1 (apêndice). Na Figura 12 apresentam-se as médias destes resultados, nos dois ambientes de cura e em todas as idades estudadas. A análise de variância da resistência à compressão é apresentada na Tabela 14, com a significância do efeito isolado de cada um dos fatores estudados, bem como as interações entre eles, sobre a variável resposta. As análises de variâncias completa da resistência à compressão estão no apêndice.

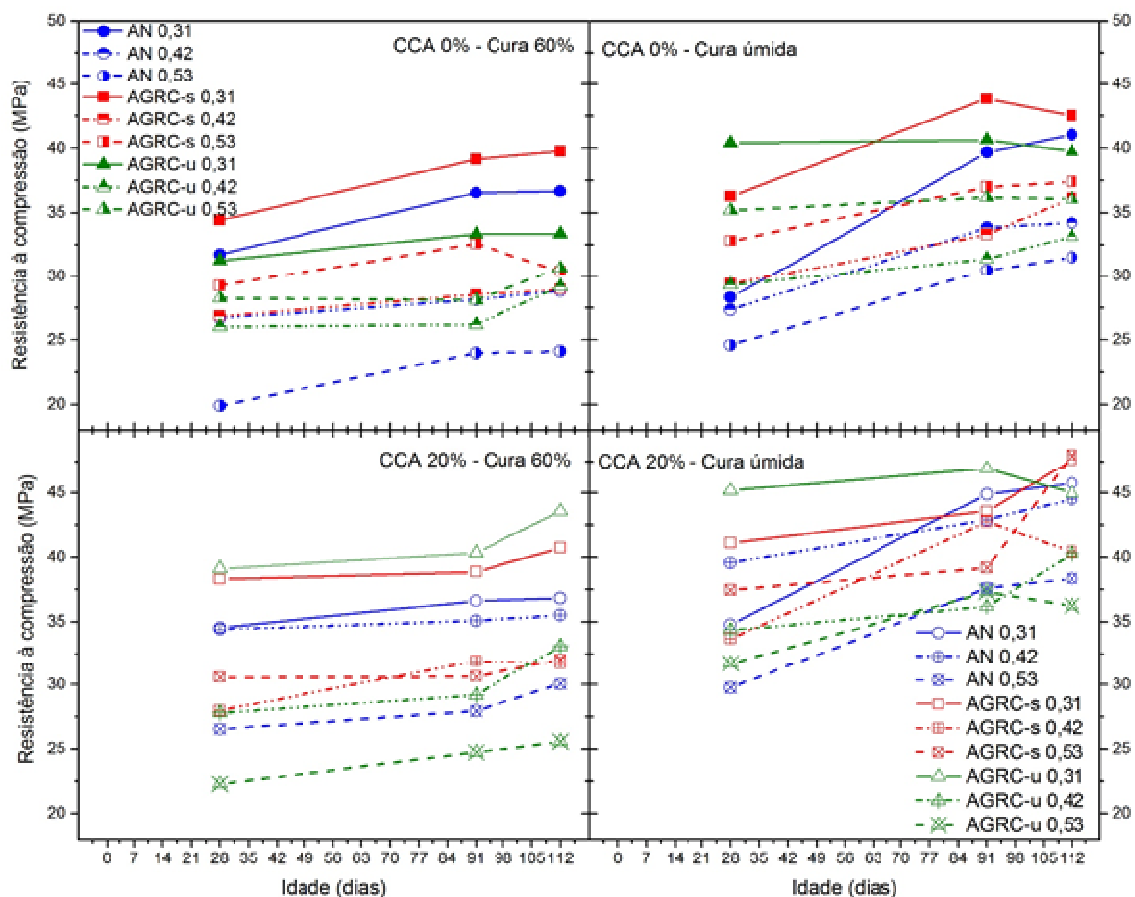


Figura 12 – Influência do tipo de cura e do teor de adição na resistência à compressão ao longo da idade

Pela análise geral preliminar da Figura 12 observa-se que o concreto de relação a/agl 0,42 e agregado referência apresenta resistências baixas, em todas as idades, quando comparadas a todo o conjunto de dados, considerando o comportamento esperado para esta relação a/agl. Isto é, este concreto apresentou resistências mais baixas do que alguns concretos produzidos com a/agl 0,53 e AGRC. Este foi o primeiro concreto a ser misturado no programa experimental, com sobra quase nula após a moldagem dos corpos de prova. Os demais traços foram moldados com um acréscimo médio de 4 kg de material seco. Esta diferença de volumes na mistura pode ser uma das causas para o comportamento observado.

Observa-se também que os concretos com relação a/agl 0,31 (Figura 12), em todos os traços estudados, apresentaram maior resistência, inclusive nos concretos com presença de AGRC. Tomando os concretos com maior consumo de aglomerante, os produzidos com AGRC-u e CCA apresentaram melhor desempenho quando enfoca-se a cura interna, ou seja, neste caso a cura interna foi mais efetiva em concretos com adição pozolânica. Por sua vez, os concretos com AGRC-u e relação a/agl 0,53 tiveram o pior desempenho em relação aos concretos com AGRC.

Ao se comparar os ambientes de cura, os melhores resultados do agente de cura interna, de uma maneira geral, foram obtidos no ambiente úmido. Isto é, no ambiente seco, aonde se esperava uma contribuição efetiva da cura interna, esta não foi observada.

Tabela 14 – Compilação de ANOVA para resistência à compressão das idades estudadas.

Efeitos	Teste F (28 dias)	Significância P (28 dias)	Teste F (91 dias)	Significância P (91 dias)	Teste F (112 dias)	Significância P (112 dias)
AGRC	21,06	0,000000	13,27	0,000012	11,55	0,000045
CCA	78,46	0,000000	71,41	0,000000	70,71	0,000000
a/agl	174,44	0,000000	224,24	0,000000	182,61	0,000000
CURA	51,61	0,000000	179,61	0,000000	151,53	0,000000
AGRC*CCA	0,43	0,654988	1,14	0,326308	1,00	0,374295
AGRC*a/agl	13,34	0,000000	3,85	0,006835	4,05	0,005077
CCA*a/agl	0,59	0,554827	2,80	0,067141	3,05	0,053653
AGRC*CURA	5,79	0,004663	0,25	0,782163	0,79	0,459720
CCA*CURA	4,78	0,031968	7,13	0,009361	4,70	0,033398
a/agl*CURA	4,11	0,020466	2,00	0,142798	4,71	0,011938
AGRC*CCA*a/agl	6,06	0,000292	3,39	0,013432	4,41	0,003034
AGRC*CCA*CURA	0,31	0,737272	0,25	0,779854	2,03	0,138505
AGRC*a/agl*CURA	1,39	0,244889	0,44	0,777781	1,25	0,297539
CCA*a/agl*CURA	0,38	0,685740	2,05	0,136457	1,69	0,192626
AGRC*CCA*a/agl*CURA	0,64	0,633033	1,09	0,367032	0,85	0,495714

*Significância P = valores em vermelho correspondem aos efeitos que possuem significância.

O efeito isolado do fator “Agregado” em relação ao comportamento da resistência, é apresentado na Figura 13, na Figura 14 e na Figura 15.

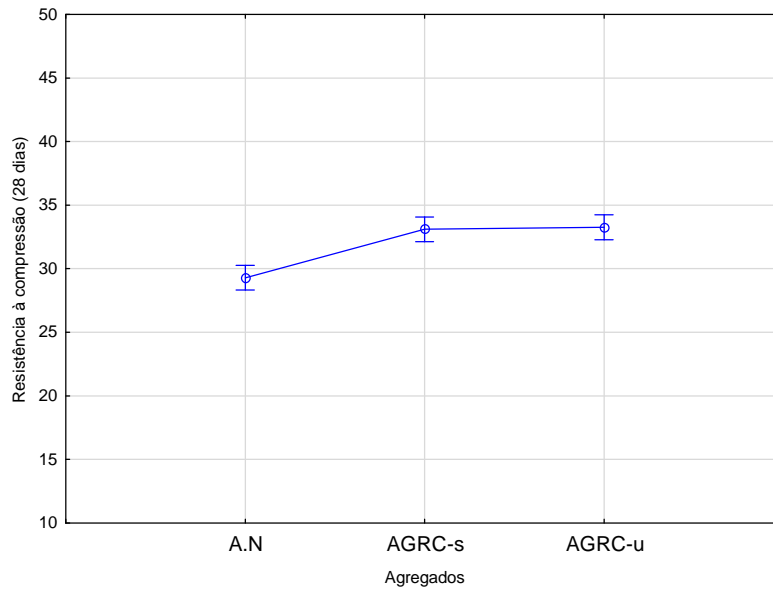


Figura 13 – Influência do efeito isolado do fator “Agregado” na resistência à compressão média aos 28 dias.

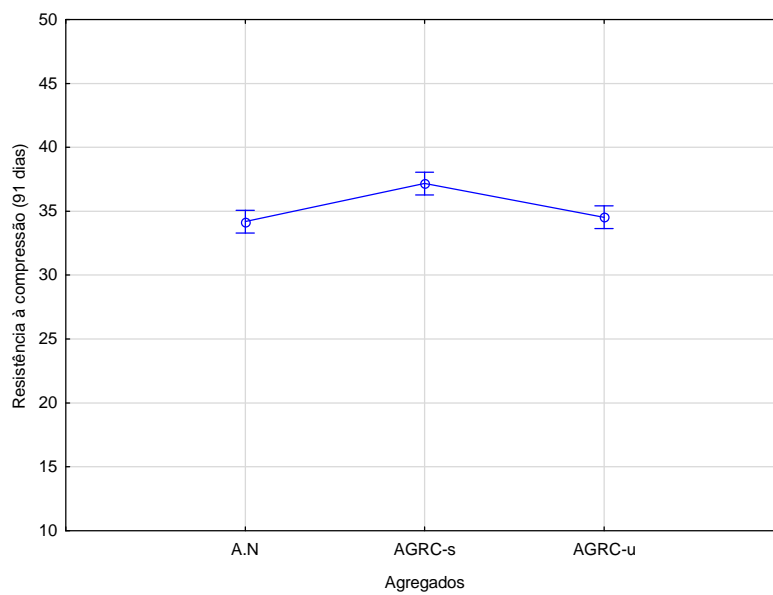


Figura 14 – Influência do efeito isolado do fator “Agregado” na resistência à compressão média aos 91 dias.

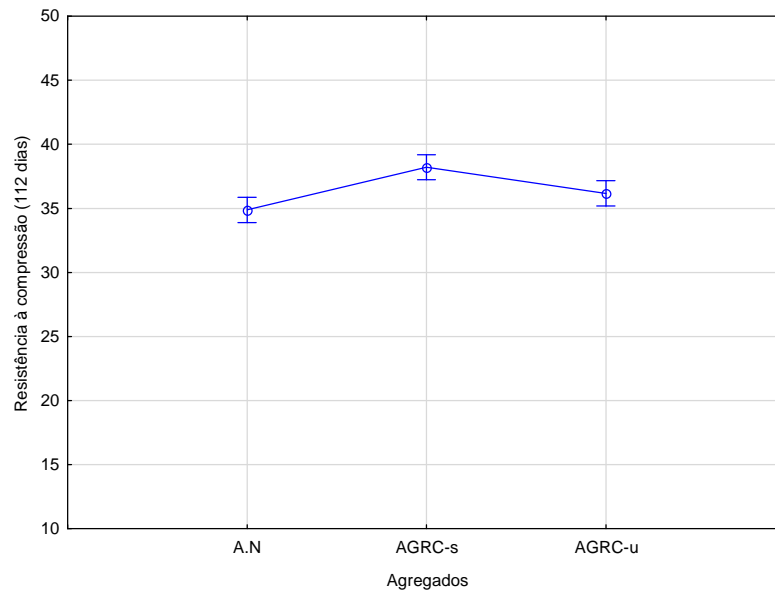


Figura 15 – Influência do efeito isolado do fator “Agregado” na resistência à compressão média aos 112 dias.

Quando se analisa os concretos fabricados com AGRC seco, é possível perceber na Figura 14 e na Figura 15 um aumento na resistência quando comparado com os concretos AGRC úmido. Este aumento na resistência já foi observado por Butler (2003), que empregou agregado reciclado de concreto seco colocado em contato direto com a água de amassamento, introduzindo-o no início da mistura, promovendo, assim, a absorção desta água. O autor percebeu um aumento significativo no valor da resistência em concreto confeccionado com agregados reciclados em relação ao concreto com agregados naturais. Segundo o pesquisador isto pode ser explicado, entre outros fatores, pelo processo de cura úmida interna, acreditando ter gerado um reservatório de água. No entanto, Cordeiro (2013), coloca que o teor de umidade afeta significativamente a resistência à compressão do concreto, apesar de que em suas conclusões a autora não deixa claro se esta influência é positiva ou negativa.

No entanto, contesta-se a hipótese apontada por Butler (2003), pois a análise das médias do fator isolado ‘agregado’, do presente trabalho, indica níveis de resistência próximos para os concretos com agregado reciclado empregado pré saturado e os concretos com agregado natural. Assim, assume-se como mais plausível o fato de que é promovida, com a absorção de água pelo agregado reciclado, a redução da relação a/agl efetiva da matriz quando o agregado reciclado é empregado seco. Esta segunda hipótese é adotada para explicar o aumento de resistência nos concretos com AGRC-s. Quando emprega-se o AGRC seco, mesmo sendo incorporado ao final da mistura, pode-se incorrer na hipótese de que ainda

ocorra uma absorção de água da matriz cimentante, o que poderia diminuir a relação a/agl efetiva da mistura e, com isto, elevar a resistência em relação aos concretos com AN. No entanto, como será apresentado na sequência, este efeito não é observado quando analisa-se a absorção de água. Outra hipótese para explicar o aumento da resistência à compressão do concreto com AGRC-s, é uma eventual melhoria da zona de transição por sucção da água de amassamento melhorando a interface pasta/agregado.

Também o fator isolado ‘CCA’ apresenta efeito significativo. A Figura 16, apresenta as médias deste fator na idade de 28 dias. As demais idades apresentaram a mesma tendência de comportamento e os gráficos são apresentados em apêndice.

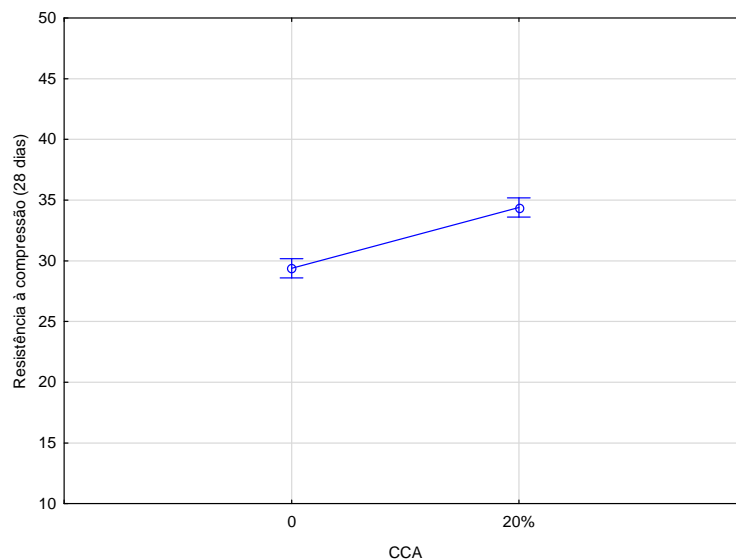


Figura 16 – Influência do teor de adição de CCA na resistência à compressão média aos 28 dias.

