

**Estudo comparativo entre quatro materiais pozolânicos para utilização  
em construções sustentáveis**

*Comparative study of four pozzolanic materials for use in sustainable construction*

*Estudio comparativo de cuatro materiales puzolánicos para su uso en la construcción  
sostenible*

**Maria Júlia Bassan de Moraes**

Mestranda, UNESP, Brasil.  
maju.bamoraes@gmail.com

**Flávio de Freitas Ferreira Filho**

Graduando, UNESP, Brasil.  
flavio.4f@hotmail.com

**Jorge Luis Akasaki**

Professor Doutor, UNESP, Brasil.  
jorge.akasaki@gmail.com

## RESUMO

As pesquisas sobre materiais alternativos para construção civil estão se tornando cada vez mais difundidas no Brasil. Várias pesquisas visam ao aproveitamento de materiais que, inicialmente, são classificados como descartáveis, mas que podem ser economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis. Com a proposta de proporcionar novas alternativas de materiais para a construção civil, esta pesquisa fez um estudo da substituição de cimento por cinza do bagaço de cana de açúcar (CBC), cinza da casca de arroz (CCA), Metacaulim (MK) e sílica ativa (SA) na construção civil. As substituições foram feitas em uma proporção de 5, 10, 15, 20, 25 e 30% para o CBC, CCA e Metacaulim e 5, 10 e 15% para a sílica ativa em relação à massa do cimento Portland. Esses traços foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão aos 3, 7, 28 e 90 dias de cura e ao ensaio de absorção de água por capilaridade e imersão aos 28 dias de cura, segundo as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Para uma melhor análise e comparação de resultados, foi feito uma amostra de controle, no qual não houve nenhuma substituição. Nas primeiras idades, poucos traços apresentaram resistência acima do referencial, porém com 90 dias, seis traços passaram o traço referencial. Todos os traços com adição apresentaram menos absorção por imersão e capilaridade em todas as medições. Sustentavelmente, o uso de todas as adições desse estudo é viável.

**Palavras-chave:** Construção civil. Materiais Sustentáveis. Substituição. Cimento Portland.

## ABSTRACT

Researches on alternative materials for construction are becoming increasingly widespread in Brazil. Several studies aim to use materials which initially are classified as disposable but can be economically viable and environmentally sustainable. With the proposal to provide new alternative materials for construction, this research studied the replacement of cement by sugar cane bagasse ash (SCBA), rice husk ash (RHA), Metakaolin (MK) and silica fume (SA) in civil construction. The substitutions were made at a ratio of 5, 10, 15, 20, 25 and 30% for SCBA, RHA and Metakaolin and 5, 10 and 15% for silica fume in relation to the mass of Portland cement. These mix proportions were submitted to compressive strength tests at 3, 7, 28 and 90 cured days, and water absorption by capillarity and immersion at 28 cured days, in accordance with current standards of the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). For a better analysis, it was made a mix of control, in which there was no replacement. In the early ages, few mixes showed resistance above the reference, but with 90 days, six mixes passed the mark. All mixes with addition had less absorption by immersion and capillarity in all measurements. Sustainably, the use of all additions of this study is viable.

**Key-Words:** Civil construction. Sustainable Materials. Replacement. Portland cement.

## RESUMEN

Las investigaciones sobre materiales alternativos para la construcción son cada vez más extendida en Brasil. Varios estudios apuntan a utilizar materiales que inicialmente se clasifican como desechables, pero puede ser económicamente viable y ambientalmente sostenible. Con la propuesta de ofrecer nuevos materiales alternativos para la construcción, esta investigación estudió la sustitución de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA), cáscara de arroz ceniza (RHA), metacaolín (MK) y el humo de sílice (SA) en la construcción civil. Las sustituciones se hicieron en una proporción de 5, 10, 15, 20, 25 y 30% para SCBA, RHA y metacaolín y 5, 10 y 15% para el humo de sílice en relación con la masa de cemento Portland. Estas proporciones de la mezcla fueron sometidos a resistencia a la compresión tests a 3, 7, 28 y 90 días curados, y la absorción de agua por capilaridad y la inmersión a los 28 días de curado, de conformidad con las normas vigentes de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT). Para un mejor análisis, se hizo una mezcla de control, en el que no había reemplazo. En los primeros tiempos, algunas mezclas mostraron resistencia por encima de la referencia, pero con 90 días, seis mezclas superado la marca. Todas las mezclas con adición tenían una menor absorción por inmersión y capilaridad en todas las mediciones. Sostenible, el uso de todas las adiciones de este estudio es viable.

