

ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS CONFECCIONADAS COM TEORES VARIADOS DE CINZA VEGETAL EM SUBSTITUIÇÃO AO CIMENTO PORTLAND

Sofia Araújo Lima (1); João Adriano Rossignolo (2)

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Laboratório de Construção Civil, LCC. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, Brasil. - e-mail:

sofiaalima@yahoo.com.br

(2) Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, Brasil. - e-mail: jarossig@sc.usp.br

RESUMO

Atualmente o aproveitamento de resíduos na construção civil tem sido estimulado por este setor ser um dos maiores consumidores de materiais naturais em seus processos e produtos. As cinzas agroindustriais ocupam lugar de destaque dentre os resíduos com possibilidades de aplicação em materiais cimentícios, pois algumas, como a cinza da casca do arroz, apresentam propriedades pozolânicas, contribuindo para a redução do consumo de cimento Portland. Nesse sentido, esta pesquisa aborda a avaliação da viabilidade técnica do uso da cinza da casca da castanha de caju (CCCC) como adição mineral em matrizes de cimento Portland. Foram realizados ensaios para avaliação da composição química e a determinação da fase amorfa. Avaliou-se também a resistência à compressão de corpos-de-prova de argamassa com teores de CCCC que variaram de 0% a 30% em relação à massa de cimento. Utilizou-se como referência a NBR 5752/92 para determinação dos índices de consistência das argamassas e as idades de avaliação foram 14, 28, 56 e 91 dias. Os resultados da análise da resistência à compressão das argamassas indicaram que apenas os teores abaixo de 5% de CCCC apresentaram valores correspondentes ao traço de referência (0%). Os demais teores de CCCC (acima de 5%) reduziram em mais de 70% os valores da resistência à compressão das argamassas em até 91 dias.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas; Cinza da casca da castanha de caju; Cimento Portland.

ABSTRACT

Nowadays the using of civil constructions wastes have been stimulated because this sector is one of the biggest consumers of natural materials in their products and procedures. Agroindustrial ashes have a prominent place among wastes, and have great possibilities of appliance in Portland cementitious materials, and some ashes present pozzolanic properties. These kind of wastes may contribute to reduce the Portland cement using. This paper objectives evaluate the technical feasibility of using ash of the rind of the cashew nut (ARCN) as mineral admixture in Portland cement products. The chemical analysis and amorphous phase were determined, as well as the compressive strength, which was measured in samples of mortar using ARNC in substitution of the cement mass at the proportions between 0% and 30%. The compressive strength test was based on the method of NBR 5752/92 to determine the flow table of mortars in ages of 14, 28, 56 and 91 days. The results have shown that the compressive strength of mortars pointed that only the samples which have been done with substitution of the cement mass at the proportions until 5% were similar to the reference sample. The other ratios have reduced in more than 70% the compressive strength values at age of 91 days.

Key words: Mechanical properties; Ash of the rind of the cashew nut; Portland cement.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o cenário energético mundial, que vem se agravando desde a Crise do Petróleo iniciada em 1973, tem estimulado desde então, a busca por fontes de energias renováveis que diminuam o consumo de combustíveis fósseis, esgotáveis e altamente poluentes, por produtos sustentáveis em acordo com as normas ambientais vigentes. Sabe-se que a queima de derivados de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, etc.) está acelerando o aumento da temperatura do planeta, fenômeno conhecido pela comunidade científica como aquecimento global.

Apesar da preocupação com a crise energética não ser recente, somente agora tem demandado preocupação dos países desenvolvidos, até então alheios aos apelos da comunidade científica. Perda da diversidade, aumento da temperatura, temporais, diminuição da produção de gêneros alimentícios e outros problemas, são algumas consequências desse fenômeno (GREENPEACE, 2007), e que podem frear qualquer tipo de desenvolvimento humano, esteja ele na escala econômica ou social.

Por essa razão, a busca por materiais alternativos, o desenvolvimento de materiais menos poluentes ou que utilizem menos matérias-primas naturais, a reutilização de resíduos sólidos e a diminuição da emissão de gás carbônico são algumas medidas necessárias para o atual cenário mundial.

