MELISSA SELAYSIM DI CAMPOS

**Aproveitamento das cinzas da queima da cama
sobreposta de suínos para substituição parcial do
cimento Portland**

Dissertação apresentada à
Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a
obtenção do Título de Mestre em
Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Holmer
Savastano Jr.

FICHA CATALOGRÁFICA

preparada pela

Biblioteca da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo

D545a

Di Campos, Melissa Selayssim

Aproveitamento das cinzas da queima da cama
sobreposta de suínos como substituição parcial do cimento
Portland / Melissa Selayssim Di Campos – Pirassununga, 2005.
121 f.

Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia
de Alimentos – Universidade de São Paulo.

Departamento de Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Holmer Savastano Jr.

Unitermos: 1. Resíduos - aproveitamento 2. Casca de arroz
3. Pozolanicidade 4. Sílica vítrea 5. Sustentabilidade ambiental
6. Construções I. Título.

Não existem palavras suficientes para expressar o amor, o respeito e a gratidão por meus pais que não só me deram a vida, como também guiaram meus passos. Vocês são o melhor exemplo de vida para mim. São o meu porto seguro! Foi por vocês que cheguei até aqui. É por vocês que vou seguir em frente.

**Aos meus pais.
MINHA HOMENAGEM**

Ao meu anjinho do céu chamado Julia,
A minha irmã Marianna,
E aos meus anjinhos daqui da terra...Lenise e Maysa!

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela graça da vida, as oportunidades que me são dadas e por estar sempre comigo iluminando meu caminho mesmo nas horas mais difíceis.

Aos meus pais e a minha irmã Marianna, pelo amor, pelo companheirismo e respeito de uma vida toda. Não saberia viver um dia sem vocês!

“Alegria compartilhada é dupla alegria; dor compartilhada é meia dor.”

A tia Bia, Zezé, Fernanda e o Caio, que sempre estão comigo.

“O amor sem fim não esconde o medo de ser incompleto e imperfeito”.

As minhas eternas babás e grandes mães: Sula, Selma e Silma. Eu amo vocês!

As minhas amigas: Carol, Carolina (Coca), Érica (Tuiuiú), Giovanna, Gisele (Toddinho), Hariane, Kellyn, Lizia (Ricota), Marina (Marreta), Marina (Path), Milena, Priscila, Reíssa, Sara, Taline e Yara.

“O verdadeiro amigo é aquele que vem quando o resto do mundo está indo embora”.

A Luciane Martello, minha amiga, companheira de trabalho, guia “mor” na busca das melhores saídas. “Lu, desde o primeiro dia de mestrado você foi importante pra mim.

Com sua meiguice e paciência, me ensinou coisas que mesmo parecendo banais pra você, para mim foram uma lição de vida. Você mais do que colega, hoje é uma grande amiga!”

Aos meus amigos: Celso (Teco), Enzo, Emmanoel, Fausto, Jair Filho, Lucas Guidi, Luiz Egídio, Marcelo (Moranguinho), João Neto, Oduvaldo, Osvaldo Filho, Ricardo Filho, Rodolfo Galetti, Rodrigo (Beião).

“Os verdadeiros amigos são aqueles que quando você faz papel de tolo, não acham que esse é o papel da sua vida.”

A minha eterna família Barroca: Alexandre (Rondônia), André (Pato), André (Rasgada), Charles Rafael (Ku-Sujo), Bruno (Pâmela), Diogo (Cofrão), Eduardo (Verme), Gabriel (Akuda), Guilherme (Baleia), Guilherme (Câimbra), Ivo, Luiz Roberto (Macuco), Murilo (Pimpolho) e Renan (Beißola), Vinícius (Pezão).

“Os amigos verdadeiros são a família que Deus nos permitiu escolher.”

A todas as pessoas que fazem parte da minha vida.

À Laura e o Jack, por terem dado um brilho especial na minha vida.

Ao Prof. Dr. Holmer Savastano Jr., que com tantas atividades importantes, sem medir trabalho e nem esforço, consegue dar conta de exercer, de maneira sublime, o papel de orientador. “Holmer, obrigada pela amizade, confiança, incentivo e atenção prestada”.

Ao Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa, que nos quatro meses de realização do experimento em João Pessoa, se não fosse a minha inatingível paixão pela Zootecnia, teria me transformado em uma (quase) engenheira civil. “Painho, obrigada por além de ter contribuído pro meu crescimento científico, muito ter somado a minha evolução pessoal.”

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo e ao Curso de Pós-Graduação, pela oportunidade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro.

A Prof. Dr^a. Irenilza de Alencar Nããs e ao Prof. Dr. Iran José de Oliveira Silva, que com a alegria contagiante a cada encontro, renovavam minha energia para acreditar na pesquisa científica.

Aos professores: Albino, Alessandra, Bento, Célia, César, Douglas, Ernane, Lia, Rogério, Sobral, Titto, Valdo e Zanetti, que mais do que mestres, hoje são amigos.

Aos companheiros do Laboratório de Construções e Ambiência: Ana Paula, Anderson, Camila, Débora, Fábio, Gustavo, Klever, Maldonado, Marina, Sérgio, Zaqueu. Também ao Adriano, Fernando Denipote, Marco Aurélio Sá, Leandro, Luiz Carlos Roma Jr. e Paulo, que mesmo hoje não fazendo mais parte do grupo foram importantes na realização deste trabalho.

Ao Gustavo Rocha pela paciência e orientação na realização de algumas análises.

Aos colegas da pós-graduação, pelo carinho e pelos bons momentos que passamos juntos.

A todos os funcionários da Biblioteca, em especial a Iara, Cláudio, Marcelo e Patrícia, que sempre se colocaram a disposição para o que precisei.

Aos funcionários e estagiários do Laboratório de Engenharia de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba que me acolheram carinhosamente.

À Aline, Antônio, Flávio, Iolanda (Mainha), Marília e Serginho, que conheci durante a realização deste trabalho e que me ensinaram dentre tantas coisas, um pouquinho do companheirismo Paraibano. “Mesmo estando longe, lembro-me sempre da atenção e carinho de todos vocês...e lógico...das risadas que demos juntos”.

À Universidade de Rio Verde (FESURV), onde dei meus primeiros passos em direção à Zootecnia.

À Tia Bia (Flavina), Isabel (Bell) e Sérgio Zaiden por serem incentivadores desse caminho.

“Feliz daquele que ensina o que aprende e aprende o que ensina”

A minha eterna professora tia Célia (Colégio Pássaro Azul), que me ensinou as primeiras letras e, aos poucos consegui chegar até aqui hoje.

Ser goiano...

Para os que são goianos encham o peito depois de lerem isso, para os não são, descubram porr que nos não sentimos verrrgonha quando puxamos o rrr da porrrta e da porrrteira. Muito pelo contrário...sentimos orrrgulho...Eita trem bonito sô!!!!

Ser goiano é carregar uma tristeza telúrica num coração aberto de sorrisos. É ser dócil e falante, impetuoso e tímido. É dar um porco para não entrar na briga e um nelore para sair dela.

É amar o passado, a história, as tradições, sem desprezar o moderno. É ter latifúndio e viver simplório, comer pequi, guariroba, galinhada, maria isabel e feijoada, e não estar nem aí para os pratos de fora.

Ser goiano é saber perder um pedaço de terras para Minas, mas não perder o direito de dizer também uai, este negócio, este trem, quando as palavras se atropelam no caminho da imaginação.

O goiano da gema vive na cidade com um carro-de-boi cantando na memória. Acredita na panela cheia, mesmo quando a refeição se resume em arroz, abobrinha e quiabo.

Lê poemas de Cora Coralina e sente-se na eterna juventude.

Ser goiano é saber cantar música caipira e conversar com Beethoven, Chopin, Tchaikovsky e Carlos Gomes.

É acreditar no sertão como um ser tão próximo, tão dentro da alma. É carregar um eterno monjolo no coração e ouvir um berrante tocando longe, bem perto do sentimento.

Ser goiano é possuir um roçado e sentir-se um plantador de soja, tal o amor à terra que lhe acaricia os pés.

É dar tapinha nas costas do amigo, mesmo quando esse amigo já lhe passou uma rasteira.

O goiano de pé-rachado não despreza uma pamonhada e teima em dizer *ei, trem bão*, ao ver a felicidade passar na janela e, exclama *viche*, quando se assusta com a presença dela.

Ser goiano é botar os pés uma botina rangedeira e dirigir tratores pelas ruas da cidade.

É beber caipirinha no tira-gosto da tarde, com a cerveja na eterna saideira.
É fabricar rapadura, ter um pássaro preto nos olhos e um santo por devoção.

O goiano histórico sabe que o Araguaia não passa de um "corgo", tal a familiaridade com os rios.

Vive em palacetes e se exila nos botecos da esquina. Chupa jabuticaba, come bolo de arroz e toma licor de jenipapo.

É machista, mas deixa que a mulher mande dentro de casa.

A goiana é brava, custosa, mas tem no seu coração espaço para um mundo inteiro.

O bom goiano aceita a divisão do Estado,
por entender que a alma goiana permanece eterna na saga do Tocantins.

Ser goiano é saber fundar cidades.
É pisar no Universo sem tirar os pés deste chão parado.

É cultivar a *Goianidade* como herança maior.
É ser justo, honesto, religioso e amante da liberdade.

Brasília em terras goianas é gesto de doação, é patriotismo. Simboliza poder.

Mas o goiano não sai por aí contando vantagem.

Ser goiano é olhar para a lua e sonhar, pensar que é queijo e continuar sonhando,
pois entre o queijo e o beijo, a solução goiana é uma rima.

RESUMO

DI CAMPOS, M. S. **Aproveitamento das cinzas da queima da cama sobreposta de suínos como substituição parcial do cimento Portland.** 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2005.

A sustentabilidade das regiões de produção intensiva de suínos depende de destinos alternativos para os resíduos gerados. A calcinação da casca de arroz pode gerar sílica vítrea para substituição parcial de aglomerantes comerciais. A utilização de cinzas de casca de arroz como material pozolânico para argamassas e concretos tem merecido atenção considerável, nos últimos anos, não apenas por melhorar suas propriedades mecânicas, mas, sobretudo pelos benefícios ambientais gerados, com a redução do consumo de clínquer. A falta de sustentabilidade ambiental pode limitar o crescimento econômico da suinocultura, dada a tendência do setor de crescimento concentrado em grandes empreendimentos, e, por consequência, do aumento da poluição por dejetos. Assim, barreiras à expansão do setor podem surgir em estados onde o problema ambiental já está instalado, a exemplo de Santa Catarina. Com a busca de alternativas que solucionem ou minorizem tal problema, este trabalho tem como objetivo testar as cinzas de cama sobreposta de suínos à base de casca de arroz, como material alternativo em diferentes proporções de substituição do cimento Portland em argamassas. A cama sobreposta de suínos foi proveniente do município de Rio Verde, Estado de Goiás, onde atualmente são criados 110.000 suínos em sistema de confinamento. As cinzas foram obtidas por calcinação em mufla laboratorial nas temperaturas de 400, 500 e 600°C, beneficiadas por moagem e, a seguir, passadas na peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm) e nº 325 (# 0,044 mm). A caracterização de cinzas incluiu a determinação do índice de atividade pozolânica com a cal hidratada e com o cimento Portland. As cinzas foram testadas como substitutos parciais de cimento Portland. As argamassas foram preparadas na proporção cimento:areia de 1:1,5 e com fator

água-cimento de 0,4. Três porcentagens de substituição do cimento comercial foram usadas: 10, 20 e 30% em massa além das argamassas de referência sem substituição e com 10% de sílica ativa. O desempenho das argamassas foi avaliado aos sete e aos 28 dias com a determinação da resistência à compressão axial com corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm e cura por imersão em água. As cinzas da cama sobreposta de suínos, calcinadas a 600°C e com substituição de até 30% em massa de cimento Portland, produzem argamassa de excelentes propriedades. Quanto à finura do material, foi observada diferença significativa ($P < 0,05$) nas cinzas passantes na peneira ABNT nº 325 queimadas a 600°C. As resistências das argamassas produzidas com cinzas passantes na peneira ABNT nº 200 e nº 325, com teores de 10, 20 e 30% de substituição, foram superiores às de argamassas com 0% de substituição e com 10% de sílica ativa.

Palavras chave: resíduos; casca de arroz; pozolanicidade; sílica vítrea; sustentabilidade ambiental; construções.

ABSTRACT

DI CAMPOS, M. S. **The use of swine deep bedding ash as partial substitution of Portland cement.** 2005. 134 f. Dissertation (Master's degree) – Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of São Paulo, Pirassununga, Brazil 2005.

The sustainability of intensive areas of swine production depends on alternative destinations for the generated residues. The calcination of rice husk can generate vitreous silica for partial substitution of commercial agglomerates. The use of rice husk ashes as pozzolanic material for mortars and concretes has deserved considerable attention in the last years, not just for improving their mechanical properties, but also for the environmental benefits linked to the reduction of clinker consumption. The lack of environmental sustainability can limit the economical growth of swine production, due to the tendency for concentration in sites with intensive activity, and, as a consequence, the increase of the contamination by wastes. Thus, barriers to the sector expansion can appear in regions where the environmental problem is already installed as, for example, in Santa Catarina State, Brazil. Aiming alternatives that can solve or decrease such a problem, the objective of this work is to test the ashes of swine deep bedding based on rice husk as an alternative binder in mortars. The swine deep bedding ashes were originated from the district of Rio Verde, State of Goiás, where now 110,000 swine are produced in confinement system. The ashes were obtained in a laboratorial furnace at the temperatures of 400, 500 and 600°C and processed in two granulometric distributions by passing through the nº 200 (# 0.074 mm) and nº 325 (# 0.045 mm) mesh sieve. The ash characterization included the determination of pozzolanic activity index with lime and cement. The husks were tested as partial substitutes of Portland cement. The mortars were prepared in cement:sand proportion of 1:1.5, and with water/cement factor of 0.4. Three percentages of substitution of OPC were used: 10%, 20% and 30% by mass, plus the reference mortars without substitution and with

10% of silica fume. Mortars performance was assessed at seven and 28 days by determining the axial compressive strength with 5 cm x 10 cm cylindrical specimens and cure by immersion in water. The results indicated that the ashes obtained at 600°C with substitution of up to 30% by mass of Portland cement, produced mortars with excellent properties. There was significant difference ($P < 0,05$) in the ashes by passing through the nº 325 burning of 600°C. The mechanical strength of mortars produced with ashes passing in the sieve nº 200 and with 10 - 30% of cement substitution was superior to the strength of mortars with 0% of substitution and with 10% of silica fume.

Key-words: residues; rice husk; pozzolanicity; vitreous silica; environmental sustainability; constructions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de arroz (em casca) 1998-2004	28
Figura 2 – Estrutura do grão de arroz.....	29
Figura 3 – Fluxograma dos subprodutos do beneficiamento do arroz	30
Figura 4 – Depósito de cinzas de casca de arroz ao longo de estradas vicinais	32
Figura 5 – Perfil da produção mundial e brasileira de carnes no ano de 2004	41
Figura 6 – Maiores produtores mundiais de carne suína	41
Figura 7 – Produção brasileira de carne suína 1998-2004.....	42
Figura 8 – Principais países importadores	43
Figura 9 – Maiores exportadores de carne suína do mundo	44
Figura 10 – Consumo per capita – carne suína (países – kg/habitante/ano)	45
Figura 11 – Consumo de carne suína per capita no Brasil 2000-2004	46
Figura 12 – Destino da produção brasileira.....	48
Figura 13 – Representação esquemática do fluxo de Nitrogênio na produção de um suíno do nascimento ao abate	51
Figura 14 – Principais problemas a serem resolvidos no manejo dos dejetos líquidos de suínos	53
Figura 15 – Localização do município de Rio Verde, Estado de Goiás.....	67
Figura 16 – Visão da lateral esquerda e direita do galpão onde os animais foram criados em cama sobreposta	68
Figura 17 – Destaque para o local de coleta das sub-amostras	69
Figura 18 – Amostra homogeneizada da cama sobreposta de suínos	69
Figura 19 - Mufla da marca Elektro Therm	71
Figura 20 – Bandeja com as cinzas (600°C) retiradas da mufla	72
Figura 21 – Moinho de cargas metálicas esféricas utilizado para a moagem das cinzas	72
Figura 22 – Microscópio Eletrônico de Varredura	77
Figura 23 – Destaque para o frasco volumétrico de Le Chatelier	78
Figura 24 – Corpos-de-prova envoltos em saco plástico	80
Figura 25 – Mesa de Fluidez	82
Figura 26 – Medida para verificação da consistência ideal ($225 \pm 5\text{mm}$).....	82
Figura 27 – Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos.....	83

Figura 28 – Corpos-de-prova nos moldes aguardando 24h para o capeamento	84
Figura 29 – Análise de DR-X da cinza incinerada a 400°C e peneirada na #200	88
Figura 30 – Análise de DR-X da cinza incinerada a 500°C e peneirada na #200	89
Figura 31 – Análise de DR-X da cinza incinerada a 600°C e peneirada na #200	89
Figura 32 – Formato da partícula da cinza da cama sobreposta vista no MEV	90
Figura 33 – MEV da amostra de uma partícula das cinzas calcinadas a 400°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 200 (# 0,074 mm).....	91
Figura 34 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 500°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 200 (# 0,074 mm).....	91
Figura 35 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 600°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 200 (# 0,074 mm).....	92
Figura 36 – Resistência à compressão simples aos sete e 28 dias de idade das argamassas de referência e com CCSS #200 e #325, calcinada a 600°C.....	97
Figura 37 – Análise de DRX da cinza incinerada a 400°C e peneirada na #325	116
Figura 38 – Análise de DRX da cinza incinerada a 500°C e peneirada na #325	116
Figura 39 – Análise de DRX da cinza incinerada a 600°C e peneirada na #325	117
Figura 40 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 600°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm).....	118
Figura 41 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 600°C, com finura correspondente a peneira ABNT no 325 (# 0,044 mm).....	118
Figura 42 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 600°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm).....	119
Figura 43 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 500°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm).....	119
Figura 44 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 500°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm).....	120
Figura 45 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 400°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm).....	120
Figura 46 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 400°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm).....	121
Figura 47 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 600°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 200 (# 0,074 mm).....	121
Figura 48 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 600°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 200 (# 0,074 mm).....	122
Figura 49 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 500°C, com finura correspondente a peneira ABNT n° 200 (# 0,074 mm).....	122

