



POTENCIALIDADE DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ EM BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL: DE ACORDO COM AS NORMAS BRASILEIRAS

Stael Amaral Padilha¹, Charlei Marcelo Paliga², Ariela Silva Torres³

Resumo: A agroindústria gera, anualmente, uma quantidade significativa de produtos de consumo alimentício, com destaque para a soja, arroz, trigo e milho. Durante o processamento e industrialização são gerados resíduos, que no caso do arroz é sua casca. A casca de arroz quando incinerada em ambiente fechado resulta em cinzas altamente poluentes. Buscando contribuir com a utilização deste resíduo, cinza de casca de arroz (CCA), este trabalho teve como objetivo avaliar a potencialidade do seu uso, em parcial substituição do aglomerante, em blocos de concreto. Os requisitos avaliados foram: resistência à compressão simples e absorção de água. O programa experimental baseou-se na produção dos blocos com dois tipos de cimentos (CPIV e CPV-ARI) e três teores de substituição dos mesmos por CCA: 5; 10 e 15% e o referência. Os resultados demonstraram que o aumento da quantidade de CCA proporcionou aumento da absorção de água e diminuição da resistência à compressão, independentemente do tipo de cimento. Entretanto, os resultados encontrados indicaram que a substituição parcial de diferentes aglomerantes por CCA resultou em um material que atende as exigências das normas brasileiras, o que possibilita seu uso, dando um viés sustentável ao resíduo.

Palavras-chave: Bloco de concreto estrutural. Cinza de casca de arroz. Resistência à compressão. Absorção de água.

1 Introdução

O cimento Portland, juntamente com seus derivados, é o material de construção industrializado mais consumido no mundo, porque é empregado em toda a cadeia do processo construtivo, especialmente no concreto estrutural. Para diminuir os impactos que a fabricação e uso do cimento exercem sobre o meio ambiente, a solução tem sido a substituição parcial do clínquer por pozolanas de origem industrial como cinza volante, sílica ativa e metacaulim ou resíduos agrícolas como cinza de casca de arroz, cinza de bagaço de cana, entre outros.

O uso de resíduos, em componentes na construção civil, tem sido um dos temas mais trabalhados e debatidos por pesquisadores, sendo que diversos conhecimentos da área já foram adquiridos, porém ainda existe a necessidade de seguirem os estudos. Com a possibilidade de se conquistar uma melhor colocação para o setor a partir do emprego destes resíduos, como componentes em concreto, pesquisadores vêm buscando conscientizar ceramistas, construtores, engenheiros/arquitetos e o próprio mercado

consumidor quanto à importância da qualidade deste produto para as habitações (PRUDÊNCIO JÚNIOR; SANTOS; DAFICO, 2003).

A região sul do estado do Rio Grande do Sul é um dos grandes polos de plantação de arroz nacional, com uma produção de 8.766 toneladas, dados da safra 2016-2017 (INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ, 2018). De acordo com Pouey (2006) em torno de 20% da casca de arroz é convertida em cinza e, após a queima, em cinzas, utilizadas em algumas aplicações industriais ou descartadas como resíduo.

A casca de arroz, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), é classificada como um resíduo de classe IIA, ou seja, não inerte e não perigoso à saúde humana e ao meio ambiente. Uma grande quantidade de casca de arroz é reaproveitada para o processo de parboilização dos grãos. Este processo ocorre dentro da própria usina a partir da combustão da casca de arroz na alimentação de caldeiras ou fornos. Neste processo é produzido outro resíduo: a cinza de casca de arroz (CCA). O problema é que, quando incinerada e transformada em cinzas, estas se tornam altamente poluentes,

¹E-mail: staelpadilha@hotmail.com

²E-mail: charleipaliga@gmail.com

³E-mail: arielatorres@gmail.com

liberando CO e CO₂, gases prejudiciais ao aquecimento global. Por questões de sustentabilidade, a grande quantidade de cinza de casca de arroz produzida atualmente deveria ser aproveitada. Entretanto, a falta de disponibilidade no mercado de CCA, que possuam características de módulo de finura e processo de queima adequado, resulta em grandes quantidades depositadas a céu aberto, potencializando a poluição ambiental de solos e mananciais aquíferos. Para Prudêncio Júnior, Santos e Dafico(2003), o não aproveitamento da CCA, descartada em condições não sustentáveis, não pode ser aceito pela sociedade, razão pelas quais a partir de 1990 foram desenvolvidas diversas pesquisas (SENSALE, 2000; RODRIGUES, 2003; RÉGO, 2004; GHAVAMI; MARINHO, 2005; POUHEY, 2006; BARBOZA; BARBIRATO; SILVA, 2008; LIMA; ROSSIGNOLO, 2010; ISAIA et al. 2010; CORDEIRO, 2011; TUAN, 2012; ISAIA et al., 2017), que revelaram, de modo geral, o bom desempenho dessa pozolana, apesar de queimada sem controle de temperatura, ante as propriedades mecânicas ou a durabilidade.

