

## UTILIZAÇÃO DA SÍLICA DA CASCA DE ARROZ E CINZA VOLANTE EM MISTURAS TERNÁRIAS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO USINADO EM CENTRAL.

*Use Of Silica From Rice Husk And Fly Ash In Ternary Mixtures In Ready Mixed Concrete Production.*

Collatto, Décio (1); Fontanive, Airton (2); Presotto, Fábio (3); Rorato, Mateus M. (4); Viecili, Fábio A. (5); Guindani, Eduardo (6).

- 1) Eng. Civil, Mestre em Eng. Materiais, Professor do Curso de Engenharia Civil da ULBRA - RS e Coordenador Técnico da Concretus Ltda.  
(2) Eng. Civil, Gerente Técnico da empresa Concretus Britagem Ltda.  
(3) Eng. Civil da empresa Concretus Britagem Ltda.  
(4) Eng. Civil, Assistente Técnico Comercial da Logustec Ltda.  
(5) Eng. Civil, Mestre em Eng. Civil, Assistente Técnico Comercial da Logustec Ltda.  
(6) Laboratorista da empresa Concretus Britagem Ltda.  
Rua Ângelo Dourado, 345 - Bairro Anchieta - Porto Alegre/RS. CEP 90200-060. Tel.:51- 3371-2267. e-mail:decio.collatto@gmail.com

### Resumo

O consumo de concreto na construção civil tem aumentado significativamente nos últimos anos, causando a falta da continuidade no fornecimento de matérias-primas como a areia, brita e principalmente cimento. Este aumento de demanda provoca além da interrupção do fornecimento destes insumos, um aumento de preço, muitas vezes impostos pelos fornecedores devido ao aquecimento do mercado da construção, sendo o mais representativo o impacto no custo do cimento. As centrais de concreto na maioria das vezes são as mais prejudicadas pela falta e aumento de preço dos materiais constituintes do concreto devido ao grande consumo destes insumos. Associado a isso, temos a disponibilidade de uso de algumas adições que contribuem para melhorar as características de resistência e durabilidade do concreto, como as cinzas volantes e sílica de casca de arroz presentes no Rio Grande do Sul. Dentro deste enfoque e buscando alternativas consistentes e viáveis, principalmente quanto ao impacto no consumo de cimento que representa aproximadamente 70% do custo de cada 1 m<sup>3</sup> produzido, desenvolveu-se estudos de dosagens conciliando sílica de casca de arroz, cinza volante e cimento em misturas binárias e ternárias. O presente trabalho demonstrou que o melhor desempenho dos traços foi da curva binária SCA e quanto ao custo às curvas binária CV e ternária CV/SCA obtiveram o melhor resultado. Na mistura ternária pode-se concluir também, que há compatibilidade entre as duas adições e esta compatibilidade favoreceu um crescimento de resistência entre as idades de 7 para 28 dias e 28 para 63 dias maior que as duas outras curvas e também que a curva ternária CV/SCA foi a que apresentou o menor consumo de cimento/m<sup>3</sup> o que pode representar um ganho de produção para uma quantidade limitada do insumo. O próximo passo será desenvolver testes industriais para comprovar estes mesmos ganhos demonstrados no laboratório.

*Palavra-Chave: Concreto, dosagem de concreto, sílica de casca de arroz, adição mineral.*

### Abstract

The use of concrete in construction has increased significantly in recent years, often creating problems with the supply of raw materials such as sand, gravel and especially cement. In addition to the interruption in the aggregates and cement supply, the price of these raw materials increases, often forced by suppliers due to higher demand in the construction market. Often the ready mixed concrete plants are the most affected by the shortage in raw materials supply and price increase of these concrete constituent due to the large consumption of these materials, in order to minimize such impacts in production cost and material supply it is imperative to seek for new alternatives. Within this approach and seeking consistent and viable alternatives, especially considering that the impact of the cement consumption represents approximately 70% of the production cost for every cubic meter of concrete, studies combining rice husk silica, fly ash and ternary cement mixtures were developed. This paper presents the data from these studies that were performed in laboratory where the technical and economic viability of the use of these ternary mixtures was verified. The next step consisted in developing industrial tests to confirm these gains observed in laboratory.

*Keywords: Concrete, concrete mix design, silica from rice husk, supplementary cementitious material.*

## 1 Introdução

A pesquisa por materiais alternativos que possibilitem melhorias nas características dos concretos vem sendo estudados há muitos anos. Muitos destes materiais desenvolvidos surgiram primeiramente de uma necessidade de diminuir a disposição de rejeitos no meio ambiente que causavam um grande impacto ambiental, entre os quais, a escória de alto forno, a sílica ativa, a cinza volante, a cinza de casca de arroz, entre outras.

No desenvolvimento destas novas alternativas descobriu-se que além de ajudar o meio ambiente surgiram materiais altamente reativos que melhoravam consideravelmente as propriedades dos concretos, propiciando também uma economia da matéria-prima principal do concreto, que é o cimento.

Esta questão vem de encontro com a situação atual que a construção civil está passando, onde nos deparamos com períodos de escassez desta matéria-prima primordial para a produção do concreto.