1.1 O uso de cinzas agroindustriais

Os subprodutos de origem vegetal, notadamente os subprodutos agroindustriais, resíduos ou cinzas processadas, vêm sendo estudados para utilização como combustíveis, fertilizantes e estabilizantes de solos. A reciclagem desses resíduos é hoje uma necessidade para a preservação do meio ambiente e redução do custo e do consumo de energia na produção de materiais e componentes de construção. A construção civil, pelo expressivo volume físico de materiais que incorpora, apresenta grande potencial para utilização de materiais reciclados (SILVA & SOUZA, 1995).

As cinzas são subprodutos gerados por processos industriais ou agroindustriais, ou se originam da queima de outros resíduos, devido à reincorporação dessas no processo. Pode ser citado como exemplo, a casca do arroz, resíduo incinerado para obtenção de energia, e que gera a cinza da casca do arroz, um outro subproduto. Segundo John *et al.* (2003), em princípio, qualquer cinza vegetal predominantemente siliciosa, que possa ser produzida no estado amorfo e com finura adequada, pode ser utilizada como adição mineral. Sua reatividade vai depender da composição química, fortemente influenciada pelo produto que gerou a cinza, pelo solo e pelo processo de produção da cinza. Uma vez que contenham elevado teor de sílica podem ser de utilização viável como adições minerais.

1.2 A cinza da casca da castanha de caju

O caju (Figura 2) é formado pelo pedúnculo, pseudofruto carnoso e duro, e também pelo fruto verdadeiro do cajueiro, a castanha de caju (ou simplesmente castanha), de onde se extrai o principal produto de consumo, a amêndoa (PAIVA *et al.*, 2000).

O processo de obtenção da castanha começa pela decorticação, ou seja, a separação da amêndoa e da casca da castanha, que acontece em tanques com cardol. Este é aquecido pelo calor gerado em caldeiras, ao passar por serpentinas numa temperatura de $800 \pm 5^\circ\text{C}$. Os subprodutos dessa etapa são as amêndoas, de grande valor comercial, e as cascas encharcadas de cardol (Figura 2), ainda com grande potencial combustível. Comparativamente, o poder calorífico deste resíduo é equivalente ao de outros produtos utilizados para o mesmo fim, como a casca da semente de algodão, casca de amendoim, serragem e outros (SILVA *et al.*, 2004). Estas cascas, resíduos da produção, são incorporadas novamente ao processo, e nas caldeiras irão gerar calor para decorticação de novas castanhas. A cinza é o resíduo colhido no fundo da grelha das caldeiras, resultante da queima das cascas, cujo resfriamento se faz lentamente. Atualmente, este resíduo é utilizado como adubo em plantações de caju, e uma pequena parte, destinada a aterros sanitários comuns.

A cinza representa aproximadamente 5% do peso da castanha inicial e com a atual produtividade da cajucultura, a geração dessas cinzas pode chegar até 15.000 toneladas por ano.



Figura 2 – Caju: pedúnculo e castanha. Fonte: Eric Gaba, Dez/2005. Local: Prainha, Euzébio, CE (esquerda). Cascas de castanhas após decorticação: bagaço de pedaços não-uniformes. Fonte: Silva, *et al.*, 2004 (direita).

Até o momento, porém, poucas pesquisas foram desenvolvidas com a cinza da casca da castanha do caju, mesmo que com fins diversos ao da construção civil. Uma delas utilizou o resíduo da casca da castanha de caju, analisado como estabilizante de solos na produção de tijolos de terra crua, obtendo resultados pouco expressivos, estando sujeito, ainda, a estudos complementares (LIMA *et al.*, 2004).

Na bibliografia consultada não foram observadas pesquisas sobre o uso da cinza da casca da castanha de caju (CCCC) como adição mineral para concretos e argamassas.

2 OBJETIVO

O objetivo principal deste artigo é avaliar as propriedades mecânicas de argamassas confeccionadas com a cinza da casca da castanha de caju (CCCC) em substituição parcial ao cimento Portland, por meio de ensaios de resistência à compressão nas idades de 14, 28, 56 e 91 dias.

Esta etapa de análises faz parte de um projeto maior que busca analisar a viabilidade do uso de cinzas agroindustriais em matrizes cimentícias, desde os aspectos microestruturais até aos relacionados à durabilidade e aos níveis de contaminação, utilizando como estudo de caso a cinza da casca da castanha de caju.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais na execução dos ensaios.