Dentre os diversos elementos de construção que existem, os blocos estruturais para alvenaria têm se destacado em função da qualidade de projetos modulados que reduzem o desperdício de materiais. Os blocos de concreto pré-moldado para alvenaria têm como princípio básico proporcionar à alvenaria estrutural a facilidade construtiva no emprego de um único elemento, proporcionando uma técnica de execução simplificada, menor diversidade de materiais empregados no canteiro de obras, redução do número de especializações da mão de obra empregada e redução de interferências entre os subsistemas.

No Brasil duas normativas regem o uso dos blocos de concreto pré-moldado: a NBR 6136 (ABNT, 2014) que estabelece os requisitos para o recebimento de blocos vazados de concreto simples, destinados a execução de alvenaria com ou sem função estrutural, cujos requisitos e valores estão descritos na Tabela 1, e a NBR 12118 (ABNT, 2014) que define os parâmetros de ensaios que caracterizam os blocos.

Tabela 1 – Requisitos para os blocos de concreto: resistência característica à compressão, absorção e retração

Classificação	Classe	Resistência característica fbk (MPa)	Absorção média (%)				Retração (%) *facultativo
			Agregado normal		Agregado leve		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	≥ 8,0	≤ 8,0	≤ 6,0	≤ 16,0	≤ 13,0	≤ 0,065%
	B	4,0 ≤ fbk ≤ 8,0	≤ 10,0	≤ 8,0			
Com ou sem função estrutural	C	≥ 3,0	≤ 12,0	≤ 10,0			

*facultativo por não ser uma exigência da norma e sim uma sugestão de execução do ensaio.
Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2014)

Com intuito de colaborar para novas descobertas de utilização da CCA e proporcionar ainda mais qualidade na produção de blocos de concreto com fim estrutural, este trabalho teve como objetivo principal estudar a potencialidade do uso da CCA como substituinte parcial ao aglomerante na produção de blocos estruturais, a fim de verificar o atendimento aos requisitos exigidos pela norma NBR 6136 (ABNT, 2014).

2 Metodologia

Os materiais utilizados que compõem os blocos estruturais foram os componentes

do concreto: dois cimentos (CPIV e CPV-ARI, caracterizações Tabelas 2 e 3), dois tipos de areia, brita, água e aditivo, além da CCA. A escolha de dois cimentos justifica-se pois, o CPIV é o de maior utilização na região sul do Brasil e o CPV-ARI apresenta um menor teor de adições em sua composição, além de possuir características físicas desejáveis (hidratação e resistência à compressão inicial), de fácil obtenção e muito utilizado nas indústrias de pré-moldados. O uso de duas areias, com diferentes granulometrias, é tradicional na indústria de pré-moldados, pois uma tem a capacidade de proporcionar coesão à mistura e a segunda areia proporciona volume a massa de concreto.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.21, n. 1, p.17-28, jan./jun. 2019

Tabela 2 – Caracterização física-mecânica do cimento CPIV

Característica	Propriedade	Exigência	Resultado
Química	MgO	≤ 6,5%	5,2%
	SO ₃	≤ 4,0%	2,1%
	Perda ao fogo	≤ 4,5%	1,9%
	Resíduo Insolúvel	----	32,7%
Físicas e Mecânicas	Finura (cm ² /g)	----	5918
	Tempo início pega	≥ 60min	365 min
	Tempo fim de pega	≤ 720 min	452 min
	Resistência à compressão (MPa) 3 dias	≥ 10	26,1
	Resistência à compressão (MPa) 7 dias	≥ 20	32,2
	Resistência à compressão (MPa) 28 dias	≥ 32	49,6

Fonte: Cimento Intercement (2017)

Tabela 3 – Caracterização física-mecânica do cimento CPV

Característica	Propriedade	Exigência	Resultado
Química	MgO	≤ 6,5 %	6,3 %
	SO ₃	≤ 3,5 %	3,4 %
	Perda ao fogo	≤ 4,5 %	4,1 %
	Resíduo Insolúvel	----	13,9 %
Físicas e Mecânicas	Finura (cm ² /g)	≥ 3000	5151
	Tempo início pega	≥ 60 min	247 min
	Tempo fim de pega	≤ 600 min	335 min
	Resistência à compressão (MPa) 1 dias	≥ 11	20,7
	Resistência à compressão (MPa) 3 dias	≥ 24	33,1
	Resistência à compressão (MPa) 7 dias	≥ 34	37,2
	Resistência à compressão (MPa) 28 dias	---	44,3

Fonte: Cimento Intercement (2017)

A cinza de casca de arroz foi obtida de uma arrozeira da cidade de Pelotas/RS e as características físicas estão apresentadas na Tabela 4. A composição química da CCA foi analisada através do ensaio de EDX

(fluorescência de raios-x). Salienta-se que mais de 92% da composição química foi de dióxido de silício (SiO₂), seguido de 2,53% de K₂O e 2,31% de CaO, demais componentes somaram menos de 3%.