**PALABRAS CLAVE:** Construcción civil. Materiales sostenibles. Reemplazo. Cemento Portland.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas pôde ser observado a preocupação mundial com o meio-ambiente, gerando acordos entre vários países para se buscar a sustentabilidade. Isso se refletiu na construção civil e várias pesquisas foram desenvolvidas para se diminuir o impacto dessa área. Nesse contexto, o estudo dos materiais pozolânicos se tornou cada vez mais difundido, uma vez que são materiais, em sua maioria, de origem industrial ou agroindustrial, sendo descartados de forma incorreta. Além disso, agem física e quimicamente nas matrizes cimentantes, melhorando suas propriedades em relação à durabilidade e resistência mecânica. Nessa pesquisa foram comparados quatro materiais pozolânicos de diferentes origens: a cinza do bagaço de cana de açúcar (CBC), cinza da casca de arroz (CCA), metacaulim (MK) e a sílica ativa (SA), sendo que somente o CBC não é comercial. Esses materiais foram comparados entre si e à uma dosagem sem nenhuma adição mineral, em relação à resistência mecânica e absorção de água.

Hoje, segundo dados do Ministério da Agricultura, o Brasil é o maior produtor de cana – de - açúcar do mundo, sendo responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo. Além disso, o Brasil também é o maior produtor de açúcar e etanol. Mas para a produção dos mesmos é necessária a moagem da cana – de - açúcar para a extração do caldo. O bagaço é o resíduo sólido deste processo, cuja composição química varia com a espécie de cana cultivada, assim como os tipos de fertilizantes, herbicida e fatores ambientais presentes em cada cultivo (CORDEIRO, 2006).

O bagaço já é utilizado de diversas formas, como na alimentação animal (RIPOLI; RIPOLI, 2004) e associado à palha da cana – de - açúcar na cogeração de energia elétrica (FIESP/CIESP, 2001; PINTO, 1999; RIPOLI; RIPOLI, 2004). Porém, depois que é queimado se torna um resíduo, o qual muitas vezes não tem uma finalidade adequada.

Entretanto pesquisas mostram que a cinza de bagaço de cana – de - açúcar (CBC) tem um grande potencial para ser usado como substituição de cimento na construção civil. Um estudo feito por Cordeiro, Fairbairn e Rego (2009) mostrou que a cinza de bagaço de cana – de - açúcar apresenta grande atividade pozolânica devido à grande quantidade de sílica amorfa, à elevada superfície específica e ao reduzido tamanho.

O arroz é um dos cereais mais consumidos do mundo. Segundo Beagle (1974), a casca de arroz é encontrada em mais de 60 países produtores de arroz, representando entre 14 e 35% do total do produto colhido, dependendo do cultivar. Essa casca é utilizada na própria indústria como fonte de energia, devido ao seu alto poder calorífico. Quando queimadas, essas cascas formam cinzas de casca de arroz (CCA) que muitas vezes são classificadas como descartáveis.

Tashima et al. (2011) faz uma revisão das pesquisas desenvolvidas sobre a cinza de casca de arroz, comprovando que há um amplo campo de estudo para a CCA e que essa pode melhorar os materiais da construção civil tanto na resistência à compressão quanto na durabilidade. Kawabata, Savastano Junior e Sousa-Coutinho (2012) se referiram à CCA como um material

que contribui para a construção sustentável, uma vez que apresentou bons resultados em relação ao envelhecimento acelerado e às propriedades mecânicas, principalmente em relação à resistência inicial na fabricação de concreto leve com 10% de substituição de cimento por CCA.

O Metacaulim é uma adição mineral alumino-silicosa proveniente da calcinação de argilas caulínicas ou de argilas especiais como o caulim de alta pureza (CARMO; PORTELLA; VALDUGA, 2007). De acordo com Medina (2011), a interação física entre o Metacaulim e o cimento Portland confere propriedades especiais relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico no estado endurecido. Badogiannis et al. (2015) observou que a substituição de cimento por Metacaulim diminuiu a absorção de água por capilaridade, de gás e cloreto no concreto auto adensável.

A sílica ativa é um produto resultante da indústria de liga de ferro-silício e da produção de silício metálico. Durante a produção dos mesmos, é formado o monóxido de silício (SiO), o qual escapa para a parte superior do forno onde oxida com o ar, formando o dióxido de silício, que quando condensado se torna a sílica ativa. Muitas vezes a sílica ativa é lançada no meio ambiente junto com o gás carbônico, se tornando fonte de poluição. (VIEIRA, 2003).

Sanjuán et al. (2015) observou que a sílica ativa com elevada finura é um material pozolânico sustentável para ser usado. Sua adição causa efeitos físicos e químicos, gerando melhoras na macroestrutura de argamassas e concretos como aumento de resistência e menor permeabilidade.

## 2. OBJETIVOS

Este estudo se propôs à análise da cinza de bagaço de cana (CBC), da sílica da cinza de casca de arroz (CCA), do Metacaulim (MK) e da sílica ativa (SA) como potenciais adições em matrizes cimentícias.

