



## **AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO EM PISOS INTERTRAVADOS DA SÍLICA DE CASCA DE ARROZ OBTIDA ATRAVÉS DA COMBUSTÃO EM LEITO FLUIDIZADO**

*Evaluation of the use in the interlinked floor of silica from rice husk obtained through fluidized bed combustion*

Marton, Luiz Fernando Mota (1); Oliveira, Marcelo D. (2); Marangon, Ederli (3); Rosado, Daniel (4); Padoin, Daniela Galiotto (5); Martins, Raphael (5) ;

- ( 1 ) *Engenheiro de Materiais, Responsável Técnico da RHA Solutions Engenharia Ltda.*  
(2) *Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Civil – UFSM.*  
(3) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia Elétrica – Unipampa.*  
(4) *Engenheiro Civil, Gerente de Produção na Prontomix Tecnologia de Concreto Ltda.*  
(5) *Aluna de graduação em Engenharia Civil – Unipampa.*

### **Resumo**

O desenvolvimento da sílica de casca de arroz tem avançado de forma significativa nos últimos anos através de sistemas de combustão do tipo leito fluidizado, onde as características únicas da sílica presente na casca de arroz, utilizada como combustível, são mantidas. Sua principal aplicação está relacionada ao mercado da construção civil, onde já tem seu uso vinculado a produção de concretos de alta resistência, ou para a redução das quantidades de cimento em traços de concreto permitindo a redução do custo/m<sup>3</sup>. Para a fabricação de artefatos de cimento, como blocos e piso intertravado, a sílica tem se mostrado com um promissor material que permite ganhos de resistência e impermeabilidade além da redução de custos. O presente trabalho avalia os teores ótimos de utilização da sílica de casca de arroz na produção de pisos intertravados para utilização em vias de tráfegos de veículos comerciais (fck ≥ 35MPa) e vias de tráfego especiais (fck ≥ 50MPa) de acordo com a norma NBR 9781/2013 e a absorção de acordo com a norma NBR 9778:2005.

*Palavra-Chave:* sílica de casca de arroz, pavers, coeficiente de reflexão, piso intertravado.

### **Abstract**

The development of rice husk silica has advanced significantly in the recent years through combustion systems of the type fluidized bed where the main characteristics of the silica present in rice husk, used as fuel, are maintained. Its main application is related to the civil construction, where its use is already linked to production of high-strength concrete, or to reduce the quantities of cement in concrete mixtures allowing cost reduction/m<sup>3</sup>. The manufacture of cement artifacts such as blocks and pavers, silica has been shown to be a promising material that allow gains strength and impermeability, and reduced costs. This study evaluates the use of optimum levels of rice husk silica to produce pavers for use in the process of commercial vehicle traffic (fck ≥ 35MPa) and special traffic (fck ≥ 50MPa) according to NBR 9781/2013 and absorption according to NBR 9778:2005..

*Keywords:* rice husk silica, pavers, reflection coefficient, interlinked floor.



## 1 Introdução

O crescente aumento da produção de arroz no Brasil nos últimos anos, fez com seu principal resíduo, a casca, se tornasse um grave problema ambiental pela grande quantidade de gás metano que este resíduo gera ao ser descartado diretamente na natureza (PEROZZI 2008) (MAYER et. al 2007). Segundo Mehta (2011) para cada tonelada de arroz em casca produzida são gerados cerca de 200 kg de casca in natura (20%-p da produção de arroz em casca), que quando queimadas em caldeiras ou fornalhas geram aproximadamente 40 kg de sílica. Baseado na safra 2010/2011 no RS de 7.709.079 toneladas, segundo o IRGA (2013), estima-se uma produção de 308.363 toneladas de sílica de casca de arroz. Tal quantidade justifica a realização de estudos de aplicação nas diversas áreas da construção civil, pois sendo a sílica da casca de arroz um material altamente pozolânico, quando obtido pelos parâmetros corretos, sua utilização em combinação com o cimento *Portland* permite diversos ganhos de propriedades, tais como mecânicas e de durabilidade, além de ganhos significativos de custo (COSTENARO et. al 2003).

