



**XV SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

**GPT/04**

**17 à 22 de outubro de 1999  
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**GRUPO: II**

**TEMA: GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS (GPT)**

**REAPROVEITAMENTO DAS CINZAS PESADAS DO COMPLEXO JORGE LACERDA NA  
ELABORAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: ASPECTOS TECNOLÓGICOS E AMBIENTAIS**

Janaíde Cavalcante Rocha\*   Malik Cheriaf   Cristina Pozzobon   Marcelo Silvano Maia  
Lourival Magri   Sayonara Mariluz Tapparo Xavier

**RESUMO**

As cinzas geradas pelas termoelétricas sul-brasileiras apresentam um grande potencial para reaproveitamento na Construção Civil. Estima-se uma disponibilidade de 3 milhões de toneladas/ano de cinzas originadas da queima do carvão mineral, compostas de 65% à 85% de cinzas volantes e 15% à 35% de cinzas pesadas (bottom ashes). No complexo termoelétricos de Jorge parte da cinza seca ou volante gerada é coletada pelos precipitadores eletrostáticos e estocada em silos e, cerca de 1/3 do volume estocado chega ao mercado da construção civil através de sua aquisição pelas indústrias cimenteiras e concreteiras, que a emprega como adições ao cimento ou incorporações ao concreto de cimento Portland. Já, as cinzas pesadas, ou úmidas geradas no complexo são eliminadas em bacias de sedimentação, sendo este sub-produto geralmente empregado na regularização de terrenos e realização de aterros, sendo dado pouca ênfase para uma aplicação mais nobre. Visando uma recuperação deste sub-produto, são apresentados neste artigo os resultados experimentais da valorização da cinza pesada como material a ser incorporado na fabricação de blocos estruturais de cimento, blocos de vedação e briquetes de pavimentação confeccionados em um processo industrial de uma empresa da grande Florianópolis. A viabilidade tecnológica, demonstra a necessidade de se criar instrumentos que estimulem o uso das cinzas pesadas no setor de pré-fabricados.

**Palavras chaves:**

Cinzas pesadas, Materiais, Reaproveitamento, Termelétricas.

**1.0. INTRODUÇÃO**

A produção das cinzas geradas no complexo termolétrico de Jorge Lacerda, localizado entre os municípios de Capivari de Baixo e Tubarão, estado de Santa Catarina é estimada em 818 mil toneladas ano. Na operação das usinas para cada 100t de carvão mineral CE 4500 consumido são geradas 42 t de cinzas, das quais 70% é extraída a seco, chamadas de cinzas secas (volantes) e 30% por via úmida, chamadas cinzas úmidas (pesadas).

Devido as suas características físico-químicas a cinza seca ou volante gerada é vendida às cimenteiras e concreteiras que as empregam no cimento Portland ou como adições minerais ao concreto; todavia a cinzas pesadas, não alcançam o mesmo mercado constituindo assim um grande problema de ordem ambiental.

A este quadro geral, acrescenta-se ainda que, a falta de conhecimentos e tecnologias para o reaproveitamento das cinzas pesadas e o grande volume de cinzas geradas, faz com que as bacias de decantação das cinzas se transformem em unidades de disposição final, acentuando ainda mais o impacto ambiental e estético na área e vizinhança de influência da operação da usina.

Visando encontrar soluções para o emprego da cinza pesada, realizou-se uma análise do potencial de reaproveitamento da cinza pesada do Complexo Jorge Lacerda na elaboração de artefatos de cimento para a construção civil

A metodologia abrangeu as etapas: identificação da cinza pesada; análise da reatividade; e desenvolvimento de artefatos em processo industrial e análise do mercado das cinzas..

## 2.0. AS CINZAS E A CONSTRUÇÃO CIVIL

O uso das cinzas das cinzas secas é associado a sua atividade pozolânica, permitindo assim que esta seja incorporado aos cimento Portland, ou ao concreto como adições minerais ou ainda em substituição parcial do cimento para a elaboração de elementos da construção civil.

O emprego generalizado das cinzas secas pela indústria cimenteira deve-se ao fato das normas brasileiras permitirem adições em massa de até 5% de cinzas ao cimento Portland comum (CPI-S), de 6 à 14% de adições ao cimento Portland Composto (CP-II Z) e de 14 à 50% de adições ao cimento Portland Pozolânico (CP- IV).