Com o intuito de fornecer novas alternativas, principalmente para as centrais dosadoras de concreto, de minimizar o impacto que a falta de cimento provoca na produção e consequentemente nas obras para quais estas empresas fornecem, desenvolveram-se estudos de dosagem conciliando e comparando concretos com uso de sílica de casca de arroz, cinza volante e cimento em misturas binárias e ternárias.

Este trabalho se propôs a fornecer dados técnicos e econômicos para demonstrar a viabilidade no uso destes materiais e ainda verificar a compatibilidade ou não do uso de uma ou mais adições minerais na mesma dosagem de concreto.

## 2 Materiais e métodos

O estudo de dosagem do concreto foi desenvolvido através do método IPT/EPUSP, utilizando cimento Portland CP II F 32, sílica de casca de arroz, cinza volante, areia artificial de origem basáltica, brita basáltica e aditivo plastificante multifuncional de pega normal.

### 2.1 Caracterização da sílica de casca de arroz

A sílica de casca de arroz, utilizada neste ensaio é proveniente da combustão controlada em caldeira com leito fluidizado na Geradora de Energia Elétrica Alegrete (GEEA), sendo os dados abaixo descritos disponibilizados pelo fornecedor. A composição química foi obtida a partir do ensaio descrito pela NBR 13957/1997, a determinação de metais por espectrometria de absorção atômica com utilização de chama e determinação de anidrido fosfórico. Os dados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Composição química da sílica de casca de arroz (COLLATTO et al. (2011)).

Composição Química	Teor em Massa (%)
Perda ao fogo	3,00
Dióxido de silício	93,77
Óxido de alumínio	0,19
Óxido de ferro	0,20
Óxido de cálcio	0,78
Óxido de magnésio	0,25
Óxido de sódio	0,08
Óxido de potássio	1,35
Trióxido de enxofre	0,03
Pentóxido de fósforo	0,36
Óxido de manganês	0,25
Dióxido de titânio	nd

A análise granulométrica foi obtida por difração a laser, através do equipamento MALVERN. Na figura 1 é apresentada a distribuição granulométrica e a curva acumulada.

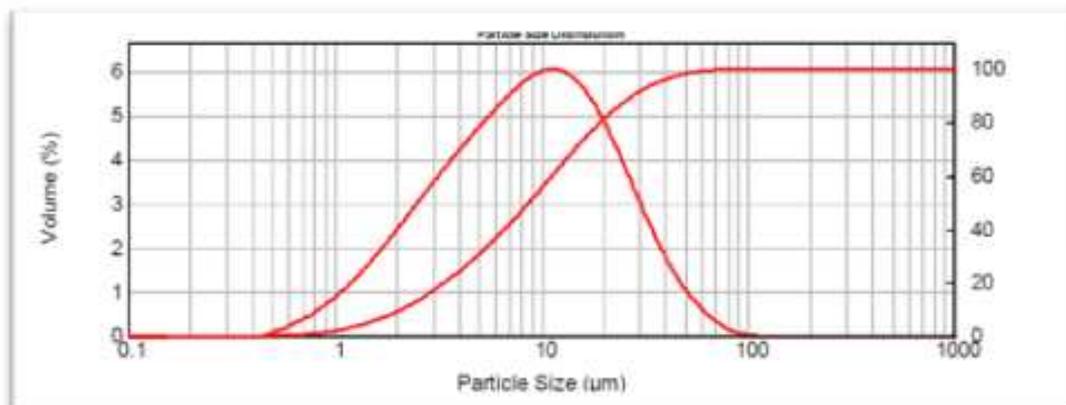


Figura 1 – Análise granulométrica da sílica de casca de arroz (COLLATTO et al. (2011)).

A determinação do teor de material amorfo foi obtida pela técnica da difração de raios-X e o resultado é mostrado na figura 2.