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a utilização da sílica de casca de arroz, em escala industrial com o menor impacto possível na rotina fabril objetivando obter as características de resistência mecânica e de absorção de água segundo as normas vigentes. Adicionalmente será avaliado um comparativo de custos entre os traços sem sílica e aqueles em que houve a adição da sílica.

## 2 Materiais e métodos

Para a dosagem dos concretos utilizados na confecção dos pisos intertravado utilizou-se os seguintes materiais:

- Cimento CP II Z 32 RS;
- Sílica de Casca de arroz – Silcca Nobre;
- Areia média;
- Pó de Brita;
- Brita Basáltica 9,25/25;
- Aditivo plastificante de pega normal.

### 2.1 Caracterização dos materiais

Os resultados obtidos na caracterização dos agregados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização Agregados.

Agregado	Diâmetro Máximo	Módulo de Finura	Massa Específica (Kg/dm <sup>3</sup> )
Areia Média	2,4	2,05	2,63
Brita 0	9,5	5,89	2,65
Pó de Brita	9,5	3,68	2,58

O cimento utilizado na confecção dos blocos intertravados foi o CP II Z-32 e suas características físico-químicas são apresentadas na tabela 2 e tabela 3.

Tabela 2 – Características Químicas do Cimento Utilizado.

ENSAIO QUÍMICOS -RX -MÉTODO DE ENSAIO NBR 14656/01	NBR Nº	UNIDADE	MÉDIA	Máximo	Mínimo	ESPECIFICAÇÃO NORMA
Perda ao Fogo - PF	NM18/04	%	5,34	5,87	3,85	<ou=6,5
Óxido de Magnésio - MgO	NM14/04	%	5,87	6,05	5,65	<ou=6,5
Anidrido Sulfúrico - SO <sub>3</sub>	NM16/04	%	2,70	3,26	2,22	<ou=4,0
Anidrido Carbônico - CO <sub>2</sub>	NM20/04	%	4,37	5,00	2,92	<ou=5,0
Resíduo Insolúvel - RI	NM22/05	%	12,8	14,55	11,24	<ou= 16,0
Equivalente Alcalino em Na <sub>2</sub> O - (0,658 x K <sub>2</sub> O% + Na <sub>2</sub> O%)		%	0,74			não aplicável

Tabela 3 – Características Físicas do Cimento utilizado.

ENSAIO	NBR Nº	UNIDADE	MÉDIA	Máximo	Mínimo	ESPECIFICAÇÃO NORMA
Área Específica (Blaine)	NM76/98	m <sup>2</sup> /Kg	374	396	347	>OU=260
Massa Específica	NM23/01	g/cm <sup>3</sup>	2,96	-	-	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200)	.11579/91	%	3,1	4,20	2,30	<ou=12,0
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044mm (#325)	12826/93	%	11,3	14,40	8,60	não aplicável
Água da Pasta de Consistência Normal	NM43/02	%	26,8	27,10	26,20	não aplicável
Início de Pega	NM65/03	min	249	270	230	>ou=60minut
Fim de Pega	NM65/03	min	330	355	305	<ou=480minut
Expansibilidade de Le Chatelier - a Quente	.11582/91	mm	0,55	1,00	0,00	<ou=5,0

A sílica de casca de arroz utilizada é obtida através da combustão da casca de arroz em leito fluidizado, sendo gerado calor, vapor e energia elétrica durante o processo. Possui uma característica predominantemente amorfa, conforme visualizado no difratograma da figura 2a e um baixo teor de carbono, conferindo-lhe uma coloração próxima a do cimento, na tabela 4 é apresentada a sua composição química.