Ao comparar os concretos produzidos sem e com 20% de CCA (Figura 16) é possível notar que ocorre um aumento médio de 12% na resistência, considerando-se todas as idades. Estes resultados são coerentes com os resultados encontrados por Kulakowski et al. (2014) que relataram um incremento de até 20% na resistência à compressão quando comparado ao concreto produzido sem CCA, comportamento que se fundamenta pelo alto índice de pozolanicidade presente na CCA. Este resultado é satisfatório, principalmente quando se emprega AGRC, pois o eventual aumento de consumo de cimento observado em diversos trabalhos como consequência deste emprego pode-se ser reduzido com o uso de material pozolânico, obtendo-se ainda benefícios.

Como o esperado, a análise do efeito isolado do fator de controle ‘relação a/agl’ se mostrou significativo na resistência à compressão, bem como o efeito isolado do fator ‘cura’. Os gráficos de médias podem ser consultados no apêndice.

Os gráficos dos efeitos de algumas interações entre os fatores de controle que apresentaram efeito significativo sobre a resistência à compressão foram selecionados. A Figura 17 apresenta o efeito da interação entre os fatores ‘CCA’, ‘agregado’ e ‘relação a/agl’.

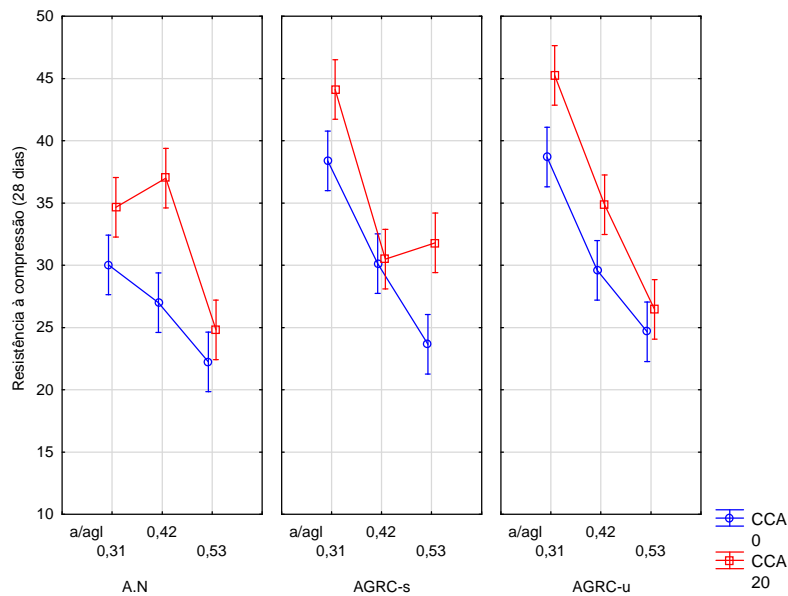


Figura 17 – Médias de resistência à compressão aos 28 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘CCA’, ‘agregado’ e ‘relação a/agl’.

Observa-se nas médias apresentadas na Figura 17 que para todos os tipos de agregados a CCA sempre apresentou o melhor desempenho relativo à resistência à compressão, assim como que o emprego de ARC, seco ou úmido, aumentou ligeiramente a resistência à compressão dos concretos, na ordem de 4%, quando comparados aos concretos compostos com agregado natural. Na comparação entre os concretos sem CCA, este aumento é na ordem de 12%. No entanto, levando-se em consideração a variabilidade dos resultados, não parece haver diferença significativa entre os concretos com agregados reciclados secos e úmidos, sendo que para os concretos sem CCA os níveis de resistência são praticamente coincidentes e, de forma geral, observa-se apenas um aumento de 2% ao empregar-se AGRC-u em comparação com os concretos com AGRC-s. Estas diferenças são amenizadas pelo fato de que as medias referem-se aos dois ambientes de cura.

Para verificar-se a influência do AGRC com o agente de cura interna, considerando-se diferentes ambientes de cura, foi realizada uma ANOVA sem os dados dos concretos com o agregado de referência (em apêndice). Na Figura 18 apresenta-se o gráfico de médias do efeito significativo da interação entre AGRC e ambiente de cura.

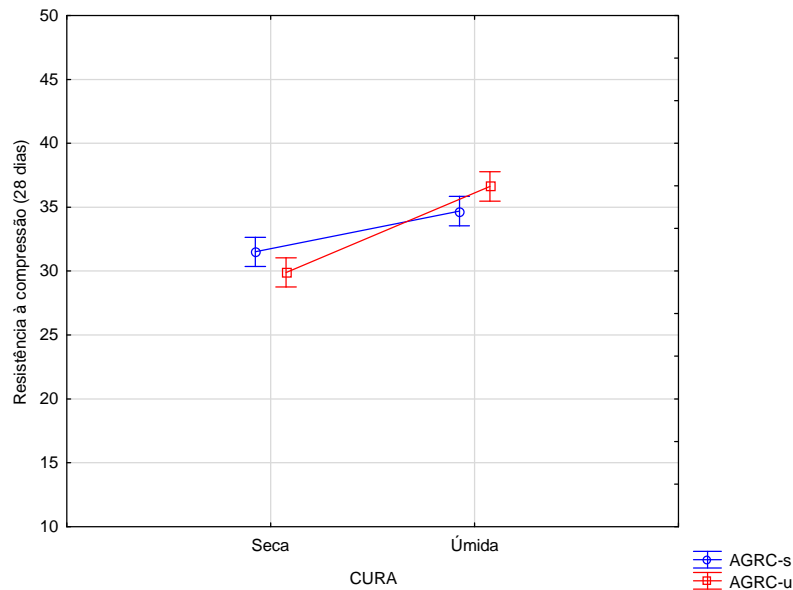


Figura 18 – Médias de resistência à compressão aos 28 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’ e ‘ambiente de cura’, sem agregado de referência.

As médias apresentadas na Figura 18 mostram uma inversão nos resultados de resistência à compressão obtidos em diferentes tipos de cura. Na cura ‘seca’ os concretos com AGRC-s apresentam resistências 5% maiores do que os concretos com AGRC-u, enquanto que na cura úmida os concretos com AGRC-u retornaram concretos de resistência 6% maior do que os concretos com AGRC-s. Por sua vez, comparando os concretos com AGRC-u, observa-se um aumento de 22% na resistência quando se passa da cura em ambiente seco para úmido, enquanto que nos concretos com AGRC-s este aumento é de apenas 10%.

Esta análise é importante para confirmar os comentários realizados para a Figura 12. Ou seja, a expectativa de que o AGRC-u atuasse como agente de cura interna, compensando os efeitos negativos de um ambiente de cura seco, não foi confirmada. O que se percebe é que em muitos trabalhos, entre eles, Castro et al (2011), empregou-se agregado reciclado de concreto como agente de cura interna na granulometria de agregado miúdo. Visto que, o agregado miúdo possui uma maior área específica e, com isso, uma maior área de liberação de água, faz com que os “reservatórios de água” liberem mais facilmente o líquido

armazenado, fazendo com que um maior volume de pasta possa ser beneficiado pela cura interna. Além disto, no AGRC a porosidade não é homogênea em função de que em grãos maiores possa haver a presença de agregado graúdo natural na sua composição, acumulando-se menos água. Este aspecto pode ser ainda reforçado pelo fato de que grande parte dos concretos no Rio Grande do Sul são compostos com agregados graúdos de basalto, cuja absorção de água é muito baixa.

Desta forma, pode-se incorrer na hipótese de que o emprego de agregado graúdo como agente de cura interna possa ser o responsável, no trabalho que se apresenta, pela obtenção de resultados diferentes dos esperados.

4.2 RETRAÇÃO POR SECAGEM

Os três resultados de retração por secagem, obtidos para cada idade e corpo de prova, são apresentados em apêndice. As Figura 19, Figura 20 e Figura 21 apresentam os resultados obtidos no ensaio de retração por secagem e estão separados por tipo de agregado e ambiente de cura.

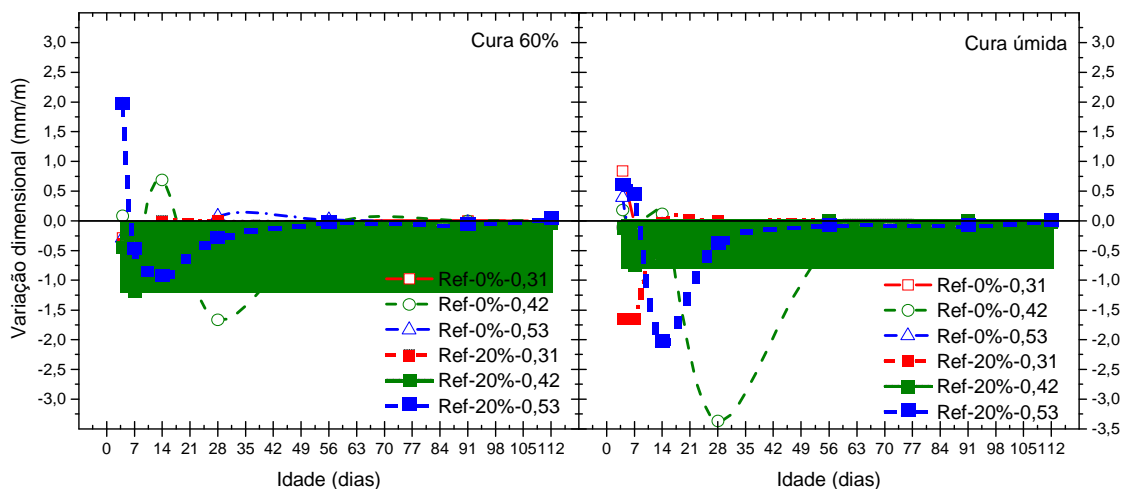


Figura 19 – Resultados de retração ao longo do tempo de concretos com agregado Referência:
(a) Cura seca e (b) Cura úmida.

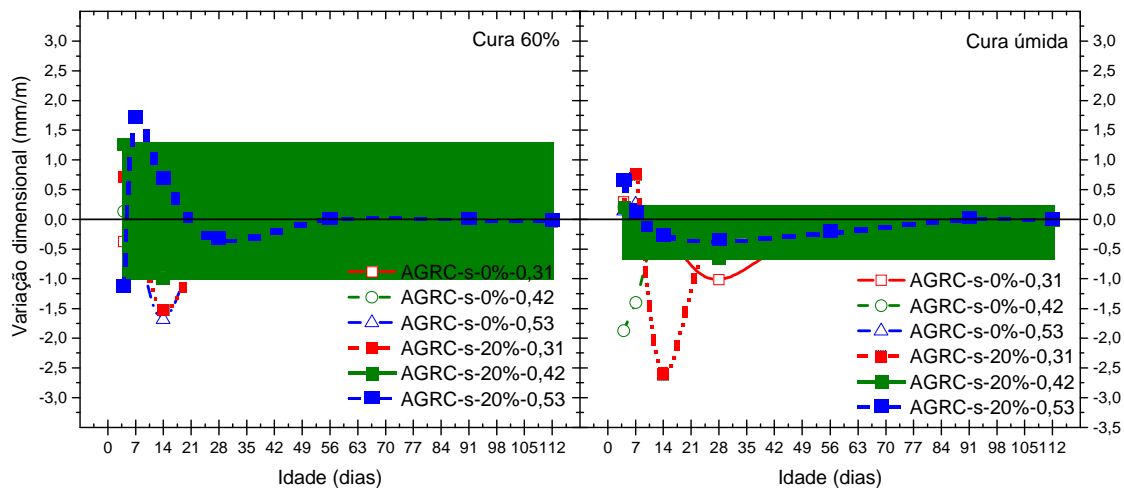


Figura 20 – Resultados de retração ao longo do tempo de concretos com AGRC-seco:
(a) Cura seca e (b) Cura úmida.

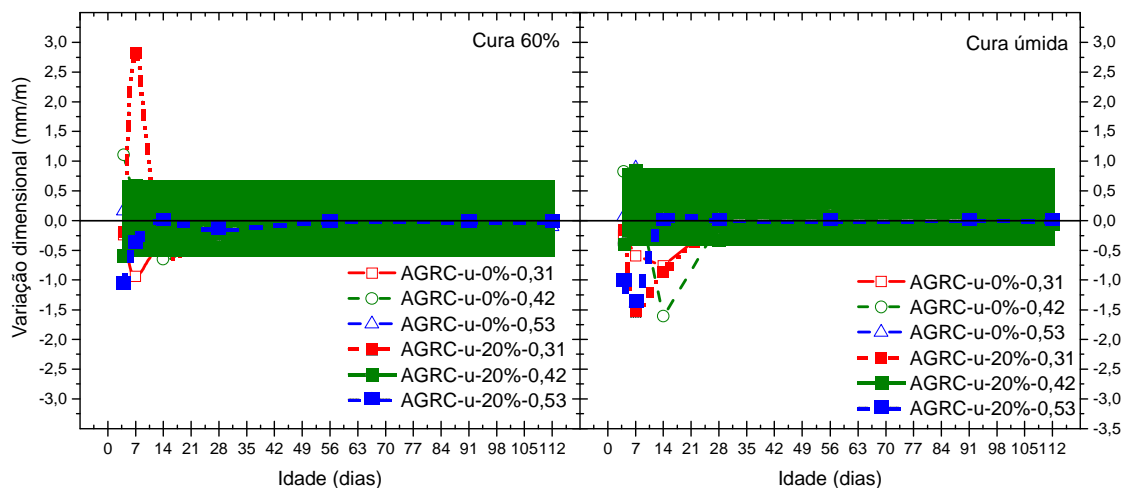


Figura 21 – Resultados de retração ao longo do tempo de concretos com AGRC-úmido:
(a) cura seca e (b) cura úmida.

Pela análise geral preliminar da Figura 22 é possível verificar que o concreto produzido com agregado natural e relação a/agl 0,42 foge do comportamento quando comparado com os outros concretos, assim como já foi observado na análise da resistência à compressão, pois os corpos de prova de retração e resistência à compressão foram moldados com concreto da mesma mistura. A fim de melhor analisar os resultados de retração, foram excluídos os dados dos concretos com relação a/agl de 0,42, e o conjunto é apresentado na Figura 22.

Ao analisar a Figura 22, é possível verificar que, no ambiente úmido, os concretos com agregado referência apresentam menor retração para a relação a/agl de 0,31 sem a presença de CCA. E os concretos produzidos com CCA apresentaram maior retração no 7 e

14 dias. Ceconello (2013) também observou maior retração nos concretos com CCA. A explicação dada foi de que a presença de CCA refina os poros da mistura, sem diminuir o volume total de poros, havendo ainda vazios que possam sofrer contração volumétrica.

Na análise dos concretos com AGRC-s neste ambiente se observou maior retração nos concretos com relação a/agl 0,31, o que pode ser explicado pelo fato de que nestes concretos com maior consumo de aglomerante, o teor de AGRC é maior do que nos concretos com relação a/agl 0,53. No entanto, o emprego do AGRC –u as retrações parecem diminuir, inclusive em relação ao concreto referência.

Em relação ao ambiente seco, observa-se tendências de comportamento similar, quando comparados os três tipos de agregados. Por sua vez, o efeito do AGRC-u como agente de cura interna na retração parece ser mais eficiente nas relações a/agl 0,53. Observa-se também uma ligeira melhora em relação ao AGRC-s.