Foram comparados quanto à resistência mecânica a compressão em relação a um traço sem adição e entre os compósitos com adições minerais comerciais (CCA, Metacaulim e SA) e não comerciais (CBC). Também foram comparados quanto a sua impermeabilidade, através do ensaio de absorção por capilaridade e imersão.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Materiais

Nessa pesquisa foram utilizados:

- cimento Portland CP V ARI - Plus;
- areia média;
- água de abastecimento público;

- metacaulim HP Ultra (MK);
- sílica ativa (SA);
- cinza do bagaço de cana (CBC).
- cinza da casca do arroz (CCA)

### 3.2 Dosagem

Para uma melhor visualização da dosagem, os traços foram organizados em tabelas. A referência apresentada é o traço que não possui nenhuma adição (Tabela 1) e os outros são os traços daqueles que possuem adições (Tabelas 1 e 2).

A porcentagem indicada na tabela de cada traço significa o quanto foi substituído da massa do cimento por resíduo, tanto para o CBC, CCA, MK e SA.

Tabela 1 - Dosagem da argamassa – Traço Referência, 5 e 10% de substituição da massa

Materiais (g)	Traço		
	Referência	5%	10%
Adição	0	65	130
Cimento	1300	1235	1170
Areia	3250	3250	3250
Água	650	650	650
a/c	0,5	0,5	0,5

Fonte: Próprio autor

Tabela 2 - Dosagem da argamassa – Traços de 15, 20, 25 e 30% de substituição da massa

Materiais (g)	Traço			
	15%	20%	25%	30%
Adição	195	260	325	390
Cimento	1105	1040	975	910
Areia	3250	3250	3250	3250
Água	650	650	650	650
a/c	0,5	0,5	0,5	0,5

Fonte: Próprio autor

### 3.3 Mistura

A mistura se deu da seguinte forma: Foi adicionado água e aglomerante e a argamassadeira foi ligada na velocidade 1 (124 rpm) por 30 segundos, depois a mistura foi homogeneizada manualmente. A argamassadeira ficou por 30 segundos na velocidade 1 e depois dos 30 segundos a velocidade foi mudada para a velocidade 2 (220 rpm). Adicionou-se a areia gradualmente à mistura na mesma velocidade por 7 minutos e o processo foi finalizado.

### **3.4 Adensamento**

O adensamento da argamassa foi feito por meio de mesa vibratória, por aproximadamente 60 segundos.

### **3.5 Determinação da absorção de água por capilaridade**

Para a determinação da absorção de água pela capilaridade foi utilizado o método prescrito pela norma NBR 9779/2012. 4.4.6

### **3.6 Determinação da absorção de água por imersão**

Para a determinação da absorção de água por imersão foi utilizado o método prescrito pela norma NBR 9778/2005. 26 4.4.7

### **3.7 Ensaio de resistência à compressão**

Os ensaios foram realizados em cinco corpos de prova nas idades de 3, 7, 28 e 90 dias, tomando-se como resistência final a média aritmética dos mesmos, porém com tratamento estatístico, de acordo com a NBR 7215.

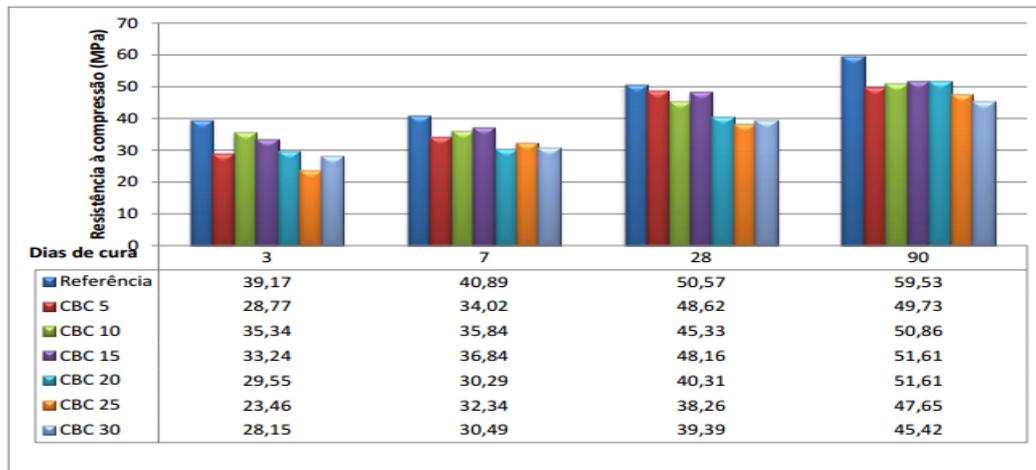
## **4. RESULTADOS**

Os resultados estão apresentados nas Figuras de 1 a 12, na legenda está demonstrada a adição e a taxa de porcentagem em relação à massa de cimento. Por exemplo, CBC 5, indica que nesse traço foi substituído 5% da massa de cimento Portland por CBC.

### **4.1 Resistência à compressão a 3, 7, 28 e 90 dias**

Os resultados foram organizados nas Figuras 1, 2, 3 e 4, contendo a tensão (MPa) x idade (Dias) de acordo com a dosagem de cada traço. Os dados foram tratados estatisticamente, de acordo com a NBR 7215.

Figura 1 – Variação de resistência à compressão da CBC (MPa x idade em dias).