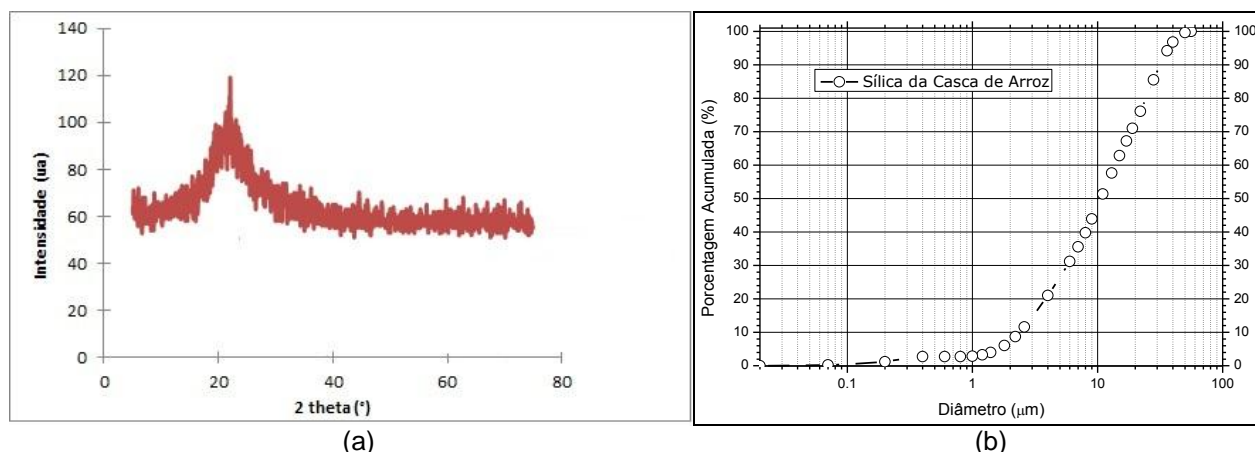


Figura 2 – (a) Difratoograma da sílica de casca de arroz; (b) Distribuição granulométrica da sílica de casca de arroz



Figura 3 – Sílica de casca de arroz.

Tabela 4 – Composição química da sílica de casca de arroz

Perda ao fogo	3,50
SiO <sub>2</sub>	91,48
CaO	0,36
MgO	0,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ND
Na <sub>2</sub> O	0,04
K <sub>2</sub> O	1,40
TiO <sub>2</sub>	0,003
MnO	0,32
SO <sub>3</sub>	0,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45

## 2.2 Métodos

Para a realização da presente pesquisa foi utilizada a metodologia de classificação indicada em normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Foram classificadas as resistências dos pisos intertravados como especifica a NBR 9781/2013, a qual especifica a resistência mínima de 35 MPa para pavimentos com tráfego de veículos comerciais e 50 MPa para vias com tráfego especial.

Foi também avaliada a absorção dos pisos Intertravados seguido os parâmetros da NBR 9778/2005.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em equipamento industrial tomando os cuidados para não se modificar o fluxo de produção fabril e não alterar os parâmetros do equipamento objetivando que a utilização da sílica no processo produtivo seja a menos impactante possível.

Foram moldados traços para a avaliação da resistência a compressão dos pisos intertravados. Para cada uma das condições de resistência moldou-se uma mistura de referência, ou seja com 100% de cimento e nos demais foi substituído 10% deste cimento por 5, 7,5 e 10% de Sílica de casca de arroz. As misturas são apresentadas na Tabela 5. Para a execução do ensaio de compressão axial, foi seguida a metodologia constante da NBR 9781/2013. Os teores de água e aditivos foram mantidos constantes em todos os traços. O valores porém são de propriedade industrial da empresa Prontomix.

Tabela 5 – Misturas analisadas.

TRAÇOS							
TAG		CIMENTO	SÍLICA DE CASCA DE ARROZ	BRITA 0	PÓ DE BRITA	AREIA MÉDIA	
35MPa	A	REF 35	200 Kg	0 Kg	200 Kg	121 Kg	700 Kg
	B	-10+5	180 Kg	10 Kg	200 Kg	121 Kg	700 Kg
	C	-10+7,5	180 Kg	15 Kg	200 Kg	121 Kg	700 Kg
	D	-10+10	180 Kg	20 Kg	200 Kg	121 Kg	700 Kg
50MPa	E	REF 50	200 Kg	0 Kg	150 Kg	73 Kg	420 Kg
	F	-10+5	180 Kg	10 Kg	150 Kg	73 Kg	420 Kg
	G	-10+7,5	180 Kg	15 Kg	150 Kg	73 Kg	420 Kg
	H	-10+10	180 Kg	20 Kg	150 Kg	73 Kg	420 Kg

Legenda: -A+B: onde A= % de cimento retirada do traço e B= % de sílica adicionada sobre o traço normal.