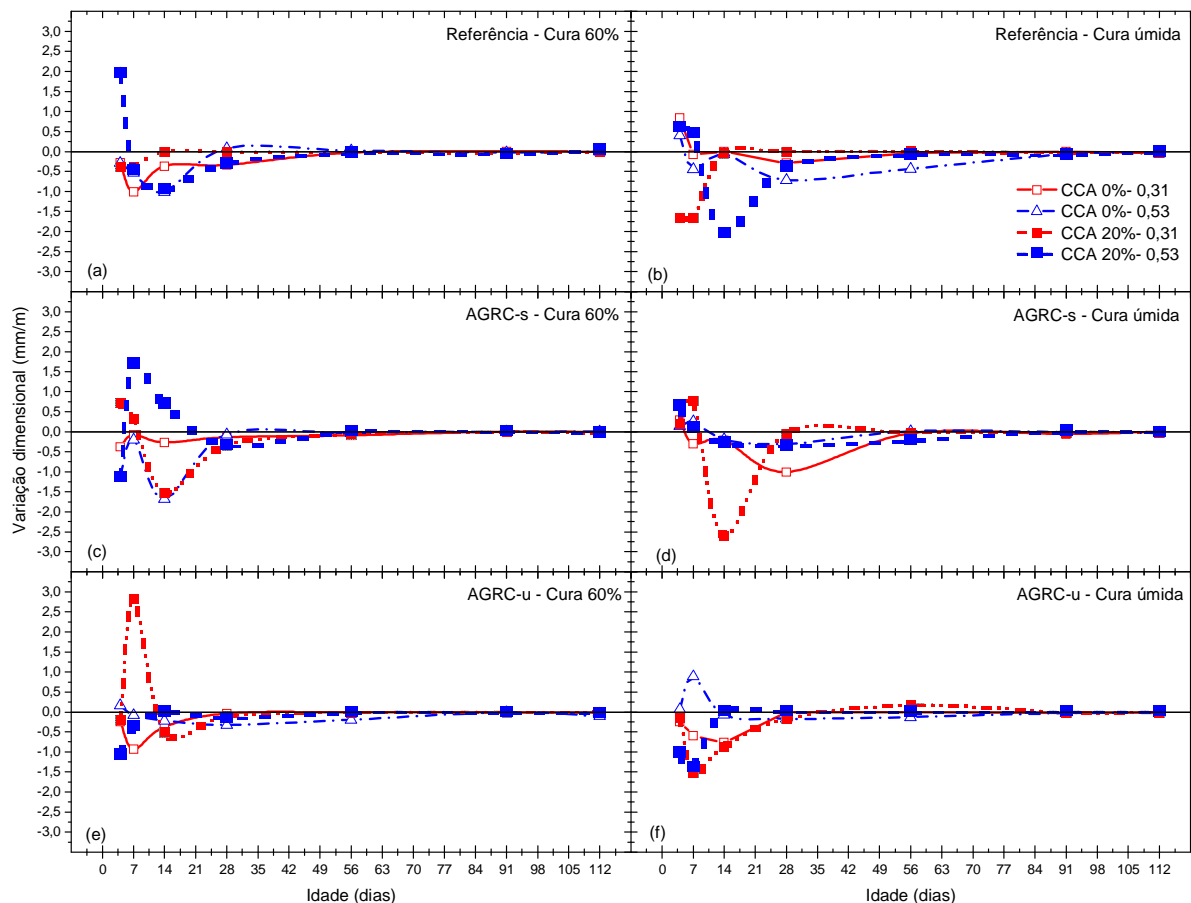


Figura 22 – Resultados de retração ao longo do tempo sem os traços de relação a/agl 0,42.

Para um melhor entendimento dos resultados, relembando que o foco do trabalho é investigar o efeito da cura interna nos concretos produzidos com CCA, realizou-se uma ANOVA somente com o ambiente de cura seco e sem os dados dos traços referencias.

Na sequência, é apresentada a Tabela 16, com a análise de variância da retração para a idade de 14 dias.

Tabela 15 – ANOVA dos fatores independentes e das interações em relação a retração na idade de 14 dias.

Efeitos	SQ	GLD	MQ	Teste F	Significância - P
ARC	2,34433	1	2,34433	19,89259	0,000037
CCA	0,49601	1	0,49601	4,20882	0,044587
AAGL	1,10233	2	0,55116	4,67683	0,012956
ARC*CCA	1,45636	1	1,45636	12,35775	0,000843
ARC*AAGL	0,25034	2	0,12517	1,06211	0,352134
CCA*AAGL	16,32386	2	8,16193	69,25716	0,000000
ARC*CCA*AAGL	14,40578	2	7,20289	61,11933	0,000000
Erro	7,07098	60	0,11785		

Onde: GDL= grau de liberdade; SQ = soma quadrado; MQ = média quadrada; CCA = cinza de casca de arroz; AGRC = agregado reciclado de concreto; a/agl = relação água/aglomerante.

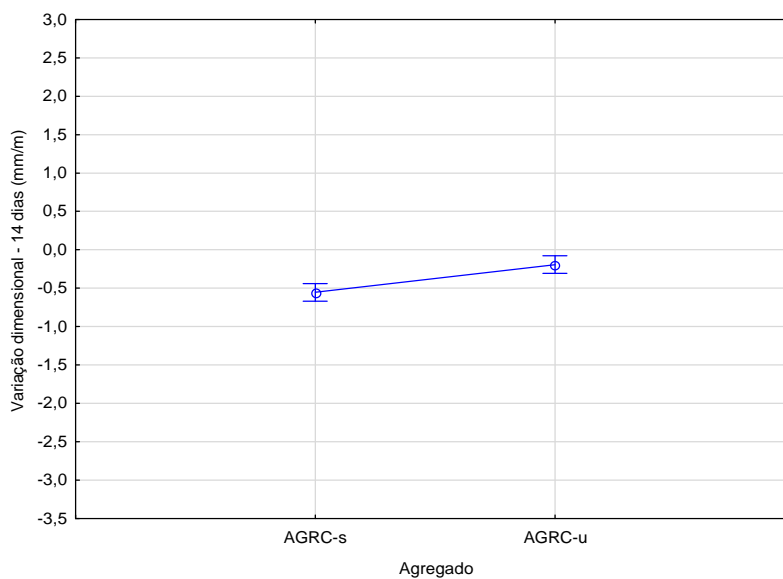


Figura 23 – Influência do tipo de agregado na retração aos 14 dias.

Ao realizar uma análise do efeito isolado do fator ‘agregado’ na retração do concreto aos 14 dias (Figura 23), observa-se uma redução média de 65% na retração medida em ambiente seco. Mesmo com toda a variabilidade do conjunto de dados, é possível dentro do escopo do trabalho, observar uma contribuição do AGRC-u como agente de cura interna na retração de concretos.

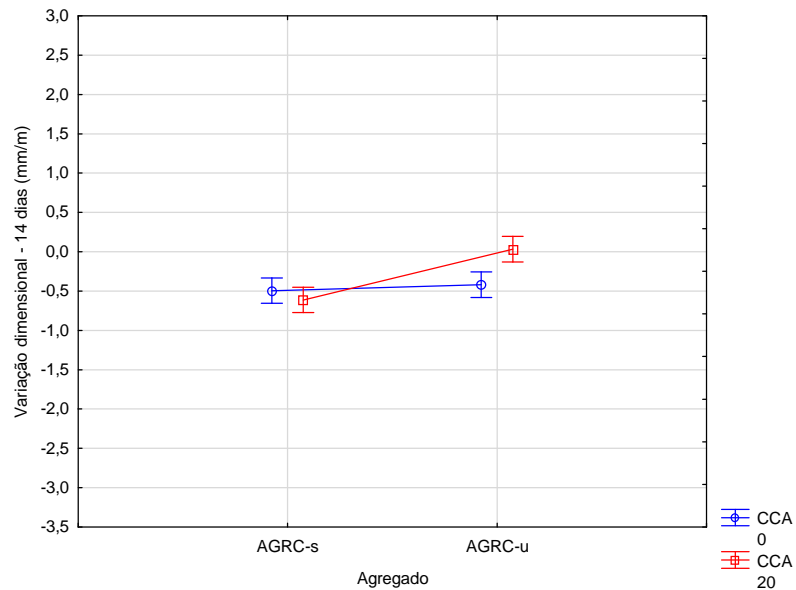


Figura 24 – Médias de retração aos 14 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’ e ‘CCA’

As médias de retração do efeito da interação entre os fatores ‘agregado’ e ‘CCA’, apresentadas na Figura 24, permite verificar a contribuição da cura interna proporcionada pelo AGRC-u principalmente se o aglomerante é composto por pozolana, no caso, CCA. Observa-se que nos concretos produzidos somente com cimento a redução da retração, comparando o efeito do AGRC-s e AGRC-u, foi em torno de 15%. Ao passo que, os concretos compostos com CCA tiveram uma redução de retração de quase 100%, devida ao emprego de AGRC-u. Sabe-se que a cura é fundamental nas matrizes cimentantes compostas por pozolanas, afim de garantir as reações das mesmas com os produtos de hidratações do cimento (DAL MOLIN et al., 2005).

De acordo com a Figura 25, as médias de retração para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’, ‘relação a/agl’ e ‘CCA’ é possível perceber que o emprego de AGRC-u auxilia na diminuição da amplitude da variação dimensional da retração em concretos produzidos sem CCA, confirmando o aspecto do uso de AGRC-u em relação ao AGRC-s como agente de cura interna.

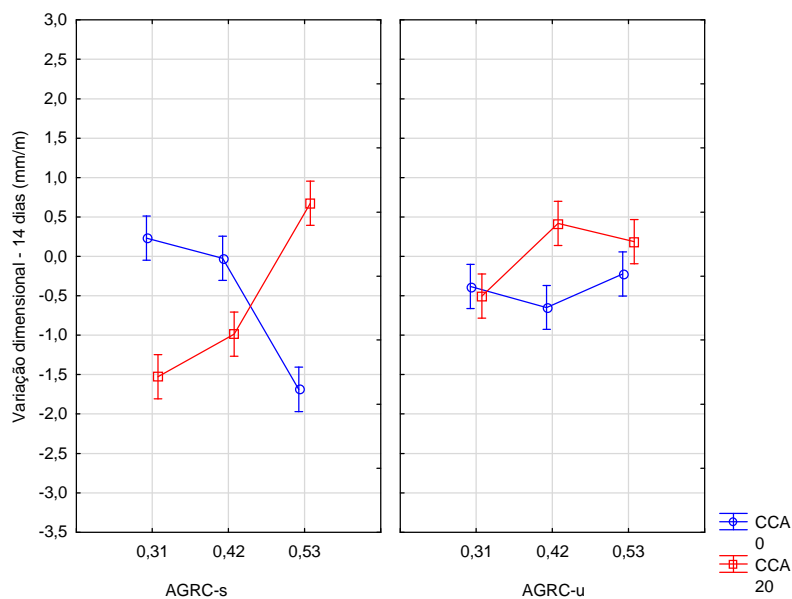


Figura 25 – Médias de retração aos 14 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’, ‘relação a/agl’ e ‘CCA’

A seguir, é apresentada na Tabela 16, a análise de variância da retração para a idade de 28 dias.

Tabela 16 – ANOVA dos fatores independentes e das interações entre eles em relação a retração na idade de 28 dias.

Efeito	SQ	GLD	MQ	Teste F	Significância - P
ARC	0,009522	1	0,009522	0,2873	0,593944
CCA	0,503339	1	0,503339	15,1864	0,000248
AAGL	0,153587	2	0,076794	2,3170	0,107331
ARC*CCA	0,208658	1	0,208658	6,2955	0,014823
ARC*AAGL	0,174412	2	0,087206	2,6311	0,080294
CCA*AAGL	0,225032	2	0,112516	3,3948	0,040113
ARC*CCA*AAGL	0,132017	2	0,066009	1,9916	0,145403
Erro	1,988648	60	0,033144		

Onde: GDL= grau de liberdade; SQ = soma quadrado; MQ = média quadrada; CCA = cinza de casca de arroz; ARC = agregado reciclado de concreto; aagl = relação água/aglomerante.

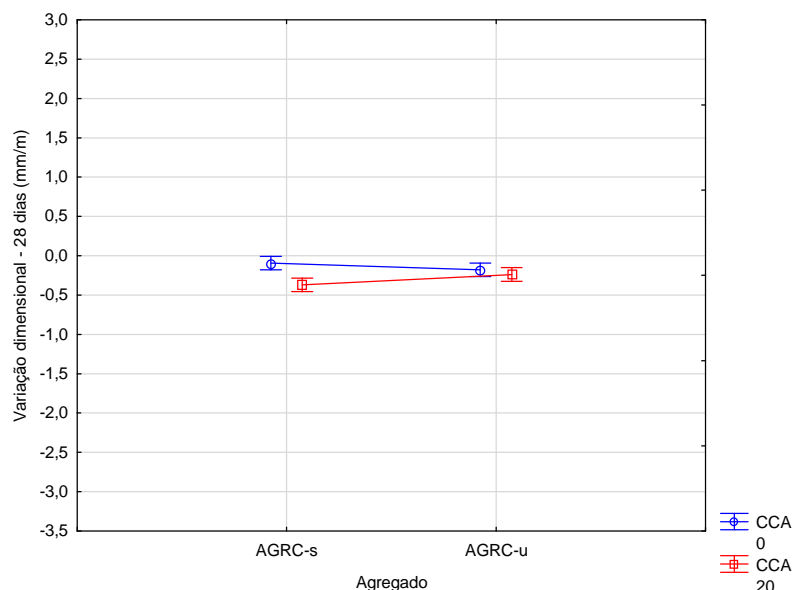


Figura 26 – Médias de retração aos 28 dias para o efeito da interação entre os fatores ‘agregado’ e ‘CCA’

Ao realizar uma análise do efeito da interação entre os fatores ‘agregado’ e ‘CCA’ (Figura 26) percebe-se que, em ambiente de cura seco, os concretos produzidos com AGRC-u sem o emprego de CCA, apresentam um aumento em torno de 90% na retração em relação aos concretos com AGRC-s. Para concretos produzidos com AGRC-u e 20% de CCA ocorre uma redução, em média, de 36% na retração, quando comparado com os concretos com AGRC-s. Novamente evidencia a contribuição do agente de cura interna nos concretos com pozolana.

Assim, de maneira geral não foram observadas diferenças significativas entre os concretos com AGRC-u e concretos com agregado de referência. No entanto, comparando com o AGRC-s, o AGRC-u em geral apresenta um melhor desempenho na retração. Por fim, as maiores contribuições do agente de cura interna em questão, são apresentadas nos concretos que empregaram a CCA.

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Os resultados do ensaio de absorção de água no ambiente de cura úmido e na idade de 28 dias, bem como as variáveis de resposta calculados a partir destes resultados, taxa de absorção e porosidade, de todos os concretos estudados estão apresentados no apêndice.

A análise de variância da taxa de absorção de água é apresentada na Tabela 17, onde indica a significância do efeito isolado de cada um dos fatores estudados, bem como das interações entre eles, sobre a variável de resposta.

Tabela 17 - Quadro ANOVA dos fatores independentes e das interações entre eles em relação à taxa absorção de água por capilaridade

Efeitos	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância P	Efeito significativo
AGRC	2	1,2612	0,6306	7,681	0,001667	sim
CCA	1	3,3600	3,3600	40,927	0,000000	sim
a/agl	2	4,2738	2,1369	26,029	0,000000	sim
AGRC*CCA	2	0,0795	0,0398	0,484	0,620118	não
AGRC*a/agl	4	2,6392	0,6598	8,037	0,000097	sim
CCA*a/agl	2	1,0380	0,5190	6,322	0,004435	sim
AGRC*CCA*a/agl	4	4,8936	1,2234	14,902	0,000000	sim
Erro	36	2,9555	0,0821			

Onde: GDL= grau de liberdade; SQ = soma quadrado; MQ = média quadrada; CCA = cinza de casca de arroz; AGRC = agregado reciclado de concreto; a/agl = relação água/aglomerante.