Fonte: Próprio autor

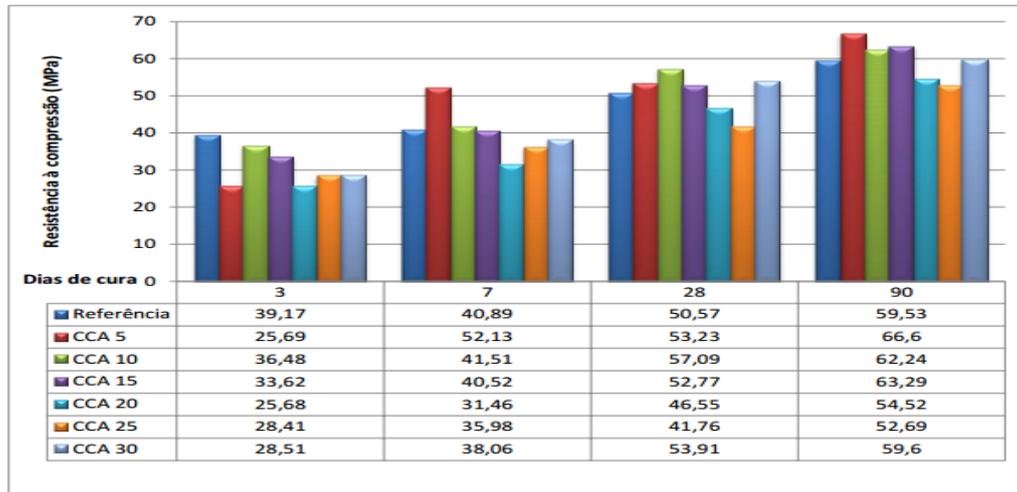
O CBC apresentou resistência menor que o traço referência em todas as idades. Pereira (2014) também obteve em seus resultados todos os traços com adição de CBC menores que o traço referência.

A partir da Figura 2 é possível observar que nas primeiras idades, apenas o traço com 5% de adição mineral de CCA superou o traço referência, porém a partir dos 28 dias, apenas os traços com 20 e 25% ficaram abaixo.

Pouey (2006) também constatou que em menores idades o traço referência apresenta resistências superiores, porém conforme o aumento da idade, o traço com adição de CCA apresenta uma melhora.

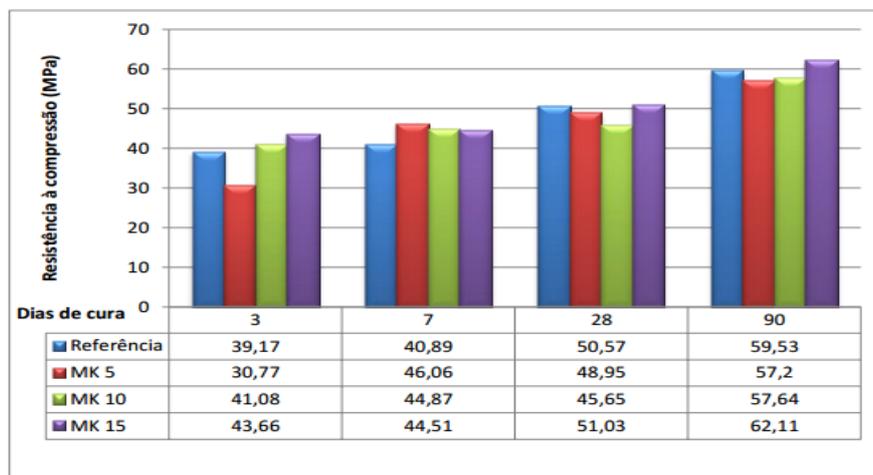
Os traços de Metacaulim com adições acima de 15% produziram matrizes cimentícias muito secas, o que dificultou o adensamento, criando corpos de provas irregulares que resultavam em vários erros nos resultados, esses traços foram refeitos, mas como ainda apresentavam irregularidades devido ao difícil adensamento, os erros persistiram tais como: diminuição da resistência em algumas idades, inconsistência nos resultados e não se encaixavam no tratamento estatístico da NBR 7215. Os traços com maiores porcentagens de adição eram tão secos que os corpos de prova tinham rachaduras devido ao mau adensamento e não puderam ser submetidos ao ensaio de resistência.

Figura 2 – Variação de resistência à compressão da CCA (MPa x idade em dias).



Fonte: Próprio autor

Figura 3 – Variação de resistência à compressão do MK (MPa x idade em dias).