### 3 Resultados e Discussões

#### 3.1 Resultados e discussões da Compressão Axial.

Os resultados de resistência à compressão, desvio padrão e resistência característica são apresentados na Tabela 6. A Figura 4 mostra um gráfico com a resistência e a tendência dos valores. Para a resistência a compressão axial foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 6 e mostrados Figura 4.

Tabela 6 – Resistências à Compressão, desvio padrão e resistência à compressão característica.

TAG		Resistência Média a Compressão (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Resistência Característica (MPa)	
35MPa	A	REF 35	34,9	3,2	32,1
	B	-10+5	39,9	2,5	37,7
	C	-10+7,5	37,5	5,1	33,0
	D	-10+10	34,9	2,5	32,7
50MPa	E	REF 50	45,6	2,1	43,7
	F	-10+5	47,1	2,3	45,1
	G	-10+7,5	45,0	4,5	41,0
	H	-10+10	43,8	1,6	42,3

Figura 4 – Gráfico das Resistências a Compressão.

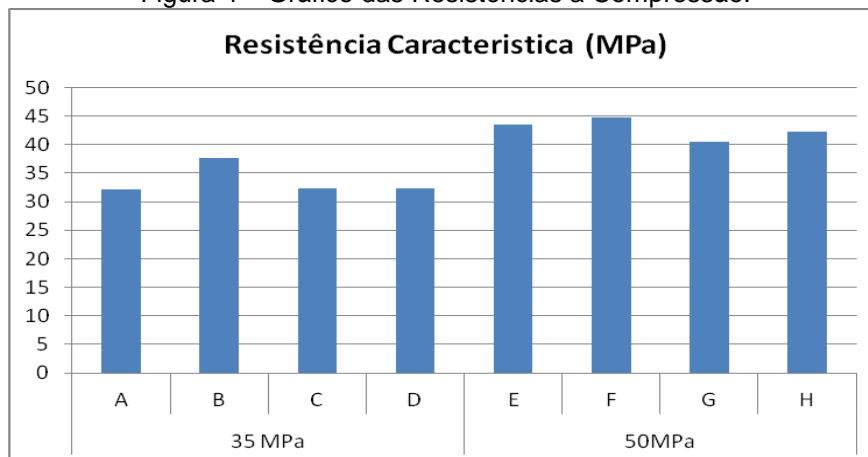


Figura 4 – Gráfico das Resistências a Compressão.

Os valores encontrados para a resistência a compressão dos pisos intertravados na idade de 28 dias, mostram que os concretos com adições obtiveram um ganho de resistência frente ao concreto referência, exceto nos concretos em que houve uma substituição de 10% em massa de cimento por 10% de sílica de casca de arroz, **explicação:** Já os traços com substituição de 10% de cimento por 5% de sílica de casca de arroz foi o que apresentou a melhor resistência a compressão nas classes estudadas, na classe de 35 MPa apresentou uma resistência 17% superior ao traço de referência e na classe de 50 MPa o ganho de resistência foi de 3%.

### 3.2 Resultados e discussões da Absorção por imersão

Foram realizados ensaios de absorção e determinação do índice de vazios para os traços da classe 35 MPa, já que estes devem apresentar uma absorção maior que os de uma resistência mais elevada. A Tabela 07 apresenta as absorções médias e o índice de vazios médios, na Figura 05 é mostrado um gráfico dos valores médios da absorção.

Tabela 7 – Absorção e índice de vazios.

TAG	Absorção de água por imersão			Índices de vazios		
	Médias (%)	Desvios Padrão	Coefficiente de Variação	Médias	Desvios Padrão	Coefficiente de Variação
A	7,10	0,44	6,23	0,14	0,0072	4,97
B	5,48	0,27	4,92	0,11	0,0049	4,19
C	5,76	0,22	3,90	0,11	0,0075	6,34
D	7,97	1,11	13,95	0,16	0,0183	11,42