Tabela 4 – Características físicas da CCA

Tipo de ensaio	Resultados	
	Peneiras	Retido acumulado (%)
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)	4,75	0
	2,36	0
	1,18	3
	0,600	49
	0,300	74
	0,150	94
	Fundo	100
	Ø máx (mm)	1,18
	Módulo de Finura	2,2
	Massa específica (g/cm ³) NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,68
Massa unitária (g/cm ³) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,52	
Volume de vazios (%) NBR NM 53 (ABNT, 2009)	43,28	

Fonte: Autores (2019)

2.1 Produção dos blocos de concreto

Após definidas, as famílias de traços, foram realizadas concretagens com substituição de parte do aglomerante por CCA. A substituição foi realizada considerando a porcentagem da massa do cimento nas seguintes proporções: 5, 10 e 15% e referência para cada um dos cimentos avaliados (CPV-ARI e CPIV). Estes valores de substituições foram baseados nos trabalhos desenvolvidos por Souza (2008) e Isaia et al. (2010).

A família de traço utilizada foi definida em uma etapa anterior que está descrita no trabalho de Padilha, Paliga e Torres (2017), no qual se estabeleceu que o traço 1:8

(cimento:agregados) seria ideal para avaliar a substituição do aglomerante pelo CCA. O traço, unitário, 1:8 utilizado foi de 1:5,2:1,6:1,2:0,1 (cimento:areia média: areia fina: brita e aditivo).

É importante salientar que para que o traço fosse produzido em ambiente de fábrica, foi necessário ter as seguintes condições: 1) uma massa de cimento mínima de 150 kg em função do tamanho do misturador, para obtenção de perfeita homogeneidade do concreto; 2) a altura necessária no volume de concreto para que o controlador da umidade dos agregados fizesse as leituras em perfeitas condições. Devido a isto, a Tabela 5 indica os traços calculados para concretagem em função dos traços unitários estabelecidos e da massa mínima de 150 kg de cimento.

Tabela 5 – Quantitativos dos traços utilizados

Família	Cimento (kg)	CCA (kg)	Areia média (kg)	Areia fina (kg)	Brita (kg)	Aditivo (kg)
CPIV0	150	0	780	240	180	1,5
CPIV5	142,5	7,5	780	240	180	1,5
CPIV10	135	15	780	240	180	1,5
CPIV15	127,5	22,5	780	240	180	1,5
CPV0	150	0	780	240	180	1,5
CPV5	142,5	7,5	780	240	180	1,5
CPV10	135	15	780	240	180	1,5
CPV15	127,5	22,5	780	240	180	1,5

Fonte: Autores (2019)

O elemento de dimensões 14x19x29 cm (largura:14 cm, altura: 19 cm, comprimento: 29 cm) escolhido para este estudo foi definido por apresentar uma modulação que facilita o uso em projetos arquitetônicos e pode ser utilizado em paredes externas e internas das edificações (Figura 1). É importante salientar que os

blocos, para realização dos testes, foram selecionados todos na mesma posição da bandeja. Os escolhidos foram os que estavam na parte central da mesma, pois todos possuíam a mesma carga de prensagem, de acordo com Prudêncio Júnior, Santos e Dafico (2003).

Figura 1 – Blocos utilizados neste estudo



Fonte: Autores (2019)

Todos os blocos estudados foram produzidos em ambiente de fábrica, pois somente com maquinário adequado é

possível execução de material com qualidade. A moldagem dos blocos em ambiente de

fábrica foi realizada a partir das seguintes etapas:

(1) Armazenamento dos materiais: o cimento foi armazenado em silo e os agregados em baias cobertas;

(2) Pesagem dos agregados e verificação da umidade através de sensores, possibilitando o ajuste dos traços e determinação da quantidade de água;

(3) O transporte do cimento aconteceu por rosca helicoidal do silo de armazenamento até a balança de pesagem, que está posicionada sob o misturador. Após a verificação da massa, o material é liberado para o interior do misturador;

(4) O aditivo foi armazenado em reservatório inferior, sendo bombeado para o reservatório superior, onde foi verificada a quantidade necessária e posteriormente liberado para a mistura em sistema de aspersão. Desta maneira certificou-se a distribuição homogênea na mistura;

(5) A água foi armazenada em outro reservatório inferior, bombeada a outro reservatório superior, onde o seu controle de vazão é determinado em conjunto ao funcionamento do sensor de umidade (este posicionado no interior do misturador). O sistema determinou leituras a cada 3 segundos que controlaram a umidade ideal e a válvula de liberação de água;

(6) Mistura dos materiais até ter uma massa homogênea;

(7) Transporte do concreto do misturador para a máquina de moldagem por meio de vagonete movimentado sobre trilhos;

(8) Liberação do concreto do vagonete para o silo de armazenamento da vibro prensa;

(9) Moldagem dos blocos: primeiro com abertura do silo; após com preenchimento da forma; seguido do acionamento de vibradores para acomodação do material na forma e processo de prensagem do material. A prensa e o molde foram liberados e o material já moldado é conduzido a esteira extratora;

(10) Sistema extrator: após o término do ciclo (descrito no item anterior) foi feita a primeira avaliação visual dos blocos, descartando os que apresentavam defeitos como fissuras ou rebarbas. A verificação da precisão dimensional foi feita por uma escova em rolo, que retirava as rebarbas superiores. Posteriormente os blocos foram conduzidos a sistemas de elevadores;

(11) Cura: após retirar os blocos do sistema de elevadores, as peças foram movimentadas por meio de empilhadeiras para as prateleiras, as quais permanecem até o dia

seguinte, em ambiente protegido de intempéries;

(12) Paletização: Após 24h, as prateleiras com os blocos foram transportadas por empilhadeiras até os elevadores de paletização, nos quais foram conduzidos a esteira extratora, onde a paletizadora pneumática retirou os blocos das tábuas e os armazenou nos paletes. Para finalizar o processo, os paletes (com 96 blocos) foram protegidos por filme plástico e amarrados com fita plástica;

(13) Estoque e cura final.