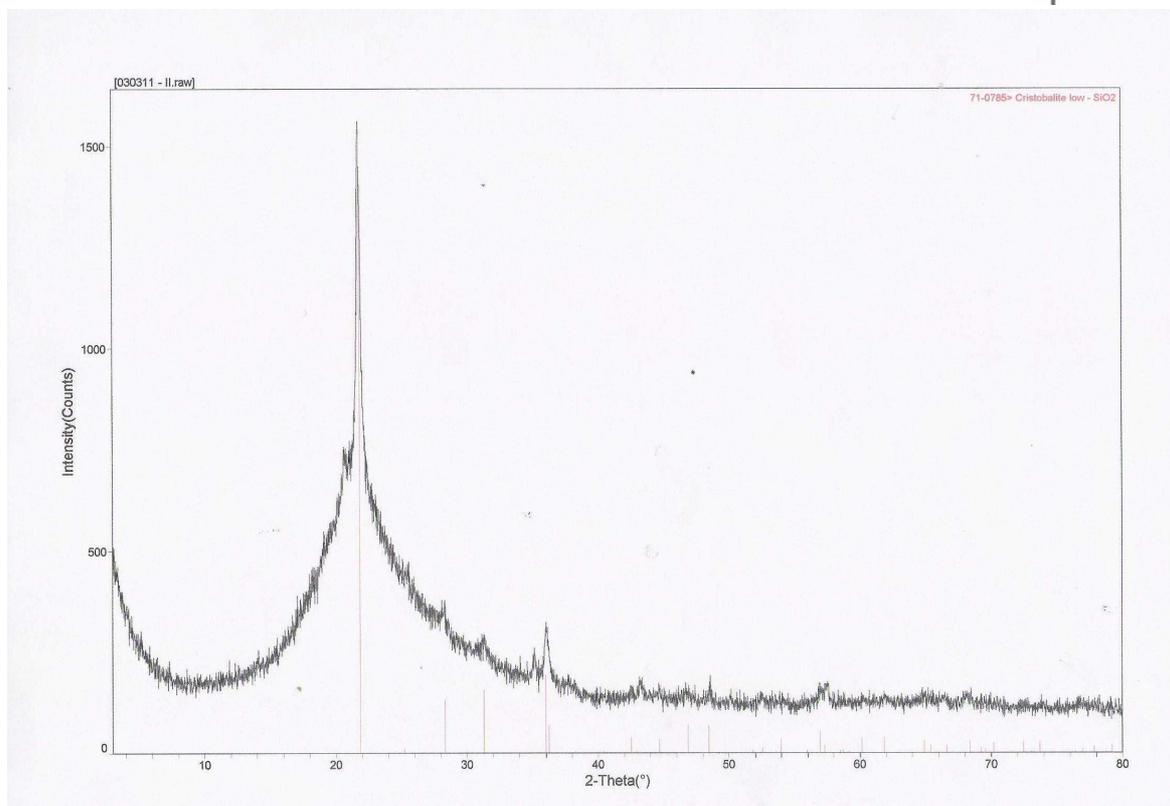


Figura 2 – Difração de raios-X da sílica de casca de arroz (COLLATTO et al. (2011)).

## 2.1 Caracterização da cinza volante

A cinza volante utilizada neste trabalho é proveniente de CGTEE de Candiota – RS e a sua caracterização química está apresentada na tabela 2.

Tabela 2 – Composição química média da cinza volante (SILVA et al. (1999)).

Composição Química	Teor em Massa (%)
Perda ao fogo	0,2 – 0,8
Dióxido de silício	67 – 71
Óxido de alumínio	19 - 24
Óxido de ferro	5 – 8
Óxido de cálcio	0,2 – 1,1
Óxido de magnésio	0,2 – 1,8
Óxido de sódio	0,1 – 0,7
Óxido de potássio	0,4 – 1,5
Trióxido de enxofre	0,1 – 0,7

Mineralogicamente as cinzas volantes são constituídas de minerais cristalinos, sendo a matriz um vidro aluminosilicatado. As amostras apresentam-se, normalmente, com tonalidades cinza claras o que indica teores muito baixos de materiais carbonosos (combustíveis).

Análises realizadas para a determinação dos minerais cristalinos, por meio de difração de raios X, mostraram a presença de quartzo, mulita, cristobalita, caulinita, calcita e feldspato conforme mostra a figura 3.

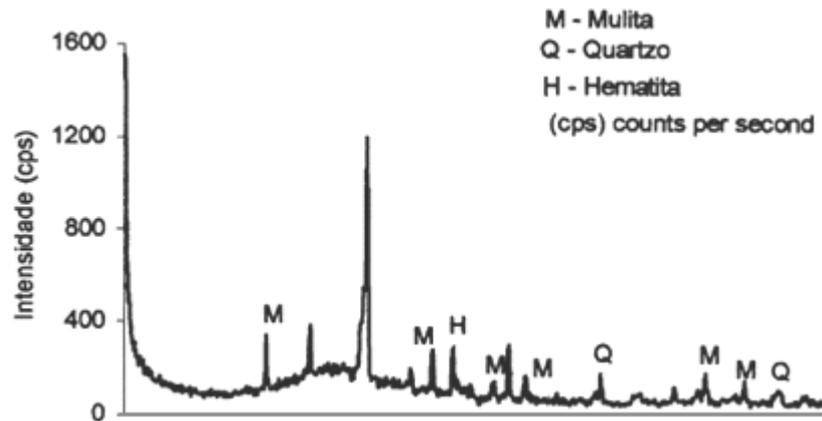


Figura 3 – Difratograma representativo da cinza volante de Candiota (SILVA et al. (1999)).

A figura 4 apresenta a curva granulométrica representativa da cinza volante de Candiota-RS.