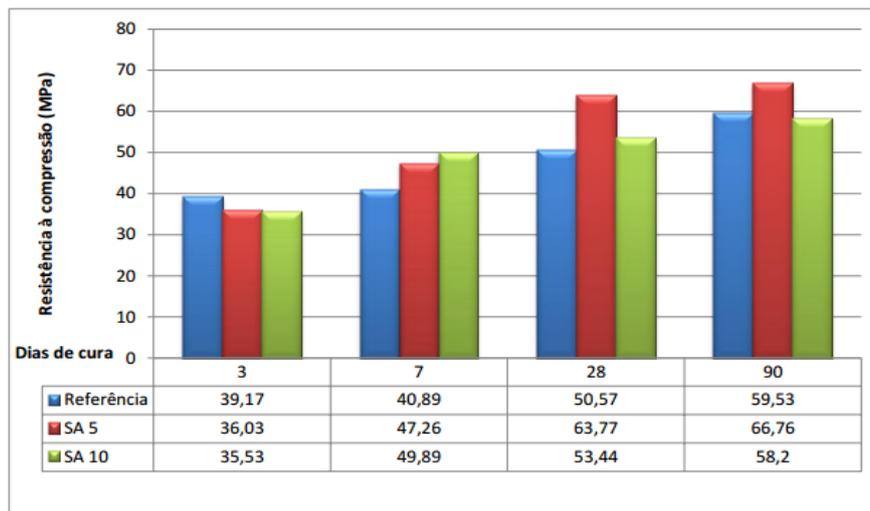
Fonte: Próprio autor

As amostras de metacaulim superam o referência nas primeiras idades, porém a partir dos 28 dias somente o de 15% apresenta uma melhor resistência.

Kadri et. al (2011) constatou o contrário, que o metacaulim ultrapassava o traço referência depois dos 7 dias.

Os traços de sílica ativa acima de 10% também produziram matrizes cimentícias muito secas, o que dificultou o adensamento, criando corpos de provas irregulares que, mesmo refeitos, continuaram apresentando os erros citados acima do metacaulim.

Figura 4 – Variação de resistência à compressão da SA (MPa x idade em dias).



Fonte: Próprio autor

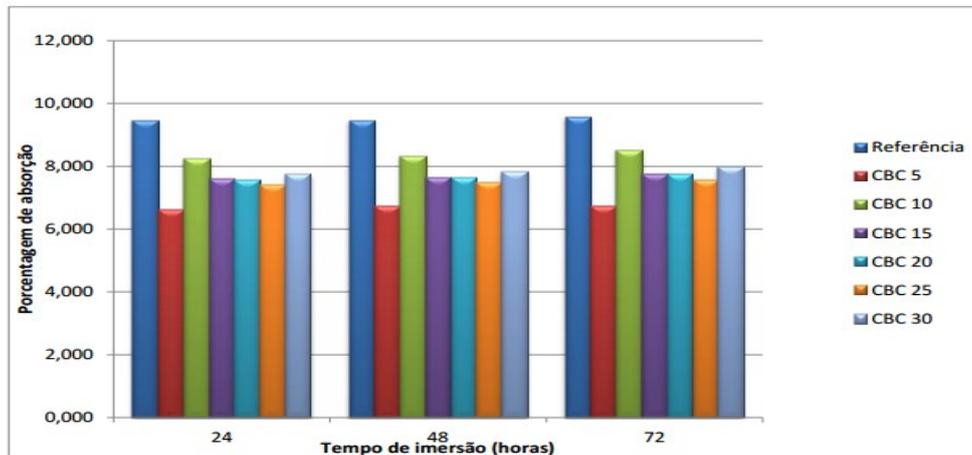
A partir dos sete dias, todos os traços superam o referencial. Ao contrário do metacaulim, para sílica ativa é constatado na literatura (SEZER, 2012) que a sílica ativa só ultrapassa o traço referencial a partir dos 90 dias.

#### 4.2 Resultados absorção de água por imersão

Esse ensaio foi realizado nos corpos de prova com idade de 28 dias, as medições foram feitas 24, 48 e 72 horas a partir do início do ensaio. Os resultados foram tratados seguindo as recomendações da norma NBR 9778/2005. As Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam a porcentagem de absorção de cada traço em relação à hora da medição.

A Figura 5 mostra que todos os traços com adições apresentaram menor absorção que o referencial. O traço que apresentou menor porcentagem foi o CBC 5.

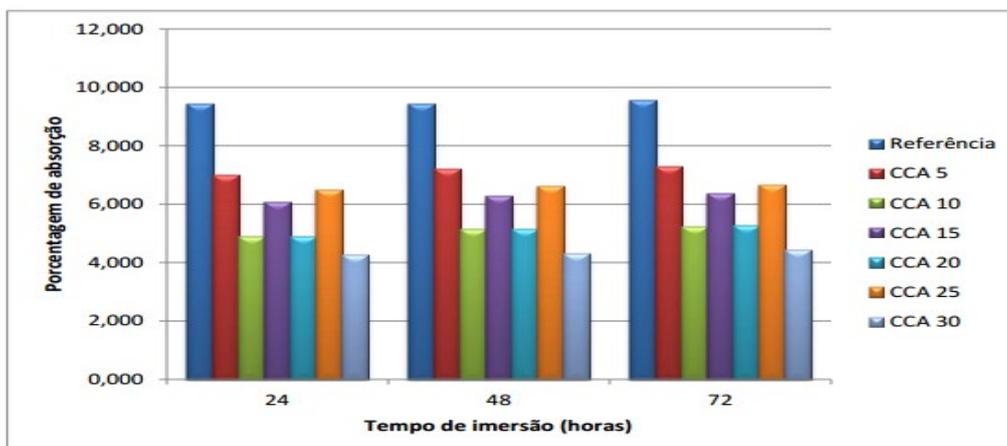
Figura 5 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão da CBC



Fonte: Próprio autor

Através da Figura 6 é possível se observar que, assim como o CBC, todos os traços com adição possuem menor porcentagem de absorção do que o referência. O traço que apresentou melhor desempenho foi o CCA 30.