Na Tabela 17 é possível perceber que o fatores isolados de AGRC, CCA e relação a/agl e as interações AGRC x a/agl, CCA x a/agl e AGRC x CCA x a/agl apresentaram efeito significativo sobre a taxa absorção de água a um nível de confiança de 95%.

A Figura 27 apresenta as médias do efeito isolado do ‘agregado’ na taxa de absorção dos concretos. Pode-se verificar que o AGRC-u apresentou uma maior taxa de absorção de água em relação aos outros concretos estudados, ou seja, seu efeito sob esta propriedade foi negativo, ao contrário do que foi observado na resistência à compressão. Este efeito pode estar associado à presença de cinza, pois este é um comportamento que vem sendo observado por outros autores (CECONELLO, 2013; SARTORI, 2013). Isto é, a cinza, apesar de contribuir para o aumento da resistência, refina os poros e com isto aumenta o volume de poros capilares, o que reflete diretamente na taxa de absorção capilar de água.

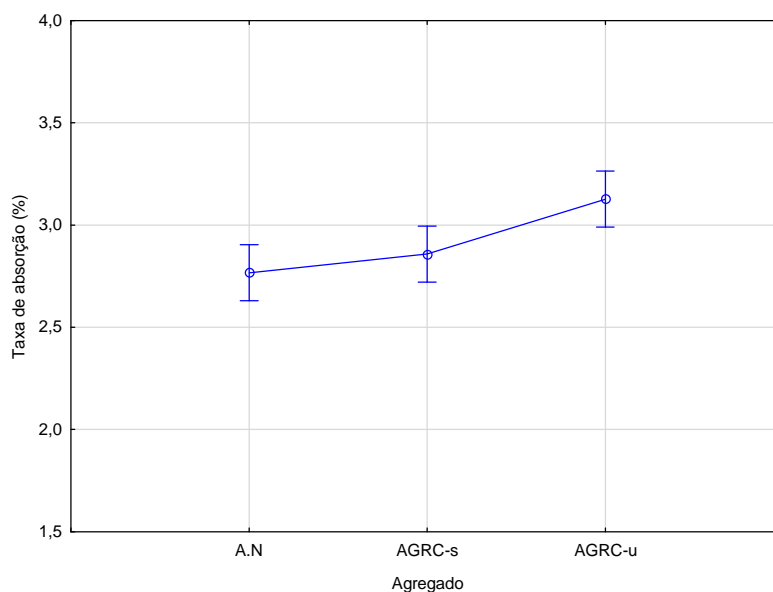


Figura 27 – Influência do fator ‘Agregado’ na absorção de água aos 28 dias.

Uma tendência de comportamento similar foi observada por Werle (2010), cujo estudo indicou que a pré-molhagem do AGRC se torna um fator com efeito importante para a absorção de água. Ao utilizar percentuais acima de 25% de substituição de agregado natural por AGRC, a medida que aumentou o teor de pré-molhagem obteve um acréscimo no teor de absorção de água nestes concretos, sendo que o concreto com AGRC saturado foi o que apresentou maior absorção de água. A autora acredita que a saturação do AGRC faça com que haja uma migração de água do agregado reciclado para matriz cimentante, aumentando a relação a/agl efetiva da mesma e, com isto, aumentando a porosidade e a absorção do concreto.

Também Padovan (2013) investigou a influência do teor de saturação do AGRC no coeficiente de capilaridade (taxa de absorção) de concretos, empregando teores de 40, 60 e 80% de pré-molhagem. Nos dois teores mais elevados, a autora observou um aumento na taxa de absorção do concreto, enquanto que o teor de 40% a taxa de absorção diminuiu em relação ao concreto referência. Da mesma forma que Werle (2010), Padovan (2013) atribuiu o comportamento observado a uma modificação da estrutura de poros da matriz cimentante em função da maior ou menor migração de água do AGRC para a mesma.

O efeito isolado da CCA sobre a absorção de água é apresenta nas médias da Figura 28.

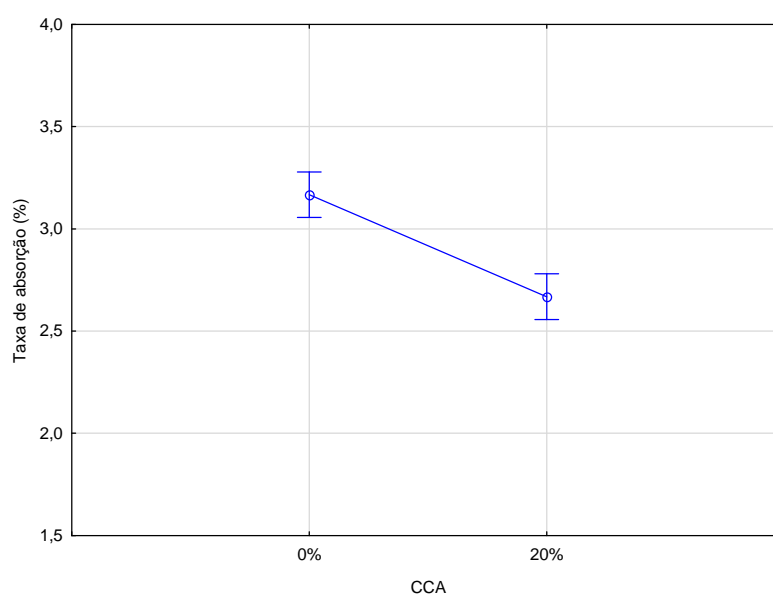


Figura 28 - Influência do fator 'CCA' na absorção de água aos 28 dias.

Kou e Poon (2012) descrevem em sua pesquisa que ao utilizar adições minerais na fabricação de concreto, com teor de incorporação de até 35%, ajuda a minimizar a absorção

de água em concretos produzidos com AGRC. Fedamenti (2013) também observou este mesmo comportamento, ao realizar substituição de cimento por 10% e 20% de cinza de casca de arroz em concretos com AGRC, verificou que a absorção de água destes concretos reduziu em 25% e 52%, respectivamente. Neste contexto, pode-se verificar na Figura 28 que ao empregar 20% de CCA a taxa de absorção dos concretos diminuiu, quando comparado com os concretos sem CCA. Esta mesma tendência de comportamento pode ser observada no presente trabalho, e pode ser explicada pela elevada reatividade da CCA em estudo, que apresenta dimensão média dos grãos de 7,97 μm , que auxilia na compactidade da estrutura de poros, tendo como consequência uma menor absorção de água.

Para fechamento das análises dos resultados, na Figura 29 é apresentado um resumo da tendência de comportamento do concreto, de forma esquemática.

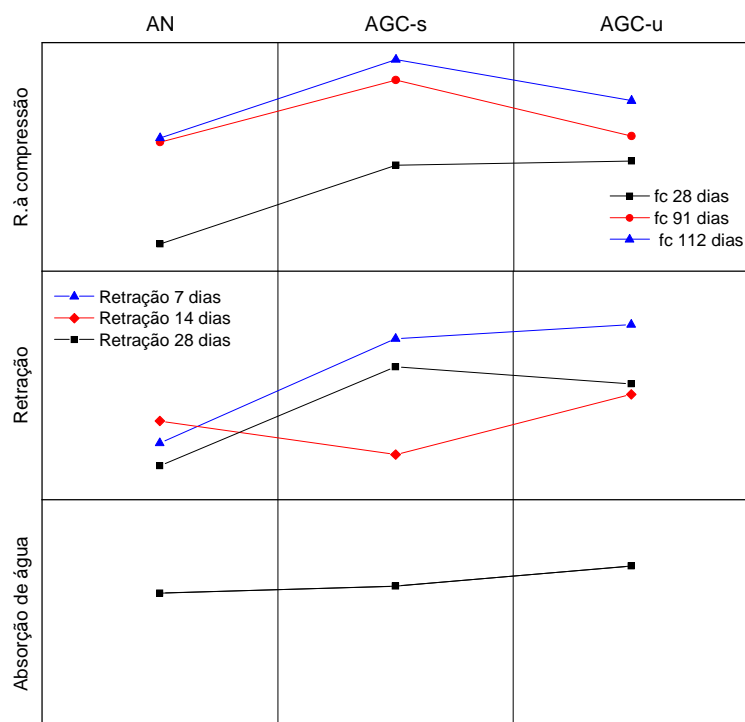


Figura 29 – Representação esquemática da influência dos agregados na tendência de comportamento do concreto.

Enquanto que para a resistência à compressão a introdução de AGRC, tanto seco como úmido, parece ser, em média, benéfica ao concreto, para a absorção o uso de AGRC piora esta propriedade. Uma possível explicação para este comportamento inverso pode ser o teor de argamassa do concreto reciclado, que é em torno de 62%. Ao se substituir o agregado natural pelo reciclado insere-se mais argamassa endurecida na matriz, diminuindo o perímetro de zona de transição (ZT) pasta-agregado graúdo. Já com a sua porosidade gera uma nova ZT pasta-argamassa com boas características de aderência, pela interpenetração da pasta na

argamassa velha. Isto pode ser reforçado pelo fato de que os agregados secos, ao absorverem mais pasta, geram uma melhor ZT do que o agregado úmido, explicando a maior resistência à compressão obtida nos concretos com AGR-s. Esta mesma argamassa introduzida na forma de agregado, por sua vez, pode aumentar a porosidade capilar e com isto aumentar a absorção e água, que é maior nos concretos com AGRC-u pelo fato de não ter ocorrido uma diminuição da porosidade na argamassa do agregado reciclado, pois a umidade diminui esta penetração. Desta forma, pode-se dizer que o AGRC-u não traz benefícios sob o ponto de vista de cura interna.

5 CONCLUSÃO

A seguir serão apresentadas as considerações finais, que respondem os objetivos propostos. Posteriormente, são apresentadas sugestões para futuros trabalhos, onde são identificados alguns temas para pesquisas futuras.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a **Resistência à compressão** observa-se que os concretos com relação a/agl 0,31, em todos os traços estudados, apresentam maior resistência, inclusive nos concretos com presença de AGRC. Quando se analisa os concretos com AGRC-u e relação a/agl 0,53 obteve-se o pior desempenho em relação aos concretos com AGRC. Nos concretos produzidos sem e com 20% de CCA é possível notar que ocorre um aumento médio de 12% na resistência, considerando-se todas as idades. Em relação aos ambientes de cura, os melhores resultados dos AGRC úmidos, de modo geral, foram obtidos no ambiente úmido. No entanto para resistência à compressão no ambiente de cura seco, aonde se tem maior demanda por uma cura interna o AGRC foi eficiente apenas nos concretos com CCA e com maior consumo de aglomerante, pois nesta situação maior foi o consumo de AGRC-u. Estes comportamentos indicam que o AGRC não apresentou comportamento de agente de cura interna.

Na **Retração por secagem** foi possível verificar que, até os 28 dias, há retrações significativas para todos os concretos estudados. Após esta idade há uma tendência de estabilizar e obter-se retração nula. Os concretos produzidos com agregado natural e relação a/agl 0,31 com 20% de CCA apresentaram a menor retração aos 28 dias. Em relação, aos traços produzidos com AGRC-u nota-se, em geral, uma redução nos valores de retração, quando comparados aos traços com AGRC-s, considerando-se ambos ambientes de cura. Neste sentido, a AGRC-u teve um melhor comportamento, porém com desempenho inferior ao esperado, o que aponta para o fato de que o AGRC úmido não pode ser considerado um agente de cura interna.

A **Absorção de água** em concretos produzidos com incorporação de CCA apresenta uma redução no valor de absorção, como o esperado. Já os concretos produzidos com AGRC-u tiveram um aumento médio de 9% na taxa de absorção de água. A partir dos resultados desta propriedade não se pode atribuir o efeito de agente de cura interno para o AGRC-u.

Esta pesquisa empregou o *Método de Dosagem para Cura Interna* para determinar o teor de AGRC saturado a ser empregado como agente de cura interna. Com base nas considerações finais, acredita-se que, dentro do escopo deste trabalho, o agregado reciclado empregado saturado não apresenta comportamento de agente de cura interna, principalmente no ambiente crítico de ambiente com umidade relativa na ordem de 60%, considerada baixa.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de melhorar o aprofundamento em relação aos fenômenos que envolvem a retração nos concretos, levando em consideração os questionamentos evidenciados a partir deste estudo, os quais não puderam ser contemplados no escopo do trabalho, são estabelecidas as seguintes recomendações para os trabalhos futuros:

- estudo de porosidade e absorção de água por capilaridade nas idades iniciais de concretos produzidos com cinza de casca de arroz e agregado reciclado de concreto;
- Reação álcali agregado: verificação da variação de expansão em concretos produzidos com cinza de casca de arroz e agregados reciclados de concreto;
- análise da retração autógena em concretos produzidos com cinza de casca de arroz e agregados reciclados de concreto;
- estudo do agregado miúdo reciclado de concreto como agente de cura interna.

REFERÊNCIAS

AKCAY, B; TASDEMIR, A.M. Effects of distribution of lightweight aggregates on internal curing of concrete. **Cement and Concrete Composites**. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C157: Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete**. Philadelphia, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C-1260/14: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-Bar Method)**. West Conshohocken, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C-1567/13: Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method)**. West Conshohocken, 2013.

ANGEL, M. D.J.; VÁSQUEZ, P.G.T.; JUNKES, A.J.; HOTZA, D. Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Química. Nova**, Vol. 32, No. 5, p. 1110-1114, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45: 2006**. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52: 2009**. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53: 2006**. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738: 2003**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953/2015**. Concreto para fins estruturais- classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578/1991**. Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653/2015**. Materiais pozolânicos – especificação. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116/2004**. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BARDELLA, P.S.; BARBOSA, D.C.; CAMARIN, G. **Sistemas de cura em concretos produzidos com Cimento Portland de Alto-Forno com utilização de Sílica Ativa**. Anais do 1º Encontro Nacional de Pesquisa Projeto Produção em Concreto Pré-moldado. São Carlos, novemenro de 2005.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5ª Ed. 471 p. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

BENTZ, B. D. P.; LURA, P.; ROBERTS, J. W. **Mixture Proportioning for Internal Curing**. Concrete International, 2005.

BISSCHOP, J. **Drying shrinkage cracking at early ages**. In: A. Bentur (Ed), Proceedings of the early age cracking in cementitious systems, RILEM, France, pp. 27-33, 2002.

BISSONNETTE, B.; PIERRE, P.; PIGEON, M. Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious materials. **Cement and Concrete Research**, v.29, n.10, p. 1655-1662, out. 1999.

BUEST NETO, T. G. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. Dissertação de Mestrado. UFPR. Curitiba. 2006.

BUTTLER, A. M. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.

BUTTLER, A. M.; CORRÊA, M. R. S. **Desenvolvimento de unidades de alvenaria estrutural produzidas com agregados reciclados de concreto**. Cadernos de Engenharia de Estrutura, São Carlos, v.8, n.32, p. 9-12, 2006.

BUTTLER, L.; WEST, S. J.; TIGHE, L.S. Effect of recycled concrete coarse aggregate from multiple sources on the hardened properties of concrete with equivalent compressive strength. **Construction and Building Materials**, Vol. 47, October 2013, p.1292-1301.

CABRAL, A.E.B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN D.C.C.; RIBEIRO, J.L.D.; RAVINDRARAJAH, R.S.; **Modelagem da retração por secagem de concretos produzidos com agregados reciclados**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v.3, p.1–23, 2010.

CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Ação da carbonatação no concreto, Concreto ciência e tecnologia**. Vol 1, cap 24. São Paulo. 2011.

CASTRO, J.; KEISER, L.; GOLIAS, M.; WEISS, J. Absorption and desorption properties of fine lightweight aggregate for application to internally cured concrete mixtures. **Cement & Concrete Composites**. V. 33, p. 1001-1008, November, 2011.

CECCONELLO, V. **Avaliação de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto e cinza de casca de arroz, com ênfase na retração**. São Leopoldo, 2013, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2013.

CEZAR, D. S. **Características de durabilidade de concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2011.

CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. M. R. Use os ultrafine rice husk ash with high-carbon content as pozzolan in high performance concrete. **Materials and Structures**, 2009.

CORDEIRO, P.N.L. Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto. Tese de Doutorado.. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CHAO-LUNG, H.; ANH-TUAN, B.; CHUN-TSUN, C. Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. **Construction and Building Materials**. (3768-3772). 2011.

CONAB: **Companhia Nacional de abastecimento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acessado em outubro/2015

DAL MOLIN, C.C.D.; KULAKOWSKI, P.M.; RIBEIRO, D.L.J. Contribuições ao planejamento de experimentos em projetos de pesquisa de engenharia civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.2, p;37-49, abr./jun.2005.

DAL MOLIN, C. C. D. **Adições Minerais, Concreto Ciência e Tecnologia**. Vol. 1, Cap. 8. São Paulo. 2011.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química nova**, v. 29, n. 6, p. 1175-1179. 2001.

DINIZ, J.Z.F.; FERNANDES, J.F.; KUPERMAN, S.C. Retração e Fluência. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, v. 1, p. 673-704, 2011.

DUART, A. M. **Modificação da porosidade em concretos com adição mineral de cinza de casca de arroz**. 53º IBRACON – ISSN 2175 – 8182. 2011.

DNPM, **Departamento Nacional de Produção Mineral. Economia Mineral: Sumário Mineral** 2012. Vol. 32. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/>. Acesso em: 02 de outubro 2014.

ERHART, R.; SCHAFER, M.; SOUZA, R.; KRAS, J.; MANCIO, M.; KULAKOWSKI, M. **Influência da cinza de casca de arroz na resistência e na absorção de água de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto**. Anais do 56º IBRACON – Congresso Brasileiro de Concreto. Natal/RN. Outubro, 2014.

ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARÍ, A.; BARRA, M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**, v.37, p.735-742, 2007.

FAO “Food and Agriculture Organizations of the United Nations”. **Rice Market Monitor**. Production Internacional Trade Rice Utilization and Domestic Prices. Volume XIX. Issue N° 1. April 2016.

FEDUMENTI, M.B. **Avaliação da influência da cinza de casca de arroz no comportamento de concretos com agregado reciclado de concreto em relação a propriedades mecânicas e de durabilidade, com ênfase no transporte de íons cloreto**. São Leopoldo, 2013. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2013.

FERREIRA, L. M. M. **Betões estruturais com incorporação de agregados grossos reciclados de betão. Influência da pré-saturação**. 2007. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

FURQUIM; P. R. V. **Adições Minerais ao Concreto de Cimento Portland**. Disponível em: <<http://blogdopetcivil.com/2012/05/11/adicoes-minerais-ao-concreto-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 25/dezembro 2014.

FRIZZO, T. B. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade ao oxigênio e na absorção capilar do concreto**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2001.

GUILLANTE, P. **Influência da cinza de casca de arroz e do resíduo de cerâmica vermelha na mitigação da reação álcali-agregado**. Monografia (TCC em Engenharia Civil), Graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2015.

GONZÁLEZ, F., B.; MARTÍNEZ, A., F.; EIRAS, L, J.; SEARA, P, S. Effect of recycled coarse aggregate on damage of recycled concrete. **Materials and Structures**. v. 44, p. 1759-1771, 2011.

GRASSL, P.; WONG, H.S.; BUENFELD, N.R. Influence of aggregate size and volume fraction on shrinkage-induced micro cracking of concrete and mortar. **Cement and Concrete Research**, v.40, p.85-93, 2010.

GUERRA, J. S.; GUSMÃO, A. D.; SUKAR, S. F.; SIQUEIRA, M. S.; **Avaliação da Gestão de Resíduos de Construção de Edifícios na Cidade do Recife**. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC. Fortaleza, 2008.

GÜNEYISI, E.; GESOĞLU, M.; KARAOG˘LU, S.; MERMERDAS, K. Strength, permeability and shrinkage cracking of silica fume and metakaolin concretes. **Construction and Building Materials**, v.34, p.120-130, 2012.

HASPARYK, Nicole Pagan. **Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado - efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa**. 1999. 257 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

HASPARYK, N. P. *et al.* **Deformações por retração e fluência**. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). **Concreto - Ensino, Pesquisa e Realizações**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005, v.2, p. 655-665.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. Capítulo 27. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON. Universidade de São Paulo, p. 905-944, 2010.

HISHAM, Q; IQBAL, M; HASAN, T. **Use of recycled concrete rubbles as coarse aggregate in concrete**. The Hashemite University Zarqa, JORDAN. 2012.

HOPPE, T.F. **Resistividade Elétrica de Concretos contendo diferentes teores de Cinza de Casca de Arroz**. 2005. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

HOPPE, T.F. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

ITAMBÉ, **cimento**. Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/adiçoesminerai> Acessado em 26/Dezembro de 2015.

ISAIA, G. C. A água no Concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, v. 1, p. 311-346, 2011.

ISAIA, G.C; GASTALDINI, A.L. G; MORAES, R. Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strenght of hig-performance concrete. **Cement and Concrete Composites**. N.25. Pp.69-76, 2003.

ISAIA, G.C.; GASTALDINI, A.L.; MEIRA, L.; DUART, M.; ZERBINO, R. **Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural**. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura. CEP, v. 97119, p. 900, 2010.

JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F. Autogenous deformation and change of the relative humidity in silica fume-modified cement paste. **ACI Materials Journal**, V. 93, No. 6, 1996, p.539-543.

KAGE, T.; OHNO, Y. Evaluation on Drying Shrinkage of Concrete Using Shrinkage Reducing Admixtures. **In: International Conference on Durability of Building Materials and Components**, 2011, Portugal.

KIM, H.; BENTZ, D. **Internal Curing with Crushed Returned Concrete Aggregates for High Performance Concrete**. NRMCA, Concrete Technology Forum: Focus on Sustainable Development, 2008.

KOU, S.C.; POON, C.S. Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate. **Construction and Building Materials**, Vol: 35, October 2012, P: 69-76.

KOVLER, K.; JENSEN, O. M. Novel techniques for concrete curing. **Concrete International**, Vol: 27, No: 9, September 2005, P: 39 – 42.

KOVLER, K.; JENSEN, O.M. **Internal Curing of concrete**. RILEM – Report 41. State of the Art Report of RILEM Technical Committee 196-ICC. June, 2007.

KRUG, F. L. **Influência do beneficiamento por peneiramento no comportamento da cinza de casca de arroz: estudo como adição pozolânica em concretos**. Dissertação de Mestrado. UNISINOS. São Leopoldo. 2011.

KULAKOWSKI, P. M.; PEREIRA, M.F.; DAL MOLIN, C.C.D. Carbonation-induced reinforcement corrosion in silica fume concrete. **Construction and Building Materials**. (1189–1195). 2009.

KULAKOWSKI, P. M.; FEDUMENTI, B.M.; KAZMIERCZAK, S.C; MANCIO, M. Evaluation of chloride ion penetration methods in concrete with recycled concrete aggregate and rice husk ash. **XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components**. Anais. (712-719). 2014.

KUNTZ, L.M. **The “Greening” of the Concrete Industry: Factors contributing to sustainable concrete**. 2006. Thesis (Master of Engineering). Massachusetts Technology Institute. Cambridge, 2006.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese de Doutorado. Porto Alegre. 2001.

MALESEV, M.; RADONJANIN, V.; MARINKOVIC, S. Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. **Sustainability**, 2010.

MARINKOVIC, A.S.; RADONJANIN, B.V; MALESEV, B.M.; IGNJATOVIC, A.I. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. **Waste Management journal**. University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Civil Engineering, 2010.

MEDEIROS, F. H. M; ANDRADE, O. J. J; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto, Concreto ciência e tecnologia**. Vol 1, cap. 22. São Paulo. 2011.

MEIRA, R.L. **Propriedades mecânicas e retração do concreto com adição de cinza de casca de arroz natural, sem beneficiamento de moagem**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Março de 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008, 674 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

NATH, P.; SARKER, P. **Effect of Fly Ash on the Durability Properties of High Strength Concrete**. *Procedia Engineering*. (1149–1156). 2011.

NETO, S. C. **Agregados Naturais, Britados e Artificiais para Concreto, Concreto Ciência e Tecnologia**. Vol 1, cap 7. São Paulo. 2011.

NETO, J. M. R. A microtomografia computadorizada de Raios x integrada à petrografia no estudo tridimensional de porosidade em rochas. **Revista Brasileira de Geociências**, p. 498-508. (2011).

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1997.

NOGUEIRA, J.R.S. **Avaliação da influência do método de mistura nas propriedades de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto**. São Leopoldo, 2015. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2015.

NTC BRASIL: **Materiais para Construção Civil**. Disponível em <https://www.ntcbrasil.com.br/>. Acessado em 26/Dezembro de 2015.

PADOVAN, R. G. **Inflência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

PEREIRA, E; MEDEIROS, H.F. M.; LEVY, M.S. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. **Ambiente Construído**. 2012 vol.12, n.3, pp. 125-134. ISSN 1678-8621.

PICKEL, D. **Recycled concrete aggregate: influence of aggregate pre-saturation and curing conditions on the hardened properties of concrete**. Thesi Master of applied science in civil engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2014.

POON, C.S; KOU, S, C.LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and bloks. **Construction and Building Materials**, Vol. 16, p. 281-289, 2002.

REGO, J.H.S. **As cinzas de casca de arroz (CCAs) amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento – aspectos de microestrutura das pastas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

REPETTE, W.L. **Concreto Autoadensável**. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011.

RILEM, C. Determination of the Capillary Absorption of Water of Hardened Concrete: TC 166 PCD. **Materials and Structures / Materiaux ET constructions**, vol. 32, p. 178-179, Abr. 1999.

RODRIGUES, M. S. **Caracterização da cinza residual da queima de casca de arroz para a produção de argamassa**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Sao Paulo, 2008.

SANCHEZ, M. **Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural**. Tese (Doutorado em Construção) – Universidade Politécnica de Madri, Madri, 2004.

SARASWATHY, V. & SONG, H-W. Corrosion performance of rice husk ash blended concrete. **Construction and Building Materials**. 2006.

SARTORI, B.R.C. **Propriedades de concretos com adição de cinza de casca de arroz e agregado reciclado de concreto, dando ênfase à carbonatação**. 2012. 55p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós- graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2013.

SILVA, E.F. **Variações dimensionais em concretos de alto desempenho contendo aditivo redutor de retração**. 2007. 357 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOKOLOVICZ, B. C. **Microestrutura e durabilidade a cloretos de protótipos de concreto com cinza de casca de arroz com e sem moagem prévia**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. Dissertação de Mestrado.

SOUZA, L.S.P.; DAL MOLIN, C.C.D. Viability of using calcined clays, from industrial by-products, as pozzolans of high reactivity. **CEMENT AND CONCRETE RESEARCH**. (1993-1998). 2005.

SIDDIQUE, R.; KHAN, M. I. Rice Husk Ash. Supplementary Cementing Materials. **Chemistry and Materials Science**. Engineering Materials. v. 37, p. 231-281, 2011.

SCHAFER, M.; ERHART, R.; SOUZA, R.; JORDANI, B.; MANCIO, M.; KULAKOWSKI, M. **Influência da cinza volante e da cinza de casca de arroz na resistência e na absorção de água de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto**. Anais do 56º IBRACON – Congresso Brasileiro de Concreto. Natal/RN. Outubro, 2014.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório anual**. Rio de Janeiro: SNIC, 2012. 55p. Disponível em: < http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2012-12_web.pdf>. Acesso em: 04 dezembro 2015.

TANGCHIRAPAT, W.; BURANASING, R.; JATURAPITAKKUL, C.; CHINDAPRASIRT, P. Influence of rice husk–bark ash on mechanical properties of concrete containing high amount of recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, v.22, n.8, p.1812-1819, 2008.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. Tese de Doutorado. São Paulo: UNESP, 2006.

THOMAS, C. *et al.* Durability of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 1054-1065, 2013.

TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto**. 2010. 127f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.

ZERBINO, R.; GIACCIO, G.; ISAIA, C.G. Concrete incorporating rice-husk ash without processing. **Construction and building materials**, 2011. Elsevier.

ZERBINO, R; GIACCIO, G; BATIC, O. R.; ISAIA, G. C. Alkali–silica reaction in mortars and concretes incorporating natural rice husk ash. **Construction and Building Materials**, v. 36, p 796-806, 2012.

YILDIRIM, T.S.; MEYER, C.; HERFELLNER, S. Effects of internal curing on the strength, drying shrinkage and freeze-thaw resistance of concrete containing recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**. May 2015.

YING, J.; XIAO, J.; TAMB, Y.W.V. On the variability of chloride diffusion in modelled recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**. (732–741). 2013.

WERLE, A.P. **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto com ênfase na carbonatação**. 2010. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.

WONG, H.S.; ZOBEL, M.; BUENFELD, N.R.; ZIMMERMAN, R.W. Influence of the interfacial transition zone and microcracking on the diffusivity, permeability and sorptivity of cement-based materials after drying. **Magazine of Concrete Research**, v.61, p.571–589, 2009.