Figura 50 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 500°C, com finura correspondente a peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm).....	123
Figura 51 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 400°C, com finura correspondente a peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm).....	123
Figura 52 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 400°C, com finura correspondente a peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm).....	124
Figura 54 – CP após rompimento (10% de substituição pelas CCSS).....	127
Figura 55 – CP após rompimento (20% de substituição pelas CCSS).....	127
Figura 56 – CP após rompimento (30% de substituição pelas CCSS).....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ranking dos maiores produtores mundiais de arroz 2004-2005	27
Tabela 2 – Produção de arroz (em casca) 1998-2004	28
Tabela 3 – Composição química de três tipos de CCA com a variação da taxa de aquecimento e a existência ou não de tratamento químico	36
Tabela 4 – Indicadores de produtividade da suinocultura brasileira (1998 – 2004)	47
Tabela 5 – Estimativa do consumo, retenção e perdas de fósforo na produção de suínos	52
Tabela 6 – Comparação do desempenho zootécnico, da taxa de músculo e do rendimento de carcaça dos animais criados sobre o piso ripado e sobre cama de maravalha	55
Tabela 7 – Comparação do balanço de nitrogênio nos sistemas de criação de suínos sobre o piso ripado ou sobre cama de maravalha, por 100 unidade de N que entra no sistema, via ração ou água.....	56
Tabela 8 – Rebanho suíno, participação na produção nacional e estimativa da produção de cama sobreposta nos principais estados brasileiros	58
Tabela 9 – Exigências físicas, mecânicas e químicas do cimento CP II F-32 ⁽¹⁾	73
Tabela 10 – Características físicas e químicas da sílica ativa Silmix.....	74
Tabela 11 – Características do superplastificante da marca Glenium 51	75
Tabela 12 – Análise bromatológica da cama sobreposta de suínos	85
Tabela 13 – Análise química da cama sobreposta de suínos queimada em diferentes temperaturas.....	86
Tabela 14 – Áreas específicas das cinzas incineradas em diferentes temperaturas pelo método do permeâmetro de Blaine	93
Tabela 15 – Análise granulométrica por peneiramento obtida para diferentes temperaturas .	94
Tabela 16 – Resultados de resistência à compressão simples (RSC) de argamassas do ensaio do índice de atividade pozolânica da cinza com a cal	95
Tabela 17 – Resultados de resistência à compressão simples (RCS) de argamassas com substituição parcial do cimento pelas CCSS calcinadas a 600°C, passante nas peneiras ABNT n° 200 (# 0,074 mm) e n° 325 (# 0,044 mm) com teores de 0, 10, 20 e 30% em massa	98
Tabela 18 – Características químicas e físicas da cal hidratada.....	115
Tabela 19 – Resistência de argamassas com substituição parcial do cimento pelas CCSS calcinadas a 600°C, passante na peneira ABNT n° 200 (# 0,074 mm) nos teores de 0, 10, 20 e 30% em massa	125

Tabela 20 – Resistência de argamassas com substituição parcial do cimento pelas CCSS
calcinadas a 600°C, passante na peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm) nos teores de 0, 10, 20
e 30% em massa 126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al_2O_3 – Óxido de Alumínio

ASTM – American Society for Testing and Materials

CaO – Óxido de Cálcio

CaSO_4 – Sulfato de Cálcio

Fe_2O_3 – Óxido de Ferro

MgO – Óxido de Magnésio

NaSO_4 – Sulfato de Sódio

NBR – Norma Brasileira

NH_3 – Amônia

RCS – Resistência à Compressão Simples

SCA – Sílica da Casca de Arroz

SiO_2 – Óxido de Sílica

μm - Micrômetro

#200-400°C – CCSS que passa na peneira ABNT nº. 200 calcinado na temperatura de 400°C

#200-500°C – CCSS que passa na peneira ABNT nº. 200 calcinado na temperatura de 500°C

#200-600°C – CCSS que passa na peneira ABNT nº. 200 calcinado na temperatura de 600°C

#325-400°C – CCSS que passa na peneira ABNT nº. 325 calcinado na temperatura de 400°C

#325-500°C – CCSS que passa na peneira ABNT nº. 325 calcinado na temperatura de 500°C

#325-600°C – CCSS que passa na peneira ABNT nº. 325 calcinado na temperatura de 600°C

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVOS	24
1.2 JUSTIFICATIVA	24
2 REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1 ARROZ.....	26
2.1.1 Origem e História do Arroz	26
2.1.2 Produção de Arroz	27
2.2 Subprodutos do Arroz	29
2.2.1 Cinza da Casca de arroz (CCA)	31
2.2.1.1 A CCA como adição mineral	33
2.2.1.1.1 Efeitos do tratamento químico.....	34
2.2.1.1.2 Efeito da temperatura.....	35
2.2.1.2 Utilização da CCA para substituição do cimento Portland.....	37
2.2.1.3 O potencial econômico da CCA	38
2.3 SUINOCULTURA	40
2.3.1 O desempenho mundial da suinocultura	40
2.3.1.1 A importação	43
2.3.1.2 A exportação	44
2.3.1.3 O consumo	45
2.3.2 A moderna cadeia produtiva de suínos no Brasil	46
2.3.3 Produção sustentável	48
2.3.4 Sistema de manejo dos dejetos líquidos de suínos.....	49
2.3.5 Sistema cama sobreposta de suínos (Deep Bedding)	54
2.3.5.1 Potencial do resíduo no Brasil	57
2.3.5.2 Destino dado à produção	59
2.3.5.2.1 Os efeitos adversos da aplicação dejetos de suínos nos solos.....	60
2.3.5.2.2 Um exemplo brasileiro	61
2.4 FIBROCIMENTO	62
2.4.1 Pozolana	63
2.4.2 Reciclagem de resíduos para construções.....	64
3 MATERIAL E MÉTODOS	66
3.1 PRIMEIRA ETAPA	66
3.1.1 Coleta da cama sobreposta de suínos (CSS)	66
3.1.2 Análise bromatológica	70
3.2 SEGUNDA ETAPA.....	70
3.2.1 Produção das cinzas da cama sobreposta de suínos (CCSS)	71
3.2.2 Materiais utilizados	73
3.2.2.1 Cimento	73
3.2.2.2 Cal	74
3.2.2.3 Sílica Ativa.....	74

3.2.2.4 Areia	74
3.2.2.5 Água	75
3.2.2.6 Superplastificante	75
3.2.3 Ensaios de Caracterização.....	75
3.2.3.1 Caracterização química.....	75
3.2.3.2 Caracterização Mineralógica	76
3.2.3.2.1 Difração de Raios-X (DR-X)	76
3.2.3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	77
3.2.3.3 Caracterização Física.....	78
3.2.3.3.1 Massa Específica Real	78
3.2.3.3.2 Área Específica	79
3.2.3.3.3 Análise granulométrica por peneiramento	79
3.2.3.4 Atividade pozolânica.....	79
3.2.3.4.1 Índice de atividade pozolânica com a cal (IAPC)	80
3.2.3.4.2 Índice de atividade pozolânica com o cimento Portland (IAPCP).....	81
3.2.3.5 Resistência à Compressão Simples	81
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4.1 PRIMEIRA ETAPA	85
4.2 SEGUNDA ETAPA.....	86
4.2.1 Ensaios de Caracterização.....	86
4.2.1.1 Caracterização química.....	86
4.2.1.2 Caracterização Mineralógica	88
4.2.1.2.1 Difração de Raios-X (DR-X)	88
4.2.1.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	90
4.2.1.3 Caracterização Física.....	93
4.2.1.3.1 Área Específica	93
4.2.1.3.2 Análise Granulométrica por Peneiramento.....	94
4.2.1.4 Atividade Pozolânica	94
4.2.1.4.1 Índice de atividade pozolânica com a cal (IAPC)	94
4.2.1.4.2 Índice de atividade pozolânica com o cimento (IAPCC)	96
4.2.1.5 Resistência à Compressão Simples (RCS)	97
5 CONCLUSÕES	100
6 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	101
REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

As relações entre o homem e a natureza precisam ser repensadas. A agricultura e a indústria estão na vitrine dessa questão por representarem os dois elos mais sensíveis da relação homem/natureza. O mundo está caminhando para uma mudança de paradigmas, do mecanicista para o ecológico. (LERÍPIO et al., 1999)

Atualmente o grande desafio dos produtores de suínos é a exigência da sustentabilidade ambiental das regiões de produção intensiva. O problema ambiental relacionado à questão dos resíduos na produção suína é um grande entrave à sua expansão. De um lado, existe a pressão pela concentração em pequenas áreas de produção e pelo aumento da produtividade, e de outro, que esse aumento não afete o meio ambiente. Para a sobrevivência das zonas de produção intensiva de suínos, é preciso encontrar sistemas alternativos de aproveitamento dos resíduos gerados. Com essa finalidade, foi desenvolvida a criação de suínos em cama sobreposta. Assim, os dejetos que eram anteriormente descartados no meio ambiente, passam a ter maior valorização agronômica, visto que essa cama pode servir de adubo orgânico. Porém a utilização da cama sobreposta demanda áreas relativamente grandes para o seu aproveitamento. Este fato, associado aos problemas de custos e dificuldades de armazenamento e transporte, torna imprescindível o desenvolvimento de usos alternativos para esse resíduo.

Nos estados produtores de suínos em grande escala, nas fases de crescimento e terminação tem sido muito utilizado o sistema de criação de suínos em cama sobreposta. Periodicamente essas camas têm que ser renovadas e, envolvendo grandes volumes, transformam-se em um sério inconveniente ambiental. Os principais impactos causados ao meio ambiente são decorrentes do manejo impróprio dos resíduos, em razão da especialização e da concentração do número de granjas de suínos (DIESEL et al., 2002). Esses resíduos são normalmente lançados diretamente nos mananciais ou distribuídos no solo, como fertilizante (TAKITANE; SOUZA, 2001). Estudos realizados por Barnabé (2001) e Konzen (2000) asseveram que, em excesso, como já ocorre em algumas regiões de Santa Catarina (GUIVANT, 1996), esses resíduos podem contaminar o solo e o curso

d'água, devido à quantidade de nitrogênio, orgânico e químico, contida nos dejetos. Esses elementos percolam para as camadas mais profundas do perfil do solo, expondo a região a risco ambiental acentuado (PEREIRA, 2003). Segundo Seganfredo (2000), é necessário obedecer à reposição da exportação de nutrientes pelas produções agrícolas, o que implica altos investimentos em ativos ambientais para alcançar a fertilização adequada.

A solução para o problema seria sua calcinação em ambiente controlado e o aproveitamento das cinzas para fins mais nobres (GHAVAMI et al., 1999). Um bom exemplo é a incorporação de cinzas e materiais pozolânicos residuais aos compostos cimentícios, para melhoria das suas propriedades físicas e mecânicas, e de sua durabilidade.

A principal propriedade de uma pozolana é sua capacidade de reagir e se combinar com o hidróxido de cálcio, formando compostos estáveis de poder aglomerante tais como silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (GHAVAMI et al., 1999). No cimento Portland, o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação dos silicatos reage com a pozolana que é utilizada como substituição parcial do cimento, resultando em produção extra de silicatos de cálcio hidratados, que são os produtos mais estáveis do cimento hidratado.

Algumas das vantagens técnicas resultantes do emprego de pozolanas em concretos são as seguintes: a reação álcalis-agregado pode ser reduzida ou inibida; a resistência mecânica pode ser aumentada; a resistência a cloretos, sulfato e água do mar pode ser melhorada; a permeabilidade e a liberação de calor, diminuídas. Além dessas vantagens técnicas, tem-se o benefício econômico obtido por menor consumo de cimento Portland, mantendo inalteradas ou com melhoria da resistência mecânica e durabilidade. Pela mesma razão, uma economia de energia pode ser atingida: os materiais pozolânicos são energeticamente mais econômicos que o clínquer do cimento Portland (OLIVEIRA, 2005).

Dentre os materiais utilizados na confecção de concretos e argamassas, o cimento é o componente que apresenta normalmente maior custo, em razão da quantidade de energia gasta durante todo o seu processo de fabricação.

De acordo com o Ministério da Ciência e Tecnologia (2002), a indústria do cimento responde por cerca de 7% da emissão anual de gás carbônico na atmosfera. Segundo Gonçalves et al. (1999), para se produzir uma tonelada de clínquer (matéria-prima do cimento Portland), ocorre uma liberação de 0,6 tonelada

de CO₂. O cimento Portland comum (CP I) é composto de clínquer de pequena quantidade de material carbonático, enquanto o cimento Portland, composto com escória (CPII E), pode ter até 34% em massa de escória de alto forno.

O alcance de concretos com maior durabilidade vem sendo feito através de avanços na tecnologia do concreto, e principalmente utilizando-se adições de materiais cimentícios e pozolânicos, tais como cinza volante, escória de alto forno moída e pozolana naturais (CINCOTTO, 1995). Para John (1999), a utilização de adições aos concretos vem se tornando cada vez mais uma preocupação dos engenheiros e de toda a sociedade, por uma necessidade de melhoria da qualidade e por uma questão ambiental, em busca de uma maior conservação dos recursos naturais.

A substituição do clínquer por materiais cimentícios reduz a emissão de CO₂. Portanto, a cada dia que passa, a introdução de materiais cimentícios suplementares no concreto, seja como substituição parcial do cimento Portland, seja como simples adição, vem crescendo sistematicamente (JOHN; ZORDAN, 2001).

De acordo com Libório (2000), dentre as matérias-primas mais utilizadas na confecção de concretos de elevado desempenho, estão: sílica ativa, cinza volante, escória granulada de alto forno, cinza da casca do arroz, terras diatomáceas, metacaulinitas e fíller de calcário. Esses materiais possuem duas formas básicas de atuação no concreto: uma física, o denominado efeito fíller (ou de preenchimento de vazios), que colabora para aumentar a compacidade da pasta, além de melhoria significativa da zona de transição pasta-agregado; e outra química, a clássica reação pozolânica de transformação do hidróxido de cálcio em silicato de cálcio hidratado. Portanto, a ação desses materiais pode diminuir a porosidade e densificar a matriz da pasta, de modo a melhorar a zona de transição e, como consequência, aumentar a durabilidade e as resistências mecânica e química dos concretos e argamassas.

A sílica ativa é um tipo de adição de muito destaque, pela sua alta reatividade. Considerada por Barata (1998), Schuler (1998), Dal Molin e Souza (2002) e Dal Molin e Kulakowski (2004) como uma superpozolana, a SA é um subproduto da fabricação de silício metálico ou ligas de ferro-silício. A SA apresenta elevada finura, alta área específica e alto teor de sílica vítrea. Esses fatos somados garantem à SA uma alta reatividade com o hidróxido de cálcio.

De qualquer forma, em termos gerais, a adição de sílica ativa é vista como positiva, pois permite inclusive que se utilize uma relação água/aglomerante

levemente superior, favorecendo a trabalhabilidade e o acabamento superficial do concreto, sem que prejudique certas características do material que são importantes para garantir sua resistência e durabilidade.

A casca de arroz é pesquisada como uma fonte alternativa de sílica ativa. A sílica extraída da casca de arroz contém altos teores de SiO_2 e que, dependendo do processo de extração, possui propriedades adequadas para utilização na confecção de concreto de elevado desempenho.

De acordo com Libório et al. (2000), para que a sílica da casca de arroz possa ser utilizada na confecção de concretos de elevado desempenho, são necessárias área específica elevada e baixa granulometria, que proporcionam melhor empacotamento dos grãos. Adicionalmente, deve ser livre de impurezas, que afetam a hidratação e a reologia do concreto ou promovem alterações no estado de endurecimento.

A cinza obtida com a calcinação sem controle tem grande teor de carbono e outros materiais nocivos à saúde. Se todo esse rejeito fosse convertido em sílica, seriam obtidas aproximadamente 300 mil toneladas/ano (PEREZ et al., 2004). Como uma parcela dessa produção é destinada à produção de cama sobreposta de suínos, faz-se necessário utilizar esse material com fim nobre face à gigantesca produção. Para a suinocultura haveria um grande impacto social. Uma nova economia seria gerada pelo aproveitamento adequado da cama sobreposta, o que também resultaria em um incremento na qualidade de vida da população e do meio ambiente, uma vez que a poluição gerada seria reduzida.

O emprego potencial da cama sobreposta de suínos como material pozolânico, em substituição parcial do cimento Portland na confecção de argamassas e compósitos fibrosos, por exemplo, resulta em substancial economia de energia e conseqüentemente em redução de custos.

A substituição em torno de 20% do cimento Portland por cinzas de casca de arroz, componente principal da cama sobreposta de suínos, já é estudada há algum tempo e tem-se mostrado eficiente na maioria das aplicações (ANJOS et al., 2003; MESA et al., 2004).

A obtenção de cinza de casca de arroz com boas características, como amorficidade, exige temperatura e duração de calcinação controlada. Como na cama sobreposta de suínos também estão presentes os dejetos dos animais, é necessário averiguar se eles interferem de alguma forma no desempenho da cinza.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi estudar um resíduo da produção de suínos, denominado “cama sobreposta” à base de casca de arroz, como material alternativo para construções, com ênfase àquelas no meio rural. O trabalho procurou identificar a potencialidade do uso das cinzas resultantes da queima desse resíduo como adição mineral para substituição parcial do cimento Portland comercial em materiais à base de cimento.

A primeira etapa deste trabalho consistiu da coleta e homogeneização do material.

A segunda etapa foi identificar o efeito de diferentes temperaturas de calcinação (400, 500 e 600°C) e de finuras correspondentes às peneiras ABNT nº 200 (# 0,074 mm) e nº 325 (# 0,044 mm) para avaliação da pozolanicidade das cinzas e avaliar sua utilização como material alternativo em diferentes proporções (0, 10, 20 e 30% em massa) de substituição do cimento Portland em argamassas. Também foi usada como referência a substituição de 10% por sílica ativa, que é um material comumente utilizado como pozolana. Foram realizados ensaios de caracterização física, química e mineralógica e de resistência mecânica de argamassas, para estabelecer as propriedades pozolânicas e mostrar o potencial que as cinzas da cama sobreposta de suínos à base de casca de arroz podem representar na preparação de argamassas.

1.2 JUSTIFICATIVA

As cadeias produtivas agrícolas geram em seus diversos segmentos, subprodutos que podem e devem ser reciclados. Uma premissa cada dia mais inevitável é a busca do balanço zero ou, o equilíbrio e eficiência das cadeias com a geração do mínimo de resíduos. A quantidade de cama de suínos produzida no Brasil só poderá ser convenientemente reciclada, se bem manejada e aplicada como

fertilizante na agricultura, que sempre será o principal destino da cama sobreposta de suínos.