3.1.1 Cimento

Para os procedimentos experimentais realizados por esta investigação, utilizou-se o cimento Portland de alta resistência inicial, CP V ARI, cujas especificações foram fornecidas pelo fabricante. O cimento CP V ARI é obtido através de moagens diferenciadas do clínquer e adquire maiores resistências iniciais.

3.1.2 Areia

Foi utilizada areia normal do IPT, segundo norma NBR 7214/82.

3.1.3 Cinza da casca da castanha de caju

A cinza utilizada foi cedida por uma indústria de beneficiamento de castanhas de caju em sacos lacrados de faces aluminizadas.

3.2 Métodos

Os ensaios a seguir foram empregados para a caracterização da CCCC e para o estudo de propriedades de argamassas confeccionadas com CCCC.

3.2.1 Caracterização da CCCC

3.2.1.1 Análise química

O método utilizado para caracterização química foi a de análise quantitativa dos elementos. A amostra foi solubilizada em meio de fusão alcalina e os elementos determinados em espectrômetro de emissão ótica com plasma induzido, modelo VISTA, da marca Varian, exceto para potássio e silício, que foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica com chama, modelo Spectra A 640, da marca Varian (IT AQ-158 revisão 009).

3.2.1.2 Análise por Difractometria de raios X

O estudo dos picos presentes no difratograma por comparação em bancos de dados específicos permite a avaliação sobre o quanto uma amostra é amorfa ou cristalina, como também sua comparação, de forma qualitativa, com outros materiais de mesma natureza. Essa técnica foi utilizada na amostra do pó da CCCC visando a obtenção dos materiais cristalinos predominantes, bem como para observar a presença de fase amorfa nessa cinza.

As análises foram realizadas no Laboratório Cristalografia de Raios X do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo. Utilizou-se um Difractômetro de raios X da marca RIGAKU ROTAFLEX, modelo RU200B. As condições para realização das análises foram: Radiação: Cu K α ; Tensão: 50Kv; Corrente: 100mA; Varredura com passo de 0,02° 2 θ ; Tempo de coleta: 2°/min; Intervalo de varredura: 3 a 100° (2 θ).

3.2.2 Estudo de propriedades de argamassas

3.2.2.1 Análise do teor de substituição da CCCC

A influência da variação dos teores de substituição do cimento Portland pela CCCC foi analisada segundo o ensaio de resistência à compressão em corpos-de-prova de argamassa, utilizando os procedimentos obtidos na NBR 5739 (ABNT, 1992). A escolha desta norma, em detrimento a norma que trata de ensaios de resistência à compressão de argamassas, explica-se porque esta última trata de argamassas de assentamento, o que não seria a finalidade específica deste estudo.

Para esse ensaio foram moldados 2 (dois) grupos com 6 (seis) traços cada, apresentados na Tabela 2. O Grupo A corresponde aos traços confeccionados com teores variados de CCCC moída (durante 1 hora no moinho de bolas) e peneirada (material passante na peneira n° 200 - abertura 0,075mm) de 2,5% a 30%. O mesmo tratamento e condições se referem às amostras do Grupo B, no entanto, neste grupo, a CCCC não passou por processo de peneiramento. O tempo de moagem foi estudo do trabalho de LIMA et al. (2007). Todos os traços foram ensaiados aos 14, 28, 56 e 91 dias para determinação de resistência à compressão axial.

Tabela 2 – Traços e Idades de ruptura - Ensaio de teores de substituição

Grupos	Traços	Fator ag/agl	% CCCC (em massa)	Tratamento da CCCC	Idades de Ruptura (dias)			
					14	28	56	91
-	TR0	0,590	-	-				
A	TR2	0,590	2,50	Moagem + Peneiramento	5 corpos-de- prova para cada idade			
	TR5	0,594	5,00					
	TR10	0,608	10,00					
	TR15	0,608	15,00					
	TR20	0,608	20,00					
	TR30	0,608	30,00					
B	TR2	0,590	2,50	Moagem				
	TR5	0,594	5,00					
	TR10	0,608	10,00					
	TR15	0,608	15,00					
	TR20	0,608	20,00					
	TR30	0,608	30,00					

Como forma de melhor avaliar esses dados, foi utilizada inferência estatística pelo Teste T de *Student*. Com essa ferramenta será possível determinar se os valores das médias das resistências das amostras dos Grupos A e B são estatisticamente iguais à média do traço padrão, denominado TR0, ainda que se apresentem em valores distintos. Os dados referentes a esta análise, por questão de formatação deste trabalho, não serão apresentados na íntegra.

Foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos de 50x100mm, cimento CP V ARI PLUS e areia normal do IPT, no traço 1:3 em massa. O teor de água foi determinado pelo índice de consistência entre 220 e 230mm, segundo norma NBR 5752 (ABNT, 1992).

Paralelamente a esse ensaio, foram determinadas as massas específicas no estado fresco das argamassas, segundo a norma NBR 13278 (ABNT, 1995). Com os resultados desse ensaio, foi possível calcular a massa específica teórica das argamassas bem como o teor de ar incorporado. Os dados de massa específica são importantes na análise da evolução das resistências mecânicas das amostras, uma vez que uma maior incorporação de ar acarreta numa maior porosidade da matriz, afetando diretamente na resistência mecânica da mesma (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

O ensaio de massa específica da CCCC foi realizado seguindo as recomendações da norma NM 23 (MERCOSUR, 2000), utilizando como líquido o querosene e 45g de material seco *in natura*. O resultado da massa específica da CCCC, obtido pela média de dois ensaios consecutivos, foi de 2,23 g/cm³.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Análise Química

Os resultados da análise química da cinza da casca da castanha de caju (CCCC) encontram-se discriminados na Tabela 3. Os constituintes determinantes são Potássio (K₂O), Magnésia (MgO) e Sílica (SiO₂), nessa ordem. Para JOHN *et al.* (2003), na avaliação da reatividade de uma adição mineral, é sempre de fundamental importância realizar uma análise química completa, devendo esse material, sempre apresentar silício como elemento predominante. Nos resultados da análise química da CCCC (Tabela 2), nota-se um teor de sílica (SiO₂) no valor de 12,17%, abaixo dos teores recomendados por outras pesquisas (CINCOTTO, 1988; JOHN *et al.*, 2003; PRUDÊNCIO *et al.*, 2003) para que uma cinza apresente reatividade.

Tabela 3 - Análise química da CCCC

Constituintes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	PF
Amostra (%)	12,17	1,37	3,06	2,15	6,54	24,79	16,34	10,08	0,087	0,29	17,90

Pela análise química, observou-se também a expressiva quantidade de magnésia (MgO), 16,34%, de sódio (Na₂O), 2,15%, e de potassa (K₂O), 24,79%, presentes na CCCC. Esses constituintes, denominados álcalis, podem prejudicar o desempenho dos produtos à base de cimento (NEVILLE, 1997). Os álcalis são representados pelos elementos Na₂O, K₂O, MgO, CaO e podem provocar a decomposição do concreto e influenciar a velocidade do aumento da resistência desse material. O teor de Na₂O, por exemplo, não deve ultrapassar 0,6% em massa no concreto. A norma NBR 12653 (ABNT, 1992) também limita a quantidade de equivalentes de Na₂O nos materiais pozolânicos em 1,5%. O cálculo da equivalência de Na₂O leva em consideração também o teor de Potássio, por meio da equação “Na₂O + 0,64K₂O” (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Por essa fórmula a quantidade de álcalis disponíveis na CCCC fica em 18,02%, limitando seu uso em baixos teores de substituição pelo cimento Portland.

4.2 Difratometria de Raios X

Pelo difratograma da CCCC pode-se observar um halo, característico da presença de material amorfo, entre os ângulos 25° e 35° 2θ, conforme Figura 3.

Pela identificação das fases cristalinas presentes no difratograma da amostra de CCCC pode-se observar os elementos predominantes no pó *in natura*, com destaque para o mineral Arcanita (K₂SO₄ – sulfato de potássio), pico identificado aproximadamente no ângulo 30°2θ. Os demais compostos encontrados são formados, predominantemente, pelas espécies químicas Potássio (K), Fósforo (P) e Cálcio (CA), principais constituintes da CCCC, destacados pela análise química.