Os blocos, ao atingirem as idades determinadas para os ensaios de caracterização foram transportados para o laboratório da Universidade Federal de Pelotas, onde foram capeados para posterior realização do ensaio de resistência à compressão. Neste estudo foi utilizado capeamento em gesso, escolha baseada em Fernandes (2015).

2.2 Parâmetros avaliados

A NBR 6136 (ABNT, 2014) especifica a obrigatoriedade da execução dos seguintes parâmetros: análise dimensional, resistência à compressão e absorção de água. Para cada família de traço foram separados 12 blocos submetidos a análise dimensional e, sendo aprovados, 6 foram encaminhados para o ensaio de resistência a compressão e 6 para o ensaio de absorção de água. A retração é um requisito não obrigatório de acordo com a norma. Neste trabalho a análise dimensional foi realizada anteriormente aos ensaios de caracterização física e mecânica, portanto tornou-se um pré-requisito para análise dos outros dois fatores, apenas blocos aprovados na análise dimensional foram submetidos aos demais testes.

2.2.1 Análise dimensional

O ensaio foi realizado conforme procedimento descrito na NBR 12118 (ABNT, 2014) que determina que a resolução deve ser de 1mm nas dimensões da peça: largura, comprimento, altura e espessura de paredes. Para cada dimensão foram realizadas três leituras em pontos distintos, sempre pelo fundo do bloco (onde tem a maior espessura), na idade de 28 dias.

Após, realizou-se uma média simples entre as medidas de cada ponto e comparou-se com as dimensões padrão do tipo de bloco

utilizado nesta pesquisa. A tolerância permitida, de acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2014), em termos das dimensões são: ± 2 mm para largura; ± 3 mm para altura e comprimento e a espessura mínima de qualquer parede tem tolerância de $- 1$ mm.

2.2.2 Resistência à compressão

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais e técnicas construtivas da universidade, conforme procedimento descrito na NBR 12118 (ABNT, 2014), que estipula que a tensão aplicada na área bruta do bloco ocorra sem choques, numa taxa de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s (quando $f_{bk} < 8$ MPa), e utilizou-se uma prensa, modelo IAW2000. O cálculo da tensão no bloco foi determinado com a área de aplicação cheia, ou seja, utilizando-se 29×14 cm².

A NBR 6136 (ABNT, 2014) indica que somente terá validade o ensaio realizado aos 28 dias, e deve ter uma amostra mínima de 6 blocos. Esta norma indica a metodologia de cálculo a ser utilizada e este trabalho utilizou, além desta normativa, a média simples dos valores da amostra de cada família aos 28 dias, e, também, o parâmetro de cálculo indicado pela NBR 6136 (ABNT, 2014).

2.2.3 Absorção de água

Para determinação da absorção de água foi utilizada uma balança com resolução de 0,1g (balança Marte, classe II MB 16kg) e estufa com temperatura mantida de (110 ± 5) °C. Inicialmente, os blocos foram pesados e em seguida levados à estufa por 24h como recomenda a NBR 12118 (ABNT, 2014). Os blocos foram pesados diariamente até certificar-se que estavam totalmente secos, para isso a diferença de massa não poderia exceder 0,5%. Após essa verificação e resfriamento natural dos blocos, estes foram imersos em água por 24h e, após este período, pesados novamente.

Após o procedimento foi calculada uma diferença entre a massa seca e a massa úmida e o resultado informado em porcentagem. Este ensaio foi executado para as três famílias com melhores comportamentos no quesito resistência à compressão, visto que o volume de material para execução do ensaio ultrapassou o limite físico da estufa e do tanque para imersão. Além disso, optou-se em analisar absorção apenas para as famílias que se classificaram

como materiais estruturais (classes A e B, sendo classe C classificado como estrutural ou não).

3 Resultados

3.1 Resultados da análise dimensional

Os dados foram coletados conforme descrito na NBR 12118 (ABNT, 2014), em que para cada dimensão foram realizadas três leituras em pontos distintos. Após, foi calculada a média entre as medidas de cada ponto e comparadas com as tolerâncias admitidas. Todos os blocos, produzidos com o CPIV e CPV, tiveram todos os valores aprovados para análise dimensional.

3.2 Resultados da resistência à compressão

Os resultados médios, para 6 blocos em cada família, do ensaio de resistência à compressão estão apresentados na Figura 2. Ao realizar a análise destes resultados, observa-se que os blocos produzidos com o cimento CPV-ARI obtiveram valores médios maiores em todas as famílias de traços analisados, apresentando diferença em torno de 28% entre os traços de referência, 62% nos traços com 5% de substituição, 33% para as famílias de 10% e 19% nos de 15%. A maior diferença foi observada entre os tipos de cimentos nas famílias de 5% de CCA, o que provavelmente seja decorrente da pureza do cimento CPV-ARI.