Alternativamente, as cinzas da cama sobreposta de suínos poderão ter uso vantajoso e recomendável como material de substituição do cimento Portland na produção de argamassas. A utilização desse material pode contribuir para a redução da emissão de CO_2 no ar e de NH_3 no solo, reduzir custos de transporte, agregar valor ao produto final, criar mais empregos regionais e ainda, possibilitar ao produtor de suíno ter acesso direto a um material pozzolânico de alto desempenho para reduzir custos em construções.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ARROZ

2.1.1 Origem e História do Arroz

Diversos historiadores e cientistas apontam o sudeste da Ásia como o local de origem do arroz. Na Índia, uma das regiões de maior diversidade e onde ocorrem numerosas variedades endêmicas, as províncias de Bengala e Assam, bem como na Mianmar, têm sido referidas como centros de origem dessa espécie. Duas formas silvestres são apontadas na literatura como precursoras do arroz cultivado: a espécie *Oryza rufipogon*, procedente da Ásia, originando a *O. sativa*; e a *Oryza barthii* (= *Oryza breviligulata*), derivada da África Ocidental, dando origem à *O. glaberrima*. O gênero *Oryza* é o mais rico e importante da tribo *Oryzeae* e engloba cerca de 23 espécies, dispersas espontaneamente nas regiões tropicais da Ásia, África e Américas. A espécie *O. sativa* é considerada polifilética, resultante do cruzamento de formas espontâneas variadas.

Alguns autores (SANTOS, 1997; NEHDI et al. 2003; LUDWIG, 2004; QINGGE FENG, 2004) apontam o Brasil como o primeiro país a cultivar esse cereal no continente americano. O arroz era o "milho d'água" (abati-uaupé) que os tupis, muito antes de conhecerem os portugueses, já colhiam nos alagados próximos ao litoral. Consta que integrantes da expedição de Pedro Álvares Cabral, após uma peregrinação por cerca de 5 km em solo brasileiro, traziam consigo amostras de arroz, confirmando registros de Américo Vespúcio que trazem referência a esse cereal em grandes áreas alagadas do Amazonas. Em 1587, lavouras arrozeiras já ocupavam terras na Bahia e, por volta de 1745, no Maranhão. Em 1766, a Coroa Portuguesa autorizou a instalação da primeira descascadora de arroz no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro. A prática da orizicultura no Brasil, de forma organizada e

racional, aconteceu em meados do século XVIII e daquela época até a metade do século XIX, o país foi um grande exportador de arroz (ROSA et al., 2005).

2.1.2 Produção de Arroz

A produção mundial de arroz em casca no ano de 2004 foi de 591,2 milhões de toneladas, sendo a maior produtora mundial a China, seguida pela Índia, Indonésia e Bangladesh (WORLD RICE PRODUCTION, 2005). Segundo a FAO (2005), o Brasil ocupa o sexto lugar no ranking, sendo responsável por 2,25% da produção mundial, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Ranking dos maiores produtores mundiais de arroz 2004-2005

Produtores	Produção Milhões (t)	Estoques Milhões (t)
	2004	2005
China	190,1	55,1
Índia	126,1	9,5
Indonésia	52,3	3,3
Vietnã	34,2	5,2
Tailândia	27,1	1,5
Brasil	13,3	1,5
Mundo	591,2	94,1

Fonte: FAO (2005)

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) apud Rosa et al. (2005, p. 17), do total da produção nacional, 87,77% está concentrada em apenas 10 estados e um terço desta produção é beneficiada somente em cidades de médio porte ou grandes centros urbanos.

A região e o estado líder em produção foram a região Sul e o estado do Rio Grande do Sul, responsável por 45,45 e 5,73%, respectivamente, da referida safra. A Região Centro-Oeste foi a segunda maior produtora de arroz, sendo que, no biênio

2003/2004, sua produção cresceu 60,56%, alcançando cerca de 21% do total produzido no país. O estado de Goiás ocupa o sétimo lugar no ranking nacional (IBGE, 2005) e é responsável por 2,78% da produção nacional de arroz. Na Figura 1 e na Tabela 2, podemos observar as produções de arroz no Brasil, na região Centro-Oeste e no Estado de Goiás de 2000 a 2004.

Figura 1 – Produção de arroz (em casca) 1998-2004

Tabela 2 – Produção de arroz (em casca) 1998-2004

	Goiás	Centro-Oeste	Brasil
1998	213.819	1.187.836	7.716.090
1999	352.329	2.344.967	11.709.694
2000	294.629	2.374.964	11.134.588
2001	192.839	1.565.360	10.184.185
2002	212.812	1.607.651	10.445.986
2003	244.131	1.736.406	10.334.603
2004	369.513	2.787.618	13.262.373

Fonte: IBGE (2005)

2.2 SUBPRODUTOS DO ARROZ

A estrutura do grão de arroz é formada por casca, farelo e grão, como ilustra a Figura 2.

Fonte: Disponível em: <http://www.josapar.com.br/>

Figura 2 – Estrutura do grão de arroz

Do beneficiamento do grão de arroz resultam, em média, 72% de grãos limpos, 19% de cascas e 9% de farelo (LAM-SÁNCHEZ et al., 1994).

O fluxograma (Figura 3) mostra as principais etapas do processo os principais produtos (arroz integral e o polido) e os subprodutos do beneficiamento do arroz (LUDWIG, 2004).

Nos quadros em cinza, estão apresentados os subprodutos obtidos do beneficiamento, em branco estão as principais operações unitárias envolvidas neste processo, em listras nas diagonais, estão os principais produtos e em listras verticais, a matéria-prima, ou seja, o arroz em casca. O destaque em vermelho é dado a casca, que é o resíduo de interesse deste trabalho, sendo abordada no próximo tópico.

Figura 3 – Fluxograma dos subprodutos do beneficiamento do arroz

A casca de arroz (CA) gerada do processo de beneficiamento do arroz, é um resíduo que, por causa do seu alto poder calorífico (aproximadamente 16720 kJ/kg) e custo praticamente nulo, vem cada vez mais substituindo a lenha empregada na geração de calor e de vapor, necessários para os processos de secagem e parboilização dos grãos (CINCOTTO et al., 1990).

A CA é considerada um resíduo de classe II, ou seja, não inerte e não perigoso à saúde humana e ao meio ambiente (BERNARDES, 1983). A CA representa o maior volume entre os subprodutos da indústria arroseira no beneficiamento (19%), é um produto abrasivo e de escasso valor nutritivo (YUFERA, 1998). Devido à baixa densidade (80 – 160 kg/m³), seu simples armazenamento e eliminação, constituem um problema grave, e seu transporte é caro (LUDWIG, 2004).

De acordo com Ismail e Waliuddin (1996), a CA é constituída basicamente de celulose, 50%, lignina, 25-30% e resíduo orgânico, 15-25%.

O resíduo orgânico, segundo Harima (1997), contém em média 95% em massa de sílica, na forma amorfa hidratada, que depende da espécie e do local de plantio.

Com o objetivo de reduzir a geração de resíduos nos processos industriais e agrícolas, principalmente os poluentes, bem como melhor reaproveitá-los, seja no próprio processo produtivo ou como matéria-prima na elaboração de outros materiais, segundo SAVASTANO JR. (2000) é cada vez maior o investimento em pesquisas para a transformação destes em subprodutos de interesse comercial.

2.2.1 Cinza da Casca de arroz (CCA)

Mediante a queima da CA em fornalhas a céu aberto ou em fornos especiais com temperatura controlada, é produzida a CCA, denominada residual se obtida sem controle de temperatura e tempo de exposição (PRUDÊNCIO JR. et al., 2003).

A CCA contém carbono e, por essa razão, tende a ser preta. Entretanto, pode ser também cinza, púrpura ou branca, dependendo das impurezas presentes e das condições de queima. As análises químicas de várias amostras de CCA, provenientes de várias regiões do mundo, mostram que o conteúdo de sílica varia de 90 a 95%. Os álcalis, K_2O e Na_2O , ocorrem como a principal impureza. O conteúdo de K_2O pode variar entre 1 e 5%, dependendo do tipo e quantidade de fertilizante utilizado na plantação. Pequenas quantidades (menos que 1%) de outras impurezas, tais como CaO , MgO e P_2O_5 , também são encontradas (HOUSTON, 1972).

Segundo Prudêncio Jr. et al. (2003), atualmente, as empresas beneficiadoras de arroz são as principais consumidoras da casca como combustível para a secagem e parboilização do cereal. A utilização da CA tem sido conduzida tanto para geração direta do calor quanto para geração de energia termelétrica na própria planta industrial, em interessante parceria de troca com as companhias de distribuição de eletricidade. O problema é que quando calcinada em ambiente fechado (caldeiras e fornos, por exemplo), resulta em cinzas que são tóxicas e prejudiciais ao homem. Como se trata, geralmente, de empresas de pequeno porte, estas não possuem processos para aproveitamento e descarte adequados desse resíduo, que é geralmente depositado em terrenos baldios ou lançado em cursos

d'água, ocasionando poluição e contaminação de mananciais através da liberação gás metano - prejudicial à camada de ozônio - ao se decompor (FENG et al., 2004).

De acordo com Santos (1997), com a falta de emprego para as cinzas recolhidas, esse material estocado acaba sendo lançado fora de forma clandestina, muitas vezes ao longo de estradas vicinais (Figura 4).

Fonte: Santos (1997, p.243)

Figura 4 – Depósito de cinzas de casca de arroz ao longo de estradas vicinais

Para minimizar o problema, órgãos ambientais têm buscado regulamentar o descarte dessas cinzas (SILVEIRA, 2001). Segundo Prudêncio Jr. et al. (2003), no estado de Santa Catarina, por exemplo, a Fundação de Amparo e Tecnologia do Meio Ambiente (FATMA) exige a instalação de um sistema constituído de silo separador e decantação para reter a cinza junto às beneficiadoras, evitando, dessa forma, que esta seja lançada no ambiente.

2.2.1.1 A CCA como adição mineral

Os materiais fabricados com a CCA possuem a mesma qualidade que os tradicionais e chegam a custar até 40% menos. Os testes realizados em laboratórios demonstram que os novos produtos, em alguns casos, apresentam até mais resistência e durabilidade do que os convencionais, além de serem ecologicamente viáveis (ODA, 2003).

A CCA é um resíduo negro que contém em média 12% de carbono, um teor elevado que altera a reologia do concreto fresco. É uma pozolana reativa, contém um alto teor de SiO_2 , e a reatividade com a cal livre depende de dois fatores: a não cristalinidade e área específica. As principais impurezas encontradas na CCA além do carbono são: o magnésio, o cálcio, o sódio e, principalmente, o potássio.

Trabalhos que merecem destaque com a utilização desse resíduo em diversos setores industriais foram desenvolvidos por Cincotto (1988), Guedert (1989), Farias e Recena (1990), Cincotto (1995), Isaia et al. (2003), Silveira (1996), Santos (1997), Gava et al. (1999), Dafico (2001), Weber (2001), Martins et al., (2003) e Ludwig (2004).

Segundo Payá et al. (2001), a sílica da casca de arroz (SCA) não cristalina é obtida da queima em temperaturas inferiores a 500°C , consiste em uma estrutura desordenada de silício (Si) e oxigênio (O) resultante da decomposição e sinterização sem derretimento da sílica amorfa hidratada. Ocasionalmente podem ocorrer como impurezas fases cristalinas como quartzo, cristobalita e tridimita.

Ainda de acordo com Payá et al. (2001), se a SCA é produzida pela queima da casca em temperaturas não controladas, a cinza geralmente é cristalina e apresenta baixa reatividade. Entretanto, se queimada sob temperatura e atmosfera controladas, obtém-se uma sílica de altíssima reatividade.

Um dos parâmetros para avaliar a reatividade da SCA é verificar a relação sílica cristalina/sílica amorfa. Quanto maior a relação, menor a atividade pozolânica da sílica da casca de arroz (ODA, 2003).

A sílica obtida através da casca previamente tratada e calcinada em temperatura controlada apresenta como características superiores à cinza, maior

área superficial, maior porcentagem de sílica amorfa, baixo nível de impurezas; o que garante à SCA uma reatividade superior à apresentada pela CCA.

O tratamento químico da casca eleva os custos de produção. Caso as cascas não forem tratadas, as propriedades pozolânicas da SCA ficam bastante prejudicadas, devido ao elevado grau de impurezas orgânicas; embora vários estudos realizados comprovem a possibilidade de utilização da SCA na obtenção de concretos de alta resistência e de elevado desempenho.

Existem dois fatores que alteram sensivelmente as características da SCA: o tratamento prévio da casca e a temperatura de calcinação, que irão interferir no grau de amorficidade, área específica e teor de impurezas.

2.2.1.1.1 Efeitos do tratamento químico

Estudos realizados por Krishnarao et al. (2001) demonstraram que a formação de partículas pretas (carbono) na sílica obtida da calcinação da casca de arroz não tratada é maior que quando se trata a casca, e que a tendência de se formar partículas pretas aumenta com a taxa de aquecimento e a temperatura de calcinação das cascas não tratadas. Estes mesmos autores afirmam que o potássio é o principal responsável pela formação de carbono na CCA. Em cascas de arroz tratadas quimicamente com 3 Normal de HCl, a formação dessas partículas pretas pode ser evitada, e se tratada, não existe nenhum efeito da taxa de aquecimento na formação de partículas pretas.

Real et al. (1996) conseguiram produzir uma sílica com aproximadamente 99,5% de pureza e 260 m²/g de área específica através de cascas previamente tratadas com ácido clorídrico calcinadas à temperatura de 600°C. Entretanto se a casca não for previamente tratada e após a calcinação a sílica for lavada com ácido é obtida uma sílica amorfa de mesma pureza, mas com área específica abaixo de 1 m²/g. Yalçin e Sevinç (2001) concluíram que o tratamento químico interfere também na área específica da CCA. Amostras tratadas quimicamente com ácido clorídrico

calcinadas a 500°C apresentaram área específica de 200 m²/g, contra 100 m²/g das amostras que foram lavadas com água destilada.

2.2.1.1.2 Efeito da temperatura

Estudos experimentais realizados na Universidade da Califórnia (MEHTA, 1992), com o objetivo de encontrar condições ótimas de queima, para produção de cinzas com reatividade pozolânica, indicam que, quando a temperatura de queima situa-se na faixa de 500 a 700°C, ou se o tempo de combustão é menor que um minuto em temperaturas entre 700 e 800°C, a sílica é mantida como fase amorfa e com porosidade interna da ordem de 50 a 100 m²/g de superfície medida através de adsorção de nitrogênio.

Segundo Krishnarao et al. (2001), o potássio é o responsável pela aceleração da fixação do carbono na CCA. A hipótese formulada pelos pesquisadores é de que o óxido de potássio (K₂O) se dissocia a temperatura de 346,85°C, formando então o elemento potássio (K) que tem o ponto de fusão em 63,65°C. Segundo Nakata et al. (1989), o elemento potássio causa o derretimento da superfície da casca e acelera a cristalização da sílica amorfa em cristobalita. Como decorrência observa-se uma diminuição do tamanho das partículas.

Se a casca de arroz é queimada em baixa temperatura, a matéria orgânica como a celulose e a lignina etc., decompõem-se em carbono. Após a decomposição, aumentando-se a temperatura, ocorre a oxidação do carbono e o produto resultante é um pó branco que é a SCA (CINCOTTO et al., 1990). Se a temperatura de calcinação ultrapassar a temperatura de decomposição do óxido de potássio antes da oxidação de todo o carbono, segundo CINCOTTO et al (1995), o carbono remanescente ficará retido na superfície derretida, e uma vez preso na superfície derretida rica em potássio o carbono não poderá ser mais oxidado diretamente em contato com o ar.

Para FERREIRA et al. (1997), caso o aquecimento seja feito de forma lenta, a oxidação do carbono ocorre antes da dissociação do óxido de potássio e,

conseqüentemente, antes do derretimento da superfície, então a tendência de retenção do carbono na superfície derretida é eliminada. Entretanto a velocidade de oxidação do carbono é lenta.

Quando a casca é tratada quimicamente ocorre a eliminação do potássio, neste caso a temperatura de calcinação não é relevante, pois não existe potássio para formar a carapaça derretida. Salienta-se que a temperatura de calcinação não deve exceder a temperatura de 700°C quando começa a ocorrer a cristalização da sílica (GEYER et al., 2000).

Krishnarao et al. (2001) concluíram que o tempo gasto no tratamento químico é compensado pela possibilidade de se elevar a temperatura, o que implica a maior velocidade de oxidação do carbono, para se produzir uma cinza amorfa e branca.

A Tabela 3 apresenta a composição química de três tipos de CCA, com a variação da taxa de aquecimento e a existência ou não de tratamento químico.

Tabela 3 – Composição química de três tipos de CCA com a variação da taxa de aquecimento e a existência ou não de tratamento químico

Componentes	Casca não tratada (aquecimento lento) (%)	Casca não tratada (aquecimento rápido) (%)	Casca tratada (HCl) (aquecimento lento) (%)
PF	2,39	2,29	7,60
SiO ₂	90,20	89,80	92,20
Al ₂ O ₃	0,27	0,29	0,07
MgO	0,03	0,03	0,01
CaO	0,07	0,06	0,00
MnO ₂	0,11	0,01	0,00
Fe ₂ O ₃	0,03	0,04	0,01
Na ₂ O	0,10	0,09	0,01
K ₂ O	2,12	2,58	0,02
P ₂ O ₅	0,47	0,43	0,01
C	4,22	4,28	0,07

Fonte: Prudêncio Jr. et al. (2003)

O alto teor de carbono residual para a cinza obtida através de casca não tratada e aquecimento lento pode ser creditado, segundo Oda (2003), ao tempo insuficiente para total eliminação do carbono. Portanto, para se produzir uma cinza com baixo teor de impureza e elevado grau de amorficidade, é necessário tratar a casca quimicamente e calciná-la à temperatura abaixo de 700°C.

2.2.1.2 Utilização da CCA para substituição do cimento Portland

Como material adicionado conjuntamente ao cimento Portland, muitas propriedades únicas apresentadas pela CCA têm sido reportadas por diversos pesquisadores (ODA, 2003; LUDWIG, 2004). Com o concreto fresco, adições de misturas pozolânicas, tais como a CCA, têm a capacidade de reduzir a segregação e a exsudação, e isto acarreta grande melhoria da trabalhabilidade. A CCA tem a habilidade de contribuir para o aumento na resistência mecânica do concreto em baixas idades, entre um e três dias. Isso abre as portas para o uso de misturas de cinza volante e outras pozolanas normais com a CCA, com a última agindo como acelerador de resistência (MEHTA, 1992).

Estudos realizados por Mehta (1992) sobre as propriedades de cimentos Portland compostos com adição de CCA demonstram que as pastas de cimentos com 30% e 50% de cinza apresentaram um maior desenvolvimento das resistências nas idades iniciais. Estes resultados foram semelhantes aos experimentos realizados por Mazlum e Uyan (1992).

Um outro efeito benéfico da incorporação da CCA apontado por Mehta (1977) e Sugita et al. (1992) é a durabilidade superior em ambientes ácidos, que foi creditado ao efeito pozolânico que reduz a quantidade de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Zhang e Malhotra (1996), comparando concretos com adição de CCA e sílica ativa demonstraram que a adição da CCA aumenta a velocidade de hidratação, atribuída à maior atividade pozolânica da CCA, e que os concretos confeccionados com a CCA apresentaram valores de resistência superiores ao concreto de referência, mas inferiores ao concreto com sílica ativa.