O sulfato de potássio é comumente utilizado em fertilizantes à base de potássio, podendo ser essa a sua origem. O sulfato de potássio foi encontrado também em amostras de cinza originadas da queima do bagaço do caju - pedúnculo - (SANTOS *et al.*, 2007). Esse mineral pode ter origem direta nos fertilizantes utilizados no cajueiro. Sabe-se que o sulfato de potássio, mesmo tendo custo mais elevado, é recomendado para utilização em diversas culturas como substituto ao cloreto de potássio – KCl (MASCARENHAS *et al.*, 2007).

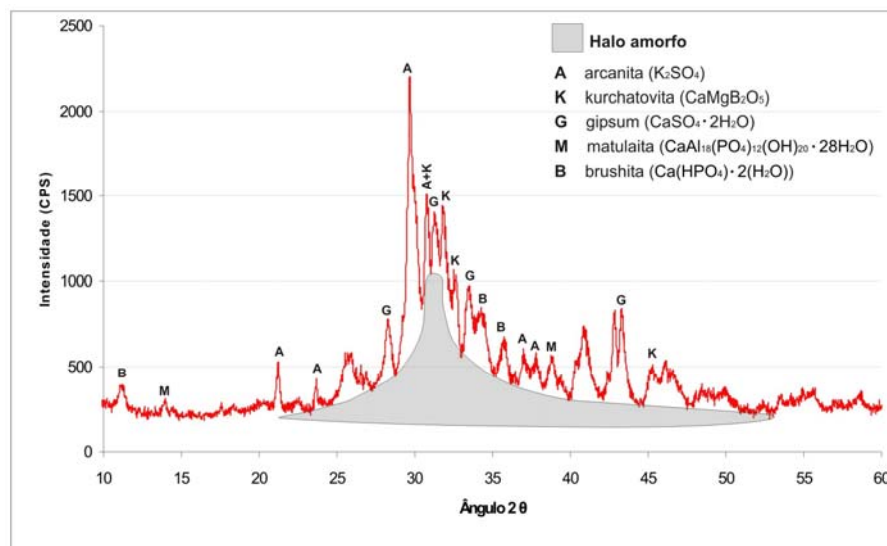


Figura 3 - Difratograma de raios X da CCCC

4.3 Influência da variação dos teores de substituição

A avaliação do comportamento das argamassas, confeccionadas para análise da influência da variação dos teores de CCCC em substituição ao cimento Portland, foi verificada em duas etapas: estado fresco e estado endurecido. No estado fresco foram estudadas as propriedades trabalhabilidade, massa específica e teor de ar incorporado.

4.3.1 Argamassas no estado fresco

Apesar da demanda de água, para a trabalhabilidade requerida pela norma NBR 5752 (ABNT, 1992), ter variado menos de 3% entre o valor do traço TR0 (0,590) e o do traço TR30 (0,608), os valores das massas específicas no estado fresco (MEF) apresentaram variações de até 10%, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado

Q água	Traço	Mt (g)	MEF (g/cm³)	MET (g/cm³)	TA (%)
663,75	TR 0	1112,10	2,124	2,247	5,469
663,75	TR 2A	1129,40	2,168	2,247	3,544
674,00	TR 5A	1109,20	2,117	2,245	5,689
685,00	TR 10A	1066,50	2,010	2,236	10,106
685,00	TR 15A	1013,50	1,878	2,236	16,031
685,00	TR 20A	1056,00	1,984	2,236	11,280
685,00	TR 30A	1021,50	1,898	2,236	15,137
663,75	TR 2B	1091,00	2,072	2,247	7,817
674,00	TR 5B	1054,85	1,981	2,245	11,743
685,00	TR 10B	1083,90	2,054	2,236	8,161
685,00	TR 15B	1078,25	2,040	2,236	8,793
685,00	TR 20B	1073,35	2,027	2,236	9,341
685,00	TR 30B	1069,50	2,018	2,236	9,771

Onde: Q água = quantidade de água / Mt – massa total (argamassa + recipiente) / MEF – massa específica obtida em laboratório / MET – massa específica teórica / TA – teor de ar incorporado / massa do recipiente = 262,60g / volume do recipiente = 400,00cm³.