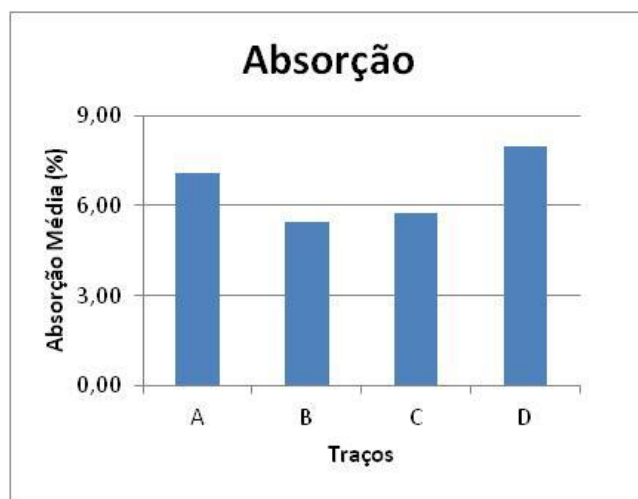


Figura 5 – Gráfico da Absorção por imersão.

De acordo com os resultados dos ensaios de absorção por imersão, é verificado que os traços com a adição da sílica de casca de arroz apresentam uma absorção menor que o traço sem adição, com exceção do traço D no qual houve uma substituição de 10% de cimento por 10% de sílica em massa, também se pôde observar uma menor absorção e por consequência um menor índice de vazios no traço B onde ocorreu uma substituição de 10% de cimento por 5% de sílica em relação à massa total do traço, onde deve ter ocorrido um melhor empacotamento entre a sílica, o cimento e os agregados. A NBR 9781/2013 especifica como limite a absorção de 6% para valores médios, critério que é atendido nos traços B e C. Também se pode observar, que apesar dos índices de vazios estarem associados ao volume total de poros acessíveis à água e não refletirem a facilidade com que a água consegue penetrar no concreto percebeu-se com o ensaio, que houve uma relação diretamente proporcional, ou seja, com o aumento dos teores de absorção nos blocos A e D, houve também um aumento nos índices de vazios e a mesma relação se percebeu nos blocos B e C onde com a redução dos índices de vazios se obteve resultados de absorção também reduzidos. Já com a análise dos resultados obtidos nos ensaios de absorção em comparativo com a resistência nos blocos D se pode, assim perceber que o teor de adição deve ser devidamente estudado, pois por serem partículas com grau de finura menor do que o do cimento, também possuem maior superfície específica necessitando de uma maior quantidade de água ou o uso de aditivos para que seja mantida a mesma trabalhabilidade do concreto. Desta maneira, comprometendo a durabilidade do concreto, fato constatado com o aumento da absorção e dos índices de vazios e a diminuição da resistência nos blocos.

### 3.3 Resultados e discussões da Comparação de custos entre os Concretos

Além do ganho ambiental por utilizarmos um resíduo industrial no concreto temos um ganho econômico nos concretos produzidos com a sílica de casca de arroz, como é mostrado nas Figuras 6 e 7.

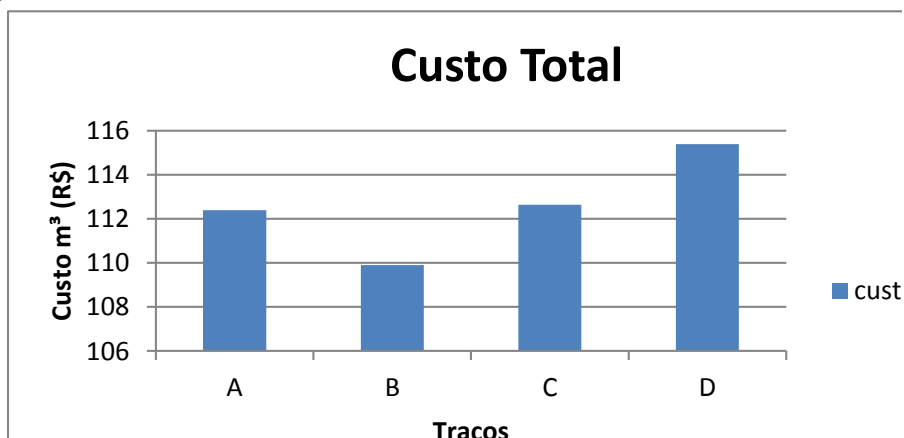


Figura 6 – Custo da Mistura/ m³.