Estudos realizados por Ismail e Waliuddin (1996) sobre o efeito da sílica cristalina obtida da casca de arroz em concretos de alta resistência demonstraram que os concretos feitos com a sílica cristalina não obtiveram resistências superiores ao concreto de referência, embora tenham atingido bons resultados à compressão. Este fato comprova que a sílica cristalina não exerce um efeito pozolânico, o bom nível de resistência à compressão encontrada, demonstra o efeito fíller proporcionado pela sílica cristalina.

Galal et al. (1990) estudaram o teor de cal livre em função do tempo de cura em pastas de cimento Portland com cinzas da casca de arroz calcinadas à temperatura de 450, 700 e 1000°C. As cinzas foram adicionadas em substituição de 15% do cimento Portland. Os autores concluíram que, em pastas de cimento puras, o teor de cal livre aumentava com o tempo de cura. Fato inverso ocorreu com as pastas que continham cinza da casca de arroz, uma vez que, quanto menor a temperatura de calcinação, menor o teor de cal livre.

Pouey e Dal Molin (2002), ao compararem três tipos de CCA com diferentes composições morfológicas, demonstraram que o concreto com sílica amorfa produzida em temperatura e tempo controlados apresentou a maior resistência à compressão, enquanto que a sílica pouco cristalina apresentou desempenho inferior (4,5%) e a sílica cristalina teve o pior desempenho, em média, 14,12% menos.

Mehta (1977) observou que a adição de CCA promove uma demanda elevada de água para manter a mesma consistência, este aumento na água foi atribuído à elevada finura da CCA.

2.2.1.3 O potencial econômico da CCA

A cinza representa 4% em peso do arroz em casca, segundo Prudêncio Jr. et al. (2003). Considerando que a produção mundial e do Brasil de arroz em casca na safra 2003/2004 foi de 591,2 e 13,3 milhões de toneladas, respectivamente. Desse total, resultariam se fosse queimadas 23,64 milhões de toneladas de cinza no mundo e 532 mil toneladas no Brasil. Sensale e Dal Molin (1999) informam que, só

no Estado do Rio Grande do Sul, 201,1 mil toneladas de cinza de casca de arroz produzidas anualmente permanecem sem aplicação prática.

Se toda a cinza de casca de arroz gerada no Brasil fosse produzida na cor branca (ou cinza claro) e com alta reatividade, poderia ser comercializada ao preço da sílica ativa (US\$ 600,00/ton), o que geraria faturamento de 319,2 milhões de dólares por ano. Na pior das hipóteses, vendida ao preço do cimento (US\$ 120,00/ton), valeria 63,8 milhões de dólares e não seria o transtorno ambiental que é hoje. Pode-se ainda especular que a produção da cinza a partir da palha de arroz, que equivale a dez vezes o peso da casca produzida pela planta e possui composição química semelhante, poderia gerar grande quantidade de cinzas. Há ainda que se ressaltar que a sílica ativa tem diversos outros usos potenciais em outros setores industriais, com destaque para a indústria de vidros e cerâmica (ANJOS et al., 2003).

Muitas empresas no Brasil queimam ou já queimaram grandes quantidades de casca de arroz para produção de ar quente ou vapor. Uma única grande empresa brasileira do setor de alimentos enlatados já chegou a queimar cinco mil toneladas de casca de arroz por mês (PRUDÊNCIO JR. et al., 2003). Hoje não passa de 500 toneladas porque substituiu a maior parte da casca de arroz por bagaço de cana que, apesar do custo mais alto devido ao transporte, gera muito menor quantidade de cinzas. Se essa empresa hoje dispusesse de um sistema adequado para a queima da casca de arroz que produzisse uma cinza de valor comparável à sílica ativa, as cinco mil toneladas/mês que queimava anteriormente poderiam gerar 12 mil toneladas de cinza por ano, que comercializadas a US\$600,00/ton, daria um faturamento extra de 7,2 milhões de dólares por ano. Isso sem falar na eliminação do problema ambiental que hoje possui por produzir grandes quantidades de cinzas sem valor comercial.

2.3 SUINOCULTURA

O desempenho eficiente da produção suína depende da gestão do rebanho, bem como da nutrição, do controle sanitário e das instalações. O conceito desse tipo de produção está diretamente relacionado com a redução das perdas seletivas e o controle do processo. Cada segmento da produção é controlado de maneira a alcançar a otimização na totalidade do sistema, sendo que na situação da granja aplica-se este conceito ao manejo dos animais, controle das doenças, controle da nutrição, bem-estar animal, identificação, e conseqüentemente a busca de uma forma de redução do impacto ambiental pelos resíduos gerados.

2.3.1 O desempenho mundial da suinocultura

Segundo estimativas preliminares do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em 2004 a produção mundial de carne suína cresceu 2,1% e chegou a 90,95 milhões de toneladas. Esse crescimento relativo, segundo a mesma fonte, deve se repetir em 2005, quando as previsões apontam para uma produção de 91,71 milhões de toneladas.

Na Figura 5 pode-se observar a produção mundial e nacional das principais carnes no ano de 2004.

Figura 5 – Perfil da produção mundial e brasileira de carnes no ano de 2004

A análise dos dados do USDA (2004) mostra que o incremento na produção mundial de carne suína continua concentrado na China, o principal produtor do planeta. Em 2004 a produção chinesa de suínos chegou a 47,17 milhões de toneladas, ou 52% do total no mundo. Quanto aos dois outros maiores produtores mundiais, a produção ficou praticamente estável. Nos 25 países da União Européia foram produzidas 21 milhões de toneladas em 2004, enquanto nos Estados Unidos o volume chegou a 9,3 milhões de toneladas (Figura 6).

Figura 6 – Maiores produtores mundiais de carne suína

O Brasil continuou na posição de quarto maior produtor mundial de carne suína, com 2,679 milhões de toneladas em 2004, o que representou um decréscimo de 0,7% em relação ao anterior (Figura 7). O resultado refletiu, evidentemente, o impacto do sistema de cotas adotado pela Rússia, o maior mercado da carne suína brasileira.

Figura 7 – Produção brasileira de carne suína 1998-2004

De acordo com as projeções da Associação Brasileira de Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína – ABIPECS (2005), a produção brasileira terá em 2005 um acréscimo de 2%, ficando em 2,7 milhões de toneladas.

2.3.1.1 A importação

O volume de importação mundial de carne suína exibiu, em 2004, acréscimo de 1,4% em relação a 2003. Este resultado é explicado pela Rússia, segundo maior importador mundial que na adoção de um sistema de cotas reduziu em 19% suas compras no mercado internacional.

As importações autorizadas pelo governo russo caíram de 620 mil toneladas em 2003 para 500 mil toneladas em 2004.

Segundo as projeções do USDA (2004), as importações mundiais deverão se recuperar ligeiramente em 2005, registrando um acréscimo de 2,1%. As encomendas da Rússia permanecerão em queda, ficando em 500 mil toneladas, e as compras do Japão, maior importador mundial, aumentarão 2%, para 1,250 milhão de toneladas.

Quanto às importações dos Estados Unidos, deverão se manter na faixa de 506 mil toneladas.

Os principais países importadores da carne suína se encontram na Figura 8.

Figura 8 – Principais países importadores

2.3.1.2 A exportação

O relatório do USDA (2004) indica que as exportações mundiais de carne suína tiveram um aumento em 2004, de 2,8%, chegando a 4,1 milhões de toneladas.

O Brasil, quarto maior exportador mundial, apresentou um desempenho positivo, registrando um acréscimo de 2,4%, já que os embarques de 2004 totalizaram 508 mil toneladas, contra 496 mil toneladas em 2003.

A União Européia, maior exportador mundial, teve uma redução de 5,66% em suas vendas em 2004, embarcando 1, 2 milhão de toneladas.

Para 2005, as estimativas do USDA (2004) são de uma ligeira alta nas exportações mundiais de carne suína, algo em torno de 1,8%, o que representaria vendas de 4,2 milhões de toneladas.

Na Figura 9 podemos observar os maiores exportadores de carne suína do mundo.

Figura 9 – Maiores exportadores de carne suína do mundo

2.3.1.3 O consumo

O consumo mundial de carne suína aumentou 2,1% em 2004, chegando a 90,7 milhões de toneladas, de acordo com o USDA (2004). Este desempenho é explicado pelo incremento no consumo da China, o maior mercado do mundo, que somou 46,9 milhões de toneladas em 2004.

Na Figura 10, pode-se observar o consumo per capita de carne suína nos principais consumidores (kg/habitante/ano).

Figura 10 – Consumo per capita – carne suína (países – kg/habitante/ano)

No Brasil, sexto maior mercado mundial, o consumo de carne suína decresceu 1,3% em 2004, ficando em 2,2 milhões de toneladas (Figura 11).

Figura 11 – Consumo de carne suína per capita no Brasil 2000-2004

2.3.2 A moderna cadeia produtiva de suínos no Brasil

A suinocultura industrial brasileira exhibe indicadores de produtividade do Primeiro Mundo (Tabela 4). Esta eficiência pode ser medida pelo número de terminados/porcas/ano, que dobrou nos últimos vinte anos (ROPPA, 2004), chegando a 26 animais. Com apenas 160 dias de idade, chegam a pesar mais de 110 quilos (ROSA, 2005).

Tabela 4 – Indicadores de produtividade da suinocultura brasileira (1998 – 2004)

Indicadores de Produtividade	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matrizes alojadas							
M nº de matrizes	2,281	2,312	2,461	2,663	2,871	2,846	2,402
Produção/Abate							
MM Cabeças	22,400	23,500	32,300	34,900	37,700	34,500	33,900
M Toneladas	1,699	1,843	2,556	2,730	2,872	2,698	2,679
MM Cabeças- Abate	13,300	19,300	19,400	21,100	21,500	20,900	19,900
Consumo							
M Toneladas	1,617	1,748	2,430	2,466	2,397	2,203	2,173
Per capita (kg/hab)	10,0	10,7	14,3	14,3	13,7	12,4	12,1
% da Produção	95,2	95,0	95,1	90,3	83,5	81,7	81,1
Exportações							
M toneladas	82	87	127	265	476	496	508
Importações							
M toneladas	11,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0
População brasileira							
MM Habitantes	162,0	163,2	109,5	172,4	175,0	177,6	179,1

Fonte: Rosa et al. (2005)

O início do progresso na suinocultura brasileira data de meados dos anos 1970. O sistema de produção começou a ser integrado aos frigoríficos, modernizando a atividade do produtor ao industrial e rendendo frutos como altos índices de produtividade (TAKITANE, 2001).

O plantel de suínos em nosso país tem alimentação rigorosamente controlada, baseada em cereais de excelência e onde estão completamente excluídos aditivos ou reguladores. Os cuidados sanitários também são os mais rigorosos, incluindo ambientes higiênicos e que também atendem a todos os requisitos de conservação do meio ambiente (ROPPA, 1999).

Esse desempenho dos milhares de produtores também incluiu fantásticos avanços no setor da genética (SONCINI, 1998). Em sintonia com a demanda do mercado consumidor por uma alimentação mais saudável, foi enfatizada a introdução de animais produtores de carne magra.

O resultado de todas essas iniciativas dos suinocultores brasileiros foi, portanto, a excelência em nutrição e sanidade que nosso produto passou a oferecer tanto no mercado interno quando no exterior (DI CAMPOS et al., 2005).

Na Figura 12 podemos observar o destino da produção brasileira de carne suína tanto ao consumo interno quanto à exportação.

Fonte: ABIPECS (2005)

Figura 12 – Destino da produção brasileira

2.3.3 Produção sustentável

A suinocultura brasileira vem apresentando, nas últimas duas décadas, significativa mudança na estrutura organizacional no setor primário da produção, seja pela especialização da produção, quanto pela busca de economias de escala.

O sistema de produção denominado de alta tecnologia emprega as mais modernas técnicas de produção no que se refere à seleção genética, manejo do plantel e padrão sanitário, adotando o sistema intensivo e confinado dos suínos. Por outro lado, esta estratégia tem provocado uma discussão acerca da questão ambiental e a sustentabilidade da produção primária da carne suína.

A manutenção da viabilidade econômica e a integridade ambiental são fatores essenciais para a produção sustentável. Conforme FRASER (1985), o processo criatório precisa ser ambientalmente benéfico, eticamente defensável, socialmente aceitável e relevante aos objetivos, necessidades e recursos da comunidade para o qual foi desenhado para servir.

A sustentabilidade na produção animal vem sendo cada dia mais estudada (MATTHEWS, 1996; GUIVANT, 1996; ROELER; CESCNETO, 2001; PANDORFI, 2002; DI CAMPOS et al., 2005). Apesar de altamente tecnificada e com alta produção, a criação intensiva de suínos apresenta alguns aspectos problemáticos relacionados ao bem-estar animal, ao alto custo inicial de instalação e à grande quantidade de dejetos orgânicos produzidos (CORRÊA, 1998; PANDORFI, 2005).

O desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas. A sustentabilidade ocorre quando a natureza necessita de recursos econômicos gerados por atividades ambientalmente saudáveis, para ser mantida a diversidade biológica e a qualidade de vida para as gerações futuras (DI CAMPOS et al., 2004).

A falta de um manejo adequado dos resíduos da produção suinícola em regiões de produção intensiva, ou a falta de espaço físico para dispersão dos mesmos, tem causado sérios desequilíbrios ecológicos em vários países, dentre eles o Brasil, que apresenta um grande potencial para atender à demanda mundial crescente por proteínas de origem animal (TAKITANE, 2001).

A validação e implementação de tecnologias alternativas que reduzam os riscos ambientais desta atividade, contribuem para a melhoria da qualidade de vida dos produtores rurais e da sociedade (OLIVEIRA, 2002).

2.3.4 Sistema de manejo dos dejetos líquidos de suínos

Os modelos de edificações em uso para a produção de suínos, ao induzir o manejo de dejetos na forma líquida, favorece o seu lançamento na natureza, sem tratamento prévio, constituindo-se numa das principais fontes de poluição ambiental nos grandes centros produtores. A escolha do sistema de manejo dos dejetos é o maior desafio para a sobrevivência das zonas de produção intensiva, em razão dos

riscos de poluição das águas superficiais e subterrâneas por nitratos, fósforo e outros elementos minerais ou orgânicos e, do ar, pelas emissões de NH_3 , CO_2 , N_2O e H_2S , também, em função dos custos e dificuldades de armazenamento, tratamento, transporte, distribuição e utilização na agricultura (OLIVEIRA, 1999).

Os investimentos em tratamento do resíduo líquidos, por outro lado, nem sempre são compatíveis com a realidade econômica dos produtores e representam uma importante barreira para a solução do problema ambiental.

Segundo Oliveira (2003), atualmente o sistema de criação de suínos dominante, nas fases de creche, crescimento e terminação é do tipo ripado total ou ripado parcial (70%), sendo os dejetos líquidos manejados internamente sob o piso ripado ou externamente em canaletas abertas. Esses dois sistemas de produção exigem a utilização de esterqueiras ou de lagoas para o armazenamento dos dejetos. ROPPA (2004) assegura que o volume total dos dejetos produzidos (dejetos líquidos produzido pelos animais + perda de água nos bebedouros + água utilizada na limpeza) requer grandes estruturas para o armazenamento (os órgãos de fiscalização ambiental preconizam um tempo mínimo de 120 dias de retenção), áreas com culturas suficientes para o aproveitamento agrônomo desses resíduos, e também, a disponibilidade de máquinas e equipamentos pelos produtores.

Considerando um suíno em terminação dentro das condições de regime de termoneutralidade ambiental e de alimentação adequada pode-se afirmar que do nitrogênio (N) ingerido via alimentação, ele excreta em média o equivalente a 15 a 20% nas fezes e de 45 a 50% na urina, totalizando 60 a 70% da quantidade de N ingerida. As frações de N excretadas nas fezes (fração sólida) e na urina (fração líquida) representam então, respectivamente, um pouco menos de 1/3 e de um pouco mais de 2/3 dos dejetos totais (DOURMAD, 1999).

Pode-se estimar que, dentro das condições atuais de produção de suínos, sobre os 8,7 kg de N necessários a produção de um leitão até a terminação (incluindo-se a alimentação da porca), 1/3 do N é retido no animal, 1/3 é perdido sob forma de volatilização da amônia e 1/3 resta nos dejetos podendo ser usado na agricultura (Figura 13).

Adaptado de: Dourmad (1999)

Figura 13 – Representação esquemática do fluxo de nitrogênio na produção de um suíno do nascimento ao abate

A excreção de N e de fósforo (P), nos dejetos, varia principalmente em função do desempenho zootécnico dos animais e dos teores, qualidade e digestibilidade da proteína e do fósforo nos alimentos.

A Tabela 5 apresenta a estimativa do consumo, retenção e perdas de P na produção de suínos do nascimento ao abate.

Tabela 5 – Estimativa do consumo, retenção e perdas de fósforo na produção de suínos

Suíno	Consumo			Perdas		
	Dias	P Ração	P Retido	P Fezes	P Urina	P Total
Maternidade (0-8 kg)	27	1,34	0,07	0,19	0,09	1,28
Creche (8-28 kg)	42	1,27	0,12	0,13	0,02	0,15
Terminação (28-108 kg)	110	1,40	0,48	0,77	0,15	0,92
Total/Suínos kg	179	2,01	0,67	1,09	0,26	1,35
%	-	100	33,30	54,20	12,90	67,20

Fonte: Dourmad (1999)

O tratamento dos dejetos de suínos reagrupa um conjunto de ações de transformação por diferentes meios (físico-químico e biológico) com a finalidade de modificar sua composição química e consistência física (OLIVEIRA, 1993). A modificação da composição química do substrato tratado é realizada pela eliminação ou transformação de certos elementos (N-orgânico transformado em N-amoniaco) e a modificação da consistência física, na prática, consiste em aumentar a concentração em elementos nutritivos (N, P, K) em uma ou outra fase de tratamentos dos dejetos.

As principais preocupações em relação ao meio ambiente devido ao manejo inadequado dos dejetos de suínos são representadas na Figura 14. Os dejetos, na maior parte dos casos, serão usados como fertilizante agrícola gerando um risco grande de poluição ambiental.

Figura 14 – Principais problemas a serem resolvidos no manejo dos dejetos líquidos de suínos

Grande parte do N e do P encontra-se na fase líquida, como os sistemas de tratamento de dejetos em uso no Brasil, basicamente, trabalham com lagoas naturais, podendo considerá-las como grandes decantadores, pois não eliminam o N e o P (COSTA et al., 1997). Na escolha do manejo dos dejetos (líquido ou sólido) deve-se considerar que a maior concentração de poluentes encontra-se na fase líquida. Sendo assim, segundo OLIVEIRA et al. (1995), uma condição indispensável para os sistemas de tratamento dos dejetos líquidos é que eles eliminem os elementos N e P.

