



## CINZA DE CASCA DE ARROZ - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E CRISTALOGRÁFICAS

**Leandro Cirqueira Sousa (1); Everton Jose da Silva (2); Jorge Luís Akasaki (3); José Luiz Pinheiro Melges (4); João Victor Fazzan (5); Jorge Juán Paya Bernabeu (6)**

(1) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: leandroguitar@hotmail.com

(2) Instituto Federal da Bahia, IFBA, Brasil – e-mail: js\_everton@yahoo.com.br

(3) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: akasaki@dec.feis.unesp.br

(4) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: jlmelges@dec.feis.unesp.br

(5) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: jvfazzan@hotmail.com

(6) Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) – Universidad Politécnica de Valencia, UPV, Espanha – e-mail: jjpaya@cst.upv.es

### RESUMO

A produção de arroz no Brasil em 2009 foi de aproximadamente 12 milhões de toneladas e para atingir essa quantidade são utilizadas diversas técnicas de plantio e diferentes cultivares nas distintas regiões onde o arroz é cultivado. Como a cinza de casca de arroz (CCA) é a pozolana de origem vegetal mais estudada pelos pesquisadores que trabalham na área de materiais pozolânicos, o presente trabalho compreende uma análise da influência que a forma de plantio, clima, solo, cultivares e fonte/quantidade de fertilizantes à base de nitrogênio utilizados na cultura do arroz exercem na composição química e propriedades cristalográficas da CCA. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, verifica-se a importância de se fazer ensaios rotineiros de análises químicas e de Difração de Raio-X para manter o controle de qualidade das CCAs produzidas, pois que em situação de produção em larga escala, podem ser utilizadas cascas de origens diferentes.

Palavras-chave: Casca de Arroz, Cinza de casca de Arroz, Análise Química, Difração de Raio-X.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Importância do tema

O aproveitamento de resíduos agrícolas tem-se tornado uma necessidade em função do alto custo ambiental derivado do seu inadequado descarte na natureza. Nesse cenário, a casca de arroz, assim como a cinza produzida pela sua queima indiscriminada tornaram-se preocupantes em determinadas regiões do País, com destaque para a região Sul, em virtude do grande volume produzido anualmente. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2009) a produção de arroz no Brasil em 2009 foi de cerca de 12,6 milhões de toneladas.

Esse fato, associado à necessidade de haver fontes de energia e combustíveis renováveis, exige que o aproveitamento da matéria-prima cultivada seja mais eficiente, pois os processos agroindustriais que são necessários para o desenvolvimento da sociedade, geram resíduos que acarretam problemas de ordem ambiental.

Como subproduto da produção de arroz e sua industrialização, elevada quantidade de casca são produzidas. Com o passar dos anos, a utilização da casca de arroz como fonte de energia tem aumentado gradativamente, no entanto, poucas são as soluções encontradas para o resíduo da queima - a cinza - que, em geral, simplesmente é descartada ou lançada em aterros. A geração de materiais residuais não aproveitados e descartados é motivo de grande preocupação para a preservação do meio ambiente. Atualmente, essa preocupação não é apenas ecológica, mas também é vista como uma grande oportunidade de redução de custos, através da obtenção de uma energia mais barata, proveniente da reciclagem de resíduos combustíveis renováveis.

A casca de arroz é um resíduo produzido em grande quantidade em consequência da produção elevada de arroz em todo o mundo, segundo Payá et al (2000). A utilização de fontes dispersas de energia, em particular a biomassa, aparece como uma oportunidade de singular importância, por colaborar na oferta de energia do sistema interligado do país. Diferentes grupos ao redor do mundo têm trabalhado com este tema, dentre eles: P. K. Metha (Universidade de Berkeley - Califórnia), J. Payá (Universidade Politécnica de Valência), J. S. Coutinho (Universidade do Porto), além de outros.

Recentemente, importantes trabalhos de notável relevância foram desenvolvidos com cinza de casca de arroz no Brasil, como por exemplo: Rêgo (2004), Cordeiro (2006), Tashima (2006), Pouey (2006), Santos (2006), Tibone (2007), Silva (2007), Hoppe (2008) e Isaia (2010).