Quanto às incorporações das cinzas ao concreto, justifica-se pela melhoria das seguintes propriedades: redução no consumo do cimento, redução no calor de hidratação, aumento na trabalhabilidade, redução da permeabilidade no estado endurecido, redução na retração final e aumento na durabilidade do concreto.

Tendo em vista a disponibilidade das cinzas geradas no complexo termelétrico de Jorge Lacerda e o potencial de uso desta como constituinte do concreto, como composto do cimento ou ainda como matéria prima para a fabricação de elementos pre fabricados e artefatos de cimento, são apresentados, na tabela 1, a evolução do consumo da cimento nacional.

TABELA 1. DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DO CIMENTO NACIONAL

Segmentação de consumo	1994 (%)	1995 (%)	1996 (%)	1997 (%)
<b>revendedores</b>	<b>78,62</b>	<b>78,51</b>	<b>77,80</b>	<b>75,87</b>
<b>concreteiras</b>	<b>9,03</b>	<b>9,76</b>	<b>10,06</b>	<b>10,25</b>
<b>Consumidores industriais</b>	<b>8,07</b>	<b>8,03</b>	<b>7,78</b>	<b>8,66</b>
fibrocimento	3,77	3,70	3,54	3,58
Prémoldados	1,94	1,72	1,92	2,20
Artefatos	2,36	2,61	2,32	2,88
<b>Consumidores industriais</b>	<b>4,22</b>	<b>3,70</b>	<b>4,36</b>	<b>5,22</b>
construtoras	3,55	3,30	4,02	4,96
Órgãos publicos	0,53	0,32	0,28	0,23
Prefeituras	0,14	0,08	0,06	0,03

Como insumo de uso mais generalizado na construção civil, grande parte do cimento Portland nacional foi consumido nos períodos de 1994 a 1997 em pontos de revenda, cerca de 78% do volume total produzido. O segundo maior consumidor compreende o segmento de consumidores industriais, reagrupados em fabricantes de fibrocimento, de materiais pré-moldados e artefatos de cimento; e consumidores finais, construtoras e empreiteiras, órgãos publicos e prefeituras. Estes

segmentos absorvem uma média de 12% do volume total da produção nacional. Já as concreteiras consomem 10% do volume desta produção.

Segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNCI,1998) existem dezessete grupos atuando no setor cimenteiro. Duas empresas destes grupos, Votorantim e Itambé, atuam em Santa Catarina como fornecedores de cimento Portland Pozolânico, tendo arrematado nos leilões das cinzas secas geradas no complexo Jorge Lacerda, realizados durante o ano de 1998, uma média mensal 5985t e 2707t, respectivamente.

Basicamente as empresas compradoras das cinzas podem ser reagrupadas em empresas cimenteiras fabricantes de cimento Portland pozolânico, empresas beneficiadoras de cinzas e empresas fabricantes de artefatos de fibro-cimento.

A figura 1 representa o perfil das empresas compradoras das cinzas no ano de 1998, e a média mensal da quantidade das cinzas secas adquiridas em função da quantidade do total gerado no complexo termelétrico de Jorge Lacerda.

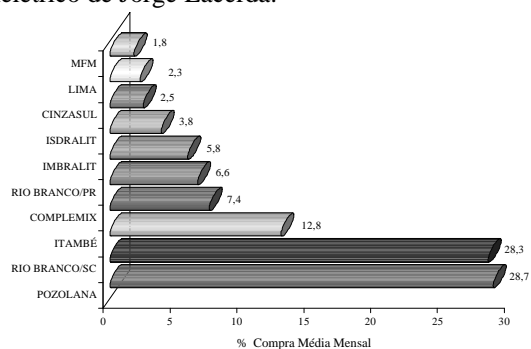


FIGURA 1: EMPRESAS COMPRADORAS DE CINZA SECA (1998)

Em 1998, cerca de 47.7% das cinzas secas de Jorge Lacerda foram adquiridas pelas indústrias cimenteiras, 42.7% pelas indústrias beneficiadoras das cinzas e 9.6% por fabricantes de artefatos de fibro-cimento. Das cimenteiras atuando na grande Florianópolis fazem parte as empresas Rio Branco/SC, Rio Branco/SC e Itambé, que abastecem com o cimento Portland Pozolânico a grande parte das fábricas de pre-moldados e artefatos de cimento da grande Florianópolis.