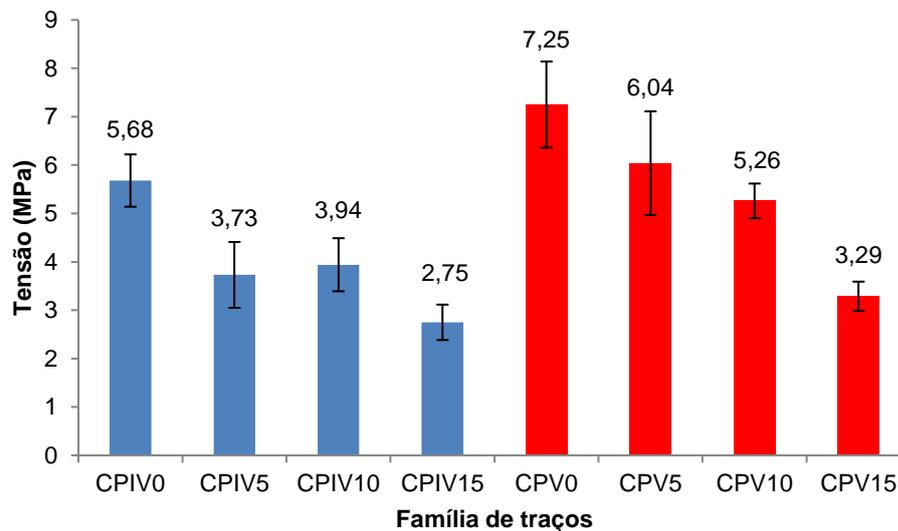
A avaliação dos resultados dos blocos de cimento CPIV demonstrou uma redução de 35% do traço CPIV5 em relação à referência, de 30% entre CPIV10 e a referência e superior a 50% entre a referência e 15% de CCA. O traço CPIV0 está classificado em blocos da classe B - peças mais pesadas e maiores, com, no mínimo, 14 cm de largura, considerados estruturais. Já os traços CPIV5 e CPIV10 ficaram na classe C ($f_{bk} \geq 3,0$ MPa). O traço CPIV15 ficou de fora de classificação para bloco estrutural, e por ser inferior a 3 MPa também fica fora do padrão para uso como bloco de vedação.

O estudo dos blocos produzidos a partir do cimento CPV mostrou que houve uma redução de resistência à compressão, quando comparado com a referência, de 16, 27 e 54%, para as famílias CPV5, CPV10 e CPV15, respectivamente. Para este tipo de cimento, os traços CPV0, CPV5 e CPV10

ficaram classificados na classe B ($4,0 \leq f_{bk} < 8,0$), apresentando uma resistência usual para utilização em alvenaria estrutural. O traço CPV15 foi classificado como de classe C, podendo ser utilizado, apesar das restrições da classe, diferentemente do

mesmo traço para o cimento CPIV. A partir destas avaliações comprova-se que a substituição de 15% na massa de cimento provoca uma queda de resistência à compressão, não sendo indicada a sua utilização.

Figura 2 - Médias da resistência à compressão das famílias de concreto



Onde: CPIV0 (cimento CPIV com 0% de CCA), CPIV5 (cimento CPIV com 5% de CCA), CPIV10 (cimento CPIV com 10% de CCA), CPIV15 (cimento CPIV com 15% de CCA), CPV0 (cimento CPV-ARI com 0% de CCA), CPV5 (cimento CPV-ARI com 5% de CCA), CPV10 (cimento CPV-ARI com 10% de CCA) e (cimento CPV-ARI com 15% de CCA).

Fonte: Autores (2019)

A segunda maneira de avaliação foi pela equação 1 da NBR 6136 (ABNT, 2014), em cada família de traço. A Tabela 6 apresenta o resultado do cálculo do f_{bk} para

cada família. Resultados que não atingiram o valor estabelecido pela norma (CPIV5 e CPIV10), passaram a ser considerados como resultados mas com o valor maior.

Tabela 6 – Resultados f_{bk} de cada família

Família	f_{bk}	$f_{bk} > 0,89f_{b(1)}$
CPIV0	4,88	4,54
CPIV5	2,27	2,41
CPIV10	1,96	2,60
CPIV15	2,18	2,00
CPV0	5,60	5,04
CPV5	4,76	4,62
CPV10	4,49	4,08
CPV15	2,94	2,65

Fonte: Autores (2019)