Segundo DI CAMPOS et al (2005), com todo o exposto, verifica-se a necessidade de desenvolvimento de processos que agreguem valor econômico aos dejetos e que sejam capazes de reduzir não só o seu poder poluente, mas também o volume, os investimentos e os custos operacionais de manejo, constituindo-se assim, atualmente, o maior desafio na busca da sustentabilidade na produção de suínos.

Pra OLIVEIRA et al. (2005), a produção de suínos em sistema de cama sobreposta, nas fases de creche e terminação, constitui-se uma alternativa viável para a produção de suínos em substituição ao sistema de criação sobre piso ripado (total ou parcial).

2.3.5 Sistema cama sobreposta de suínos (Deep Bedding)

A produção de suínos em sistema de cama sobreposta (Deep Bedding) constitui-se alternativa de manejo, onde os dejetos sofrem compostagem “in situ” (OLIVEIRA, 1999, 2000), com o objetivo de reduzir os riscos de poluição (ar, água e solo) e viabilizar economicamente seu uso como adubo orgânico.

De acordo com Hill (2000), os sistemas de produção de suínos em cama sobreposta, proporcionam ao animal a habilidade de selecionar e modificar seu próprio ambiente através do material da cama.

Este sistema de produção, em leito formado por palha ou maravalha, teve sua origem na China em Hong Kong (LO, 1992). Na Europa, a tecnologia de produção de suínos em camas sobrepostas começou a ser estudada no final da década de 80 (KERMARREC, 1999).

O sistema de criação sobre leito formado por maravalha ou palha de arroz foi introduzido no Brasil em 1993 pela Embrapa – Suínos e Aves pelos pesquisadores Paulo Armando Victória de Oliveira e Jurij Sobestiansky (OLIVEIRA, 1993), através de experimento que comparou a produção de suínos em três sistemas de produção (cama de maravalha; cama de palha; piso compacto) nas fases de crescimento e terminação.

Na Tabela 6 pode-se observar que o peso médio dos animais, segundo esse experimento, foi ligeiramente superior no sistema de criação de suínos sobre camas, mas a diferença não foi significativa. Não houve diferença para o consumo de alimento, conversão alimentar, ganho de peso e a taxa de músculo, bem como para o rendimento de carcaça e a espessura de gordura nos animais criados em cama de maravalha quando comparado ao piso ripado.

Tabela 6 – Comparação do desempenho zootécnico, da taxa de músculo e do rendimento de carcaça dos animais criados sobre o piso ripado e sobre cama de maravalha

Resultados médios Parâmetros avaliados	Ano 1		Ano2	
	Ripado	Cama	Ripado	Cama
Peso entrada (kg)	28,8±1,2	30, 5± 1,4	31, 5± 1,7	31,6± 1,4
Peso saída (kg)	99,9±7,5	102,3±7,9	95,6±12,6	94± 10,3
Consumo alimento (kg)	189,7	191,8	187,3	184,2
Ganho peso (g/dia)	779	794	712	701
Conversão alimentar (kg/kg)	2,71	2,67	2,91	2,95
Relação água/alimento (lit./kg)	2,25	2,33	2,05	2,36
Consumo total água (lit.)	423,7 ^a	446,4 ^b	383,8 ^a	435,4 ^b
Músculo F.O.M. (%)	60,3± 2,4	60,9± 1,8	58,7± 3,5	60,5± 1,6
Rendimento carcaça (%)	81,9± 2,7	81,8± 2,6	82,3± 1,2	82,8± 1,0

Valores diferentes por uma letra minúscula ab diferem estatisticamente entre eles (P<0,05)

Oliveira (1999) quando avaliou lesões pulmonares e de rinite atrófica, em abatedouro, não encontrou diferença entre os animais criados nos sistemas cama e piso ripado. Os resultados de avaliação de lesões de úlcera observadas no abatedouro mostraram maior formação de hiperqueratose nos animais criados em piso ripado quando comparado ao sistema de cama. Em média 70% dos animais criados sobre cama apresentaram uma mucosa normal (lisa de coloração branca), enquanto que somente 30% dos animais criados em piso ripado apresentaram uma mucosa com tais características.

Os resultados obtidos do balanço de nitrogênio em sistemas de cama e piso ripado (Tabela 7) demonstram que somente 20 a 40% do N-excretado pelos suínos se encontram retidos na cama, enquanto que no piso ripado 70 à 75% do N se encontra retido nos dejetos líquidos. Pode-se afirmar que um sistema de criação de 1000 suínos na fase de terminação, sob cama de maravalha, produzirá em um ano 600 toneladas de composto orgânico pronto para ser utilizado na agricultura com uma relação C/N < 18, contra 750 toneladas de dejetos líquidos fortemente mineralizado, para o caso de sistema sobre piso ripado.

O P excretado pelos suínos se encontra totalmente armazenado nos dejetos líquidos para o caso de sistemas com piso ripado. No sistema da cama de maravalha 58% do P excretado pelos animais é retido nas camadas com até 15 cm de profundidade da cama (KERMARREC, 1999).

Tabela 7 – Comparação do balanço de nitrogênio nos sistemas de criação de suínos sobre o piso ripado ou sobre cama de maravalha, por 100 unidade de N que entra no sistema, via ração ou água

Parâmetros avaliados	Resultados Médios			
	Ano 1		Ano2	
	Ripado	Cama	Ripado	Cama
Retido no suíno	35	36	33	34
Dejeto/ Composto	48	12	45	26
NH ₃	12	5	13	7
N ₂	4	40	8	27

Fonte: Oliveira (2001)

A quantidade de N-total no efluente final representa entre 20 a 40% do N contido nos dejetos e se encontra essencialmente sob forma orgânica (> 90% do N-total) para o caso das criações sobre cama (Tabela 6). No caso do piso ripado este N representa uma fração de 70 a 75%, dividido em N-orgânico e N-amoniacal, respectivamente 30-40% e 70-60%. A diferença entre os dois sistemas é em função da emissão significativa de N₂ (40 a 60%) para o caso das criações sobre cama de maravalha.

Independentemente do sistema de criação em torno de 20% do N contido nos dejetos é eliminado na forma de gás NH₃ e N₂O. Para o caso do sistema de cama as emissões de NH₃ e N₂O são sensivelmente semelhantes. Porém, para o caso do piso ripado as emissões da NH₃ são dominantes (ROBIN et al., 1999).

As emissões de gases poluentes e de odores são menores no sistema de cama quando comparado ao piso ripado, as emissões de amônia NH₃ pelo sistema de cama é 40 % menor em relação ao piso ripado (OLIVEIRA, 1999).

A cama de 50 cm de profundidade pode ser de maravalha, casca de arroz, serragem ou sabugo de milho triturado (CORRÊA, 1998). O princípio de funcionamento, segundo Oliveira e Diesel (2000), é a evaporação de quase toda a água como resultado do processo de compostagem que ocorre dentro da própria granja.

Os dejetos coletados em sistemas de lâminas de água e canaletas variam em conteúdo sólido de 1,7% a 2,6% e os da criação sobre cama chegam atingir a 78,5% (ABREU, 2000).

Oliveira (1999), afirma que é o calor desenvolvido na compostagem que permite evaporar quase a totalidade da fração de água contida nos dejetos. Essa evaporação representa em média 5,7 litros de água por suíno e por dia, enquanto que a quantidade de água introduzida ou gerada no sistema é de 6,1 litros.

Os dejetos do suíno, que reduzem a relação Carbono/Nitrogênio em mais de cinco vezes (CORRÊA, 1998), enriquecem a cama com nutrientes que podem ser aproveitados pelas plantas. O processo de compostagem, que ocorre durante a criação dos animais, prepara a mistura da cama com os dejetos para a utilização como adubo.

Outra vantagem é a viabilização econômica de transporte do composto final gerado no sistema de criação sobre cama sobreposta para fora da propriedade, pois concentra os nutrientes contidos nos dejetos na cama.

Este sistema além de barato quando comparado com o sistema sobre piso tem recebido avaliações positivas por parte daqueles que, além de produzir, se preocupam com a proteção da natureza.

O custo da construção, sem contar à mão-de-obra que normalmente é do agricultor, tem variado de R\$ 25,00 a R\$ 40,00/animal alojado, o que corresponde ao valor de venda de 20 a 30 quilos de suíno para abate (BAÊTA; SOUSA, 1997). Segundo PERDOMO (1995), como a parte da granja onde é colocada a cama não tem piso, o custo da alvenaria fica muito reduzido.

Quase todos os produtores que visitam as unidades de observação de criação de suínos sobre cama comentam a redução do cheiro desagradável dos dejetos.

Um aspecto muito importante desta forma de produção é que ela serve tanto para a criação de subsistência quanto para a produção comercial de suínos.

2.3.5.1 Potencial do resíduo no Brasil

A produção brasileira de carne de suínos atingiu em 2004, 2,68 milhões de toneladas, originada de um alojamento de 33,9 milhões de animais. Essa produção inevitavelmente gera um subproduto bastante importante nos aspectos agrícola,

ambiental e de segurança alimentar, que é a cama sobreposta de suínos que hoje, já é utilizada em 30% do total das criações (OLIVEIRA, 2003).

De uma forma geral, estima-se que um suíno (na faixa de 16 a 100 kg de peso vivo) produz de 8,5 a 4,9% de seu peso corporal em urina + fezes diariamente (JELINECK, 1997).

A estimativa de produção cama sobreposta no Brasil é em torno de 9 a 11 ton/ano por fêmea na fase reprodução, de 1,14 a 1,30 ton/ano por suíno de 25 a 110 kg. Considerando o ciclo completo de produção, a produção de cama atinge em média de 13 ton/suíno/ano (KONZEN, 2000).

A Tabela 8 nos dá uma idéia da distribuição espacial do rebanho suíno nacional e estimativa da produção de cama sobreposta nos principais estados brasileiros.

Tabela 8 – Rebanho suíno, participação na produção nacional e estimativa da produção de cama sobreposta nos principais estados brasileiros

Estado	Rebanho Total (cab)	Animais criados em cama (cab)	Produção de cama (ton/ano)
Santa Catarina	7758,66	2327,60	30258,80
Rio Grande do Sul	5518,31	1655,49	21521,37
Paraná	4435,01	1330,50	17296,50
Minas Gerais	2238,92	671,68	8731,84
São Paulo	1999,16	599,75	7796,75
Goiás	1781,19	534,36	6946,68
Mato Grosso do Sul	797,38	239,21	3109,73
Mato Grosso	669,73	200,92	2611,96
Outros	8719,95	2615,99	34007,87
Total	33918,31	10175,50	132281,50

¹Fonte: ABCS (2005)

²Produção de animais em cama considerando 30% do total do rebanho (OLIVEIRA, 2003)

³Estimativa da produção de cama sobreposta/ano, baseada nos dados de Konzen (2000)

Assim, a cama sobreposta pode agregar valor à cadeia produtiva primária da carne suína dado ao volume produzido, no entanto devem ser seguidas as recomendações corretas (OLIVEIRA, 2003).

2.3.5.2 Destino dado à produção

O Brasil, apesar de ser um país continental, da formação cultural sofre com a falta de uma política efetiva que estimule o desenvolvimento sustentável. Em se tratando da suinocultura, verificamos que ela passou por profundas alterações tecnológicas nas últimas décadas, visando principalmente o aumento de produtividade e redução dos custos de produção. A produtividade, por animal e por área, aumentou consideravelmente, passando-se a produzir grandes quantidades de dejetos em pequenas extensões de terra. Simultaneamente, iniciaram-se os problemas com o mau cheiro, oriundo das criações, e com o destino dos efluentes.

A suinocultura é uma atividade importante para a economia brasileira, pois gera emprego e renda para cerca de dois milhões de propriedades rurais. O setor fatura mais de R\$ 12 bilhões por ano (ROPPA, 2004).

A transformação dos dejetos suínos em adubo orgânico, ou em biogás são os destinos mais utilizados para a cama sobreposta produzida no Brasil.

A cama sobreposta, transformada em compostos orgânicos, constitui excelente fertilizante agrícola na propriedade. Esta pode ser usada na fertilização das lavouras, trazendo ganhos econômicos ao produtor rural, sem comprometer a qualidade do solo e do meio ambiente.

Porém a utilização da cama sobreposta como fertilizante na agricultura demanda área agrícola suficiente para a dispersão do resíduo, pois em excesso, os nutrientes aplicados no solo podem também causar grande impacto ambiental. Para isso, é fundamental a elaboração de um plano técnico de manejo e adubação, considerando a composição química da cama, a área a ser utilizada, a fertilidade e tipo de solo e as exigências da cultura a ser implantada.

De acordo com o pesquisador Palhares (2005), para áreas de avaliação de impacto e gestão ambiental, a biodigestão ou digestão anaeróbia se mostra como uma boa alternativa para o tratamento da cama sobreposta.

No biosistema integrado, os dejetos dos suínos são direcionados a um biodigestor onde são decompostos através de digestão anaeróbica, reduzindo em até 60% sua carga poluente. Neste processo é obtido o biogás que pode ser utilizado para o aquecimento dos leitões na maternidade, através de equipamentos

onde ocorrerá a queima do biogás e conseqüente produção de calor, fundamental para a sobrevivência desses animais nas duas primeiras semanas de vida. Pode também substituir a energia elétrica como, por exemplo, na iluminação (lâmpioes), no aquecimento da água (para esterilização de equipamentos, lavagem das instalações, chuveiros, etc.), em fogões, na moagem de grãos, etc. Com alto teor nutricional, os resíduos sólidos do biodigestor são transformados em fertilizante natural para plantas, e os resíduos líquidos vão para tanques de algas, servindo de alimento para a criação de peixes.

2.3.5.2.1 Os efeitos adversos da aplicação dejetos de suínos nos solos

À medida que o acúmulo de nutrientes no solo ocasionado pela aplicação de dejetos é comprovado nos laudos de análise de solo, torna-se necessário considerar quais as conseqüências negativas disso para as plantas, solo, ar e água até as camadas mais profundas do solo.

Os danos ambientais verificados em outros países onde foram utilizados dejetos como fertilizantes do solo em grandes quantidades e por longos períodos (BURTON, 1997), pode servir de alerta para evitar os mesmos problemas nas regiões suinícolas brasileiras.

Na Alemanha, principalmente na região da baixa Saxônia, a poluição ambiental motivou a implantação de medidas restritivas muito rígidas quanto à aplicação de dejetos animais, na tentativa de preservação e recuperação dos solos e das águas de superfície e sub-superfície (HAHNE et al., 1996; FEDERAL ENVIRONMENTAL AGENCY, 1998). Nesse país relata-se em publicação do Ministério do Ambiente (FEDERAL ENVIRONMENTAL AGENCY, 1998), que para uma estratégia global de agricultura sustentável, a produção intensiva de animais terá que ser diminuída, ou se necessário eliminada.

Na Bélgica na região de Flandres a situação está igualmente crítica. É importante destacar que nessa região, reconhecidamente de alta densidade

suinícola, as quantidades de dejetos produzidos são apenas de 50 ton/ha/ano (VLASSAC, 1994).

Na Holanda por sua vez, os níveis ambientais chegaram a tal ponto, que diretrizes extremamente severas foram estabelecidas, incluindo a diminuição do plantel de suínos (KETELAARS; MEERS, 1998). Nesses países, alguns dos principais problemas existentes, como o acúmulo de nutrientes no solo e o excesso de nitrato nas águas (FEDERAL ENVIRONMENTAL AGENCY, 1998), serão de difícil solução, pois advém em grande parte do efeito retardado da aplicação de grandes quantidades de dejetos por longos períodos (HAM; ZEE, 1994). Por conseguinte, mesmo após a rígida legislação implantada para disciplinar o uso de dejetos como fertilizante, a recuperação das águas e do solo poluído, será um processo muito lento, de alto custo e apenas paliativo, pois o retorno de teores originais de alguns nutrientes no solo é praticamente inatingível (KABATA-PENDIAZ, 1995).

Assim, regiões com larga escala de produção necessitam de uma forma alternativa de utilização da cama sobreposta de suínos, que não somente a utilização como fertilizante. Mesmo em regiões onde a produção de suínos é recente, como é o caso do crescimento da suinocultura no Estado de Goiás, deve-se buscar outra maneira de utilização desse resíduo, pois o impacto ambiental ocorrido nos exemplos citados ocorreu paulatinamente, de forma que só se deu real importância ao problema, no momento em que se perceberam conseqüências para a saúde pública e a economia.

2.3.5.2.2 Um exemplo brasileiro

Com às restrições topográficas e ao alto custo de armazenamento e transporte, em algumas regiões, os resíduos da produção suinícola são aplicados continuamente nos mesmos locais e em freqüência e quantidades excessivas em relação à capacidade de absorção das plantas.

Pra ilustrar essa situação, podemos fazer algumas projeções através das seguintes estatísticas: o plantel suinícola da região oeste de Santa Catarina é de

3431,9 milhões de cabeças (IBGE, 2005); distribuídas para 20 mil produtores (ABCS, 2005); a área apta para a agricultura é de 791 mil ha, ou seja, 31,3% do total (TESTA, 1996); a excreção de N/cab/dia é de 32,7 g (NACIONAL RESEARCH COUNCIL, 2004). Assim, cada propriedade suinícola teria uma disponibilidade de 2048 kg de N proveniente dos desejos, e para reciclá-los necessitaria de uma área mínima de terras aptas de 14,63 ha. Com isso, mesmo desconsiderando o excesso de micronutrientes (SHERER, 1997), a área total mínima por propriedade suinícola seria de 46,74 ha. É importante destacar que 94,83% das propriedades rurais de produção de suínos da região oeste de Santa Catarina, possuem área total menor do que 50 ha e que 72,09% dessas, possuem área total menor do que 20 ha (SEGANFREDO, 1999).

Contudo, podemos crer que a questão dos resíduos da suinocultura não se constitui apenas num problema que envolve o setor produtivo de suínos. Existe uma inter-relação com todas as atividades que de certa forma afetam a qualidade da natureza que temos ao nosso redor. Assim, regiões onde há problemas de emissões de resíduos industriais, alterações no sistema eco-vegetal, contaminações da natureza com dejetos urbanos e aqueles produzidos por outras espécies animais podem tornar mais complexo o problema. Segundo DI CAMPOS et al. (2005), essa questão deve ser tratada amplamente pela sociedade de maneira técnica, sem apegos particulares, visando à qualidade de vida das populações, o atendimento dos anseios do consumidor e o desenvolvimento sustentável de nossa produção animal.

2.4 FIBROCIMENTO

O fibrocimento é o nome popular dado ao cimento amianto que é um material de construção composto por mais de 90% de cimento e menos de 10% de fibras de amianto crisotila (GATTO et al., 2003), desenvolvido no final do século XIX pelo industrial austríaco Ludwig Hatschek. Desde então, esse material tem sido largamente utilizado na fabricação de telhas, caixas d'água e peças acessórias para

telhados. O amianto, também conhecido como asbesto, é uma fibra mineral natural utilizada como matéria-prima na produção de peças de cimento-amianto.