As empresas beneficiadoras de cinzas: POZOLANA, COMPLEXIX, CINZASUL, LIMA e MFM, processam as cinzas secas através de uma moagem em minhos de bolas e as ensacam para distribuição junto às cimenteiras da região.

Os fabricantes de artefatos em fibrocimento, ISDRALIT e IMBRALIT, compram as cinzas para para incorporá-las em seus produtos, telhas e caixas d'água, visando uma redução de custo e aumento da impermeabilidade do produto final.

A preferência destas empresas pela cinza seca deve-se principalmente ao fato destas serem estocadas em silo,

facilitando seu transporte, retirada, manuseio, eficiência no processo de moagem durante um eventual beneficiamento e economia em aplicações que venham exigir a incorporação de materiais secos.

Apesar da vantagem de serem secas e estocadas em silos, estas cinzas possuem um baixo consumo, somente 34% da quantidade total gerada no complexo Jorge Lacerda foram arrematadas em leilão, sendo o remanescente umidificado e eliminado juntamente com as cinzas pesadas nas bacias de sedimentação. As cinzas das bacias não encontram mercado desde 1994, e vem sido empregadas na recuperação de área degradadas, em aterros e regularização de terrenos na vizinhos à usina.

### 3.0. USO DAS CINZAS PESADAS NA FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS DE CIMENTO

Neste contexto geral desenvolveu-se um estudo visando a identificação do potencial de uso das cinzas pesadas e a produção de artefatos de cimento com incorporação destas cinzas.

As cinzas pesadas foram empregadas como matéria prima na fabricação de artefatos de cimento, substituindo tanto o cimento Portland empregado na dosagem dos artefatos, como o agregado (areia fina e grossa).

### 4.0 CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS PESADAS

As cinzas pesadas são materiais cuja composição depende: da composição do carvão, do grau de beneficiamento e moagem do carvão, tipo e projeto e operação da caldeira, e do sistema empregado para a extração e manuseio das cinzas. Esses fatores revelam a necessidade de uma caracterização completa da cinza pesada, afim de viabilizar a definição das condições tecnológicas para sua aplicação na construção civil. Na tabela 2, são apresentadas os resultados da análise química das cinzas secas e pesadas.

TABELA 2: CONSTITUINTES DAS CINZAS

CONSTITUINTES	CINZA PESADA (%)	CINZA LEVE (%)
SiO <sub>2</sub>	55,98	58,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,73	27,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,80	5,66
MnO	0,02	0,03
MgO	0,59	0,88
CaO	0,84	1,68
Na <sub>2</sub> O	0,25	0,30
K <sub>2</sub> O	2,59	2,74
TiO <sub>2</sub>	1,33	1,41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,28
Perda ao fogo (P. F.)	4,61	1,15
CO <sub>2</sub> total	13,99	2,30
C orgânico	3,79	0,63
S total	0,08	0,10
Cl	0,02	0

As figuras 2 e 3 representam os resultados dos ensaios de pozolânicidade efetuados com as cinzas volantes, cinzas pesadas de diferentes lotes.

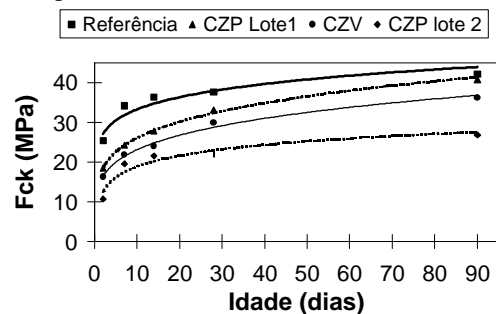


FIGURA 2 – REATIVIDADE POZOLÂNICA DAS CINZAS

As cinzas possuem um mesmo comportamento de materiais pozolânicos, que são capazes de desenvolver resistências mecânicas no tempo, uma vez finamente divididas e em presença de água e hidróxido de cálcio. O desenvolvimento de resistência no decorrer do tempo favorece o emprego das cinzas em aplicações similares ao uso de materiais cimentantes, como o cimento Portland.