3.3 Resultados do ensaio de absorção de água

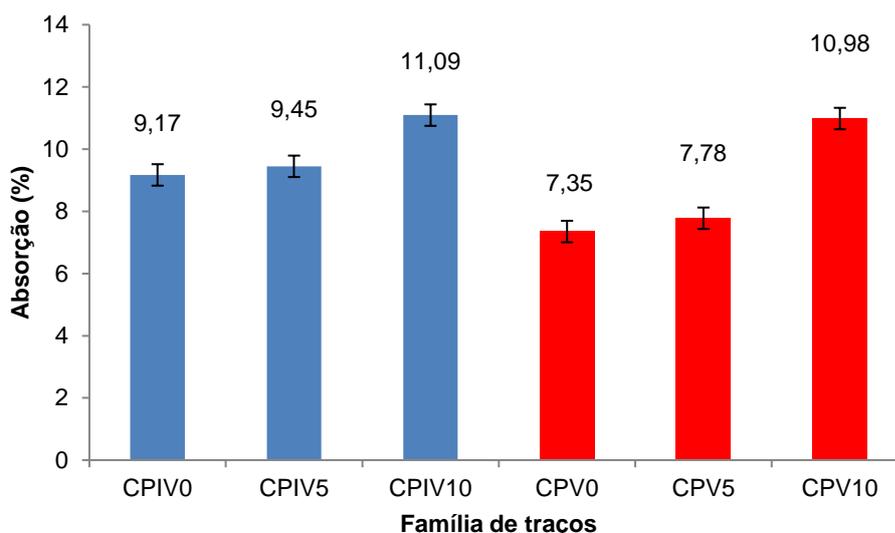
A partir dos resultados do requisito de resistência à compressão foi decidido pela

retirada da família de 15% de substituição para execução do ensaio de absorção de água, pois os blocos desta família não poderiam ser utilizados com função estrutural, uma vez que não atenderam este parâmetro.

A Figura 3 apresenta os resultados do ensaio para os blocos de cimentos CPIV e CPV, para os traços de referência, 5 e 10% de substituição. É possível observar que o cimento CPV teve menor índice de absorção para as três famílias avaliadas. A família do CPIV teve um aumento na absorção de 3 e 17% entre o traço referência e os CPIV5 e CPIV10, respectivamente, mostrando grande

similaridade entre o 0 e 5% de substituição de CCA. Nos traços que utilizaram o CPV, os ganhos foram de 5 e 33% entre o CPV0 e os CPV5 e CPV10, respectivamente. Portanto, apesar do CPV ter apresentado valores menores de absorção em relação ao CPIV, os aumentos de absorção foram superiores, no CPV, com o aumento da substituição de CCA.

Figura 3 - Resultados médios do ensaio de absorção



Onde: CPIV0 (cimento CPIV com 0% de CCA), CPIV5 (cimento CPIV com 5% de CCA), CPIV10 (cimento CPIV com 10% de CCA), CPV0 (cimento CPV-ARI com 0% de CCA), CPV5 (cimento CPV-ARI com 5% de CCA), CPV10 (cimento CPV-ARI com 10% de CCA).

Fonte: Autores (2019)

Vale ressaltar que de acordo com os parâmetros da norma 6136 (ABNT, 2014) os valores médios deveriam ser inferior a 6,0 e 8 % para blocos tipo A e B respectivamente, e inferior a 10 % para blocos C não estruturais. As famílias CPV0 e CPV5 atingiram valores inferiores a 8 % de absorção, confirmando sua permanência na classificação blocos tipo B, já realizada no parâmetro de resistência a compressão. As demais famílias de concreto, que haviam se classificado como B, no parâmetro absorção se classificam como C (CPIV0, CPIV5) ou foram desclassificadas para o uso como blocos estruturais, pois apresentaram taxas de absorção superiores a 10 % (CPIV10 e CPV 10).

3.4 Análise estatística

Com os resultados obtidos foi feito um tratamento estatístico utilizando o teste de

análise de variância (ANOVA) de duas vias considerando como variáveis independentes o tipo de cimento (CPIV e CPV) e a proporção de CCA utilizada no cimento (0, 5, 10 e 15%). As variáveis dependentes das demais foram a tensão de cada bloco e a absorção, aos 30 dias.

A ANOVA de duas vias demonstrou que houve efeito das variáveis independentes, quais sejam o tipo de cimento (CPIV e CPV) e a proporção de CCA utilizada na substituição ao cimento (0, 5, 10 e 15%), nas médias das resistências dos blocos, indicado por $p < 0,001$ para todas as análises. A ANOVA de duas vias indicou, também, que houve interação significativa entre estas variáveis independentes, indicado por $p = 0,005$ mostrado na Tabela 7. Vale ressaltar aqui, que estes resultados possuem um nível de confiança de 95% e o modelo explica 86,3% da variabilidade dos valores encontrados.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.21, n. 1, p.17-28, jan./jun. 2019

Tabela 7 – Variável dependente Tensão (MPa)

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	P
Modelo	105,576	7	15,082	36,033	0,000
Resíduo	1068,325	1	1068,325	2552,313	0,000
CCA * cimento	6,207	3	2,069	4,943	0,005
CCA	71,385	3	23,795	56,848	0,000
Tipo de cimento	27,984	1	27,984	66,856	0,000
Erro	16,743	40	0,419		
Total	1190,644	48			
Total corrigido	122,319	47			

Fonte: Autores (2019)

Em relação a variável dependente “absorção”, o teste de variância ANOVA de duas vias demonstrou que houve efeito significativo das variáveis independentes “tipo de cimento” (CPIV e CPV) e “proporção de CCA” utilizada (0, 5, 10 e 15%), nas absorções médias dos blocos de concreto, indicado por $p < 0,001$ para todas as análises, conforme resultados apresentados na Tabela

8. Desta maneira, rejeita-se a hipótese de médias iguais para a absorção, reiterando a influência das variáveis independentes nos resultados obtidos. A ANOVA de duas vias indicou, também, que houve interação marginalmente significativa entre estas variáveis independentes ($p = 0,054$). Este modelo apresentou um coeficiente de determinação de 89,5% de confiabilidade.