## 1.2 Aplicação na construção civil

Coutinho (2003) aborda algumas vantagens de se utilizar materiais como a CCA em concretos:

**1 - Diminuição do uso de cimento Portland.** O consumo de cimento deverá atingir um valor próximo de  $2 \times 10^{12}$  toneladas em 2010 e existem quantidades suficientes de subprodutos pozolânicos e cimentícios que podem substituir (parcialmente) o cimento Portland; dessa forma não será necessário que se aumente a produção de clínquer Portland. A produção do cimento Portland tradicional é responsável por cerca de 7% das emissões de CO<sub>2</sub>.

**2 - Maximização da durabilidade das estruturas de concreto.** Esta é uma solução com um enorme impacto e um grande passo no sentido da melhoria da produção de recursos na indústria do concreto. Executar obras que terão uma “morte prematura” corresponde a sobreconsumir recursos. Além disso, haverá também o custo de retirar a construção mal executada para que se comece uma nova obra. A abordagem clássica para aumentar a durabilidade tem sido procurar modificar a composição do concreto, sobretudo pela redução da relação água/aglomerante e por utilização de materiais com propriedades pozolânicas ou hidráulicas tais como cinzas volantes, sílica, e cinza de casca de arroz.

Embora a CCA apresente estas vantagens e o primeiro trabalho que investigava a exploração do potencial aglomerante do material tenha sido publicado há 35 anos por Metha (1973) citado por John et al (2003), a CCA continua sendo descartada no meio ambiente de maneira irregular e sem nenhum tipo de aproveitamento na maioria dos casos.

A primeira dificuldade que impede o emprego efetivo de CCA para aplicação em argamassas e concretos é que sua reatividade está diretamente associada ao método de calcinação utilizado. CCAs produzidas sem controle de temperatura, ou seja, em caldeiras, fornalhas ou queimadas a céu aberto, apresentam elevado teor de carbono em sua composição química (cor escura), o que diminui sua reatividade e provoca um aumento na absorção da água de amassamento.

Alguns pesquisadores estudaram maneiras para produzir CCA de elevada reatividade e de coloração clara. Porém, nesses casos os problemas são: o elevado custo para a construção de um forno, a necessidade de um controle rigoroso na temperatura e no tempo de queima e também, a necessidade de injeção de ar durante o processo de queima para a eliminação do carbono (TASHIMA, 2006).

A segunda dificuldade é representada pela necessidade de moer a CCA a fim de diminuir sua granulometria, pois aumentando a superfície específica sua reatividade e os efeitos físicos e pozolânicos advindos desta operação também ficam mais evidentes.

De acordo com Pitt (1976), citado por Cordeiro (2006), é necessário elevar a temperatura para valores acima de 1000 °C para que ocorra a transformação de estado amorfo para cristalino na sílica pura. Entretanto, durante a queima da casca de arroz, a mudança de forma estrutural da sílica amorfada ocorre geralmente em temperatura inferior a 1000°C, dada a presença de outros constituintes na casca.

Krishnarao et al (2001) atribuíram a aceleração da cristalização da sílica amorfada em cristobalita à fusão do potássio na superfície da cinza da casca de arroz, pois quando o óxido de potássio se dissocia (346,85 °C), forma o elemento potássio que tem ponto de fusão de 63,65 °C causando um derretimento da superfície da casca e acelerando a cristalização da sílica amorfada em cristobalita.

Além do potássio, outras impurezas podem interferir na pozolanicidade da cinza de casca de arroz, pois elas impedem a liberação do carbono durante a calcinação. Ele pode ficar aprisionado dentro da fase líquida formada na superfície das partículas da cinza pela dissociação e posterior fusão dos óxidos metálicos fundentes.

Uma vez que a CCA contenha mais carbono, além de agregar prejuízos estéticos com a coloração mais escura, terá sua reatividade diminuída, pois além de atenuar a quantidade de sílica percentualmente, o carbono exige uma maior quantidade de água para manter a mesma consistência em argamassas e concretos.

Além das diferentes formas de utilização da CCA apresentadas anteriormente, o beneficiamento da produção não é realizada de maneira concentrada, ou seja, em virtude das dimensões continentais deste país, há diversas maneiras de se cultivar arroz, o que pode também interferir na constituição química e características da cinza de casca de arroz (HOUSTON, 1972).