2.4.1 Pozolana

A ASTM C618 (2003) e a NBR 12653 (1992) definem pozolana como sendo um material silicoso ou sílico-aluminoso que, por si só, possui pouca ou nenhuma atividade cimentícia, mas que quando finalmente dividido e na presença de água, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, em temperaturas próximas a ambiente, formando assim, compostos de poder aglomerante.

Segundo Oliveira (2005), os materiais pozolânicos são rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas (550 a 900°C) e derivados da queima de carvão mineral nas usinas termelétricas, entre outros. Da mesma forma que no caso da escória de alto-forno, pesquisas levaram à descoberta de que os materiais pozolânicos, quando pulverizados em partículas muito finas, também passam a apresentar a propriedade de ligante hidráulico, se bem que de forma distinta. Isto porque não basta colocar os materiais pozolânicos, sob forma de pó muito fino, em presença de água, para que passem a desenvolver as reações químicas que os tornam primeiramente pastosos e depois endurecidos. A reação só vai acontecer quando, além da água, os materiais pozolânicos moídos em grãos finíssimos também forem colocados em presença de mais um outro material. O clínquer é justamente um desses materiais, pois no processo de hidratação libera hidróxido de cálcio (cal) que reage com a pozolana (ODA, 2003).

Esse é o motivo pelo qual a adição de materiais pozolânicos ao clínquer moído com gesso é perfeitamente viável, até um determinado limite. E, em alguns casos, é até recomendável, pois o tipo de cimento assim obtido ainda oferece a vantagem de conferir maior impermeabilidade, por exemplo, aos concretos e às argamassas.

Outros materiais pozolânicos têm sido estudados, tais como as cinzas resultantes da queima de cascas de arroz e a sílica ativa, um pó finíssimo que sai das chaminés das fundições de ferro-silício e que, embora em caráter regional, já têm seu uso consagrado no Brasil, a exemplo de outros países tecnologicamente mais avançados (PRUDÊNCIO JR., et al, 2003).

2.4.2 Reciclagem de resíduos para construções

Nos países em desenvolvimento, de um modo geral, não ocorre a divulgação adequada dos conhecimentos científicos, principalmente para aqueles que atuam no meio rural. Na maioria das vezes, materiais não convencionais para construções, são associados erroneamente, a obras temporárias ou a materiais de baixa durabilidade (BERALDO, 1997).

Reciclagem é o conjunto das técnicas cuja finalidade é aproveitar rejeitos e introduzi-los no ciclo de produção. A vantagem mais visível da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, ao prolongar a vida e reduzir a destruição da paisagem, da fauna e da flora (LEAL, 2004). O reaproveitamento de resíduos aparece, nos dias atuais, como questão fundamental no desenvolvimento sustentável, tanto em razão da redução de desperdícios de recursos naturais, quanto na minimização dos impactos ambientais oriundos da disposição final dos resíduos (MARTINS et al., 2003). Até pouco tempo atrás, essa prática estava restrita apenas a uma alternativa para redução de custos, visão que aparentemente tem-se alterado, sobretudo em razão de pesquisas desenvolvidas, na busca de se melhorar o desempenho de produtos pela incorporação de resíduos e insumos reciclados (JOHN et al., 1997).

Um bom exemplo é a incorporação de cinzas e materiais pozolânicos residuais aos compostos cimentícios, para melhoria das suas propriedades físicas e mecânicas, e de sua durabilidade. Segundo HEINRICKS et al. (2000), as indústrias de cimento e concreto têm procurado cada vez mais utilizar resíduos como materiais inertes ou com atividade pozolânica em suas linhas de produção. O uso dessas

pozolanas gera, além de economia de energia, diminuição da poluição produzida durante a fabricação do cimento Portland, pela menor emissão de dióxido de carbono.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa foi feita a coleta e a análise bromatológica da cama sobreposta de suínos. Na segunda etapa foram realizados nas cinzas da cama sobreposta de suínos, os ensaios químicos, físicos e mineralógicos, índice de atividade pozolânica com a cal e o cimento e resistência a compressão dos corpos-de-prova.

Foram coletadas também amostras de cama sobreposta de suínos a base de maravalha. Porém este material não foi utilizado porque a perda ao fogo chegou à ordem de 80%, inviabilizando sua utilização.

3.1 PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa foi dividida em duas partes: na primeira, foi realizada a coleta da cama sobreposta de suínos e na segunda parte foi realizada a análise bromatológica.

3.1.1 Coleta da cama sobreposta de suínos (CSS)

A CSS foi coletada na Agropecuária Boa Vista, Granja Marissa, município de Rio Verde, Estado de Goiás (Figura 15).

Figura 15 – Localização do município de Rio Verde, Estado de Goiás

A CSS foi proveniente da criação de 1000 suínos ($1,2 \text{ m}^2/\text{animal/}$) na fase de crescimento e terminação (Figura 16), por três lotes consecutivos, totalizando 360 dias.

Figura 16 – Visão da lateral esquerda e direita do galpão onde os animais foram criados em cama sobreposta

Foram coletadas cinco sub-amostras com mesma quantidade (200 g) em cinco diferentes pontos do galpão conforme ilustra a Figura 17.

Figura 17 – Destaque para o local de coleta das sub-amostras

Após a coleta, o material foi embalado a vácuo em sacos de plástico e levados à Faculdade de Zootecnia e Engenharia da Universidade de São Paulo – FZEA/USP, para realização da análise bromatológica. No Laboratório de Construções e Ambiente da FZEA/USP, essas cinco sub-amostras foram misturadas para homogeneização da amostra final (Figura 18).

Figura 18 – Amostra homogeneizada da cama sobreposta de suínos

Parte dessa amostra homogeneizada (50g) foi levada para o Laboratório de Bromatologia, para realização da análise bromatológica.

O restante da amostra foi enviado ao Laboratório de Engenharia de Materiais e Estruturas (LABEME), da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, no município de João Pessoa, para posterior realização da segunda etapa deste trabalho.

3.1.2 Análise bromatológica

A análise bromatológica da CCS foi realizada no Laboratório de Bromatologia da FZEA/USP. A análise bromatológica tem como principal objetivo a obtenção da composição do material estudado (SILVA; QUEIROZ, 2002). O material pode apresentar grande variação em sua composição e qualidade (LEANDRO, 2003). No caso específico do arroz, a qualidade das sementes, o plantio, manejo da cultura, a colheita e outros fatores podem ser decisivos nos níveis de umidade, proteína, fibras, matéria mineral, gordura, energia e outros componentes e fatores nutritivos.

O resultado de uma análise bromatológica é uma importante ferramenta para o estudo de alimentos onde a diferença de qualidade é o que mais chama a atenção na análise superficial quando se comparam dois resíduos (SILVA; QUEIROZ, 2002). A substituição pura e simples de um pelo outro sem a devida avaliação pela análise bromatológica, pode resultar em redução da produção e prejuízos.

3.2 SEGUNDA ETAPA

A segunda etapa do trabalho foi realizada no LABEME do Centro e Tecnologia (CT), da UFPB, durante o período de 17 maio a 10 de agosto de 2004.

3.2.1 Produção das cinzas da cama sobreposta de suínos (CCSS)

As CCSS foram produzidas artificialmente por tratamento térmico nas seguintes temperaturas: 400, 500 e 600°C. Para isso, foi utilizada uma mufla da marca Elektro Therm (Figura 19), com rampa de aquecimento de 10°C/min. Após atingir a temperatura escolhida, a mufla mantinha-se em temperatura constante por duas horas, desligando automaticamente.

Figura 19 - Mufla da marca Elektro Therm

As amostras foram retiradas após 24 horas (Figura 20) e acondicionadas em sacos plásticos etiquetados e lacrados.

Figura 20 – Bandeja com as cinzas (600°C) retiradas da mufla

Uma vez obtida a cinza, ela foi submetida à moagem em moinho de cargas metálicas esféricas Astecma, modelo MB-20, por duas horas (Figura 21).

Figura 21 – Moinho de cargas metálicas esféricas utilizado para a moagem das cinzas

O material selecionado foi o passante na peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm) e nº 325 (# 0,044 mm).

3.2.2 Materiais utilizados

Junto com as CCSS, foram utilizados os outros materiais descritos a seguir.

3.2.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi composto com material carbonático CP II F-32, da marca Votorantim, embalado em sacos de papel “Kraft” de 50 kg. Na Tabela 9, estão descritas as características físicas, mecânicas e químicas do cimento utilizado.

Tabela 9 – Exigências físicas, mecânicas e químicas do cimento CP II F-32⁽¹⁾

EXIGÊNCIAS FÍSICAS E MECÂNICAS								
Finura		Tempos de pega		Expansibilidade		Resistência à compressão		
Resíduo na peneira 75 mm (%)	Área específica (m ² /kg)	Início (h)	Fim (h)	Frio (mm)	Quente (mm)	3 dias (Mpa)	7 dias (Mpa)	28 dias (MPa)
≤ 10,0	≥ 280	≥ 1	≤ 10 ⁽²⁾	≤ 5 ⁽²⁾	≤ 5	≥ 15	≥ 25	≥ 40
EXIGENCIAS QUÍMICAS								
Resíduo Insolúvel (%)		Perda ao fogo (%)		MgO (%)		SO ₂ (%)	CO ₂ (%)	
≤ 2,5		≤ 6,5		≤ 6,5		≤ 4,0	≤ 5,0	

⁽¹⁾ Dados fornecidos pela marca do cimento testado.

⁽²⁾ Ensaio facultativo.

3.2.2.2 Cal

A cal utilizada foi do tipo CH-1, conforme OLIVEIRA (2005). As características da cal estão descritas no ANEXO A.

3.2.2.3 Sílica Ativa

Para comparação de desempenho nas argamassas estudadas, foi utilizada a sílica ativa Silmix, da marca Cauê. Suas características físicas e químicas estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Características físicas e químicas da sílica ativa Silmix

Massa Específica	2220 kg/m ³
Superfície específica	20000 m ² /kg
Formato da partícula	esférico
Diâmetro médio	0,2 µm
Teor de SiO ₂	Mín. 85%
Umidade	Máx. 3%
Equivalente alcalino em Na ₂ O	Máx. 0,5 %

Fonte: <http://www.caue.com.br/br/frame.asp?url=/br/produtos>

3.2.2.4 Areia

Foi utilizada areia proveniente do rio Paraíba, disponível comercialmente. O material apresentou módulo de finura igual a 2,4 e massa específica real 2,57 g/cm³.

3.2.2.5 Água

A água utilizada na produção das argamassas foi proveniente da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), da cidade de João Pessoa, PB.

3.2.2.6 Superplastificante

O superplastificante utilizado foi à base de éter policarboxílico, da marca Glenium 51, com as características descritas na Tabela 11.

Tabela 11 – Características do superplastificante da marca Glenium 51

Densidade:	1,067 a 1,107g/cm ³
pH:	5 a 7
Sólidos:	28,5 a 31,5%
Viscosidade:	95 a 160 cps
Fonte: http://www.degussa-cc.com.br	

3.2.3 Ensaio de Caracterização

3.2.3.1 Caracterização química

As amostras das CCSS foram submetidas à análise química no Laboratório de Análises Minerais do CT da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

A perda ao fogo foi determinada segundo NBR 5743 (1989) e calculada através da seguinte equação:

$$\% PF = \frac{(m_1 - m_2) * 100}{m} \quad (1)$$

onde m_1 = tara do cadinho mais massa da amostra (g); m_2 = tara do cadinho mais massa da amostra após calcinação (g) à temperatura de $(950 \pm 50)^\circ\text{C}$ por 20 minutos e m = massa de amostra utilizada no ensaio (g).

3.2.3.2 Caracterização Mineralógica

3.2.3.2.1 Difração de Raios-X (DR-X)

A análise de DR-X tem caráter qualitativo (CULLITY, 1967), pois está baseada na identificação de substâncias (fases cristalinas) presentes em cada amostra. As análises de DR-X podem ser utilizadas para identificação de fase, determinação da cela unitária e análise estrutural, tornando-se uma ferramenta útil no desenvolvimento de novos materiais.

Os picos que aparecem nos difratogramas são característicos para cada tipo de substância, sendo possível identificá-las. No caso da sílica da casca de arroz, a ausência de picos indica a amorficidade da cinza (ODA, 2003). A análise de DR-X foi realizada em equipamento da marca Siemens, modelo D 5000. As condições de operação foram: radiação K-alfa de ferro, 30 kV e 30 mA, com varredura de 2θ entre 15° e 110° . As fases presentes nas amostras foram posteriormente identificadas com o auxílio do programa computacional DIFFRAC plus-EVA, com base de dados centrada no sistema JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards).

3.2.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A MEV foi realizada para se observar a morfologia das partículas de cinzas, conforme proposto por ANJOS et al. (2003).

Além de avaliar a distribuição granulométrica das partículas, a MEV permite visualizar a possível formação de aglomerados que podem levar a resultados errôneos a respeito do tamanho das partículas do material em estudo. As amostras foram previamente recobertas com uma fina camada de ouro, que atuou como meio condutor de elétrons. Os equipamentos utilizados foram microscópios eletrônicos de varredura da Leica-Cambridge, modelo Stereoscan 440 (Figura 22).

Figura 22 – Microscópio Eletrônico de Varredura

3.2.3.3 Caracterização Física

3.2.3.3.1 Massa Específica Real

As amostras das CCSS tiveram determinadas suas massas específicas através de ensaio que foi realizado de acordo com a NBR NM10 (2001), que prescreve a determinação da massa específica real do Cimento Portland e de outros materiais em pó utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier (Figura 23). A massa específica pode ser definida como a razão entre a massa e o volume ocupado por determinado produto. Este conceito aplicado à massa e volume de apenas um grão determina a massa específica real ou unitária. Já a aplicação do conceito para uma determinada massa ou quantidade de produto estabelece a definição da característica massa específica aparente ou granular (PABIS et al., 1998).

Figura 23 – Destaque para o frasco volumétrico de Le Chatelier

3.2.3.3.2 Área Específica

A área específica dos materiais em estudo foi determinada segundo a NBR 7224 (1984) que prescreve o método para a determinação da área específica de cimentos e outros materiais em pó empregando o permeâmetro de Blaine. Este método consiste em fazer passar uma amostra de ar através de uma camada de pó compactada. A quantidade e o tamanho dos poros determinam o tempo com que o ar atravessa a camada e dependem do tamanho das partículas.

3.2.3.3.3 Análise granulométrica por peneiramento

A composição granulométrica das amostras dos materiais foi determinada utilizando as peneiras ABNT nº 100 (#0,147mm), nº 200 (#0,074mm), nº 325 (#0,044mm) e nº 400 (#0,038mm). O ensaio se deu em duas fases: inicialmente, as amostras foram passadas nas peneiras por via úmida utilizando água e após a secagem em estufa, a 110°C, por via seca. Em seguida, o material que ficou retido nas peneiras foi pesado e obtido a percentagem retida.

3.2.3.4 Atividade pozolânica

A atividade pozolânica das cinzas foi medida por meio de dois ensaios: índice de atividade pozolânica com a cal e com o cimento Portland.

3.2.3.4.1 Índice de atividade pozolânica com a cal (IAPC)

O IAPC foi realizado em conformidade com a NBR 5751 (1992). Esse ensaio é uma medida direta do grau de pozolanicidade, por meio da determinação da resistência à compressão simples, conforme NBR 7215 (1996), dos corpos-de-prova (CPs) cilíndricos 5 x 10 cm de argamassas simples. A cura foi feita, durante as primeiras (24 ± 2) h, à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ em câmara úmida e, durante seis dias, à temperatura de $(55 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ em estufa, com os CPs colocados em sacos plásticos (Figura 24) e lacrados. Para verificar se existiam diferenças significativas entre os tratamentos testados, foi feita a análise estatística através do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 24 – Corpos-de-prova envoltos em saco plástico

3.2.3.4.2 Índice de atividade pozolânica com o cimento Portland (IAPCP)

Este ensaio foi realizado conforme a prescrição da NBR 5752 (1992). Foram preparadas duas misturas de argamassas, uma mistura de referência e outra em que se substituiu 35% em massa do cimento Portland pelo material em estudo. A quantidade de água foi a necessária para que cada uma das misturas alcançasse o índice de consistência de (225 ± 5) mm. Foram moldados três corpos-de-prova por traço com os quais foi determinada a resistência à compressão simples aos 28 dias.

O IAPCP foi calculado pela relação entre a resistência à compressão da argamassa com o material pozolânico e a resistência à compressão da argamassa de referência.

Diante dos resultados obtidos, foi escolhido o resultado de melhor desempenho para realização da etapa seguinte.

3.2.3.5 Resistência à Compressão Simples

Para se ter uma idéia do desempenho das CCSS como material de substituição parcial do cimento Portland foram preparadas argamassas com taxas de substituição de 10, 20 e 30% em massa. Como referências foram usadas também argamassas com 0% de substituição e com 10% de sílica ativa, que é um material de atividade pozolânica conhecida e consagrada, substituindo o cimento. A relação aglomerante:areia foi mantida fixa em 1:1,5 em massa e com fator água-cimento de 0,4..

Para se obter a consistência aproximadamente igual das argamassas, fez-se o uso de superplastificante. O ensaio de consistência foi realizado na mesa de fluidez (Figura 25) de acordo com a norma NBR 13276 (1995), que prescreve o espalhamento de (255 ± 10) mm em diâmetro da argamassa sobre a mesa para ser considerada consistência ideal.

Figura 25 – Mesa de Fluidez

Todos os CPs foram moldados somente quando a argamassa apresentava a consistência ideal (Figura 26), com objetivo de facilitar o preenchimento dos moldes e conduzir uma maior uniformidade.

Figura 26 – Medida para verificação da consistência ideal ($225 \pm 5\text{mm}$)

Os CPs foram moldados utilizando moldes cilíndricos com dimensões 5 cm x 10 cm . Antes da moldagem, as superfícies internas dos moldes foram untadas com graxa para facilitar a desmoldagem e garantir estaqueidade. O enchimento dos moldes foi dividido em quatro camadas aproximadamente iguais, onde cada camada recebeu trinta golpes com soquete em toda sua área transversal (Figura 27), conforme a NBR 7215 (1996). Em seguida, a superfície foi regularizada deixando aproximadamente 2 mm para o capeamento.

Figura 27 – Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos

Após a desmoldagem, os CPs foram identificados com a data de moldagem, o percentual de substituição do cimento, a temperatura de calcinação e a finura (Figura 28).

Figura 28 – Corpos-de-prova nos moldes aguardando 24h para o capeamento

Após a desmoldagem, os CPs foram submetidos à cura submersa por períodos de sete e 28 dias em temperatura ambiente. O volume de água do reservatório foi determinado de maneira que o nível cobrisse totalmente os CPs.