APÊNDICES

Tabela A 1 - Resultados Resistência à compressão Cura Seca

Agregado	CCA (%)	a/agl	Fc 28 dias (MPa)	Média	Desvio Padrão	C.V (%)	Fc 91 dias (MPa)	Média	Desvio Padrão	C.V (%)	Fc 112 dias (MPa)	Média	Desvio Padrão	C.V (%)
A.N	0	0,31	30,5	31,8	2,1	6,6	37,6	36,6	2,3	6,4	36,1	36,7	0,5	1,4
A.N	0		30,6				38,2				36,9			
A.N	0		34,2				33,9				37,1			
A.N	0	0,42	29,5	26,7	2,9	10,9	27,2	28,1	1,1	4,0	29,7	28,8	0,8	2,6
A.N	0		26,8				29,4				28,5			
A.N	0		23,7				27,8				28,3			
A.N	0	0,53	19,8	19,9	1,1	5,3	24,2	24,0	1,0	4,2	23,5	24,1	0,6	2,3
A.N	0		21				24,9				24,2			
A.N	0		18,9				22,9				24,6			
A.N	20	0,31	35,8	34,5	2,4	6,9	33	36,6	5,2	14,3	37,8	36,8	1,1	3,1
A.N	20		36				34,2				35,6			
A.N	20		31,8				42,6				37,1			
A.N	20	0,42	33,6	34,4	1,3	3,7	34,6	35,1	1,6	4,6	31,9	35,5	3,6	10,0
A.N	20		33,8				36,9				39			
A.N	20		35,9				33,8				35,7			
A.N	20	0,53	22,3	21,7	0,6	2,6	22	23,8	2,4	10,1	30,5	24,8	5,7	23,0
A.N	20		21,6				26,5				24,8			
A.N	20		21,2				22,8				19,1			
AGRC-s	0	0,31	41,1	38,9	2,7	7,1	40,6	42,4	1,8	4,2	45,9	44,8	2,1	4,6
AGRC-s	0		35,8				42,5				42,4			
AGRC-s	0		39,7				44,2				46			
AGRC-s	0	0,42	27,8	28,8	1,9	6,7	30,8	30,1	2,7	9,0	30,9	30,7	0,4	1,2
AGRC-s	0		27,5				32,4				31			
AGRC-s	0		31				27,1				30,3			
AGRC-s	0	0,53	22,1	22,0	0,9	3,9	26	25,6	0,9	3,6	25,6	25,1	0,6	2,3
AGRC-s	0		21,1				26,2				24,5			
AGRC-s	0		22,8				24,5				25,3			
AGRC-s	20	0,31	43,8	43,4	0,8	1,9	46,9	43,7	4,7	10,8	41,5	43,9	4,6	10,6
AGRC-s	20		42,4				45,9				49,2			
AGRC-s	20		43,9				38,3				40,9			
AGRC-s	20	0,42	28,6	28,0	0,8	2,8	32,4	33,1	2,5	7,6	32,1	33,2	1,0	2,9
AGRC-s	20		28,3				35,9				33,7			
AGRC-s	20		27,1				31				33,8			
AGRC-s	20	0,53	28,6	28,0	1,5	5,5	28,7	28,7	0,4	1,4	27,6	29,1	1,6	5,5
AGRC-s	20		29,2				29,1				30,8			
AGRC-s	20		26,3				28,3				28,9			
AGRC-u	0	0,31	36,2	34,8	3,6	10,3	34,6	35,1	1,6	4,6	36,4	36,2	1,8	5,0
AGRC-u	0		30,7				36,9				34,3			
AGRC-u	0		37,4				33,8				37,9			
AGRC-u	0	0,42	25,7	26,2	1,5	4,3	29,2	27,7	2,2	9,3	27,9	30,3	4,1	33,6
AGRC-u	0		27,9				28,6				27,9			
AGRC-u	0		25,1				25,2				35			
AGRC-u	0	0,53	25	22,8	1,9	8,5	24,8	23,5	1,7	7,4	24,7	23,7	0,9	3,9
AGRC-u	0		22,1				24,1				23,4			
AGRC-u	0		21,3				21,5				22,9			
AGRC-u	20	0,31	41,4	42,1	1,1	2,6	38,7	43,1	3,9	9,0	45,7	45,9	1,3	2,7
AGRC-u	20		43,4				45,8				47,2			
AGRC-u	20		41,6				44,9				44,7			
AGRC-u	20	0,42	32,4	31,7	1,6	5,1	30,4	31,4	0,8	2,7	38,8	37,4	1,2	3,3
AGRC-u	20		32,9				31,8				37			
AGRC-u	20		29,9				31,9				36,4			
AGRC-u	20	0,53	20,5	21,7	1,0	4,8	23,9	24,5	1,3	5,1	25,9	25,7	0,4	1,6
AGRC-u	20		22,2				23,6				25,9			
AGRC-u	20		22,4				25,9				25,2			

Tabela A 2 - Resultados Resistência à compressão Cura Úmida

Agregado	CCA (%)	a/agl	Fc 28 dias (MPa)	Média	Desvio Padrão	C.V (%)	Fc 91 dias (MPa)	Média	Desvio Padrão	C.V (%)	Fc 112 dias (MPa)	Média	Desvio Padrão	C.V (%)
A.N	0	0,31	18,2	28,3	8,9	31,4	43,6	39,7	3,5	8,7	37,2	41,1	6,3	15,3
A.N	0		34,9				38,3				48,3			
A.N	0		31,9				37,1				37,7			
A.N	0	0,42	28	27,3	0,7	2,6	33,7	33,9	1,2	3,4	34,5	34,2	1,7	4,9
A.N	0		26,6				35,1				35,7			
A.N	0		27,4				32,8				32,4			
A.N	0	0,53	24,5	24,6	0,8	3,3	32,2	30,5	2,2	7,2	31,9	31,5	0,9	2,8
A.N	0		25,4				31,2				30,5			
A.N	0		23,8				28				32,1			
A.N	20	0,31	35,9	34,8	8,2	23,5	43,9	44,9	1,6	3,5	42,3	45,8	3,4	7,3
A.N	20		42,3				44,1				46			
A.N	20		26,1				46,7				49			
A.N	20	0,42	40,1	39,6	0,4	1,1	38,7	42,9	4,8	11,3	38,9	44,5	5,1	11,5
A.N	20		39,4				48,2				45,8			
A.N	20		39,3				41,9				48,9			
A.N	20	0,53	28,7	27,9	1,6	5,7	37,7	34,4	3,0	8,7	35,4	34,9	0,9	2,6
A.N	20		26,1				31,8				33,8			
A.N	20		29				33,8				33,8			
AGRC-s	0	0,31	35,3	37,9	2,8	7,4	47,3	47,8	0,8	1,6	48,9	48,1	0,7	1,4
AGRC-s	0		37,6				47,4				47,7			
AGRC-s	0		40,9				48,7				47,7			
AGRC-s	0	0,42	30,4	31,5	1,3	4,3	35,4	35,3	0,5	1,5	32	36,0	4,2	11,5
AGRC-s	0		31,1				34,7				40,3			
AGRC-s	0		33				35,7				35,8			
AGRC-s	0	0,53	24	25,3	2,0	7,8	29,6	31,3	3,5	11,2	32,4	32,2	0,3	1,0
AGRC-s	0		27,6				35,3				32,3			
AGRC-s	0		24,4				28,9				31,8			
AGRC-s	20	0,31	46,4	44,9	1,3	3,0	46,8	46,3	2,1	4,5	48,1	47,8	0,9	1,8
AGRC-s	20		44				44				46,8			
AGRC-s	20		44,2				48,1				48,4			
AGRC-s	20	0,42	35,1	33	2,9	8,8	38,7	42,9	4,8	11,3	47,7	43,3	3,9	9,0
AGRC-s	20		34,2				48,2				40,2			
AGRC-s	20		29,7				41,9				42,1			
AGRC-s	20	0,53	37,1	35,6	1,5	4,1	38,2	38,9	0,9	2,4	39	44,4	4,7	10,6
AGRC-s	20		34,2				38,6				46,3			
AGRC-s	20		35,4				40				47,8			
AGRC-u	0	0,31	42,7	42,6	0,3	0,6	39	43,2	3,7	8,5	50	44,5	4,8	10,8
AGRC-u	0		42,8				44,7				41,3			
AGRC-u	0		42,3				45,8				42,1			
AGRC-u	0	0,42	36	33,0	2,7	8,1	31,4	33,9	2,3	6,6	35,8	35,0	1,9	5,3
AGRC-u	0		31				34,7				36,4			
AGRC-u	0		31,9				35,7				32,9			
AGRC-u	0	0,53	24,9	26,5	1,5	5,5	23,8	27,6	3,3	12,0	30,1	29,7	0,9	3,1
AGRC-u	0		27				29,7				30,3			
AGRC-u	0		27,7				29,4				28,6			
AGRC-u	20	0,31	50,9	48,4	2,6	5,3	49,4	49,0	0,7	1,5	49,2	49,4	0,7	1,4
AGRC-u	20		48,4				49,5				50,2			
AGRC-u	20		45,8				48,2				48,9			
AGRC-u	20	0,42	41,2	38	3,5	9,2	43	39,9	3,3	8,3	35,9	40	7,0	17,5
AGRC-u	20		38,5				40,3				36			
AGRC-u	20		34,3				36,4				48,1			
AGRC-u	20	0,53	30,2	31,2	6,8	21,7	31,9	35,5	3,6	10,0	36,7	36,4	0,3	0,8
AGRC-u	20		25				39				36,4			
AGRC-u	20		38,4				35,7				36,1			

Tabela A 3 - ANOVA completa Resistência à compressão aos 28 dias

Efeitos	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância P	Efeito significativo
AGRC	2	363,4	181,7	21,06	0,000000	sim
CCA	1	676,9	676,9	78,46	0,000000	sim
a/agl	2	3009,7	1504,8	174,44	0,000000	sim
CURA	1	445,2	445,2	51,61	0,000000	sim
AGRC*CCA	2	7,3	3,7	0,43	0,654988	não
AGRC*a/agl	4	460,3	115,1	13,34	0,000000	sim
CCA*a/agl	2	10,2	5,1	0,59	0,554827	não
AGRC*CURA	2	99,9	49,9	5,79	0,004663	sim
CCA*CURA	1	41,3	41,3	4,78	0,031968	sim
a/agl*CURA	2	70,9	35,4	4,11	0,020466	sim
AGRC*CCA*a/agl	4	209,2	52,3	6,06	0,000292	sim
AGRC*CCA*CURA	2	5,3	2,6	0,31	0,737272	não
AGRC*a/agl*CURA	4	48,1	12,0	1,39	0,244889	não
CCA*a/agl*CURA	2	6,5	3,3	0,38	0,685740	não
AGRC*CCA*a/agl*CURA	4	22,2	5,6	0,64	0,633033	não
Erro	72	621,1	8,6			

Onde: GDL= grau de liberdade; SQ = soma quadrado; MQ = média quadrada; CCA = cinza de casca de arroz; AGRC = agregado reciclado de concreto; a/agl = relação água/aglomerante.

Tabela A 4 - ANOVA completa Resistência à compressão aos 91 dias

Efeitos	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância P	Efeito significativo
AGRC	2	192,1	96,1	13,27	0,000012	sim
CCA	1	516,8	516,8	71,41	0,000000	sim
a/agl	2	3246,1	1623,0	224,24	0,000000	sim
CURA	1	1300,0	1300,0	179,61	0,000000	sim
AGRC*CCA	2	16,5	8,2	1,14	0,326308	não
AGRC*a/agl	4	111,5	27,9	3,85	0,006835	sim
CCA*a/agl	2	40,6	20,3	2,80	0,067141	não
AGRC*CURA	2	3,6	1,8	0,25	0,782163	não
CCA*CURA	1	51,6	51,6	7,13	0,009361	sim
a/agl*CURA	2	29,0	14,5	2,00	0,142798	não
AGRC*CCA*a/agl	4	98,2	24,5	3,39	0,013432	sim
AGRC*CCA*CURA	2	3,6	1,8	0,25	0,779854	não
AGRC*a/agl*CURA	4	12,8	3,2	0,44	0,777781	não
CCA*a/agl*CURA	2	29,6	14,8	2,05	0,136457	não
AGRC*CCA*a/agl*CURA	4	31,6	7,9	1,09	0,367032	não
Erro	72	521,1	7,2			

Onde: GDL= grau de liberdade; SQ = soma quadrado; MQ = média quadrada; CCA = cinza de casca de arroz; AGRC = agregado reciclado de concreto; a/agl = relação água/aglomerante.

Tabela A 5 - ANOVA completa Resistência à compressão aos 112 dias

Efeitos	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância P	Efeito significativo
AGRC	2	202,2	101,1	11,55	0,000045	sim
CCA	1	618,8	618,8	70,71	0,000000	sim
a/agl	2	3196,4	1598,2	182,61	0,000000	sim
CURA	1	1326,2	1326,2	151,53	0,000000	sim
AGRC*CCA	2	17,4	8,7	1,00	0,374295	não
AGRC*a/agl	4	141,9	35,5	4,05	0,005077	sim
CCA*a/agl	2	53,3	26,7	3,05	0,053653	não
AGRC*CURA	2	13,8	6,9	0,79	0,459720	não
CCA*CURA	1	41,2	41,2	4,70	0,033398	sim
a/agl*CURA	2	82,5	41,2	4,71	0,011938	sim
AGRC*CCA*a/agl	4	154,4	38,6	4,41	0,003034	sim
AGRC*CCA*CURA	2	35,6	17,8	2,03	0,138505	não
AGRC*a/agl*CURA	4	43,8	10,9	1,25	0,297539	não
CCA*a/agl*CURA	2	29,5	14,7	1,69	0,192626	não
AGRC*CCA*a/agl*CURA	4	29,9	7,5	0,85	0,495714	não
Erro	72	630,1	8,8			

Onde: GDL= grau de liberdade; SQ = soma quadrado; MQ = média quadrada; CCA = cinza de casca de arroz; AGRC = agregado reciclado de concreto; a/agl = relação água/aglomerante.

Tabela A 6 - ANOVA completa Resistência à compressão aos 28 dias sem o concreto referência.

Efeitos	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância P	Efeito significativo
AGRC	1	0,46	0,46	0,08	0,780627	não
CCA	1	388,17	388,17	66,76	0	sim
Relação a/agl	2	2819,27	1409,64	242,43	0	sim
CURA	1	442,7	442,7	76,14	0	sim
AGRC*CCA	1	0,22	0,22	0,04	0,846184	não
AGRC*relação a/agl	2	53,14	26,57	4,57	0,015252	sim
CCA*relação a/agl	2	34,17	17,09	2,94	0,062532	não
AGRC*CURA	1	56,28	56,28	9,68	0,003135	sim
CCA*CURA	1	19,72	19,72	3,39	0,071712	não
Relação a/agl*CURA	2	16,95	8,48	1,46	0,242904	não
AGRC*CCA*relação a/agl	2	97,49	48,74	8,38	0,000754	sim
AGRC*CCA*CURA	1	3,34	3,34	0,57	0,45231	não
AGRC*relação a/agl*CURA	2	25,29	12,65	2,17	0,124697	não
CCA*relação a/agl*CURA	2	18,73	9,36	1,61	0,210384	não
AGRC*CCA*relação a/agl*CURA	2	6,49	3,24	0,56	0,576122	não
Erro	48	279,1	5,81			

Onde: GDL= grau de liberdade; SQ = soma quadrado; MQ = média quadrada; CCA = cinza de casca de arroz; AGRC = agregado reciclado de concreto; a/agl = relação água/aglomerante.

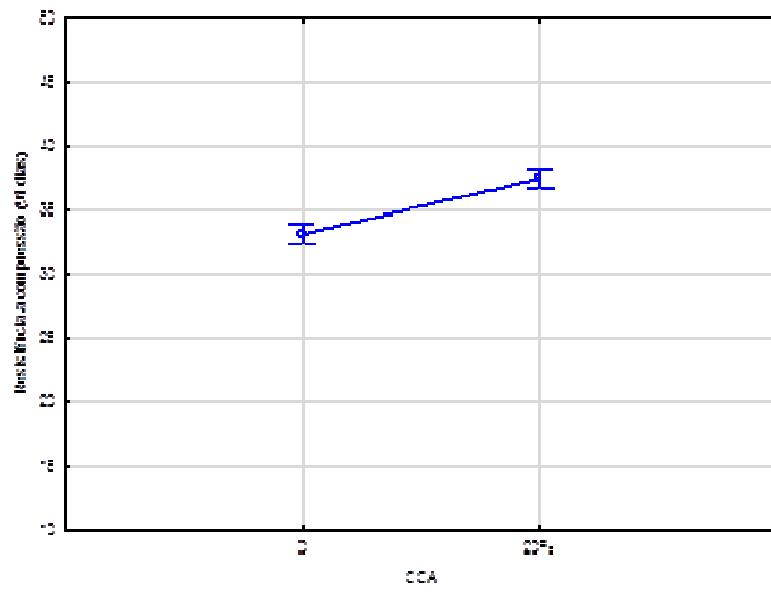


Figura A 1 – Médias de resistência à compressão para o efeito isolado “CCA” – 91 dias.