## 2 OBJETIVO

Avaliar a influência das diferentes variáveis do plantio de arroz – ecossistema, clima, solos, cultivares e fonte/quantidade de fertilizantes – nas propriedades químicas e cristalográficas da cinza da casca de arroz.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Cascas de Arroz

A maioria das amostras de cascas de arroz para a análise das variáveis: tipo de solo, clima, fertilizante e cultivares de arroz foram originados de uma pesquisa agronômica, cujo objetivo foi verificar a aplicação de doses tidas como elevadas (até 200 kg de Nitrogênio por hectare) em cultivares distintos de arroz, que deu um indicativo da viabilidade ou não do uso destas doses. Esta pesquisa, realizada pelo Prof. Dr. Salatiér Buzetti do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP de Ilha Solteira, testou duas cultivares: Curinga e a IAC 202, em cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg de N ha<sup>-1</sup>), aplicadas na semeadura ou em cobertura. Como fontes de nitrogênio foram utilizadas o Entec (com inibidor de nitrificação e enxofre em sua composição), sulfato de amônio e uréia. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da FE-UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria - MS, em um LATOSOLO VERMELHO Distroférrico típico, anteriormente ocupado por vegetação de cerrado, com irrigação por aspersão quando na ocorrência de déficits hídricos.

Dentro deste grupo de amostras, foram adotadas algumas particulares para o desenvolvimento deste trabalho. São elas: Sulfato de Amônia 50 kg de N ha<sup>-1</sup>; Sulfato de Amônia 200 kg de N ha<sup>-1</sup>; Uréia 50 kg de N ha<sup>-1</sup>; Uréia 200 kg de N ha<sup>-1</sup> e Entec 200 kg de N ha<sup>-1</sup>. Todas estas amostras são da cultivar curinga em virtude do seu comportamento mais homogêneo de produtividade em relação a cultivar IAC 202.

Além destas amostras, foram adotadas outras duas, de diferentes regiões do país a fim de verificar as variáveis de clima, solo e cultivares. Uma delas é de origem da região de Dourados, Mato Grosso do Sul e a outra originada da Região Nordeste do Brasil, mais especificamente do Maranhão.

A Tabela 1 apresenta as características de cada casca de arroz utilizada.

**Tabela 1- Amostras de Cascas de Arroz**

<b>A m o S t r a</b>	<b>Sistema de Cultivo</b>	<b>Clima</b>	<b>Cultivar</b>	<b>Solo</b>	<b>Fertilizante</b>	<b>Quantidade de fertilizante</b>
<b>S A 50</b>	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico	Fósforo, Potássio e Sulfato de Amônia	050 kg de N ha <sup>-1</sup>
<b>S A 20 0</b>	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico	Fósforo, Potássio e Sulfato de Amônia	200 kg de N ha <sup>-1</sup>
<b>U R 50</b>	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico	Fósforo, Potássio e Uréia	050 kg de N ha <sup>-1</sup>
<b>U R 20 0</b>	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico	Fósforo, Potássio e Uréia	200 kg de N ha <sup>-1</sup>
<b>E T 20 0</b>	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico	Fósforo, Potássio e Entec	200 kg de N ha <sup>-1</sup>
<b>M A</b>	Terras Altas	Semi-árido com chuvas	<i>Possíveis:</i> Aimoré, Bonança, Colosso, Primavera, Talento, Curinga, Caiapó, Canastra, Carajás e Carisma	LATOSSOLO	Fósforo e Potássio	-
<b>M S</b>	Terras Altas	Tempera do Úmido	<i>Possíveis:</i> Aimoré, Primavera, Caiapó, Carajás, Carisma e Maravilha	LATOSSOLO	Fósforo e Potássio	-

### **3.2    Obtenção e Tratamentos das Cascas de Arroz**

A primeira etapa realizada foi acompanhar a colheita da planta de arroz na fazenda da agronomia da UNESP, e coletar as amostras do Estado do Maranhão e da Região de Dourados, Mato Grosso do Sul.

Após a colheita, o arroz foi submetido aos processos de trilhagem e beneficiamento para posterior aproveitamento das cascas.

Para a calcinação das amostras de cascas de arroz, o sistema de queima utilizado foi a mufla com controle de temperatura, taxa de aquecimento e patamar de temperatura para que as condições de queima fossem exatamente as mesmas para todas as amostras de casca de arroz.