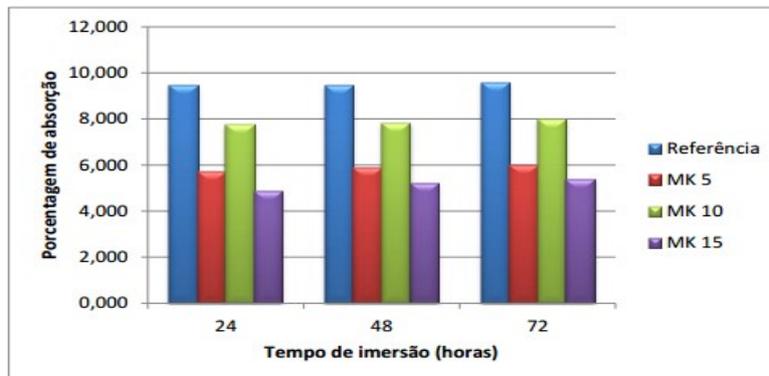
Figura 6 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão da CCA



Fonte: Próprio autor

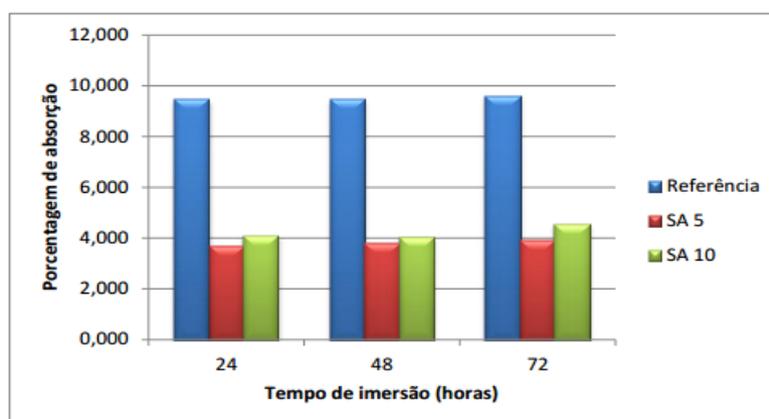
A Figura 7 mostra que todos os traços com adição apresentaram menor absorção que o referência para o metacaulim também, o que apresentou a menor absorção foi o traço com 15% de adição.

Figura 7 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão do MK



Fonte: Próprio autor

Figura 8 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão da SA



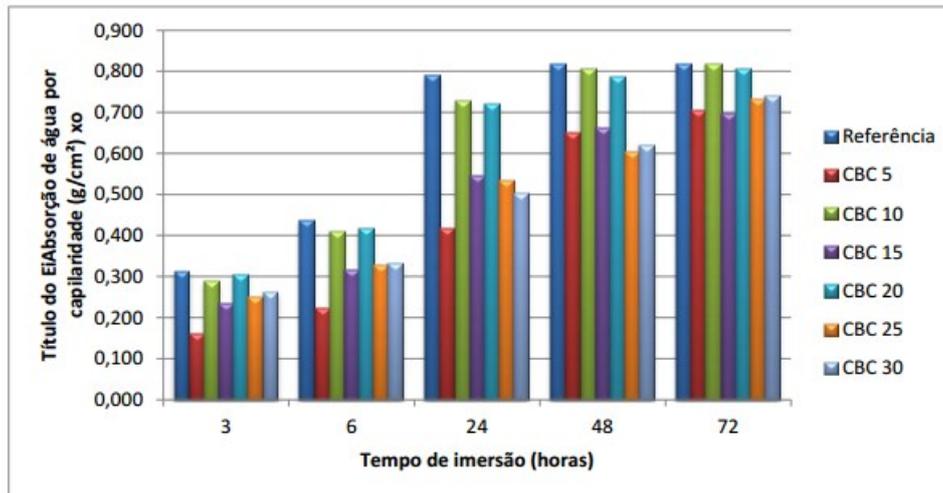
Fonte: Próprio autor

O traço SA 5 foi o que apresentou a menor porcentagem de absorção entre todos os traços estudados.

#### 4.3 Resultados absorção de água por capilaridade

Esse ensaio foi realizado nos corpos de prova com idade de 28 dias, as medições foram feitas 3, 6, 24, 48 e 72 horas a partir do início do ensaio. Os resultados foram tratados seguindo as recomendações da norma NBR 9779/2012. As Figuras 9, 10, 11 e 12 apresentam a absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) em relação à hora da medição.