A figura 3 apresenta a evolução das resistências durante o ensaio de pozolânicidade com as cinzas retiradas das bacias e cinzas coletadas nas esteiras antes do lançamento nas bacias de sedimentação

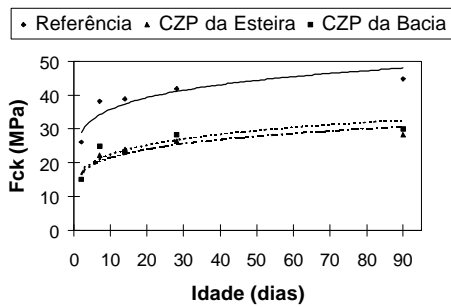


FIGURA 3- REATIVIDADE CINZAS PESADAS.

Os resultados demonstram que as cinzas retiradas da esteira possuem um comportamento próximo aos das pozolonas naturais.

### 5.0- DESENVOLVIMENTO ARTEFATOS

Dosagens experimentais de peças de concreto para pavimentação e de blocos de concreto (com fins estruturais e de vedação), com substituição parcial de matéria-prima convencional por cinza pesada foram realizados em escala piloto no processo produtivo de uma empresa atuando no setor. As dosagens empregadas encontram-se detalhadas na tabela 3 abaixo.

TABELA 3: DOSAGENS DOS ARTEFATOS.

Teores	Matéria Prima (Kg)						
	Cimento	Areia Fina	Areia Média	Areião	Seixo	Pedrisco	Cinza
Briquetes	0%	150,00	100,00	670,00	260,00	-	-
	10%	135,00	100,00	670,00	260,00	-	15,00
	20%	120,00	100,00	670,00	260,00	-	30,00
	30%	105,00	100,00	670,00	260,00	-	45,00
Blocos estruturais	0%	95,00	50,00	640,00	-	330,00	-
	5%	90,50	50,00	640,00	-	330,00	4,50
	10%	86,00	50,00	640,00	-	330,00	9,00
	10%+100% a. fina	86,00	-	640,00	-	330,00	59,00
Blocos de Vedação	0%	75,00	150,00	500,00	-	390,00	-
	10%	67,50	150,00	500,00	-	390,00	7,50
	20%	60,00	150,00	500,00	-	390,00	15,00
	30%	60,00	150,00	500,00	-	390,00	15,00
	10%+50% a. fina	67,50	75,00	500,00	-	390,00	82,50

O processo utiliza as seguintes matérias-primas em sua dosagem : areia fina, areia média, areião, pedrisco, seixo rolado cimento portland (CP V-ARI). As cinzas pesadas foram incorporadas em substituições em massa de 0%, 5%, 10%, 20% e 30% pelo cimento Portland empregado no material convencional e em substituições de 50% e 100% da areia fina.

Para avaliar o comportamento dos artefatos produzidos com as cinzas pesadas foram utilizados os traços e dosagens usados pelo fabricante e em seguida

foram feitas substituições do material convencional pelas cinzas pesadas.

A figura 4 representa o resultados dos ensaios de resistência à compressão de blocos estruturais produzidos com a dosagem convencional (blocos de referência) e de blocos elaborados com substituição de cimento Portland pelas cinzas pesadas.

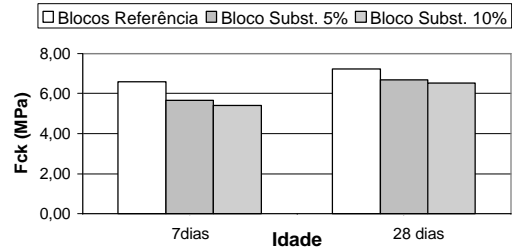


FIGURA 4 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO BLOCOS ESTRUTURAIS

Nas primeiras idades de cura (7 dias ) os blocos confeccionados com as cinzas apresentaram uma resistência inferior ao convencional porém, aos 28 dias de cura , a resistência final da maior substituição (10%) atingiu patamar próximo ao do bloco produzido somente com cimento Portland.

Para os blocos destinados à alvenaria de vedação, foram produzidos uma série com substituição do cimento Portland (10, 20 e 30%), figura 5, e outra com substituição da areia (100% ) e uma outra com 100% de areia e 10% cimento, figura 6.