Buscou-se, através deste sistema de queima, obter CCAs amorfas e com baixo teor de carbono, ou seja, características que favorecessem sua utilização como pozolana em argamassas e concretos. Para

tanto, testes em mufla foram realizados no sentido de determinar qual seria o procedimento de queima ótimo. Avaliou-se o tempo, o patamar de temperatura ótima, a taxa de aquecimento, a perda de massa e a propriedade cristalográfica.

Della et al (2005) fizeram diversas configurações de temperatura de queima/tempo de queima. Os autores trabalharam com CCA calcinada desde 400 °C até 700 °C, com os tempos de 1, 3 e 6 horas, conforme a Tabela 2:

**Tabela 2- Temperatura e tempo de calcinação.**

Amostras	Composição em Óxidos (% em massa)										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF*
CCA 1	72,10	0,30	0,15	0,43	0,05	0,72	0,15	0,05	0,70	0,06	24,30
CCA 4/1	89,75	0,68	0,21	0,50	0,16	0,92	0,15	0,01	0,86	0,71	6,05
CCA 4/3	93,19	0,41	0,24	0,53	0,19	0,95	0,16	0,01	0,90	0,74	2,67
CCA 4/6	93,21	0,42	0,25	0,53	0,19	0,96	0,16	0,01	0,87	0,77	2,63
CCA 5/1	93,83	0,39	0,26	0,52	0,21	0,94	0,15	0,01	0,88	0,75	2,06
CCA 5/3	93,97	0,39	0,25	0,52	0,14	0,95	0,15	0,01	0,89	0,72	1,92
CCA 5/6	93,95	0,45	0,26	0,51	0,20	0,94	0,15	0,01	0,89	0,72	1,92
CCA 6/1	94,09	0,38	0,26	0,53	0,17	0,94	0,16	0,01	0,88	0,77	1,82
CCA 6/3	94,47	0,37	0,26	0,52	0,17	0,95	0,16	0,01	0,85	0,75	1,50
CCA 6/6	94,54	0,42	0,25	0,53	0,21	0,94	0,16	0,01	0,84	0,73	1,38
CCA 7/1	94,58	0,55	0,28	0,54	0,24	0,96	0,17	0,02	0,88	0,73	1,05
CCA 7/3	94,67	0,41	0,26	0,58	0,25	0,95	0,17	0,02	0,91	0,81	0,97
CCA 7/6	94,95	0,39	0,26	0,54	0,25	0,94	0,16	0,02	0,90	0,74	0,85

Fonte: Della et al (2005 p. 23)

Os autores concluíram que o procedimento que confere uma sílica com maior grau de pureza é o da última linha, com 700 °C e o tempo de 6 h. Contudo, para este trabalho foi feita uma interpolação destes resultados e utilizou-se uma temperatura de queima de 650 °C com o tempo de 4 horas para todas as amostras de casca de arroz, pois com esta configuração já se alcança resultados satisfatórios (coloração clara e com arranjo molecular amorfado, segundo ensaio de Difração de Raio-X). Para este trabalho, a taxa de aquecimento também foi avaliada, conforme a Tabela 3:

**Tabela 3- Estudo da Taxa de Aquecimento para Calcinação.**

Processo	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Perda de Massa (%)	Coloração	Difração De Raio-X
1	650	4	1	82,87	Clara	Amorfa
2	650	4	5	82,45	Clara	Amorfa
3	650	4	10	82,19	Clara	Amorfa
4	650	4	15	82,00	Clara	Amorfa

Para a calcinação das amostras foi adotado o processo 4 da Tabela 3, visto que se obteve uma CCA com mesmas características utilizando-se um procedimento mais rápido e econômico. A pequena variação da perda de massa se deve ao fato de a queima ser mais lenta para a taxa de aquecimento de 1 °C/min.

Com o procedimento ótimo determinado, todas as amostras de casca de arroz foram calcinadas e posteriormente moídas para a realização dos ensaios de análise química por absorção de massa atômica e Difração de Raio-X. É importante ressaltar que as amostras de casca de arroz foram calcinadas sem o processo de lavagem, pois tal atividade poderia prejudicar a avaliação das influências estudadas para se alcançar o objetivo da pesquisa.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 Espectrofotômetro de Absorção Atômica

A Tabela 4 apresenta o resultado das análises químicas de todas as amostras de CCA avaliadas.