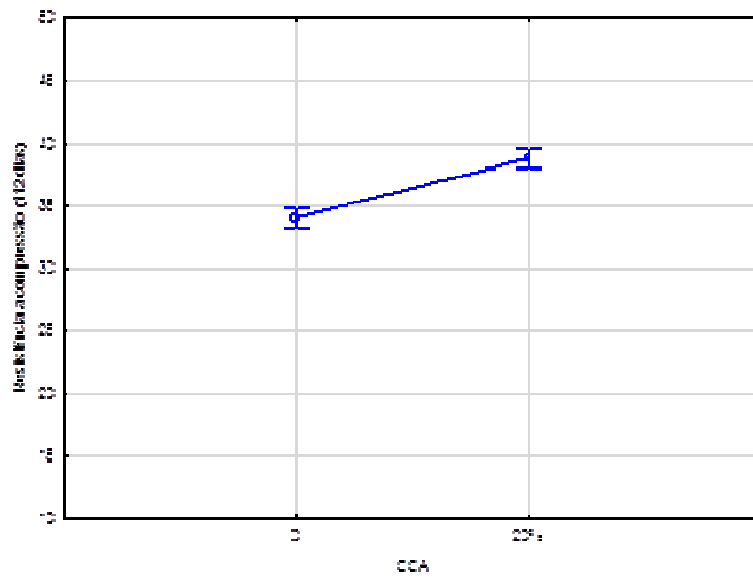


Figura A 2 – Médias de resistência à compressão para o efeito isolado “CCA” – 112 dias.

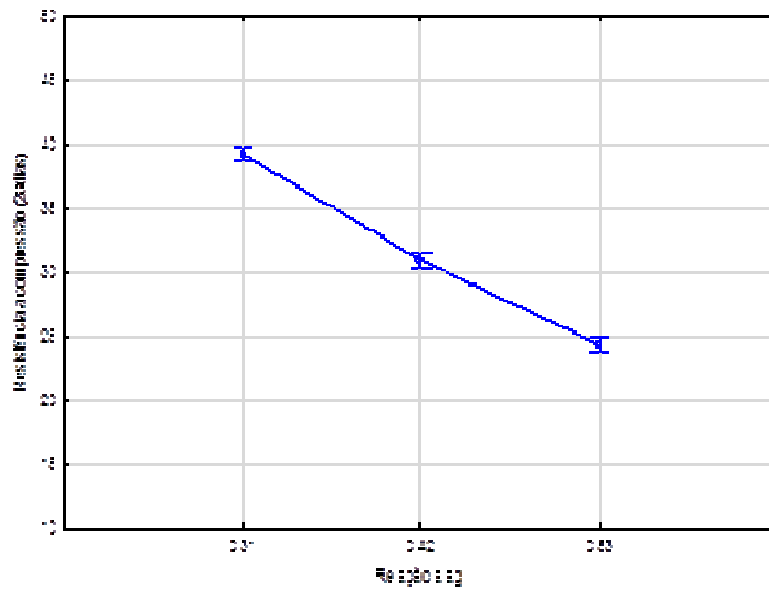


Figura A 3 – Médias de resistência à compressão para o efeito isolado “relação a/agl” – 28 dias.

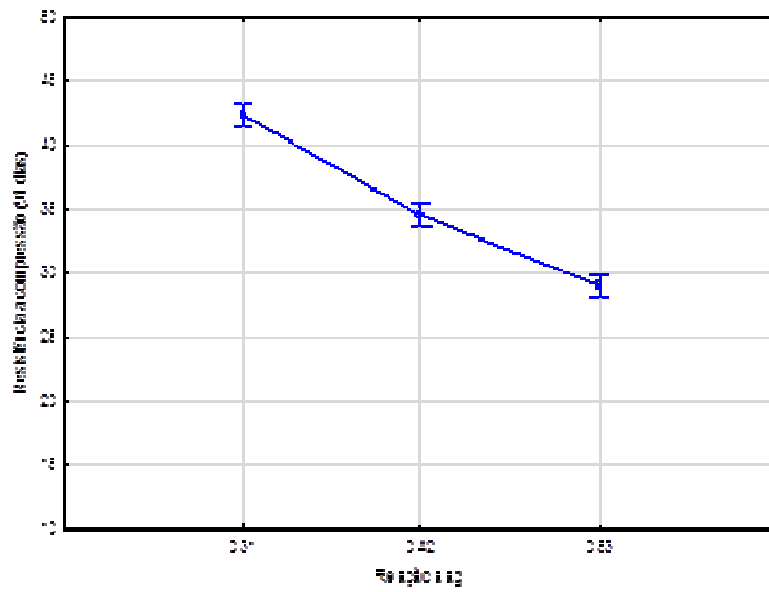


Figura A 4 – Médias de resistência à compressão para o efeito isolado “relação a/agl” – 91 dias.

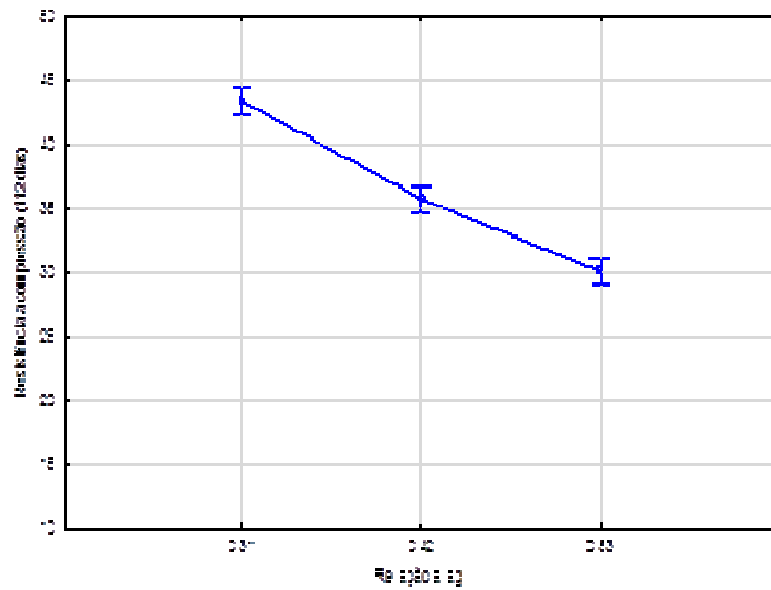


Figura A 5 – Médias de resistência à compressão para o efeito isolado “relação a/agl” – 112 dias.

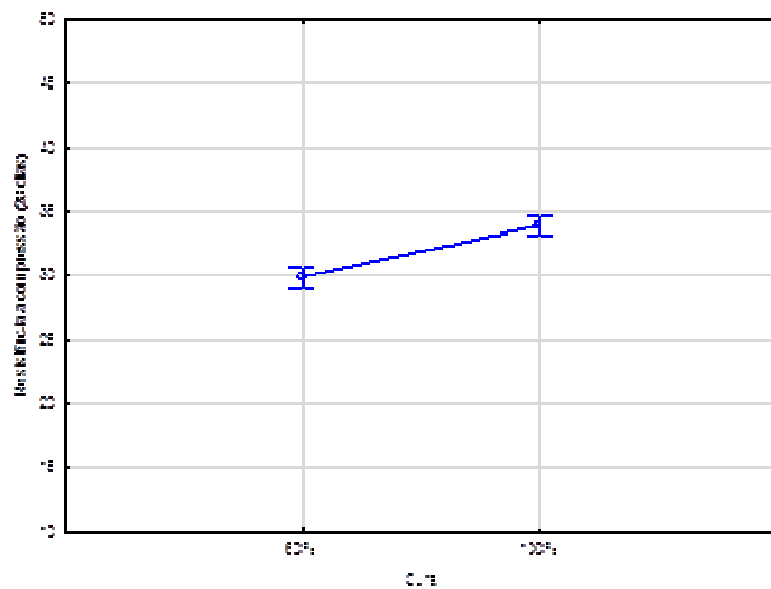


Figura A 6 – Médias de resistência à compressão para o efeito isolado “cura” – 28 dias.

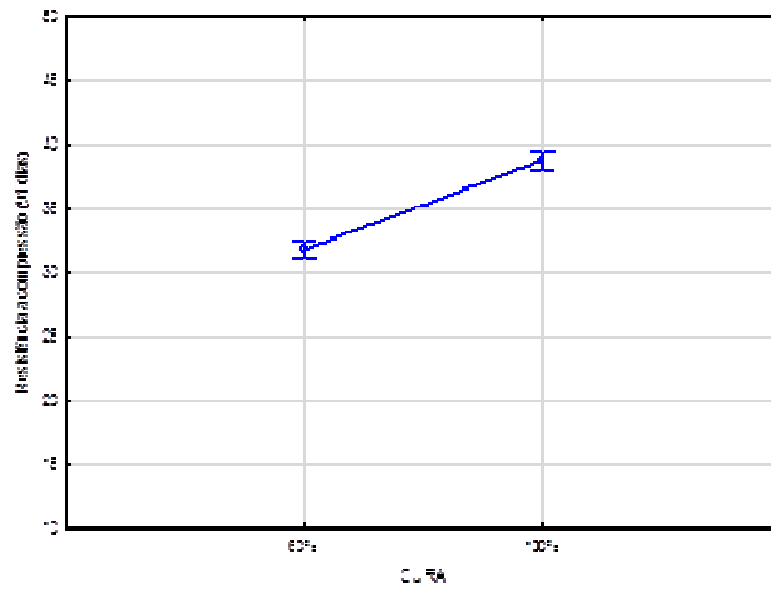


Figura A 7 – Médias de resistência à compressão para o efeito isolado “cura” – 91 dias.

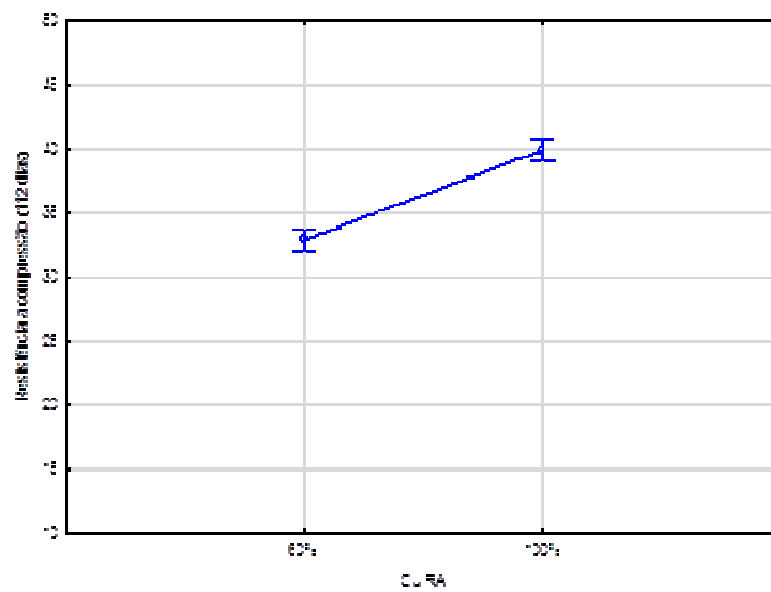


Figura A 8 – Médias de resistência à compressão para o efeito isolado “cura” – 112 dias.

Tabela B 1 - Resultados obtidos a partir do ensaio de retração por secagem (mm/m)

Agregado	CCA (%)	a/c	Cura	Ret (4)	Ret. (7)	Ret.(14)	Ret. (28)	Ret. (56)	Ret. (91)	Ret. (112)
AGRC-s	0	0,31	seca	-0,408	-0,704	0,432	0,036	-0,028	0,020	0,004
AGRC-s	0	0,31	seca	-0,308	-0,768	0,448	0,112	-0,040	-0,032	-0,060
AGRC-s	0	0,31	seca	-0,096	-0,864	0,504	0,156	-0,252	0,048	-0,032
AGRC-s	0	0,31	seca	-0,404	-0,396	-0,052	-0,356	-0,044	-0,028	0,004
AGRC-s	0	0,31	seca	-0,660	-0,352	0,048	-0,424	-0,116	0,012	0,024
AGRC-s	0	0,31	seca	-0,388	-0,404	0,000	-0,372	-0,072	-0,064	-0,008
AGRC-s	0	0,42	seca	1,196	-1,252	0,028	-0,084	-0,012	-0,012	-0,016
AGRC-s	0	0,42	seca	1,196	-1,204	0,056	-0,108	-0,120	0,008	0,024
AGRC-s	0	0,42	seca	1,280	-1,280	-0,060	-0,008	-0,052	-0,100	0,020
AGRC-s	0	0,42	seca	-1,020	-0,196	-0,064	-0,108	-0,020	-0,064	-0,004
AGRC-s	0	0,42	seca	-0,964	-0,232	-0,068	-0,032	-0,140	0,032	-0,092
AGRC-s	0	0,42	seca	-0,896	-0,260	-0,048	-0,052	-0,144	-0,056	0,004
AGRC-s	0	0,53	seca	-1,104	-0,132	-1,908	-0,012	-0,004	0,004	-0,040
AGRC-s	0	0,53	seca	-1,500	0,288	-1,892	-0,012	-0,044	-0,008	0,008
AGRC-s	0	0,53	seca	-1,476	0,240	-1,916	-0,020	-0,040	-0,008	0,012
AGRC-s	0	0,53	seca	-0,936	-0,020	-1,984	-0,104	-0,052	-0,004	-0,020
AGRC-s	0	0,53	seca	-0,900	-1,556	-0,420	-0,144	-0,016	0,008	-0,004
AGRC-s	0	0,53	seca	-0,828	-0,008	-2,004	-0,160	-0,032	0,000	0,044
AGRC-s	20	0,31	seca	0,876	0,200	-1,476	-0,044	-0,132	0,008	-0,036
AGRC-s	20	0,31	seca	0,728	0,328	-1,700	0,100	-0,024	-0,032	0,008
AGRC-s	20	0,31	seca	0,664	0,408	-1,704	0,016	-0,004	-0,032	-0,024
AGRC-s	20	0,31	seca	0,652	0,340	-1,316	-0,904	-0,024	-0,032	-0,020
AGRC-s	20	0,31	seca	0,688	0,324	-1,584	-0,484	-0,024	-0,008	-0,084
AGRC-s	20	0,31	seca	0,700	0,304	-1,376	-0,708	-0,152	0,064	-0,032
AGRC-s	20	0,42	seca	0,376	-0,452	-1,708	-0,208	-0,028	-0,036	0,032
AGRC-s	20	0,42	seca	0,500	-0,724	-1,552	-0,208	0,000	-0,004	-0,080
AGRC-s	20	0,42	seca	0,436	-0,272	-1,860	-0,172	-0,064	-0,024	-0,028
AGRC-s	20	0,42	seca	1,196	0,136	-0,360	-0,676	-0,008	-0,076	0,056
AGRC-s	20	0,42	seca	1,400	-0,224	-0,292	-0,576	0,052	-0,068	-0,028
AGRC-s	20	0,42	seca	1,392	-0,256	-0,144	-0,652	0,000	-0,072	0,016
AGRC-s	20	0,53	seca	-2,412	3,096	0,592	-0,108	-0,320	-0,080	-0,076
AGRC-s	20	0,53	seca	-2,588	3,268	0,576	-0,316	-0,148	-0,036	-0,012
AGRC-s	20	0,53	seca	-2,276	3,048	0,612	-0,428	-0,068	-0,104	0,068
AGRC-s	20	0,53	seca	0,120	0,212	0,820	-0,400	0,024	-0,064	-0,040
AGRC-s	20	0,53	seca	0,116	0,252	0,692	-0,348	-0,108	0,120	-0,068
AGRC-s	20	0,53	seca	0,076	0,296	0,748	-0,524	0,008	0,092	-0,060
AGRC-u	0	0,31	seca	-0,244	-0,892	-0,316	-0,064	-0,044	-0,040	-0,036
AGRC-u	0	0,31	seca	-0,212	-0,884	-0,400	-0,052	-0,004	-0,056	0,008
AGRC-u	0	0,31	seca	-0,268	-0,844	-0,372	-0,048	-0,040	0,004	-0,036
AGRC-u	0	0,31	seca	-0,252	-0,992	-0,408	-0,016	0,008	-0,008	-0,020
AGRC-u	0	0,31	seca	-0,212	-0,984	-0,436	-0,020	-0,032	-0,004	-0,016
AGRC-u	0	0,31	seca	-0,272	-1,024	-0,364	-0,064	-0,004	0,032	-0,040
AGRC-u	0	0,42	seca	1,388	0,536	-0,336	-0,292	-0,084	-0,048	-0,020
AGRC-u	0	0,42	seca	1,504	0,532	-0,556	-0,112	-0,084	-0,044	-0,020
AGRC-u	0	0,42	seca	1,316	0,512	-0,500	-0,192	0,036	-0,112	-0,008
AGRC-u	0	0,42	seca	0,808	0,244	-0,864	-0,080	-0,092	-0,028	-0,012
AGRC-u	0	0,42	seca	0,796	0,280	-0,924	-0,068	-0,040	-0,096	-0,012
AGRC-u	0	0,42	seca	0,804	0,188	-0,708	-0,196	-0,020	-0,060	-0,032
AGRC-u	0	0,53	seca	-0,256	-0,020	-0,612	-0,324	-0,320	0,184	-0,072
AGRC-u	0	0,53	seca	-0,256	-0,032	-0,508	-0,424	-0,068	-0,116	-0,028
AGRC-u	0	0,53	seca	-0,112	-0,116	-0,472	-0,496	-0,016	-0,104	-0,080
AGRC-u	0	0,53	seca	0,708	-0,144	0,076	-0,272	-0,040	0,004	-0,356
AGRC-u	0	0,53	seca	0,568	-0,108	0,064	-0,212	-0,396	-0,016	-0,060
AGRC-u	0	0,53	seca	0,340	-0,104	0,112	-0,284	-0,384	-0,028	-0,016
AGRC-u	20	0,31	seca	-0,188	5,612	-0,384	-0,156	-0,004	-0,004	-0,032
AGRC-u	20	0,31	seca	-0,168	5,656	-0,476	-0,124	-0,032	-0,004	-0,024
AGRC-u	20	0,31	seca	-0,216	5,664	-0,412	-0,140	-0,040	0,004	-0,032
AGRC-u	20	0,31	seca	-0,236	0,088	-0,736	0,016	0,000	-0,004	0,004
AGRC-u	20	0,31	seca	-0,208	0,024	-0,568	-0,104	-0,004	-0,024	0,000
AGRC-u	20	0,31	seca	-0,140	-0,088	-0,456	-0,164	0,000	0,012	-0,032
AGRC-u	20	0,42	seca	-0,068	0,396	0,628	-0,464	-0,040	0,044	-0,020
AGRC-u	20	0,42	seca	0,012	0,364	0,652	-0,412	-0,044	-0,032	-0,036
AGRC-u	20	0,42	seca	-0,368	0,832	0,680	-0,460	-0,044	0,004	0,044