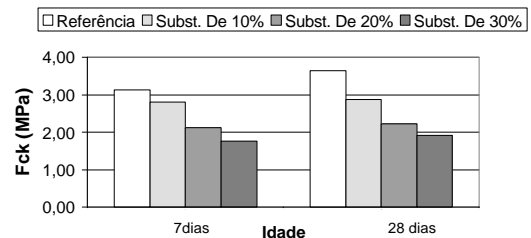


FIGURA 5 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE VEDAÇÃO.

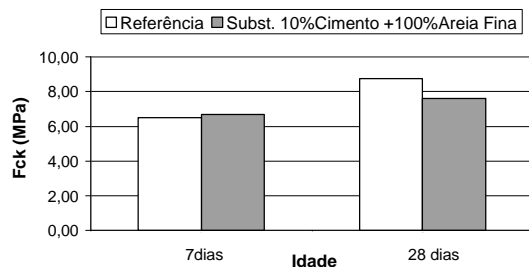


FIGURA 6 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO BLOCOS ESTRUTURAIS COM SUBSTITUIÇÃO DE AREIA.

Na fabricação de briquetes destinados à pavimentação foram realizadas substituições de 10, 20 e 30% do cimento Portland pela cinzas pesadas. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão são apresentados na figura 7.

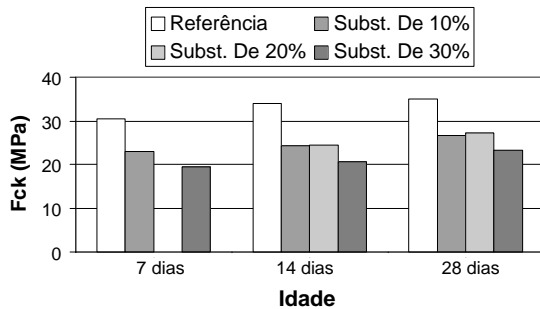


FIGURA 7 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BRIQUETES DE PAVIMENTAÇÃO

Para os briquetes de pavimentação foram realizados ensaios de resistência à compressão aos 14 e 28 dias após a data de moldagem, figura 8. Estes ensaios seguiram a norma *NBR-9.780: Peças de concreto para pavimentação: Determinação da resistência à compressão*. Os valores obtidos nos ensaios estão dentro dos valores aceitos pela norma, comprovando a viabilidade da incorporação da cinza nas peças de concreto para pavimentação.



FOTO 1: FABRICAÇÃO BRIQUETES.

## 6.0- CONCLUSÃO

No Brasil, não existe regulamentação para o uso da cinza do carvão mineral produzida em usina termelétrica, como acontece em outros países. As normas brasileiras restringem-se a adição da cinza do carvão mineral como pozolana no Cimento Portland e aos ensaios de avaliação da atividade pozolânica da cinza.

Os resultados apresentados demonstram o potencial de uso das cinzas pesadas como matéria-prima na fabricação de artefatos de concreto: tanto pelo desempenho mecânico dos artefatos fabricados quanto

pela importante disponibilidade das cinzas pesadas geradas no complexo de Jorge Lacerda.

Basicamente a cadeia produtiva do cimento é, a maior cliente do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, sendo a maior compradora das cinzas volantes, e as empresas de pré-fabricados, incluindo as de artefatos de cimento, utilizam o Cimento Portland Pozolânico comprado das cimenteiras. Todavia as cinzas pesadas demonstram um importante potencial de uso para a produção de elementos pré-fabricados, apesar de não serem compradas diretamente por este setor produtivo. A legislação ambiental e seu representante legal no estado de Santa Catarina (FATMA) consideram que o eventual uso das cinzas pesadas como uma matéria-prima convencional, pode ser utilizada na construção civil, desde que satisfeitas as normas técnicas e tomadas as medidas prescritas para transporte e armazenagem.

Todavia a abundância de matérias-primas para a fabricação de artefatos, torna uma importante barreira para o consumo da cinza na fabricação destes artefatos, uma vez que a estrutura clássica das empresas produtoras prefere trabalhar com materiais convencionais. Esse fato demonstra a grande necessidade em se divulgar resultados de pesquisas e em criar instrumentos que estimulem o uso das cinzas pesadas em substituição à matérias-primas empregadas no setor de pré-fabricados da Grande Florianópolis.