A resistência à compressão das argamassas foi obtida pelo ensaio indicado na NBR 7215 (1996). Foi realizado o teste de Tukey (5% de probabilidade) para verificar se existiam diferenças significativas entre os tratamentos testados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados das duas etapas do experimento e a discussão desses resultados.

4.1 PRIMEIRA ETAPA

Na primeira etapa foi realizada a análise bromatológica da CSS. O material foi analisado logo após a abertura dos sacos plásticos, para evitar contaminação e absorção de umidade e consequentemente mudanças nas suas características naturais.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados da análise bromatológica da CSS.

Tabela 12 – Análise bromatológica da cama sobreposta de suínos

Amostra	MS 105°C*	PB*	FB*	EE*	MM*	FDA*	FDN*	LIG*
Cama	90,07	13,25	23,48	0,50	28,50	45,41	53,17	12,24

*MS – matéria seca; PB – proteína bruta; FB – fibra bruta; EE – extrato étereo; MM – matéria mineral; FDA – fibra em detergente ácido; FDN – fibra em detergente neutro; LIG – lignina (expressos em %).

4.2 SEGUNDA ETAPA

4.2.1 Ensaio de Caracterização

4.2.1.1 Caracterização química

As composições químicas das amostras de CCS queimadas em diferentes temperaturas e a porcentagem de perda ao fogo estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Análise química da cama sobreposta de suínos queimada em diferentes temperaturas

Elementos químicos	400°C	500°C	600°C
CaO	8,97	9,87	11,58
MgO	1,44	2,10	1,83
Al ₂ O ₃	21,64	21,00	21,70
SiO ₂	42,34	42,00	42,40
P ₂ O ₅	9,65	10,23	9,41
SO ₂	0,55	1,02	1,02
KCl	2,43	2,24	2,50
K ₂ O	3,20	3,20	3,52
Na ₂ O	1,44	1,41	1,51
TiO ₂	2,16	2,02	2,45
MnO	0,20	0,20	0,14
Fe ₂ O ₃	6,14	4,82	6,18
Perda ao fogo (%)	9,20	9,40	9,70

Esta análise química revelou um percentual de 42,34; 42,00 e 42,40% de SiO₂ e de 21,64%, 21,00% e 21,70% de Al₂O₃, das cinzas calcinadas a 400, 500 e 600°C, respectivamente.

A composição química da cinza varia em função do solo em que o arroz é plantado, dos tipos e teores de fertilizantes utilizados, bem como do tipo de arroz propriamente dito (GAVA et al., 1999).

Dentre os óxidos detectados houve um percentual de 21,62; 23,30 e 24,51% da soma de K_2O , CaO e P_2O_5 , respectivamente nas temperaturas de 400, 500 e 600°C. Esses três óxidos são considerados fundentes e formadores de fase vítrea, segundo Della (2001), uma vez que tendem a baixar o ponto de fusão. Segundo Nakata et al. (1989), o potássio contido na CCA, acelera tanto a fusão das partículas quanto à cristalização da sílica amorfa em cristobalita por abaixar o ponto de fusão do material.

Comparando o percentual de óxidos obtidos na amostra com valores da literatura, para as cinzas da casca de arroz, nota-se que o teor de SiO_2 está abaixo do comumente encontrado, e que o percentual dos outros elementos está acima dos valores padrão, com exceção dos álcalis que apresentaram um teor dentro da média.

Comparando o percentual de óxidos obtidos na amostra com valores da literatura, nota-se que o teor de SiO_2 está abaixo do comumente encontrado, e que o percentual dos outros elementos está acima dos valores padrão, com exceção dos álcalis que apresentaram um teor dentro da média.

A soma dos percentuais dos compostos: SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , para as cinzas calcinadas a 400°C, 500°C e 600°C são 70,12%, 67,82% e 70,28% respectivamente. Assim, a soma dos teores desses três óxidos ficou nas redondezas de 70% em massa, ficando abaixo dos reportados na literatura para a calcinação de casca de arroz exclusiva. Porém tal comportamento pode ser explicado pela presença de material orgânico e outras impurezas (excrementos, urina, etc.) na matéria-prima que predominam como consequência da produção do suíno.

As cinzas, obtidas nas três diferentes temperaturas, apresentaram teor de álcalis (Na_2O e K_2O) relativamente alto se comparado com o metacaulim, que é uma pozolana de origem mineral (OLIVEIRA, 2005). Os teores de sílica, alumina e ferro apresentaram valores próximos do limite mínimo (65%) proposto pela ASTM C-618-03 (2003) e por VARSHNEY (1982) para pozolanas. Foram também encontrados óxidos de fósforo e de cálcio em teores próximos a 10% cada um, provavelmente de origem orgânica.

4.2.1.2 Caracterização Mineralógica

4.2.1.2.1 Difração de Raios-X (DR-X)

Nas Figuras 29, 30, 31, são mostrados os difratogramas das cinzas calcinadas a 400, 500 e 600°C e de finura correspondente a peneira ABNT n^o 200 (# 0,074 mm). Os difratogramas correspondentes a peneira ABNT n^o 325 (# 0,044 mm), encontram-se no Anexo B.

Figura 29 – Análise de DR-X da amostra de cinza incinerada a 400°C e passante na peneira ABNT n^o 200 (# 0,075 mm)

Figura 30 – Análise de DR-X da amostra de cinza incinerada a 500°C e passante na peneira ABNT nº 200 (# 0,075 mm)

Figura 31 – Análise de DR-X da amostra de cinza incinerada a 600°C e passante na peneira ABNT nº 200 (# 0,075 mm)

Nos difratogramas das amostras das CCSS são observados picos correspondentes aos seguintes compostos: SiO_2 , Al_2O_3 e CaO . Na amostra das CCSS incinerada a 600°C nas duas finuras, encontram-se picos de Fe_2O_3 . Esses dados diferiram dos citados na literatura (DELLA, 2001; ODA, 2003). Na CCA a fase predominante é o óxido de silício, e os outros elementos detectados estão presentes na cinza sob a forma de solução sólida, uma vez que nos difratogramas desses trabalhos não mostraram picos característicos de fases, provavelmente devido ao seu teor bastante baixo. Esses outros compostos presentes nas CCSS provavelmente se devem à presença de material orgânico na CSS.

Porém, não se alcançou uma clara identificação de fases cristalinas nas amostras das CCSS analisadas. Além disso, em decorrência do ruído na linha base dos difratogramas, não foi possível identificar diferenças significativas entre os difratogramas.

4.2.1.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

Na Figura 32 podemos observar uma visão geral da CCSS.

Figura 32 – Formato da partícula da cinza da cama sobreposta vista no MEV

As Figuras 32, 33 e 34 mostram as formas das partículas das cinzas calcinadas a 400, 500 e 600°C, com finuras correspondentes a peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm). As MEV correspondentes a peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm), e outras correspondentes a peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm), encontram-se no Anexo C.

Figura 33 – MEV da amostra de uma partícula das cinzas calcinadas a 400°C, com finura correspondente a peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

Figura 34 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 500°C, com finura correspondente a peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

Mag = 20.00KX Signal A = SE1 Date: 14 jul 2004
EHT = 15.00 kV Photo n. 493 Time: 11:17:29

Figura 35 – MEV de uma amostra das cinzas calcinadas a 600°C, com finura correspondente a peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

A morfologia e o tamanho das partículas das cinzas se alteram com a temperatura de calcinação. O aumento da temperatura de queima diminui o tamanho das partículas de cinzas, corroborando com os resultados obtidos pelas análises de área específica.

4.2.1.3 Caracterização Física

4.2.1.3.1 Área Específica

Na Tabela 14, são apresentados os valores das áreas específicas das amostras das cinzas.

Tabela 14 – Áreas específicas das cinzas incineradas em diferentes temperaturas pelo método do permeâmetro de Blaine

Temperatura de Calcinação (°C)	Área específica (m ² /g)
400	21
500	93
600	154

Houve acréscimo das áreas específicas com o aumento da temperatura de calcinação. Esta tendência foi observada por Galal et al. (1990). Segundo esses autores, o aumento da área específica é proporcional à temperatura de queima. Isso se justifica, pois quanto menor a temperatura, menor o tempo necessário para ocorrer a eliminação do carbono, levando à queda de atividade.

Oda (2003) afirma que a elevada área superficial da sílica da casca de arroz proporciona maior velocidade nas reações pozolânicas, fazendo com que as argamassas e concretos desenvolvam resistências elevadas desde as idades iniciais. Entretanto a elevada área superficial pode trazer alguns inconvenientes como, por exemplo, a maior demanda de aditivo superplastificante.

4.2.1.3.2 Análise Granulométrica por Peneiramento

A Tabela 13 apresenta os resultados da análise granulométrica por peneiramento nas três diferentes temperaturas de calcinação. Observa-se que os diâmetros apresentam-se maiores que o esperado e superiores ao que se tem noticiado na literatura. Esse fato é devido à dificuldade da determinação das partículas de pós muito finos como o material aqui estudado. Além disso, as amostras ensaiadas não sofreram tratamento via ultra-som para desaglomeração dos grumos formados pelas partículas em função da umidade e de forças de atração entre elas.

Tabela 15 – Análise granulométrica por peneiramento obtida para diferentes temperaturas

Peneira #	Dimensão (mm)	Retido (% em massa)		
		400°C	500°C	600°C
16	1,00	1,2	0,9	0,5
32	0,50	6,3	5,3	4,7
60	0,250	21,7	20,4	19,8
200	0,074	23,9	22,2	21,3
325	0,044	33,7	32,7	29,7
Passante 325	-	13,2	18,5	24,0

4.2.1.4 Atividade Pozolânica

4.2.1.4.1 Índice de atividade pozolânica com a cal (IAPC)

Na Tabela 14, são apresentados os resultados obtidos para os ensaios do IAPC das amostras de sílica e das CCSS calcinadas nas diferentes temperaturas.

Tabela 16 – Resultados de resistência à compressão simples (RSC) de argamassas do ensaio do índice de atividade pozolânica da cinza com a cal

Argamassas	RCS (MPa)			Média (MPa)
	1	2	3	
Sílica	6,5	6,3	6,1	6,3 ^{bc}
CCSS #200 – 400	4,4	4,4	5,0	4,6 ^e
CCSS #200 – 500	5,7	5,2	5,7	5,5 ^d
CCSS #200 – 600	6,7	6,2	6,4	6,4 ^b
CCSS #325 – 400	4,9	5,1	4,8	4,9 ^e
CCSS #325 – 500	5,9	6,0	5,8	5,9 ^{cd}
CCSS #325 – 600	6,9	7,0	7,0	7,0 ^a

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$)

De acordo com os resultados obtidos, constatou-se que houve variação dos valores da resistência média para uma mesma finura nas diferentes temperaturas. As amostras das CCSS passantes na peneira ABNT nº 200, nas três temperaturas, apresentaram resultados que variaram de 4,4 a 6,4 MPa. As CCSS passantes na peneira ABNT nº 325 atingiram resultados um pouco melhores, que variaram de 4,9 a 7,0 MPa.

Segundo a NBR 5751 (1992), considera-se que o material tem atividade pozolânica se a sua resistência à compressão aos sete dias for igual ou superior a 5,5 MPa. De acordo com esta especificação, as CCSS passantes na peneira ABNT nº 20 (500 e 600°C) e as CCSS passantes na peneira ABNT nº 325 (500 e 600°C) podem ser consideradas como material pozolânico, pois apresentaram valores superiores àquele limite.

Assim, observa-se que a calcinação a 400°C da CSS não é conveniente, independentemente da peneira utilizada. Para temperatura de calcinação igual a 500°C, o desempenho das cinzas é próximo do limite citado, sem diferenças significativas ($P > 0,05$) entre as duas peneiras. Para calcinação a temperatura de 600°C, o desempenho médio do material está acima daquele da sílica ativa comercial que é 6,23 MPa, como comprovado quando foi realizado o mesmo teste com a sílica. Tais resultados corroboram com Oliveira (2005), que quando comparando o caulim com a sílica comercial obteve resultados semelhantes para a sílica.

As CCSS passantes na peneira ABNT nº 200, calcinada a 600°C, obteve resultados semelhantes ao da sílica comercial, não diferindo estatisticamente entre si ($P>0,05$). Quando comparamos a sílica comercial com os tratamentos calcinados a 500°C, independente da finura, não foi encontrada diferença significativa ($P>0,05$).

O melhor resultado foi para a amostra das CCSS passantes na peneira ABNT nº 325, calcinadas a 600°C, que apresentou diferença significativa ($P<0,05$) entre os demais tratamentos. Esse resultado corrobora com CINCOTTO et al. (1990), PRUDÊNCIO JR. et al., (2003), SILVEIRA (2001), que constataram que o grau de moagem da cinza de casca de arroz influencia significativamente o seu desempenho, medido pelo IAP. Porém alguns trabalhos (SUGITA et al., 1994; GAVA et al., 1999;) relatam que a partir de certa finura, o índice tende a cair, fato este que, provavelmente, é conseqüência da dificuldade dispersão das partículas muito finas nas argamassas.

4.2.1.4.2 Índice de atividade pozolânica com o cimento (IAPCC)

Os resultados do índice de atividade pozolânica com cimento variaram de 71,3 a 75,02% para as CCSS passantes na peneira ABNT nº 200 e 72,1 a 75,89% para as CCSS passantes na peneira ABNT nº 325. A NBR 12653 (1992) estipula um valor mínimo de 75% para o índice de atividade pozolânica com cimento Portland. Esse resultado, apesar de estar no limite mínimo aceito, pode ser considerado satisfatório.

Neste ensaio, o teor de substituição do cimento é de 35%. Nota-se que, mesmo com esse teor elevado, a temperatura de calcinação mais alta não apresentou diferença significativa ($P>0,05$) em ambas as finuras.

4.2.1.5 Resistência à Compressão Simples (RCS)

Quando foi avaliada a RCS das argamassas com substituição do cimento pelas CCSS, foram três as variáveis envolvidas no presente trabalho:

- Teor de substituição
- Finura
- Tempo de cura

Para comparação foi utilizado 0% de substituição do cimento pelas CCSS e 10% de substituição pela sílica. A amostra das CCSS utilizada foi proveniente da queima a 600°C.

Devido aos cuidados de execução e controle de ensaio, todos os valores obtidos de RCS pertencem ao intervalo de confiança, de forma que nenhum resultado foi descartado.

Na Figura 35, podemos observar o comportamento médio das argamassas de referência e com CCSS passantes na peneira ABNT nº 200 e passantes na peneira ABNT nº 325, nos diferentes teores de substituição e aos sete e 28 dias de idade.

Estes resultados têm como finalidade avaliar o melhor teor de substituição do cimento pelas cinzas calcinadas a 600°C.

Figura 36 – Resistência à compressão simples aos sete e 28 dias de idade das argamassas de referência e com CCSS #200 e #325, calcinada a 600°C

As médias de RCS dos CPs, curados aos sete ou 28 dias de idade são apresentados na Tabela 15. As RCS de cada CP estão descritas no Anexo D. No Anexo E podemos ver as Figuras dos CPs depois de rompidos,

Tabela 17 – Resultados de resistência à compressão simples (RCS) de argamassas com substituição parcial do cimento pelas CCSS calcinadas a 600°C, passante nas peneiras ABNT nº 200 (# 0,074 mm) e nº 325 (# 0,044 mm) com teores de 0, 10, 20 e 30% em massa

Argamassas	Substituição	RCS – Média (MPa)	
		7 dias	28 dias
Sílica	10%	24,0 ^{bc}	32,6 ^b
CCSS #200	0%	24,9 ^{bc}	28,1 ^{bc}
CCSS #200	10%	30,5 ^a	34,4 ^a
CCSS #200	20%	33,8 ^a	35,7 ^a
CCSS #200	30%	32,5 ^a	35,8 ^a
CCSS #325	0%	25,7 ^c	28,2 ^{bc}
CCSS #325	10%	31,0 ^a	34,7 ^{ab}
CCSS #325	20%	33,8 ^a	35,8 ^{ab}
CCSS #325	30%	33,1 ^a	36,0 ^a

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$)

Observamos diferença significativa ($P < 0,05$) quando comparamos os diferentes teores de substituição das CCSS (10, 20 e 30%), comparado aos tratamentos controles, independente da peneira e da idade considerada. Nas duas peneiras e nas duas idades, quando substituímos o cimento pelas CCSS, obtivemos melhores resultados. Este fato pode ser creditado à maior reatividade das CCSS. Resultados semelhantes foram encontrados por ODA (2003), quando utilizou semelhantes teores de substituição para a CCA.

Quando comparamos os três teores de substituição das CCSS (10, 20 e 30%), embora não observada diferença significativa ($P > 0,05$) quanto à peneira e a idade, os melhores resultados foram as CCSS passantes na peneira ABNT nº 325 com 20 e 30% de substituição, aos sete e 28 dias de idade, respectivamente. À medida que se aumenta o teor de substituição, há um pequeno aumento na RCS, indicando que os teores de substituição de cimento por CCSS testados, promovem atividades pozolânicas se tornando um diferencial de maior reatividade. Estes resultados confirmam a afirmação de Dafico (2001). Este autor afirma que apesar de ser

possível substituir mais de 70 % do cimento do concreto por CCA, em experimentos realizados por seu grupo de pesquisa, obteve resultados onde basta entre 10 e 20 % de substituição por CCA para haver aumento da RCS e uma extraordinária diminuição da permeabilidade frente aos agentes agressivos (cloretos, sulfatos, CO_2 , etc.), sem que isto acarrete em nenhum efeito adverso ao material. Metha (1992) concorda que misturas de cimento Portland com apenas 10% de CCA têm-se mostrado efetivas na substituição do cimento para construções. Esses resultados também corroboram com os encontrados por Zhang e Malhotra (1996) que obtiveram superioridade dos concretos confeccionados com a CCA em relação à referência (0%). Porém, divergem dos mesmos autores que encontraram resultados inferiores ao concreto com CCA com sílica ativa.

Com os resultados apresentados, considera-se que a substituição mais adequada de cimento por cinzas foi de 30% em massa. Embora não tenha sido observada diferença significativa ($P > 0,05$) com as outras substituições testadas, as CCSS podem ser consideradas como material pozolânico viável para utilização em construções e com esse elevado teor de substituição pode reduzir custos e, ainda, dar um destino alternativo à contaminação ambiental causada pela produção de suínos em grande escala.