Tabela 4 - Resultado das análises químicas das CCAs

Ensaios		MS	MA	SA 50	SA 200	UR 50	UR 200	ET 200	Especificações NBR-12653
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	mín.	máx.
Análise Química (%)	Perda ao fogo	1,69	3,00	3,06	2,28	3,02	2,34	2,46	- 6
	SiO <sub>2</sub>	94,88	93,00	93,42	89,58	90,65	93,41	92,21	- -
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21	0,16	0,23	0,02	0,13	0,41	0,13	- -
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,31	0,52	0,22	0,58	0,25	0,15	0,37	- -
	CaO	0,14	0,04	0,04	0,04	0,04	1,34	0,04	- -
	MgO	0,20	0,20	0,33	0,36	0,40	0,33	0,40	- -
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	0,68	0,45	0,60	0,38	0,56	0,50	- -
	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,40	93,68	93,87	90,18	91,03	93,97	92,71	70 -
	Na <sub>2</sub> O	0,01	0,12	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	- -
	K <sub>2</sub> O	0,24	0,60	0,48	0,68	0,13	0,48	0,48	- -
	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,25	0,72	0,49	0,70	0,14	0,50	0,50	- -

Fazendo-se uma análise geral dos resultados, observa-se que todas as amostras apresentaram teor de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> acima da quantidade mínima exigida pela NBR 12653, que é de 70%, com todas as amostras situando-se acima de 90% destes constituintes, o que está de acordo com a literatura. Independentemente das variáveis envolvidas no processo, a quantidade de sílica presente na CCA mostrou-se bastante elevada.

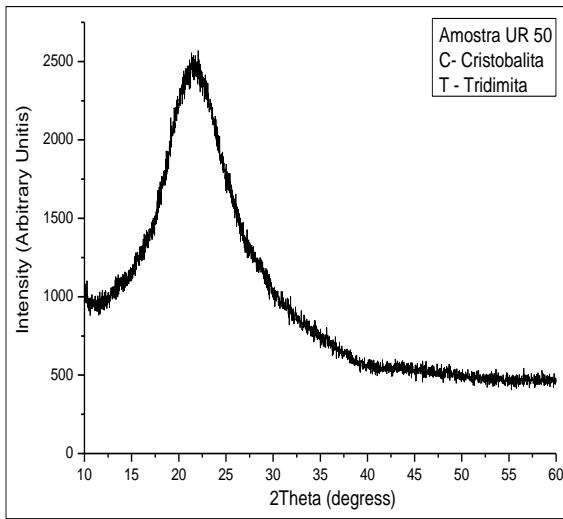
De acordo com os resultados observados nas amostras de CCAs originadas da pesquisa agronômica, nota-se que mesmo fixando as variáveis: solo, clima, cultivar e fertilizante empregado, pode haver diferença na quantidade de sílica presente na CCA. Verifica-se diferença de 3,83% de sílica nas amostras SA 50 e SA 200, podendo atribuir-se tal fato à diferença de 150 kg/ha de sulfato de amônio.

No caso da Uréia, a diferença entre as amostras UR 50 e UR 200 foi menor, de 2,76%, demonstrando que não existe uma correlação direta entre a quantidade de fertilizante e sua influência no teor de sílica da CCA. A amostra ET 200 apresentou um valor intermediário em relação às demais amostras.

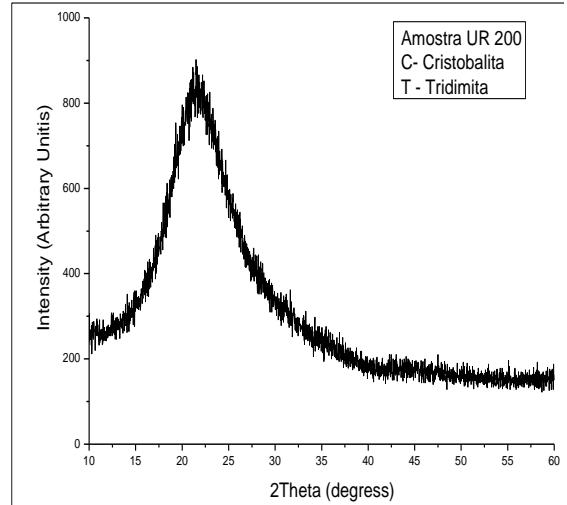
Ao comparar estas amostras originadas da pesquisa agronômica com as MS e MA, ou seja, quando todas as variáveis são diferentes, encontra-se uma variação de até 5,3% de sílica, confirmando os resultados encontrados na literatura (THENABADU, 1977 e IRRI, 1982 citado por JULIANO, 1985).