Tabela 8 – Variável dependente absorção (%)

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	P
Modelo	36,633	5	7,327	20,548	0,000
Resíduo	1557,936	1	1557,936	4369,407	0,000
CCA * cimento	6,480	1	6,480	18,174	0,001
CCA	27,463	2	13,732	38,512	0,000
Tipo de cimento	2,690	2	1,345	3,772	0,054
Erro	4,279	12	0,357		
Total	1598,848	18			
Total corrigido	40,912	17			

Fonte: Autores (2019)

O teste de comparações múltiplas - teste de Tukey – usado para avaliar a influência dos teores de CCA nas resistências (tensão) demonstrou que houve diferença significativa entre as médias das resistências dos blocos para todos os teores de cinzas de cascas de arroz ($p < 0,001$ para todas as comparações), com exceção dos percentuais de cinzas de 5% e 10% que não apresentaram diferença significativa entre eles ($p > 0,05$, Tabela 9).

Já a aplicação do teste de Tukey para a variável “absorção” demonstrou que não houve diferença significativa nas médias de absorção entre os teores de 0 e 5% de cinzas de cascas de arroz ($p > 0,05$), o que demonstra que a utilização de 5% de CCA não apresenta diferença quando comparados com os blocos de referência. Ademais, a análise mostra que houve diferença significativa entre os valores médios de absorção dos blocos com teores de 0% e 10%, e, também, 5% e 10% de cinzas de cascas de arroz ($p < 0,001$, Tabela 10).

Tabela 9 – Teste de Tukey - Variável dependente Tensão (MPa)

Teor de CCA (%)	Teor de CCA (%)	Diferença de média	Desvio padrão	p
0	5	1,4483	0,26412	0,000
	10	2,0358	0,26412	0,000
	15	3,3983	0,26412	0,000
5	5	-1,4483	0,26412	0,000
	10	0,5875	0,26412	0,134
	15	1,9500	0,26412	0,000
10	5	-2,0358	0,26412	0,000
	10	-0,5875	0,26412	0,134
	15	1,3625	0,26412	0,000
15	5	-3,3983	0,26412	0,000
	10	-1,9500	0,26412	0,000
	15	-1,3625	0,26412	0,000

Fonte: Autores (2019)

Tabela 10 – Teste de Tukey - Variável dependente absorção (%)

Teor de CCA (%)	Teor de CCA (%)	Diferença de média	Desvio padrão	p
0	5	-0,3517	0,34475	0,579
	10	-2,7783	0,34475	0,000
5	5	0,3517	0,34475	0,579
	10	-2,4267	0,34475	0,000
10	5	2,7783	0,34475	0,000
	10	2,4267	0,34475	0,000

Fonte: Autores (2019)

4 Conclusões

Inicialmente, fazendo-se uma síntese dos resultados obtidos, observou-se que a substituição parcial do cimento Portland pela CCA introduziu alterações significativas tanto no comportamento mecânico (resistência à compressão) quanto no comportamento físico (absorção de água por imersão). Concluiu-se que a substituição parcial de diferentes teores de CCA produziu um material que atendeu as exigências das normas brasileiras, viabilizando um uso com um viés sustentável ao resíduo que seria descartado no meio ambiente.

No que diz respeito à resistência à compressão, observou-se melhor comportamento, para todos os traços, dos blocos produzidos com o CPV, quando comparados aos dos blocos de CPIV. Ademais, os traços com 5 e 10 % de substituição do aglomerante por CCA, no CPV, puderam ser classificados como

elementos a serem usados em alvenaria estrutural devido à obtenção de resistências superiores a 4 MPa (classe B). Também se constatou, através da análise estatística, que não houve diferença significativa entre as médias das resistências dos blocos com substituição de 5 e 10%, indicando comportamento mecânico semelhante destes elementos. Enquanto que traço com 15 % poderia ser utilizado como elemento de vedação, por ter tido média superior a 3 MPa. Já no uso do cimento CPIV, apenas o traço referência ficou classificado como uso em elementos estruturais, ficando 5 e 10% classificado como classe C, apenas para uso em vedação e os blocos com 15% de substituição não poderiam ser utilizados nem como vedação, pela classificação da norma.

Ao analisar-se o comportamento físico (absorção), pode-se estabelecer algumas considerações. Ao encontro do que aconteceu com o comportamento mecânico, os resultados de absorção mostraram melhor comportamento dos blocos produzidos com o CPV quando comparados aos valores de

absorção dos blocos de CPIV. Enfatiza-se aqui, que melhor comportamento significa menores absorções de água, o que pode refletir, possivelmente, em menores chances de surgimento de manifestações patológicas. Este fato não pode ser tratado como uma conclusão definitiva deste trabalho, pois isso deve ser comprovado com análises de durabilidade deste material, que não foi objetivo desta pesquisa.