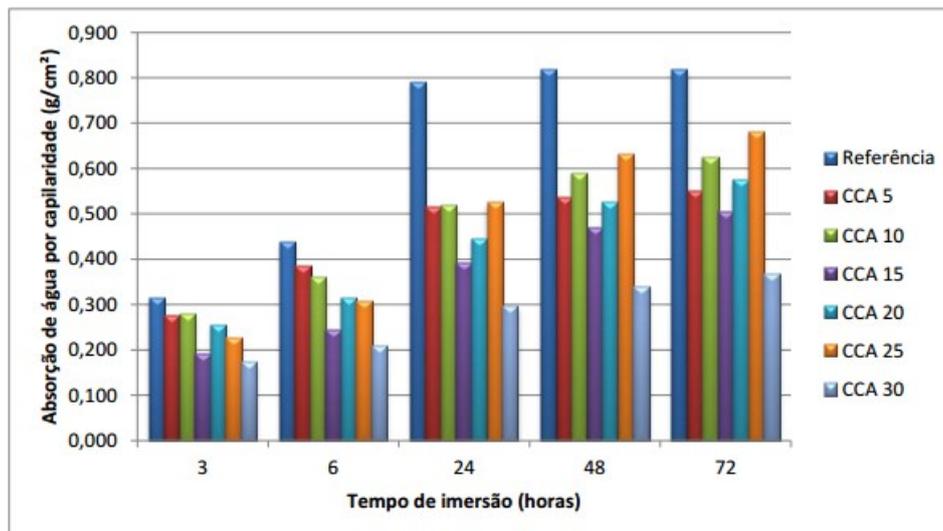
Figura 9 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade da CBC



Fonte: Próprio autor

Alguns traços ficam bem próximos ao referência (CBC 10 e CBC 20), porém todos possuem menor absorção que o traço sem adição. O traço que apresentou os menores índices de absorção foi o CBC 5.

Figura 10 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade da CCA

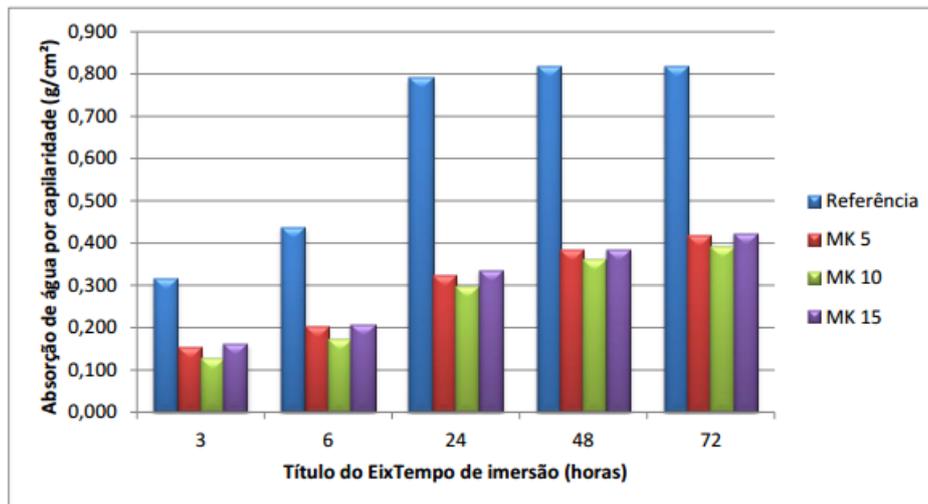


Fonte: Próprio autor

Todos os traços apresentaram menos absorção que o referência, assim como na absorção por imersão, o traço que obteve o melhor desempenho foi o com 30% de adição, seguido pelo CCA 15.



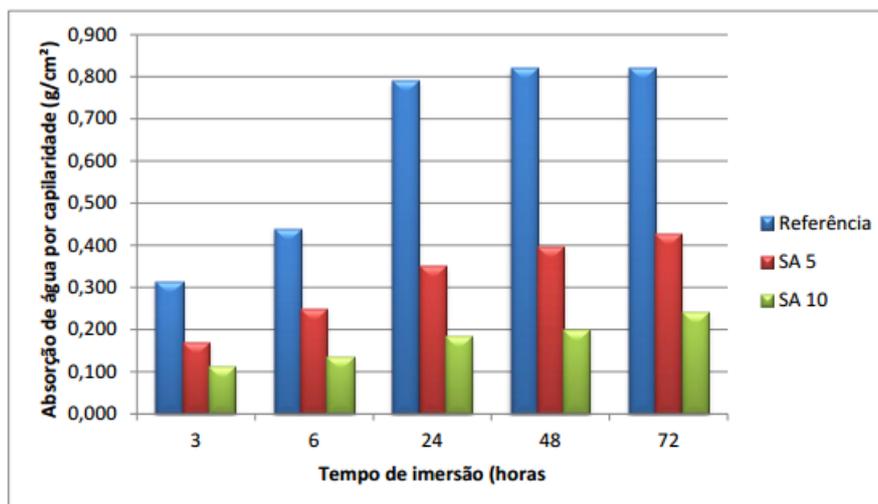
Figura 11 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade do MK