A maior incorporação de ar, porém, não alterou a trabalhabilidade (índice de consistência) das argamassas em estado fresco. No entanto, com o aumento do teor de cinza observou-se uma perda rápida de trabalhabilidade das argamassas, algumas vezes afetando a moldagem dos corpos-de-prova.

4.3.2 Argamassas no estado endurecido

Para análise da resistência à compressão foram moldados 5 (cinco) corpos-de-prova (50mm de diâmetro x 100mm de altura) de argamassa para cada traço. As idades analisadas foram 14, 28, 56 e 91 dias.

Analisando-se o desenvolvimento das resistências ao longo do tempo, verificou-se que a diferença entre a amostra padrão (TR0) e as demais, em geral manteve-se constante (Figuras 4 e 5), ou seja, a diminuição nos valores das resistências mecânicas diminuíram na medida em que se aumentou o teor de CCCC. Tal fato é um forte indicativo da ausência de atividade pozolânica. Sabe-se que os materiais pozolânicos têm reatividade latente, ocasionando máximas resistências em idades avançadas (CINCOTTO, 1988; LAWRENCE, *et al.*, 2005; CYR, *et al.*, 2006).

Com os dados apresentados nas Figuras 4 e 5 pode-se afirmar, também, que a evolução das resistências com a idade apresenta-se semelhante nos grupos A e B. Com isso, não se observa diferença significativa entre os valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova que utilizaram CCCC moída e peneirada (menor tamanho de grão) em relação aos que utilizaram material apenas moído. Notou-se uma pequena evolução nos valores das resistências com teores de substituição até 15%. Acima de 20% o ganho de resistência é mínimo ao longo do tempo, observando-se uma constância nos valores das resistências dos corpos-de-prova com 30% de substituição.

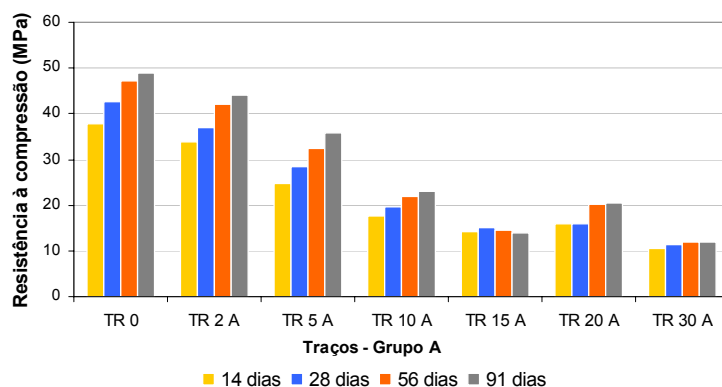


Figura 4 – Evolução da resistência à compressão em função dos teores de CCCC – Grupo A

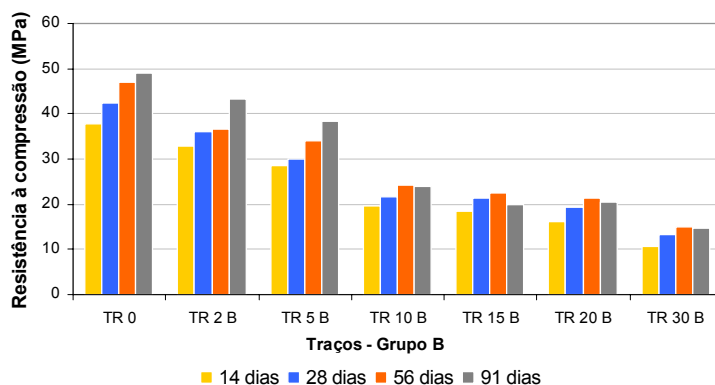


Figura 5 – Evolução da resistência à compressão em função dos teores de CCCC – Grupo B

Para melhor tratar os resultados, foram feitas análises por inferência estatística com valores de resistência à compressão, obtidos pelos corpos-de-prova confeccionados com substituição de CCCC por CP V ARI, nas condições estabelecidas por esta pesquisa. Os resultados apontam para uma hipótese de igualdade entre o traço com 2,5% (TR2) de CCCC e a amostra de referência, apesar da diferença encontrada nos valores médios de resistência à compressão aos 91 dias de idade (Figura 6). Esse fato ocorre tanto para as amostras do grupo A quanto do grupo B.