### 4.2 Difração de Raios-X

No ensaio de difração de Raio-X, constatou-se que a maioria das amostras calcinadas em mufla apresentou um estrutura amorfa de sua sílica, o que mostra que quando calcinadas em condições adequadas, mesmo CCAs com elevado teor de impurezas, podem apresentar estrutura amorfa. Verifica-se também que a variável tipo e fonte de fertilizante não afetou o teor de amorficidade das CCAs. As Figuras 1 e 2 mostram os resultados do ensaio das amostras originadas da pesquisa agronômica.



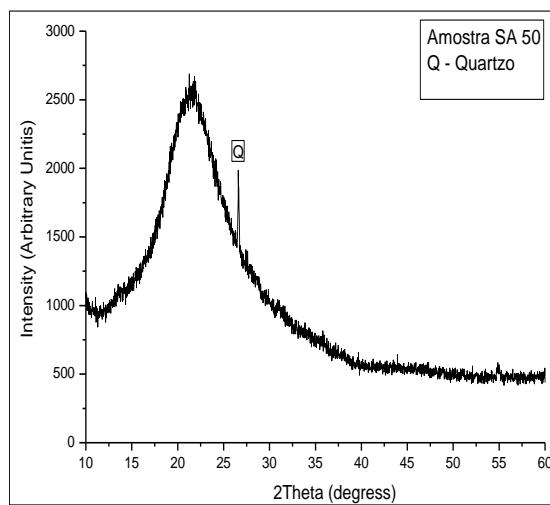
**Figura 1 - Difratograma de Raio-X da amostra UR-50**



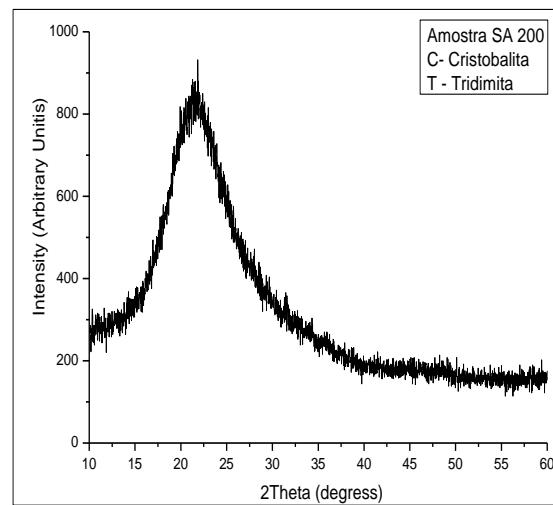
**Figura 2 - Difratograma de Raio-X da amostra UR-200**

Verifica-se nas Figuras 1 e 2, que as amostras UR 50 e 200 não apresentaram nenhum pico correspondente a material cristalino em seus resultados, e o desvio da linha base entre os ângulos de 15 e 30 graus indica a amorficidade das amostras.

As amostras SA 50 e SA 200 também descrevem trajetórias de material amorfos, como pode ser observado nas figuras 3 e 4, porém na amostra SA 50 há um pico correspondente ao quartzo. Este pico foi observado apenas nesta amostra, o que pode ser sinal de alguma impureza externa que influenciou no resultado do ensaio.