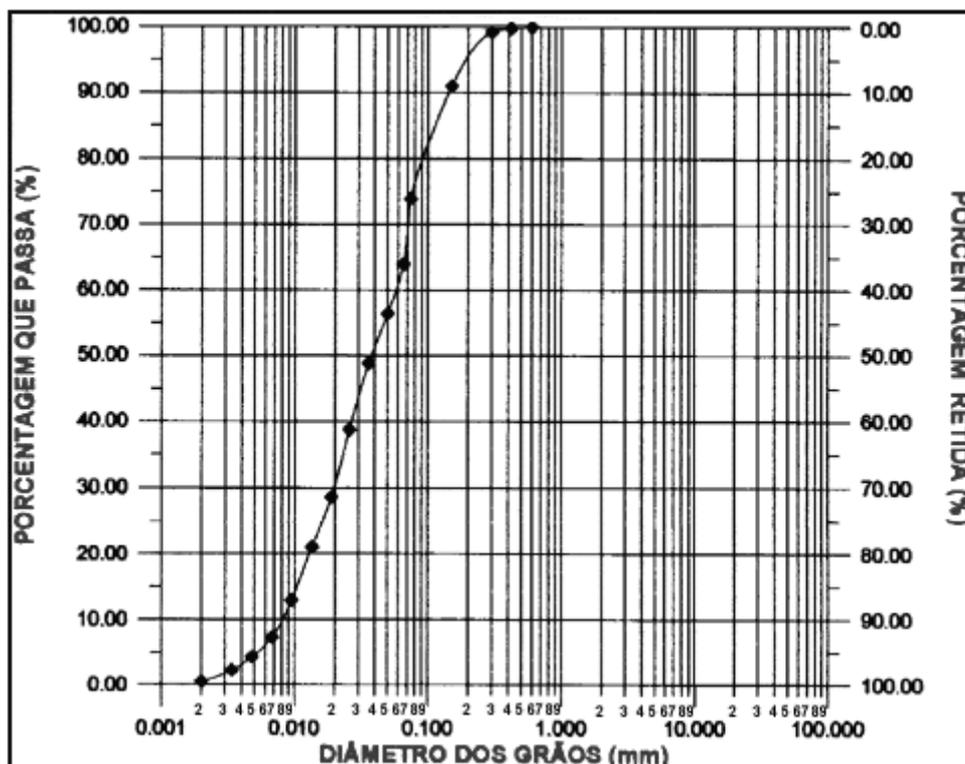


Figura 4 – Análise granulométrica representativa para cinzas volantes de Candiota - RS (SILVA et al. (1999)).

A partir da caracterização física e do estudo de proporcionamento ideal dos agregados, foram desenvolvidos três curvas de dosagem com diferentes consumos de cimento, sendo uma mistura com adição de 15% de cinza volante (CV), uma mistura com adição de 4% de sílica de casca de arroz (SCA) e uma mistura com adição de 12% de cinza volante e 3% de sílica de casca de arroz (CV/SCA).

A tabela 2 apresenta os traços reproduzidos em laboratório para o estudo de dosagem.

Tabela 3 – Traços reproduzidos para o estudo de dosagem.

Identificação	Traço	Traços desenvolvidos (kg/m <sup>3</sup> )				
		Cimento	CV	SCA	a/c	Aditivo (%)
CV 1	1:3,32	400	71	-	0,523	0,6
CV 2	1:3,81	359	63	-	0,578	0,6
CV 3	1:4,36	322	57	-	0,651	0,6
CV 4	1:5,04	286	50	-	0,721	0,6
SCA 1	1:3,90	399	-	17	0,597	0,6
SCA 2	1:4,45	358	-	15	0,660	0,6
SCA 3	1:5,07	320	-	13	0,750	0,6
SCA 4	1:5,84	281	-	12	0,880	0,6
CV/SCA 1	1:3,32	400	57	14	0,523	0,6
CV/SCA 2	1:3,81	359	50	13	0,578	0,6
CV/SCA 3	1:4,35	322	46	11	0,651	0,6
CV/SCA 4	1:5,04	282	40	10	0,765	0,6

Todos os traços foram reproduzidos com ensaio de perda de abatimento de 30 minutos e para um abatimento final de 100+-20 mm. Foram moldados corpos-de-prova para ensaio nas idades 7, 28 e 63 dias.

### 3 Resultados

Na tabela 4 são apresentados os resultados de resistência potencial dos corpos-de-prova de concreto em todas as idades.

Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão

Identificação	Resultados (MPa)		
	7 dias	28 dias	63 dias
CV 1	32,0	43,5	50,2
CV 2	27,5	38,9	44,3
CV 3	22,8	30,1	36,5
CV 4	17,5	25,0	29,4
SCA 1	30,2	41,7	42,3
SCA 2	24,1	33,7	39,0
SCA 3	19,4	26,7	32,8
SCA 4	13,7	20,5	24,3
CV/SCA 1	30,4	41,7	52,1
CV/SCA 2	26,5	39,5	45,6
CV/SCA 3	21,4	32,1	40,0
CV/SCA 4	15,9	23,5	27,9

Com base nos resultados obtidos traçaram-se os diagramas de dosagem dos traços reproduzidos em laboratório.

Na figura 5 é representado o diagrama de dosagem do traço com 15% de cinza volante.