O valor de 2,5%, portanto, pode ser apontado como o valor de substituição de CCCC dentre os teores analisados com o qual não há prejuízo da resistência mecânica de argamassas moldadas com cimento CP V ARI, comparando-se os traços de referência com os traços confeccionados com a CCCC.

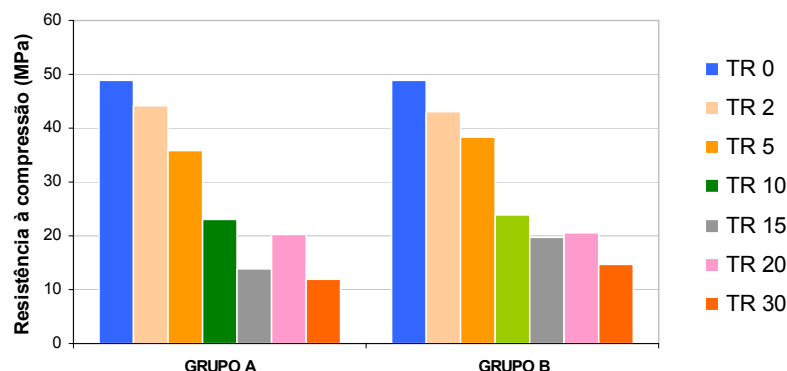


Figura 6 – Resistência à compressão média aos 91 dias dos grupos A e B

No que se refere à baixa evolução de resistência à compressão dos demais traços, há que se levar em consideração os altos teores de incorporação de ar no estado fresco em alguns dos traços. Sabe-se que quanto maior a porosidade de um material, menor sua densidade e, conseqüentemente, menor a resistência à compressão do sistema. Segundo Mehta & Monteiro (1994), para um dado fator água/cimento a incorporação de ar reduz a resistência à compressão. Analisando esse exemplo em argamassas, segundo a Figura 7, para um mesmo fator água/cimento no valor de 0.60, a resistência à compressão diminui de 26 para 19MPa, aproximadamente, por causa da diferença o teor de ar incorporado.

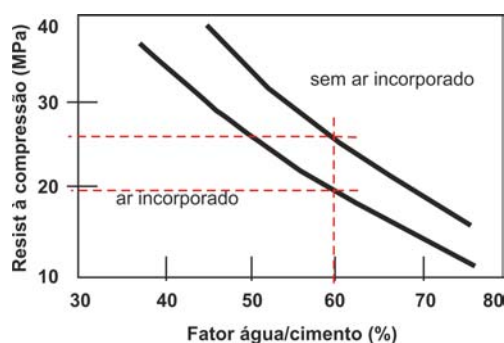


Figura 7 – Influência do fator água/cimento e o ar incorporado sobre a resistência à compressão. Fonte: Mehta & Monteiro, 1994.

Para o traço com 15% de CCCC pertencente ao Grupo A (cinza moída e peneirada) a incorporação de ar chegou a 16%, mais de 3 vezes o valor observado para o traço de referência. De uma maneira geral os valores de ar incorporado foram maiores nos traços do Grupo A (cinza moída e peneirada) do que no Grupo B (cinza moída). Tal fato pode ser relacionado a maior finura do grão de CCCC no primeiro grupo.

Ainda que a CCCC não tenha contribuído de forma significativa para o efeito pozolânico e o ganho de resistência, ainda que tardio, o alto teor de incorporação de ar também foi determinante para os baixos valores de resistência à compressão encontrados nos traços com teor de substituição acima de 10%. Ao baixo teor de sílica, somam-se a perda de trabalhabilidade no estado fresco e a incorporação de ar elevada, como fatores determinantes para os baixos valores de resistência à compressão encontrados por esta pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise dos resultados, pode-se afirmar que a análise química, por si só, não pode nem deve ser a principal determinante do potencial reativo de uma cinza, visando seu aproveitamento como substituto parcial do cimento Portland em matrizes cimentícias.

Pela técnica de Difractometria de raios X pôde-se observar um halo presente no difratograma da CCCC in natura característico de materiais amorfos, como também vários picos de materiais cristalinos, com destaque para a Arcanita (K_2SO_4 – sulfato de potássio).