Fonte: Próprio autor

Para a absorção por capilaridade, o traço que obteve o pior resultado por imersão (MK 10), agora obteve o melhor resultado

Figura 12 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade da SA



Fonte: Próprio autor

O gráfico de Sílica Ativa também apresentou uma configuração invertida do que apresentou nos resultados de absorção por imersão, obtendo uma relação de quanto maior a porcentagem de adição, menor a absorção por capilaridade, sendo o traço que apresentou os melhores resultados foi o SA 10.

## 5. CONCLUSÃO

- Pode-se concluir que houve um aumento de resistência conforme o aumento da idade para todos os traços.
- Entre os traços com substituição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar, o que apresentou o melhor resultado foi o com 15% de adição.
- Na idade de 28 dias, os traços com adições não comerciais, o de cinza do bagaço de cana-de-açúcar, apresentaram resultados na faixa de 38 a 49 MPa, um pouco abaixo comparado com as outras adições.
- Os traços com adições de CBC apresentaram resultados abaixo do traço referência em todas as idades.
- Na idade de três dias os traços com adição de 10 e 15% de metacaulim apresentaram uma resistência maior que o traço referência
- Na idade de sete dias os traços com adição de cinco, 10 e 15% de cinza de casca de arroz (CCA), cinco, 10 e 15% de metacaulim e 5 e 10% de Sílica Ativa apresentaram resistência superior ao do traço referência.
- Na idade de 28 dias, os traços CCA 5, 10, 15 e 30; MK 15 e SA 5 e 10 obtiveram resistências superiores ao traço referência.
- Traços com adições acima de 15% de metacaulim e 10% de Sílica Ativa não são recomendados sem o uso de aditivo ou maior quantidade de água.
- Todos os traços apresentaram menor absorção por capilaridade que o traço referência.
- No ensaio de absorção por imersão, todos os traços com adição apresentaram uma porcentagem de absorção menor que o traço referência.
- Sustentavelmente, é viável o uso de todas as adições apresentadas.

## 6. AGRADECIMENTO

Agradeço a FAPESP pelo financiamento da pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 8 p. Versão corrigida.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: argamassas e concretos endurecidos - determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: argamassas e concretos endurecidos - determinação de absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 3 p.

BADOGIANNIS, E. G et al. Durability of metakaolin self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, v. 82, p.133-141, mar/2015.

BEAGLE, E. C. Basic and applied research needs for optimizing utilization of rice husk. International conference proceeding on the rice husk by-products utilization, Valencia, v.1, n. 2, 1974. p. 43

BRASIL. Ministério da Agricultura. Cana-de-açúcar. Disponível em: . Acesso em: 23 out. 2013.

CARMO, J. B. M.; PORTELLA, K. F.; VALDUGA, L. Análise comparativa de concretos compostos com sílica ativa e metacaulim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007.

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: [s.n.], 2006. 445f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, G. C.; FAIRBAIRN, R. D. T. F. e REGO, E. de M. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. **Quim. Nova**, v. 32, n. 1, p.82-86, 20 jan. 2009.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO/CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Ampliação da oferta de energia através da biomassa (bagaço da cana-de-açúcar). São Paulo: FIESP/CIESP, 2001. 90 p.

KADRI, E.-h. et al. Influence of metakaolin and silica fume on the heat of hydration and compressive strength development of mortar. **Applied Clay Science**, v. 53, n. 4, p.704-708, out. 2011.

KAWABATA, C. Y.; SAVASTANO JUNIOR, H.; SOUSA-COUTINHO, J. Rice husk derived waste materials as partial cement replacement in lightweight concrete. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 36, n. 5, p.567-578, jul. 2012.

MEDINA, E. A. Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binários com cimento Portland e hidróxido de cálcio. São Paulo: [s.n.], 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PEREIRA, A. M. Análise da viabilidade da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como aglomerante para a produção de matrizes cimentantes. Ilha Solteira: [s.n.], 2014. 207 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2014.

PINTO, C. P. Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável. Campinas: [s.n.], 1999. 147 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

POUEY, M. T. F. Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico. Porto Alegre: [s.n.], 2006. 320 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2004. 302 p. 44

SANJUÁN, M. A. Effect of silica fume finness on the improvement of Portland cement strength performance. **Construction and Building Materials**, v. 96, p.55-64, agost/2015.

SEZER, G. I. Compressive strength and sulfate resistance of limestone and/or silica fume mortars. **Construction And Building Materials**, v. 26, n. 1, p.613-618, jan. 2012.

TASHIMA, M. M. et al. Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil. **Holos Environment**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p.81, 2011.

VIEIRA, F. M. P. Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concreto com adição de sílica ativa. Porto Alegre: [s.n.], 2003. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.