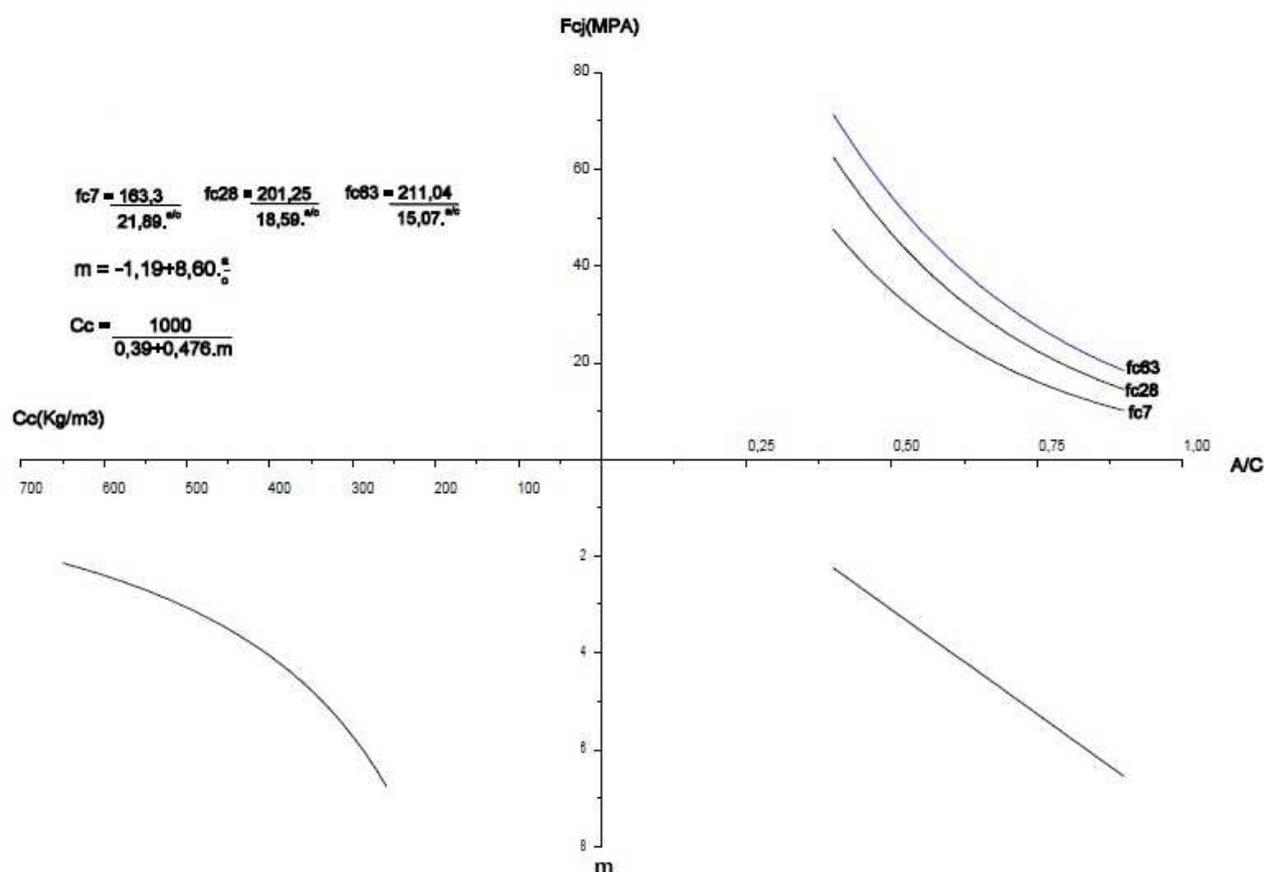


Figura 5 – Diagrama de dosagem – Traço CV.

Na figura 6 é representado o diagrama de dosagem do traço com 4% sílica de casca de arroz.