AGRC-u	20	0,42	seca	-1,168	0,692	0,100	-0,368	-0,048	-0,040	-0,032
AGRC-u	20	0,42	seca	-1,004	0,748	0,136	-0,400	-0,028	-0,064	0,048
AGRC-u	20	0,42	seca	-0,916	0,528	0,304	-0,556	0,016	0,044	-0,044
AGRC-u	20	0,53	seca	-0,988	-0,428	0,040	-0,188	-0,004	-0,036	-0,004
AGRC-u	20	0,53	seca	-1,044	-0,244	-0,012	-0,404	0,004	-0,012	-0,012
AGRC-u	20	0,53	seca	-1,004	-0,352	0,108	-0,364	0,048	-0,004	-0,076
AGRC-u	20	0,53	seca	-1,116	-0,468	0,392	0,004	-0,244	-0,024	-0,008
AGRC-u	20	0,53	seca	-1,176	-0,420	0,324	-0,004	0,04	-0,052	-0,060
AGRC-u	20	0,53	seca	-1,168	-0,392	0,264	0,000	-0,052	-0,064	-0,080
AGRC-s	0	0,31	úmida	-0,632	-0,028	0,476	-0,744	-0,080	-0,004	-0,056
AGRC-s	0	0,31	úmida	-0,528	0,212	0,240	-0,676	0,000	-0,144	0,000
AGRC-s	0	0,31	úmida	-0,480	0,004	0,352	-0,700	0,112	-0,216	-0,024
AGRC-s	0	0,31	úmida	1,108	-0,660	-0,868	-1,144	-0,268	0,020	0,064
AGRC-s	0	0,31	úmida	1,008	-0,532	-0,676	-1,392	-0,080	-0,028	-0,044
AGRC-s	0	0,31	úmida	1,288	-0,776	-0,776	-1,436	0,040	-0,032	0,004
AGRC-s	0	0,42	úmida	-1,056	-0,576	0,004	-0,128	0,004	-0,004	-0,008
AGRC-s	0	0,42	úmida	-1,124	-0,588	-0,188	0,144	-0,008	0,004	-0,020
AGRC-s	0	0,42	úmida	-0,944	-0,508	-0,200	0,036	0,036	-0,064	0,052
AGRC-s	0	0,42	úmida	-2,684	-2,356	0,352	-0,200	-0,008	-0,012	-0,076
AGRC-s	0	0,42	úmida	-2,728	-2,164	0,140	-0,140	-0,068	-0,032	0,012
AGRC-s	0	0,42	úmida	-2,732	-2,212	0,212	-0,212	-0,032	-0,064	-0,016
AGRC-s	0	0,53	úmida	0,068	0,176	-0,448	-0,340	-0,008	-0,012	0,012
AGRC-s	0	0,53	úmida	0,040	0,304	-0,400	-0,484	-0,016	-0,040	-0,004
AGRC-s	0	0,53	úmida	0,040	0,212	-0,424	-0,472	0,076	-0,020	-0,056
AGRC-s	0	0,53	úmida	0,184	0,316	-0,016	-0,176	-0,008	-0,024	-0,048
AGRC-s	0	0,53	úmida	0,168	0,336	0,020	-0,204	-0,012	0,056	-0,096
AGRC-s	0	0,53	úmida	0,340	0,176	0,108	-0,200	0,020	-0,044	-0,032
AGRC-s	20	0,31	úmida	-0,064	0,204	-1,600	-0,272	0,000	-0,008	-0,044
AGRC-s	20	0,31	úmida	-0,192	0,272	-1,932	0,028	-0,080	-0,012	-0,032
AGRC-s	20	0,31	úmida	-0,164	2,916	-4,580	0,036	-0,044	-0,016	0,004
AGRC-s	20	0,31	úmida	0,492	0,364	-2,500	-0,004	-0,004	-0,032	-0,020
AGRC-s	20	0,31	úmida	0,552	0,352	-2,424	-0,068	0,008	0,008	-0,052
AGRC-s	20	0,31	úmida	0,564	0,472	-2,580	-0,016	-0,024	-0,020	0,080
AGRC-s	20	0,42	úmida	-0,076	0,072	0,428	-0,856	0,004	-0,076	-0,008
AGRC-s	20	0,42	úmida	-0,040	-0,036	0,532	-0,824	-0,124	0,056	-0,016
AGRC-s	20	0,42	úmida	-0,140	-0,020	0,548	-0,932	-0,036	0,072	0,012
AGRC-s	20	0,42	úmida	0,492	0,188	-0,680	-0,388	-0,012	0,012	-0,012
AGRC-s	20	0,42	úmida	0,516	0,028	-0,432	-0,512	-0,008	-0,020	-0,004
AGRC-s	20	0,42	úmida	0,460	0,132	-0,644	-0,388	0,008	-0,096	0,004
AGRC-s	20	0,53	úmida	0,624	0,016	-0,172	-0,468	-0,116	0,076	-0,012
AGRC-s	20	0,53	úmida	0,628	-0,032	-0,060	-0,556	-0,028	0,000	-0,040
AGRC-s	20	0,53	úmida	0,600	0,008	-0,100	-0,388	-0,168	-0,004	-0,020
AGRC-s	20	0,53	úmida	0,676	0,168	-0,472	-0,088	-0,680	0,140	-0,028
AGRC-s	20	0,53	úmida	0,508	0,180	-0,468	-0,328	-0,176	-0,136	-0,008
AGRC-s	20	0,53	úmida	0,752	0,244	-0,476	-0,408	-0,188	-0,084	-0,056
AGRC-u	0	0,31	úmida	-0,204	-0,064	-1,320	-0,004	-0,004	-0,036	-0,020
AGRC-u	0	0,31	úmida	-0,336	-0,164	-1,284	0,004	-0,004	0,040	-0,048
AGRC-u	0	0,31	úmida	-0,244	-0,344	-1,180	0,044	0,048	-0,004	-0,036
AGRC-u	0	0,31	úmida	-0,220	-1,024	-0,300	0,000	-0,020	-0,008	-0,024
AGRC-u	0	0,31	úmida	-0,204	-0,972	-0,284	-0,060	-0,020	-0,064	0,036
AGRC-u	0	0,31	úmida	-0,268	-0,992	-0,216	-0,040	-0,012	-0,076	0,000
AGRC-u	0	0,42	úmida	1,020	0,448	-1,752	-0,048	-0,040	0,016	-0,016
AGRC-u	0	0,42	úmida	0,832	0,652	-1,828	0,024	-0,020	-0,036	-0,044
AGRC-u	0	0,42	úmida	0,980	0,448	-1,660	-0,048	-0,008	-0,012	-0,116
AGRC-u	0	0,42	úmida	0,708	0,500	-1,464	-0,132	0,020	-0,020	-0,004
AGRC-u	0	0,42	úmida	0,624	0,580	-1,564	-0,016	0,020	-0,376	-0,008
AGRC-u	0	0,42	úmida	0,784	0,532	-1,372	-0,224	-0,368	-0,008	-0,028
AGRC-u	0	0,53	úmida	-0,308	0,524	-0,256	0,008	-0,576	-0,020	-0,020
AGRC-u	0	0,53	úmida	0,028	0,492	-0,324	-0,400	-0,068	-0,028	-0,064
AGRC-u	0	0,53	úmida	-0,012	0,320	-0,256	-0,436	-0,120	-0,040	-0,036
AGRC-u	0	0,53	úmida	0,316	0,600	0,180	-0,048	-0,088	0,020	-0,040
AGRC-u	0	0,53	úmida	0,084	0,728	0,148	-0,080	0,036	-0,084	-0,032
AGRC-u	0	0,53	úmida	0,280	0,808	0,056	-0,080	0,032	-0,064	-0,028
AGRC-u	20	0,31	úmida	-0,036	-0,196	-0,632	-0,008	-0,020	-0,004	-0,012
AGRC-u	20	0,31	úmida	-0,028	-0,352	-0,428	0,004	-0,044	-0,032	-0,016
AGRC-u	20	0,31	úmida	-0,008	-0,336	-0,444	-1,320	1,256	-0,012	0,000
AGRC-u	20	0,31	úmida	-0,208	-2,828	-1,132	0,000	-0,052	-0,004	-0,024

AGRC-u	20	0,31	úmida	-0,400	-2,612	-1,328	0,148	-0,040	-0,024	0,000
AGRC-u	20	0,31	úmida	-0,240	-2,844	-1,252	0,136	-0,072	0,008	-0,028
AGRC-u	20	0,42	úmida	0,140	0,652	-0,248	0,060	-0,060	-0,008	-0,136
AGRC-u	20	0,42	úmida	-0,056	0,676	-0,272	-0,624	0,508	0,004	-0,032
AGRC-u	20	0,42	úmida	0,072	0,700	-0,328	-0,196	0,260	-0,100	-0,020
AGRC-u	20	0,42	úmida	-0,868	1,080	-0,012	-0,428	-0,092	-0,012	-0,028
AGRC-u	20	0,42	úmida	-0,820	1,008	0,008	-0,436	-0,096	-0,016	0,044
AGRC-u	20	0,42	úmida	-0,800	1,020	-0,004	-0,344	-0,028	-0,084	-0,084
AGRC-u	20	0,53	úmida	-1,080	-0,464	0,704	0,004	0,020	-0,016	-0,004
AGRC-u	20	0,53	úmida	-1,104	-0,536	0,784	0,076	-0,092	0,048	0,016
AGRC-u	20	0,53	úmida	-0,840	-0,728	0,764	0,092	-0,020	-0,012	-0,028
AGRC-u	20	0,53	úmida	-1,028	-2,176	-0,088	-0,016	-0,004	0,000	-0,016
AGRC-u	20	0,53	úmida	-1,180	-2,096	-0,020	-0,064	0,000	0,016	-0,016
AGRC-u	20	0,53	úmida	-0,956	-2,260	0,112	-0,100	0,008	-0,064	0,008

Tabela C 1 - Resultados obtidos a partir do ensaio de absorção de água por capilaridade

Agregado	CCA (%)	a/agl	Abs. Total (%)	Pefetivo
A.N	0		1,92	9,96
A.N	0	0,31	2,03	9,33
A.N	0		2,27	9,91
A.N	0		2,99	11,72
A.N	0	0,42	3,21	12,74
A.N	0		3,65	10,98
A.N	0		3,80	12,86
A.N	0	0,53	3,93	11,96
A.N	0		3,70	14,71
A.N	20		2,96	13,64
A.N	20	0,31	2,56	12,30
A.N	20		2,39	12,28
A.N	20		2,10	9,08
A.N	20	0,42	1,91	7,20
A.N	20		2,12	8,48
A.N	20		3,11	14,26
A.N	20	0,53	2,82	14,00
A.N	20		2,34	11,21
AGRC-s	0		3,19	13,35
AGRC-s	0	0,31	3,37	14,64
AGRC-s	0		3,57	14,43
AGRC-s	0		2,73	12,04
AGRC-s	0	0,42	2,60	12,22
AGRC-s	0		3,93	17,07
AGRC-s	0		2,91	15,69
AGRC-s	0	0,53	2,82	15,71
AGRC-s	0		2,97	6,78
AGRC-s	20		2,09	9,69
AGRC-s	20	0,31	2,44	12,12
AGRC-s	20		2,25	10,07
AGRC-s	20		2,97	14,43
AGRC-s	20	0,42	2,65	13,12
AGRC-s	20		2,74	14,13
AGRC-s	20		2,59	14,81
AGRC-s	20	0,53	2,74	13,76
AGRC-s	20		2,89	15,60
AGRC-u	0		2,78	13,66
AGRC-u	0	0,31	2,75	14,11
AGRC-u	0		2,81	14,14
AGRC-u	0		4,03	15,56
AGRC-u	0	0,42	3,97	15,54
AGRC-u	0		3,74	15,64
AGRC-u	0	0,53	2,86	14,56

AGRC-u	0		3,42	14,26
AGRC-u	0		3,56	11,87
AGRC-u	20		2,54	11,65
AGRC-u	20	0,31	1,86	7,89
AGRC-u	20		1,99	7,56
AGRC-u	20		2,72	14,42
AGRC-u	20	0,42	2,73	14,82
AGRC-u	20		3,02	14,98
AGRC-u	20		3,88	15,17
AGRC-u	20	0,53	4,11	17,66
AGRC-u	20		3,52	13,65