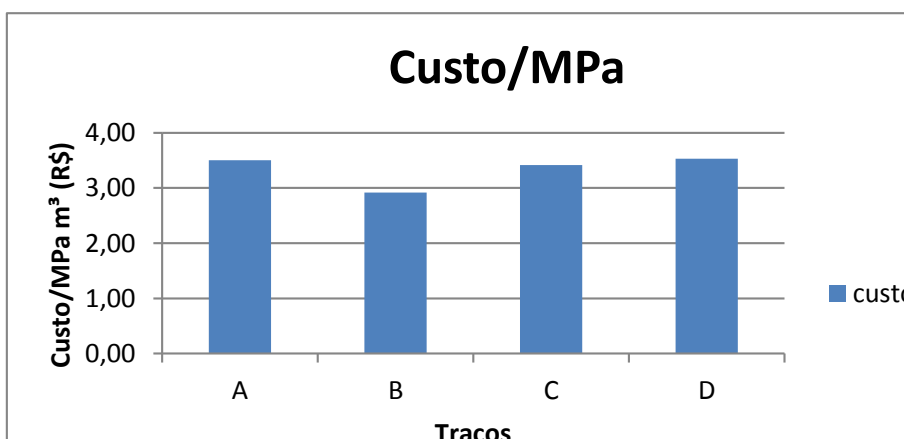


Figura 7 – Custo da Mistura/MPa

O custo total do concreto da mistura B é o mais econômico quando comparado com todos os outros, já os traços C e D obtiveram custos superiores ao traço A. Mas ao analisarmos o custo/MPa o concreto da mistura B é 16,75% mais barato que o traço de referência A, e a mistura C é 2,51% mais barata, já o concreto com a mistura D fica 0,79% mais caro que o traço de referência A.

#### 4 Conclusões

A sílica de casca de arroz demonstra bons resultados de resistência à compressão para uma substituição de até 7,5% em massa quando retiramos 10% de cimento, provavelmente ocorre um bom empacotamento nesses teores e um refinamento da estrutura dos poros.





Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2013  
Outubro / 2013



@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Ao realizarmos o ensaio de absorção por imersão é notado comportamento semelhante ao ocorrido na resistência a compressão com os traços B e C apresentando valores de absorção menores que o traço A, e ainda abaixo do limite estipulado em norma o que não ocorreu com o traço de referência A.

Ao compararmos os custos das misturas notamos que os concretos com sílica são competitivos até uma adição de 7,5% de sílica para uma retirada de 10% de cimento do traço de concreto já conhecido, esse ganho no custo pode passar de 16% se reduzirmos o percentual de adição para 5% para a mesma retirada.



## 5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio: NBR 9781**. Rio de Janeiro, 2013.

BITTENCOURT, T. N.. **Estudo experimental do fraturamento do concreto estrutural por meio de corpos de prova cilíndricos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990**. London, Thomas Telford, 1993.

COSTENARO, F. L. & LIBORIO, J. B. L. Efeito da adição de cinza e sílica da casca de arroz em concretos. In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória, 2003.

CORNELL FRACTURE GROUP. **Franc3D Menu & Dialog Reference**. Cornell University, Ithaca, 1998.

FERNANDES, C. A., et al.. Reforço de pilares de elevado do metrô de São Paulo, **41º Congresso Brasileiro do Concreto**. São Paulo, IBRACON, 1999.

MAYER, F. D.; CASTELLANELLI, C.; CREMONESE, G.; HOFFMANN, R.; OLIVEIRA, J. H. R. de. Viabilidade de geração de energia através da casca de arroz: Um estudo de caso. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. [S. 1.], 2007

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. *Concreto Estrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo: PINI, 1994.

PEROZZI, M. Brasil pode gerar 200 megawatts de energia com a casca do arroz. **Arroz Brasileiro**. Disponível em <http://www.arroz.agr.br/site/arrozemfoco/040305.php>. Acesso em 14 de abril de 2008.

SHAH, S.P.; SWARTZ, S.E.; OUYANG, C.. **Fracture mechanics of concrete - applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi-brittle materials**, New York, John Wiley & Sons, 1995.

[http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1337888742Semeadura\\_e\\_Colheita\\_do\\_Arroz\\_no\\_RS.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1337888742Semeadura_e_Colheita_do_Arroz_no_RS.pdf) acessado em 28 de maio de 2013.