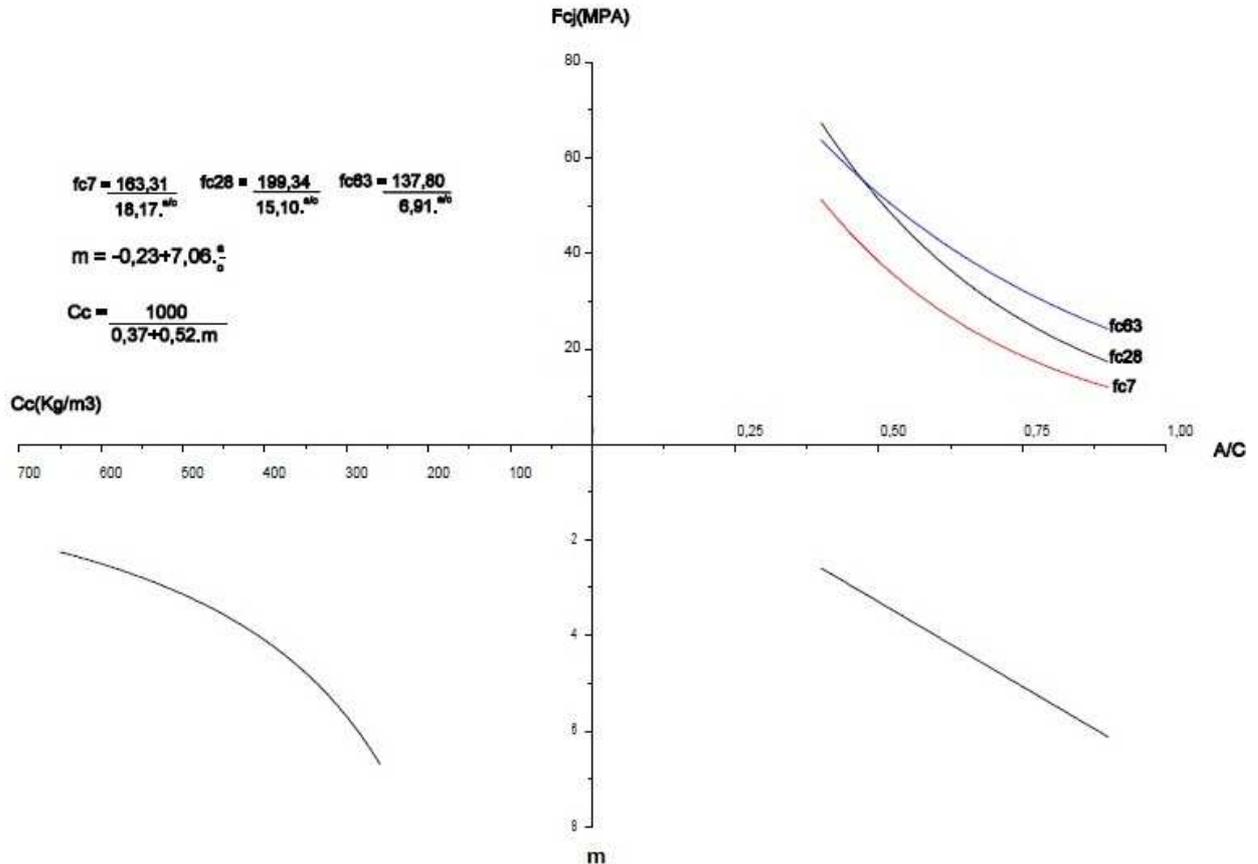


Figura 6 – Diagrama de dosagem – Traço SCA.

Na figura 7 é representado o diagrama de dosagem do traço com 12% de cinza volante e 3% de sílica de casca de arroz.