Ainda com relação à absorção concluiu-se, com base nos resultados encontrados da análise estatística, que a substituição parcial do aglomerante por CCA provocou queda de desempenho, independentemente do tipo de cimento utilizado, quando comparados os valores dos blocos de referência para os blocos com 10% de CCA. Ao contrário disso, a análise de variância indicou que entre as médias dos blocos referência e dos blocos com 5% de

CCA não houve diferença significativa, independentemente do tipo de cimento, o que sugere que esta porcentagem de substituição não causaria queda de desempenho em relação aos blocos de concreto sem substituição. Vale lembrar que a NBR 6136 (ABNT, 2014) estabelece como requisito que a absorção média para blocos de concreto classificados como “B” seja no máximo de 8% e dos blocos “C” não superior à 10%. Desta maneira, somente os blocos CPIV5, CPV0 e CPV5 cumpriram com as exigências normativas.

Como conclusão geral pode-se estabelecer que o traço com 5 % de substituição de CPV por CCA foi o único que atendeu os limites estabelecidos, pela norma NBR 6136 (ABNT, 2014), referentes a resistência à compressão e taxa de absorção, sendo classificado como classe “B”, elemento estrutural.

5 Potentiality of using rice husk ash in concrete blocks for structural masonry: according to brazilian standards

Abstract: *Agribusiness generates, annually, a significant amount of food consumption products, with emphasis on soybeans, rice, wheat and corn. The rice processing and industrialization generates as waste its husk. Rice husk when incinerated indoors results in highly polluting ash. In order to contribute to the use of this waste, rice husk ash (CCA), this work aimed to evaluate the potentiality of its use, in partial replacement of the binder, in concrete blocks. Simple compressive strength and water absorption were evaluated in concrete blocks. The experimental program was based on the production of blocks with two types of cements (CPIV and CPV-ARI) which were replaced by three different grades: 5; 10 and 15% as well as there was the reference block. The results demonstrated that increasing the amount of CCA provided increased water absorption and decreased compressive strength, regardless of cement type. However, the results indicated that the partial substitution of different binders by CCA resulted in a material that meets the requirements of the Brazilian standards, which allows its use, giving a sustainable bias to the waste.*

Keywords: Structural concrete block; Rice husk ash; Compressive strength; Water absorption;

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural - Requisitos. **NBR 6136**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutura – Método de ensaio: Análise dimensional e determinação da absorção de água, da resistência à compressão e da retração por secagem. **NBR 12118**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos - Classificação. **NBR 10004**. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados - Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água: NBR NM 53. Rio de Janeiro, 2009.

BARBOZA, A. S. R.; BARBIRATO, J. C. C.; SILVA, M. M. C. P. Avaliação do uso de bambu como

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.21, n. 1, p.17-28, jan./jun. 2019

material alternativo para a execução de habitação de interesse social. **Ambiente Construído**, v.8, p.115-129, 2008.

Cimento Intercement. **Caracterização física-mecânica do cimento CPV**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: staelpadilha@hotmail.com. Em: 16 fev. 2017.

CORDEIRO, G. C. Influence of Particle Size and Specific Surface Area on the Pozzolanic Activity of Residual Rice Husk Ash. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, n. 5, p. 529-534, 2011.

FERNANDES, Idário. **Blocos e Paviers – Produção e controle de qualidade**. 6ª edição. 2015, 200 p. Ed. Treino Assessoria e Treinamentos Empresarias Ltda. 2015.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.107-114, 2005.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ. Safras. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>. Acesso em: 18 nov. 2018.

ISAIA, G. C.; ZERBINO, R. L.; GASTALDINI, A. L. G.; SENSALÉ, G. R. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural (parte II): durabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 233-252, abr./jun. 2017.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A.L.G.; 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. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 121-137. 2010.

LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A. Estudo das características químicas e físicas da conza da casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios. **Acta Scientiarum Technology**, v.32, p.383-389, 2010.

PADILHA, S.A.; PALIGA, C.M.; TORRES, A.S. Estudo comparativo da resistência à compressão de blocos de concreto produzidos com diferentes cimentos e dosados em ambiente de fábrica. **REEC – Revista eletrônica de engenharia civil**, v. 13, n.2, p. 184-195, 2017.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento de Cinza de Casca de Arroz Residual Com Vistas a Produção de Cimento Composto e/ou Pozolânico**. Porto Alegre, 2006. 329 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; SANTOS, S.; DAFICO, D. A. **Cinzas da casca de arroz. Coletânea Habitar: Utilização de resíduos na construção civil**. Editora Programa de Tecnologia de Habitação, v. 4, p. 242-246, Porto Alegre – RS: ANTAC, 2003.

RÊGO, J. H. S. **As Cinzas de casca de arroz (CCAs) amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento** - PECC-UnB 2004, 274p. Tese de Doutorado. 2004.

RODRIGUES, S. G. High Performance Concrete with Residual Rice Husk ash. In: DHIR, K. R.; NEWLANDS, M.; PAINE, K. (Eds.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM DEDICATED TO PROF. SURENDRAH SHAH, Dundee, 2003. Proceedings... London: Thomas Telford, 2003.

SENSALÉ, G. R. B. **Estudo Comparativo Entre as Propriedades Mecânicas dos Concretos de Alta Resistência e Convencionais Com Cinza de Casca de Arroz**. Porto Alegre, 2000. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SOUZA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 2008. 124p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

TUAN, B. L-A. **The use of black rice husk ash in concrete**. Saarbrücken: Lambert, 2012.