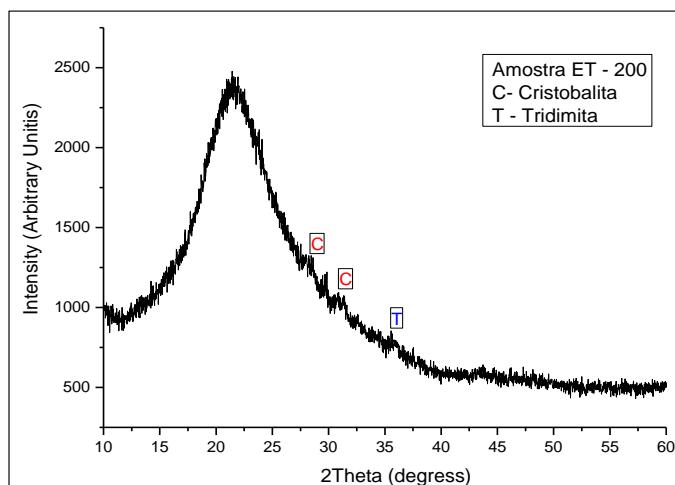


**Figura 3 - Difratograma de Raio-X da amostra SA-50**



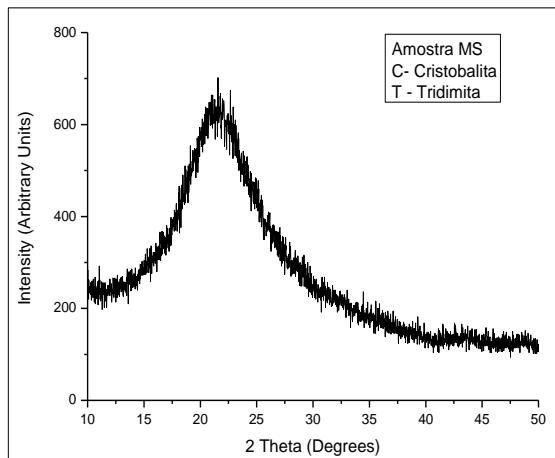
**Figura 4 - Difratograma de Raio-X da amostra SA-200**

Pequenos picos de cristobalita (C) e tridimita (T) foram encontrados na amostra ET – 200 (Figura 5), contudo, constata-se que eles não são suficientes para concluir que esta amostra, por ser proveniente de arroz adubado com o fertilizante Entec com 200 kg/ha foi responsável pela formação destes picos. Além disso, verifica-se que o desvio da linha base entre os ângulos de 15 e 30 está de acordo com o que foi observado nas demais amostras amorfas.

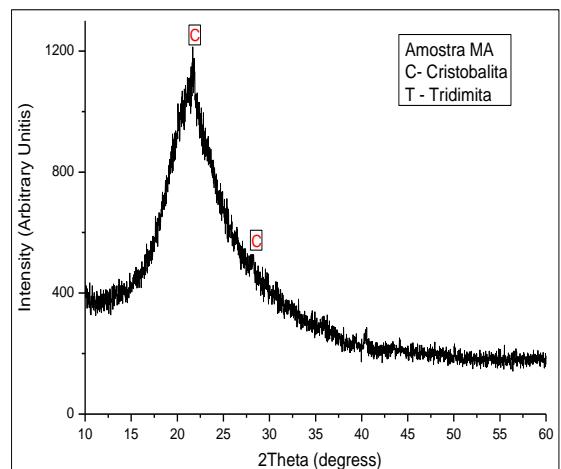


**Figura 5 - Difratograma de Raio-X da amostra ET-200**

As Figuras 6 e 7 apresentam as amostras MS e MA, queimadas em mufla. Verifica-se que ambas são amorfas. No entanto, nota-se um pico de cristobalita mais acentuado em torno dos 23° da amostra MA.



**Figura 6 - Difratograma de Raio-X da amostra MS**



**Figura 7 - Difratograma de Raio-X da amostra MA**

Analizando-se o comportamento destas amostras de CCAs, percebe-se pouca influência das variáveis: tipo de solo, clima, cultivar e tipo/quantidade de fertilizantes empregados. Isso pode ser atribuído à forma de queima, que foi ideal para a eliminação de parte das impurezas e à temperatura baixa de queima que impediu a cristalização da CCA.

Porém, foi possível concluir que todas as variáveis abordadas no plantio de arroz, exercem influência no teor de impurezas e, consequentemente, na perda ao fogo da CCA.