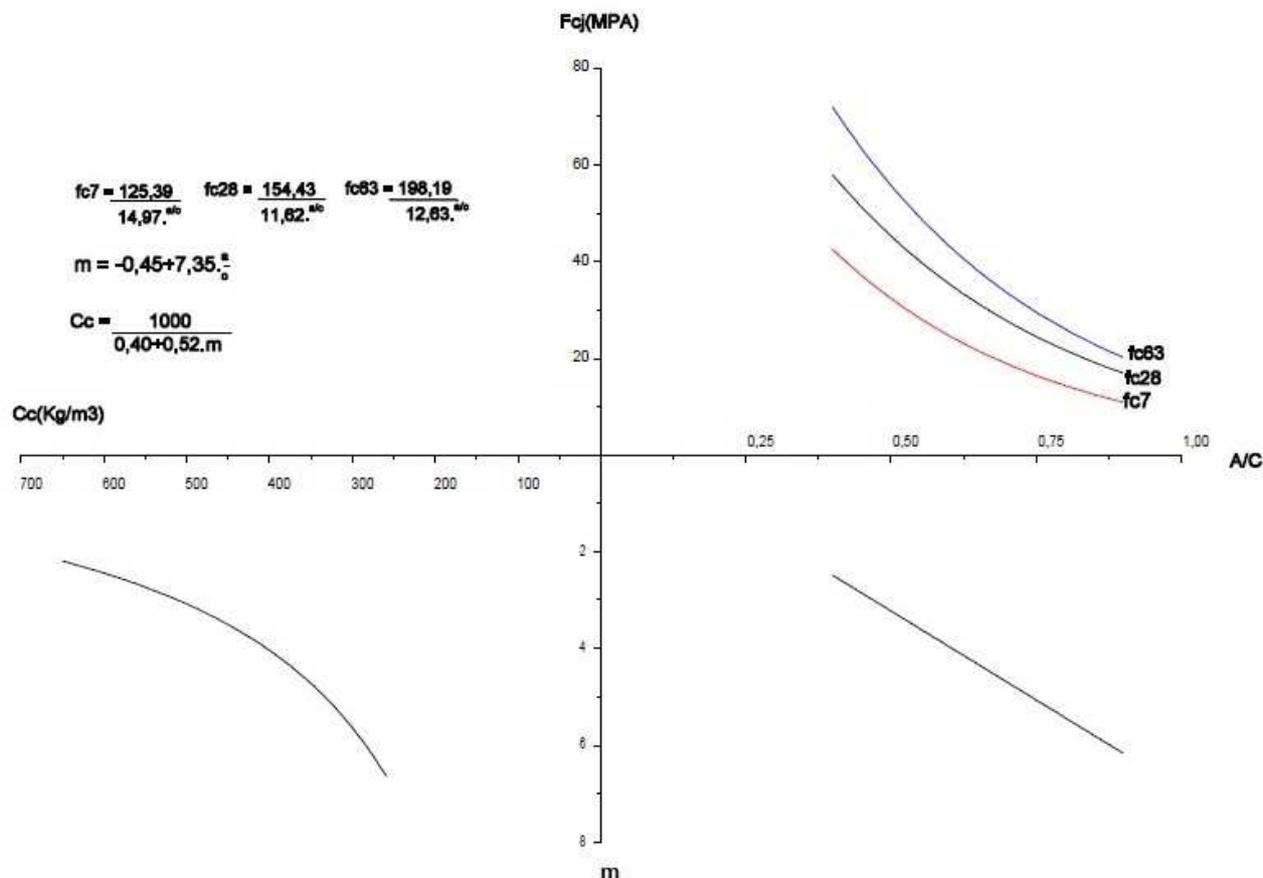


Figura 7 – Diagrama de dosagem – Traço CV/SCA.

A partir da análise dos diagramas pode-se observar que a dosagem binária com SCA obteve o melhor desempenho comparado com a mistura binária de CV e com a mistura ternária de CV/SCA para as idades de 7 e 28 dias, porém para a idade de 63 dias o mesmo não ocorreu, devido principalmente a diferença do uso de adição, ou seja, enquanto que para o traço SCA usou-se 4% em adição do cimento nos outros dois foram usados 15% de adição promovendo um acréscimo maior de resistência após os 28 dias. Quando comparadas a curva binária CV com a ternária CV/SCA, podemos observar que o desempenho nas idades de 7 e 28 dias ficaram muito parecidas tendo uma diferenciação somente aos 63 dias onde a ternária obteve um ganho maior de resistência.

Quanto ao custo do concreto, na tabela 5 e no gráfico da figura 8 podemos observar que a dosagem CV obteve o menor custo entre as três dosagens, porém como o traço ternário ficou muito próximo do custo da binária CV em torno de 3% e os desempenhos das duas curvas foram muito próximas, se demonstra uma viabilidade de testes nesta composição a nível industrial.

A curva SCA obteve o maior desempenho de resistência das curvas desenvolvidas, em média 4 MPa a mais que a dosagem CV, demonstrando uma possível redução no consumo de cimento nesta curva e isto habilita uma possibilidade de novo estudo para a ANAIS DO 54º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2012 – 54CBC

tentar adequar o traço para que obtenha o mesmo desempenho dos outros e ao mesmo tempo uma redução maior no custo do mesmo.

Tabela 5 – Estimativa de custos do concreto.

Matéria-prima	FCK 20 MPa					
	CV		SCA		CV/SCA	
	Quantidade (kg)	R\$/m³	Quantidade (kg)	R\$/m³	Quantidade (kg)	R\$/m³
CIMENTO CP II F	291	115,24	315	124,74	286	113,26
CINZA VOLANTE	51	4,42	0	0,00	40	3,47
SILICA CASCA DE ARROZ	0	0,00	13	9,75	10	7,50
AREIA ARTIFICIAL	799	27,17	807	27,44	795	27,03
BRITA 4,75/12,5	269	8,88	268	8,84	267	8,81
BRITA 9,25/25	628	20,72	625	20,63	622	20,53
AGUA	245	0,20	251	0,20	250	0,20
ADITIVO PLASTIFICANTE	2,05	3,14	1,97	3,01	2,02	3,09
<b>TOTAL R\$/m³</b>	<b>179,76</b>		<b>194,61</b>		<b>183,88</b>	
Matéria-prima	FCK 25 MPa					
	CV		SCA		CV/SCA	
	Quantidade (kg)	R\$/m³	Quantidade (kg)	R\$/m³	Quantidade (kg)	R\$/m³
CIMENTO CP II F	320	126,72	343	135,83	315	124,74
CINZA VOLANTE	56	4,86	0	0,00	45	3,90
SILICA CASCA DE ARROZ	0	0,00	14	10,50	11	8,25
AREIA ARTIFICIAL	765	26,01	783	26,62	764	25,98
BRITA 4,75/12,5	269	8,88	269	8,88	268	8,84
BRITA 9,25/25	628	20,72	627	20,69	624	20,59
AGUA	245	0,20	249	0,20	248	0,20
ADITIVO PLASTIFICANTE	2,26	3,46	2,14	3,27	2,23	3,41
<b>TOTAL R\$/m³</b>	<b>190,84</b>		<b>205,99</b>		<b>195,92</b>	
Matéria-prima	FCK 30 MPa					
	CV		SCA		CV/SCA	
	Quantidade (kg)	R\$/m³	Quantidade (kg)	R\$/m³	Quantidade (kg)	R\$/m³
CIMENTO CP II F	349	138,20	370	146,52	346	137,02
CINZA VOLANTE	62	5,38	0	0,00	49	4,25
SILICA CASCA DE ARROZ	0	0,00	15	11,25	12	9,00
AREIA ARTIFICIAL	731	24,85	759	25,81	732	24,89
BRITA 4,75/12,5	269	8,88	270	8,91	269	8,88
BRITA 9,25/25	628	20,72	630	20,79	627	20,69
AGUA	246	0,20	247	0,20	246	0,20
ADITIVO PLASTIFICANTE	2,47	3,78	2,32	3,55	2,44	3,73
<b>TOTAL R\$/m³</b>	<b>202,01</b>		<b>217,03</b>		<b>208,65</b>	