Os resultados da análise da resistência à compressão de argamassas confeccionadas com teores variados de CCCC em substituição ao cimento Portland, indicam que apenas o teor de 2,5% apresentou valores estatisticamente iguais ao traço de referência. Os demais teores de CCCC promoveram a redução significativa dos valores da resistência à compressão das argamassas. O alto teor de ar incorporado observado em algumas amostras pode ter contribuído para os baixos valores de resistência à compressão observados nos corpos-de-prova de argamassa com teores de substituição acima de 10%.

6 REFERÊNCIAS

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da densidade absoluta.** 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7214 - Areia normal para ensaio de cimento – Especificação.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 5752 - Materiais pozolânicos - determinação da atividade pozolânica com cimento Portland - índice de atividade pozolânica com cimento.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12653 - Materiais Pozolânicos.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 13278 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 1995.

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. In: **Tecnologia de Edificações.** São Paulo, Pini/ IPT, 1988 p.71-74.

CYR, M.; LAWRENCE, P.; RINGOT E. Efficiency of mineral admixtures in mortars: quantification of the physical and chemical effects of fine admixtures in relation with compressive strength. **Cement and Concrete Research.** V. 36, p.264-277. 2006.

GREENPEACE. **Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.** Disponível para consulta em <http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/convencao_onu.pdf>. Acesso em 12 fev. 07.

JOHN, V. M.; *et al.* Cinzas e aglomerantes alternativos. In: **Tecnologias e materiais alternativos de construção** / Wesley J. Freire, Antônio L. Beraldo (coord.) – Campinas, SP : Editora da UNICAMP, 2003. p. 145-190.

LAWRENCE, P.; CYR, M.; RINGOT, E. Mineral admixtures en mortars: effect of type, amount and fineness of fine constituents on compressive strength. **Cement and Concrete Research.** V. 35, p.1092-1105. 2005.

LIMA, S. A.; LEITE, R. C. V.; PAULA, F. S.; SOARES, R. N.; SILVA, A. C. (orientador). Análise da viabilidade técnica do resíduo da castanha do caju em tijolos do adobe. In: IV Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica – ENICIT. Fortaleza – CE. **Anais...**, 2004. p. 49.

LIMA, S. A., ROSSIGNOLO, J. A., CAMPOS, M. F. Influência do tempo de moagem na pozolanicidade da cinza da casca da castanha de caju. In: 49o Congresso Brasileiro do Concreto, 2007, Bento Gonçalves, RS. **Anais do 49o. CBC.** São Paulo, SP: IBRACON, 2007.

MASCARENHAS, H. A. A.; *et al.* Efeito de adubos potássicos na produção de soja. **Scientia Agrícola**. Vol. 51, nº.1, Piracicaba Jan./Apr. 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto** – estrutura, propriedades, materiais. São Paulo : PINI, 1994. p. 290-309.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo : PINI, 1997.

PAIVA, F. F. A., *et al.* **Aproveitamento industrial do caju**. EMBRAPA/ SEBRAE-CE, 2000, 83p.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; *et al.* Cinza da casca de arroz. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional** / Editores J. C. Rocha [e] V. M. John. - (Coleção Habitare, v.4).

SILVA, A. C.; LIMA, S. A.; LEITE, R. C. V.; PAULA, F. de S.; SOARES. Utilização do Resíduo da Castanha do Caju na Confeção de Tijolos de Terra Crua (adobe): Alternativas para Redução do Custo Final de Moradias de Interesse Social no Brasil. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina - EGAL. 2005. Local: Cidade Universitária USP - São Paulo - SP. **Anais...**, 2004.

SANTOS, R. P.; *et al.* Production and characterization of the cashew (*Anacardium occidentale* L.) peduncle bagasse ashes. **Journal of Food Engineering**. Vol. 79, p. 1432-1437, 2007.

SILVA, M. G; SOUZA, F. L. S. Proposta de utilização de resíduos da indústria de celulose e papel e entulho de obra em componentes de construção. VI ENTAC, Rio de Janeiro, 1995. Qualidade e tecnologia na habitação. **Anais...** Rio de Janeiro : ANTAC, 1995. (CD-ROM).

7 AGRACIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pelo apoio financeiro; à empresa CIONE na pessoa do Sr. Gerardo Aguiar; ao Laboratório Cristalografia de Raios X, do Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP); e ao Laboratório de Construção Civil, da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).