No que diz respeito à propriedade cristalográfica da CCA, pode-se concluir que a variável fonte/quantidade de fertilizante empregado não exerceu influência significativa. No entanto, foi constatada em uma das amostras de CCA (MA) avaliadas, uma forte tendência para cristalização da sílica em virtude do seu alto teor de impureza. A partir daí, verifica-se a importância de se fazer ensaios rotineiros de análises químicas e de Difração de Raio-X para manter o controle de qualidade das CCAs produzidas, pois em situação de produção de CCA em larga escala, podem ser utilizadas cascas de origens diferentes.

## 5 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653:** materiais pozolânicos: especificação. Rio de Janeiro, 1992. 3p.
- BARBOSA, M. M. **Utilização de resíduo de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho.** 2006. 147f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2006.
- CORDEIRO, G. C., **Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana-de-Açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto,** Rio de Janeiro, 2006. (Dissertação de Mestrado) COPPE/UFRJ, 2006.
- COUTINHO, J. S. Cinza de casca de arroz portuguesa: ensaios em laboratório. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45, 2003, Vitória. **Anais...** Vitória: IBRACON, 2003. 5p.
- DELLA, V.P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de Resíduos Agroindustriais: Cinza de Casca de Arroz como fonte Alternativa de Sílica. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, n. 2, 2005. p. 22-25.
- DELLA, V. P.; HOTZA, D.; JUNKES, J. A.; OLIVEIRA, A. P. N. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. In: **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.6, 2006. p. 1175-1179.
- HOPPE, A. E. **Carbonatação em concreto com cinza de casca de arroz sem moagem.** 2008. 147f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- HOUSTON, D. F. **Rice hulls, rice chemistry and technology.** Minnesota: American Association of Cereal Chemistry. 1972. p. 301-352.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores conjunturais: produção agrícola.** Brasília: IBGE, 2009. p. 1 Disponível na internet <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201002\\_5.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201002_5.shtm)>. Acesso em: 20 Março 2010.
- ISAIA, G., GUERRA GASTALDINI, A., 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**, América do Norte, 10, jan. 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/9473/7439>>. Acesso em: 25 Abril 2010.
- JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. G. Cinzas e aglomerantes alternativos. In: FREIRE, W. J; BERALDO, A. L. (coordenadores) **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** Campinas: Unicamp, 2003. 164p.
- JULIANO, O. B. Rice Hull and Straw. In: JULIANO, O. B. **Rice: chemistry and tecnology.** 2.ed. 1985. p. 742.
- KRISHNARAO, R. V.; SUBRAHMANYAM, J.; KUMAR, T. J. Studies on the formation of black particles in rice husk ash. **Journal of the European Ceramic. Grcat Britain**, v. 21, n 1, 2001. p. 99-104.

PAYÁ, J. et al. **Studies om crystalline rice rusk ashes and activation of their pozzolanic properties.** In WOLLEY, G. R.; GOUMANS, J. J. J. M.; WAINWRIGHT, P. J.. Waste materials in construction wascon 2000. Amsterdam: Pergamon, 2000. p.493-503. (Waste Management Series, 1).

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006. 232f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

REGO, J. H. S. **As Cinzas de casca de Arroz (CCAs) Cristalina e amorfa como adição mineral ao Cimento – Aspectos das Microestruturas das Pastas.** Tese de doutorado em estruturas e construção civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 274p, 2004.

REGO, J. H. S. **Estudo de Aglomerantes compostos por cimento portland comum (CPI) e as cinzas de CA amorfa e cristalina,** 46º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis. IBRACON, 2004.

SANTOS, S. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** 2006. 150f. Tese (Doutorado) - Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SENSALE, G. R. B. **Estudo comparativo entre as propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência e convencionais com cinza de casca de arroz.** 2000. 157f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SILVA, C. A R. **Aplicação do Conceito de Maturidade em concretos com adição da cinza de casca de arroz.** 2004. 95f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

SILVA, I. O. **Influência da cinza de casca de arroz amorfa e cristalina e da sílica ativa na reação álcali-agregado.** 2007. 125f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento portland.** Ilha Solteira, 2006. (Dissertação de Mestrado) Universidade Estadual Paulista.

TIBONE, R. **A utilização de cinza de casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** 2007. 139f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a FAPESP, a CAPES, ao LCEC – Laboratório CESP de Engenharia Civil, ao IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológica e ao Laboratório de Química da UNESP – Campus de Ilha Solteira.