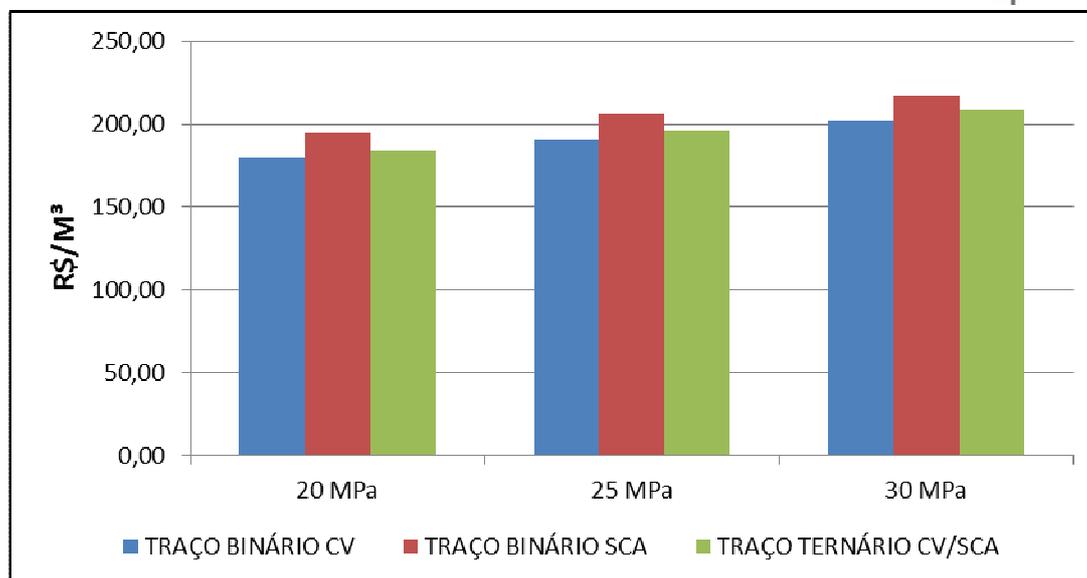


Figura 8 – Comparativo do custo do concreto produzido.

## 4 Conclusões

A partir dos resultados ficou demonstrado que o melhor desempenho dos traços foi da curva binária SCA e quanto ao custo às curvas binária CV e ternária CV/SCA obtiveram o melhor resultado. Como o desempenho da SCA foi superior às outras duas surge a possibilidade de uma redução de consumo de cimento na mesma, onde consequentemente acarretaria numa redução do custo do concreto.

COLLATTO et al. (2011), demonstrou que há uma possibilidade de redução de no mínimo 8,5%, podendo chegar até 10% sobre o consumo de cimento quando usa-se SCA. Mas cabe salientar a necessidade de mais estudos para determinar o teor real de redução para este caso, visto que no trabalho citado utilizou-se Cimento Portland CP II Z e neste estudo utilizou-se Cimento Portland CP II F.

Avaliando a curva ternária pode-se concluir que há compatibilidade entre as duas adições e esta compatibilidade favoreceu um crescimento de resistência entre as idades de 7 para 28 dias e 28 para 63 dias maior que as duas outras curvas. Este crescimento faz com que viabilize novos estudos em busca da dosagem ideal entre ela, pois neste trabalho optou-se somente numa mistura. Além de viabilizar novos estudos, pode-se considerar também uma ótima opção para testes industriais verificando assim se o comportamento da mesma na produção de concreto em usinas de concreto é o mesmo obtido em laboratório.

A curva ternária CV/SCA foi a que apresentou o menor consumo de cimento/m<sup>3</sup> o que pode representar um ganho de produção para uma quantidade limitada do insumo.



Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2012  
Outubro / 2012



@ 2012 - IBRACON - ISSN 2175-8182

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**: NBR 5738. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão em corpos-de-prova**: NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Perda de abatimento**: NBR 10342. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preparação de concreto em laboratório – Procedimento**: NBR 12821. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**: NM 67. Rio de Janeiro, 1996.

COLLATTO, D. et al. **Utilização da sílica de casca de arroz na produção de concreto usinado em central**. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON, Florianópolis, Nov. 2011.

RUBIN, C. et al. **Estudo da penetração de cloretos em concretos com misturas binárias e ternárias de escória granulada, cinza volante e cal hidratada na camada de cobertura**. IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica - SEMENGO, Rio Grande, Nov. 2010.

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**. Florianópolis, 2006, 267f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, N. I. Warpechowski da et al. **Caracterização de cinzas volantes para aproveitamento cerâmico**. Cerâmica, São Paulo, v. 45, n. 296, Dec. 1999.