5 CONCLUSÕES

As cinzas da cama sobreposta de suínos à base de casca de arroz contêm aproximadamente 42% de óxido de silício e teor de álcalis relativamente alto, se comparadas a outras pozolanas de origem mineral. A soma dos teores de óxidos de silício, alumínio e ferro ficaram na redondeza de 70% em massa. Esses teores foram mais baixos que os reportados na literatura para a calcinação de casca de arroz exclusiva. Porém tal comportamento pode ser explicado pela presença de material orgânico e outras impurezas na matéria-prima que predominam como consequência da produção do suíno. A condição ideal para calcinação em laboratório foi à temperatura de 600°C, com bons resultados de pozolanicidade da cinza. O índice de atividade pozolânica com a cal hidratada atingiu resistências à compressão de 6,4 e 7,0 MPa para as cinzas passantes nas peneiras ABNT nº 200 (0,074 mm) e nº 325 (0,044 mm) respectivamente. A resistência à compressão das argamassas resultantes aumentou até a substituição de 30% de cimento Portland pelas cinzas, com valor médio de 35,8 MPa, aos 28 dias de idade. As séries de controle, sem substituição do cimento Portland e com 10% de substituição do cimento por sílica ativa comercial, apresentaram resultados de resistência à compressão de 28,1 e 32,6 MPa, respectivamente, na mesma idade. Tais resultados permitem comprovar a possível utilização das CCSS, obtidas a partir de queima sob condições controladas e após moagem e peneiramento, como adições minerais em produtos à base de cimento para a construção civil e com ênfase nas construções rurais, próximo aos pontos geradores dos resíduos.

6 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Como o grande desafio dos produtores de suínos nos dias atuais é a exigência da sustentabilidade ambiental nas regiões de produção intensiva, para se assegurar que o emprego das CCSS pode ser usada como material de substituição parcial do cimento, faz-se necessário o estudo do (s):

- Efeito do beneficiamento das CCSS por meio de moagem, com intuito de aumentar sua superfície específica, para emprego em concretos e argamassas de alto desempenho.
- Testes com tempos de cura mais longos, para avaliação de características mecânicas.
- Incorporação de fibras vegetais na matriz para obtenção de componentes construtivos. O consumo da cal livre pela adição pozolânica pode reduzir o ataque alcalino da matriz cimentícia sobre a fibra vegetal e, assim, aumentar a durabilidade do compósito.
- Parâmetros de durabilidade, através de ensaios de absorção por imersão, absorção por capilaridade e análise da microestrutura;
- Efeito do elevado teor de álcalis na durabilidade das argamassas, com especial atenção à reação álcalis-agregado;
- Uso das cinzas como substituição parcial do cimento em concretos.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. de; ABREU, V. M. N. **Sistema de distribuição de água na suinocultura: dimensionamento e equipamentos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 25p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 24).

ANTUNES, R.P.N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. 1999. 145f. (Dissertação de Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS. **Suinocultura Brasileira**. Disponível em: <[http:// www.abcs.com.br](http://www.abcs.com.br)>. São Paulo, Brasil. Acesso em: 14 de jun de 2005.

ANJOS, M.A.S.; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N.P. Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.346-349, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto, Rio de Janeiro 1991.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica: índice de atividade pozolânica com cal, Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7224**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da área específica (método Blaine). Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 12653: Materiais pozolânicos – Especificação**, Rio de Janeiro, 1992

_____. **NBR NM10: Cimento Portland – análise química – disposições gerais**. Rio de Janeiro 2001.

ASTM – American Society for Testing and Materials. **ASTM C618-03** - Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete, West Conshohocken, 2003.

BAETA, F.C.; SOUSA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997. p.25.

BARATA, M.S. **Concreto de Alto Desempenho no Pará: estudo da viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim**. 1998. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

BARNABÉ, M.C. Produção e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu adubada com dejetos de suínos. 2001. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

BERALDO, A.L. Compósito biomassa vegetal-cimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: XXVI CONBEA, 1997. v.26. p. 2.

BERNARDES JR., A. **Classificação de resíduos sólidos industriais**. São Paulo: CETESB, 1983.

BURTON, P.; CAMPBELL, R.G.; KING, R.H. The influence of dietary protein and level of feeding on the growth performance and carcass characteristics of entire and castrated male pigs. **Animal Production**, v.35, 12, p.177-184, 1982.

CINCOTTO, M. A.; KAUPATEZ, R. M. Z. Seleção de materiais quanto à atividade pozolânica. In: COLETÂNEA DE TRABALHOS DA DIVISÃO DE EDIFICAÇÕES DO IPT. 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PINI, 1990.

CINCOTTO, M.A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. **Tecnologia de Edificações**, Campinas, n.9, p.74, 1988.

CINCOTTO, M.A. **Utilização de subprodutos na indústria da construção civil**. 2 ed. São Paulo: IPT, 1995. (publicação 2283)

CINCOTTO, M.A.; AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. Optimization of rice husk ash production. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., 1990, Salvador. **Proceedings...** London: Chapman and Hall, 1990. p.334-342. (Rilem Proceedings, 7).

CORRÊA, É. K. **Avaliação de diferentes tipos de cama na criação de suínos em crescimento e terminação**. 1998.105 f. Dissertação (Mestrado) - UFPEL, Pelotas, RS, 1998.

COSTA, R.H.R. da; MEDRI, W.; PERDOMO, C.C. Otimização do sistema de tratamento: decantador de palhetas e lagoas anaeróbias, facultativa e de aguapé de dejetos suínos. In: SIMPOSIO INTERNAZIONALE DI INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE, 1997. Revello-Villa Rufolo. **Anais ...**Revello-Villa Rufolo: PABLIM, 1997, p.1018–1025.

CULLITY, B. D. **Elements of X-Ray Diffraction**. Addison-Wesley, Reading (Massachusetts), 1978.

DAFICO, Dario de Araújo. **Estudo da Dosagem do Concreto de Alto Desempenho Utilizando Pozolanas Provenientes da Casca de Arroz**. Florianópolis, 2001, 191p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina.

DAL MOLIN, D.C.C.; KULAKOWSKI, M.P. Estudo da relação entre a carbonatação medida em concretos e argamassas empregando-se sílica ativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46, 2004, Florianópolis São Paulo: IBRACON, 2004. v.II, p.847-862.

DAL MOLIN, D.C.C.; SOUZA, P.S.L. Avaliação preliminar do resíduo caulínico das indústrias de beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de uma matacaulinita altamente reativa. **Revista Ambiente Construído**, v.2, n.1, p.69-78, 2002.

DELLA, V.P., KUHN, I., HOTZA, D. Characterization of rice husk ash for use as raw material in the manufacture of silica refractory. *Química. Nova*, São Carlos, v. 24, p. 778-782, 2001.

DI CAMPOS, M. S. et al.. A busca da sustentabilidade ambiental na suinocultura através do aproveitamento dos resíduos gerados. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 42., 2005, Goiânia. **Anais...**Goiânia: RBZ, 2005, não paginado.

DI CAMPOS, M. S.; BARBOSA, N. P.; SAVASTANO JR., H. Performance Evaluation of Deep Bedding Ashes as a Mineral Addition in Cement Based Mortar. In: Spain 2005 - Concrete for a Sustainable Agriculture, 1., 2005, Madrid. **Anais...** Madrid: Proceedings of the Vth Internacional Symposium - Spain 2005 - Concrete for a Sustainable Agriculture, 2005, não paginado.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**, Goiânia: BIPERS, v.10, n.14, p.4-28, 2002. (Boletim Informativo)

DORFFER, M. Le compostagem accessible aux gros excédents. **Porc Magazine**, n.314, p. 129-130, 1998.

DOURMAD, J.Y. **Comment concilier production porcin et protection de l'environnement. Matrise des pollutions de l'eau: réduction à la source par une meilleure alimentation des porcs**. Paris: Cemagref, p. 75-84, 1999.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agriculture production statistics 2000-2005**. FAO Circular, Rome. n. 1832, Rev. 8. 189 p.

FARIAS, J. S. A.; RECENA, F. A. P. Study for Brazilian rice husk ash cement. In: SOBRAL, H. S. (Ed.). **Proceedings of the second international RILEM symposium**. Salvador, 1990, p. 360-369.

FEDERAL ENVIRONMENTAL AGENCY Sustainable development in Germany: progress and prospects, Berlim, Germany. Berlim: Erich Schimdt, 1998, 344p.

FERREIRA, A.A.; SILVEIRA, A.A.; DAL MOLIN, D.C.C. A cinza da casca de arroz: possibilidades de utilização como insumo na produção de materiais de construção. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. **Anais...** Canela: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 293-298.

FRASER, A.F. World animal science, A. Basic information, 5. Amsterdam; Elsevier Science Publishers B. V., 1985, 55p.

FU S, HU X, YUE CY. The flexural modulus of misaligned short-fiber-reinforced polymers. *Composites Science and Technology*, v.59, p.1533-42, 1999.

GALAL, A. F. et al. Rice Husk Ash in Portland Blended Cement. *Silicates industriels*. p. 55 –58, 1990.

GATTO, E.G.; KAWABATA, C.Y.; SAVASTANO JR., H. Polpas kraft de Agave sisalana e de Musa cavendishii para reforço de fibrocimento alternativo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.211-220, 2003.

GAVA, G.P.; PRUDÊNCIO JR., L.R.; CASALI, J.M. Comparação entre diferentes metodologias utilizadas no Brasil para avaliação da pozolanicidade da cinza volante e da cinza da casca de arroz., 5º Congresso Brasileiro De Cimento, Santa Catarina, UFSC, 8 de novembro de 1999.

GEYER, A.L.B.; MOLIN D.D.; CONSOLI, N.C. Recycling of sewage sludge from treatment plants of Porto Alegre city, Brazil, and its use as a addition in concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION INTO THE NEXT MILLENNIUM: ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND INNOVATIVE CEMENT BASED MATERIALS, 2000, João Pessoa, **Proceedings...** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba/The University of Sheffield, 2000. p. 464-473.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R.D.; BARBOSA, N.P. Behavior of composite soil reinforced with natural fibers. **Cement and Concrete Composites**, Évora, v.?, n.21, p.39-48, 1999.

GONÇALVES, J.; SILVA, D.C.; SILVA, R. J. Estudo da viabilização de co-processamento em fornos rotativo de clínquer da borra oleosa do processo de rerrefino do óleo lubrificante usado. IN: 5 CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5., 1999, São Paulo. **Anai...** São Paulo: CBC, - 1999.

GUIVANT, J. Atores e arenas na formação de uma rede para o controle da poluição agrícola em condições de competitividade globalizada. In: ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓSGRADUAÇÃO E PESQUISA EM CIÊNCIAS SOCIAIS, ECOLOGIA E SOCIEDADE, 20., 1996, Caxambu. **Anais...** Caxambu: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais, Ecologia e Sociedade, 1996, p.3-34.

GUIVANT, J. Conflitos e negociações nas políticas de controle ambiental: o caso da suinocultura em Santa Catarina. **Ambiente e Sociedade**, ano 1, n.2, p. 101-123, 1998.

HAM, F.A.M de; ZEE, S.E.A.T.M. van der. Soil protection and intensive animal husbandry in the Netherlands. **Marine Pollution Bulletin**, Elsford, v.29, p. 439-443, 1994.

HARIMA, E. **Estabilização da fase β e obtenção da fase α da cristobalita a partir do resíduo da casca de arroz queimada**. 1997. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais – EESC-IFSC-IQSC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

HEINRICKS, H.; R. BERKENKAMP; K. LEMPFER; H.J. FERCHLAND. Global review of technologies and markets for building materials. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONF., 7, Sun Valley, 2000. Proceedings... Moscow: University of Idaho, 2000.

HILL, D. J. Deep bed swine finishing. 5º Seminário internacional de suinocultura, Expo Center Norte, SP, 2000. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/publicações>>. Acesso em 15 jun. 2005.

HOUSTON, D. F. Rice Hulls, Rice Chemistry and Technology. **American Association of Cereal Chemistry**, Minnessota, p. 301-352, 1972.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2002. Disponível em:< <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 de setembro de 2005.

ISAIA, G.C.; GASTALDINI, A.L.G.; MORAES, R. Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete. **Cement and Concrete Composites**, v.25, n.1, p.69-76, 2003.

ISMAIL, M.S.; WALIUDDIN, A.M. Effect of rice husk ash on high strength concrete. **Construction and Building Materials**, , v.10, n.7, p. 521-526, 1996.

JOHN, V. M., ZORDAN, S.E. Research & development methodology for recycling residues as building materials – a proposal. *Waste Management*, p.213-219, 2001.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; PRADO, T.A. Durabilidade de Compósitos de Cimentos e Fibras Vegetais. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, São Leopoldo. Anais... São Leopoldo: Antac, 1997. p.12, 1997. JOHN, V.M. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: Seminário sobre desenvolvimento sustentável e reciclagem na construção civil, 2., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999.

JUSTNES, H.; SELLEVOLD, E. J.; LUNDEVALL, G. High Strength concrete binders Part A: reactivity and composition of cement pastes with and without condensed silica fume. In: PROCEEDINGS FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE, 1., 1992, Istanbul-Turkey. **Anais...** Istanbul-Turkey: PFIC, 1992. p. 873-890.

KABATA-PENDIAZ, A. Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. In: SALOMONS, S.W.; TRADE, P. Trace metals: problems and solution, Springer, 1995. p. 3-18

KERMARREC C. Bilan et transformations de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière. 1999. 186 f. Tese (Doutorado) - , Universidade de Rennes, France, 1999.

KONZEN, E. A. **Alternativas de manejo, tratamento e utilização de dejetos animais em sistemas integrados de produção.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 32p., 2000.

KONZEN, E.A.; MENEZES, J.F.S.; ALVARENGA, R.C. Monitoramento ambiental do uso de dejetos líquidos de suínos como insumo na agricultura – 3 – efeito de doses na produtividade de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO – MEIO AMBIENTE E A NOVA AGENDA PARA O AGRONEGÓCIO DE MILHO E SORGO, 24., 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EMBRAPA, 2003. p. 24-27.

KRISHNARAO, R. V.; SUBRAHMANYAM, J.; KUMAR, T. J. Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash. **Journal of the European Ceramic Society.** v. 21, p. 99-104, 2001.

LEAL, A.F. **Utilização de resíduos das indústrias de cerâmicas e de calçados na elaboração de materiais e produtos à base de cimento Portland reforçados com fibras de sisal.** 2004. 115f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, 2004.

LERÍPIO, Alexandre; SCHERER, Ricardo Luiz; SELIG, Paulo Maurício. Potencialidades do setor agroindustrial, em emissão Zero - Caso dos Engenhos de Arroz. Florianópolis: 1999.

LIBORIO, J. B. L.; MELO, A. B.; SILVA, I. J. (2000). Influência da estrutura porosa da pasta e concreto de cimento Portland na durabilidade das estruturas. In: XXIX JORNADAS SUDAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL. Punta Del Leste, Uruguai, 2000.

LUDWIG, V.S. **A Agroindústria Processadora de Arroz: Um Estudo das Principais Características Organizacionais E Estratégicas das Empresas Líderes Gaúchas**. 2004, 132f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas Em Agronegócios – CEPAN, Porto Alegre, 2004.

MARTINS, M.L.; FERREIRA, A.A.; DAL MOLIN, D.C.C. Durabilidade de concreto com cinza de casca de arroz – atenção especial ao ensaio de absorção de água por capilaridade. In: INTERNATIONAL CONFERENCE SUSTAINABLE CONSTRUCTION INTO THE NEXT MILLENNIUM: environmentally friendly and innovative cement based materials, 1, 2003, João Pessoa. **Proceedings...** João Pessoa: UFPB/ University of Sheffield, 2003. p.67-80.

MATTHEWS, L.R. Animal welfare and sustainability of production under extensive condition: anon-EU perspective. **Applied Animal Behaviour Science**, v.49, n.17, p. 41-46, 1996.

MAZLUM, F.; UYAN, M. Strength of Mortar Made with Cement containing rice husk ash and cured in sodium sulfphate solution. In: PROCEEDINGS FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE, 1., 1992, Istambul-Turkey. **Anais...**, Istambul-Turkey:PFIC, 1992. p. 513-531

MEHTA, P.K. Rice husk ash: a unique supplementary cementing material. **Advances in Concrete Technology**, Ottawa, v.2, n.5, p.407-431, 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. 1 Ed. São Paulo: Pini, 2000. p. 573.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2002.
Disponível em : <www.mct.gov.br> Acesso em: 13 de maio de 2005

NAKATA, Y.; SUZUKI, M.; OKUTANI, T. Structure and morphology of phenylsilanes polymer films synthesized by the plasma polymerization method. **Journal Ceramic Society Japanese International**, p.830-841, 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrients requirement of swine. 10.ed. Washington: D.C. 2004. 189p.

NEHDI, M.; DUQUETTE, J.; EL DAMATTY, A. Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete. **Cement and Concrete Research**, v.33, n.8, p.1203-1210, 2003.

ODA. G.A. **Estuda da atividade pozolânica da casca de arroz em matrizes de cimento Portland**, 2003, 121p. Instituto de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo)

OLIVEIRA, M.P. **Estudo do caulim do Estado da Paraíba como material de Substituição do cimento Portland**. 2005, 103p. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande.

OLIVEIRA, P. A. V. de ; DIESEL, R. **Edificação para a produção agroecológica de suínos: fases de crescimento e terminação**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2000. 2 p. (Comunicado Técnico, 245)

OLIVEIRA, P. A. V. de Produção de suínos em sistemas deep bedding: experiência brasileira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 5. 2000, São Paulo. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2000. p. 89-100.

OLIVEIRA, P. A. V. de. (Coord.) **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPSA. Comunicado Técnico, 27)

OLIVEIRA, P. A. V. Sistema de produção de suínos em cama sobreposta “deep bedding”. 9º Seminário de desenvolvimento de suinocultura, Gramado- RS, 2005. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/publicações>>. Acesso em: 12 jun. 2005.

OLIVEIRA, P. A. V., Comparaison des systemes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillibotis integral. 1999. 272p. Tese (Doutorado), Universidade de Rennes, France, 1999.

OLIVEIRA, P.A.V et al. **Modelo de Edificação para a produção de leitões em Cama Sobreposta**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2002, p. 1-2. (Comunicado Técnico, 299).

OLIVEIRA, P.A.V. Compostagem e utilização de cama na suinocultura. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS E TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE RAÇÕES, 1., 2003, Campinas, SP, **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal- CBNA, SP, 2003, p. 391-406.

PANDORFI, H. **Avaliação do comportamento de leitões em diferentes sistemas de aquecimento por meio da análise de imagem e identificação eletrônica.** 2003. 231f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PANDORFI, H. **Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e o uso de sistemas inteligentes na caracterização do ambiente produtivo: suinocultura de precisão.** 2005. 268f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PAYA, J., MONZO, J., BORRACHERO, M.V., PERIS-MORA, E., AND AMAHJOUR, F. Mechanical treatment of fly ashes Part IV: Strength development of ground fly ash-cement mortars cured at different temperature. **Cement and Concrete Research**, v.30, p.543-551, 2000.

PERDOMO, C. C. Considerações sobre edificações para suínos. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE A PRODUÇÃO DE SUÍNOS, 4., 1995, Concórdia, SC. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1995. Não paginado.

PEREIRA, P.R. Dejetos da suinocultura podem causar desequilíbrios ecológicos, 2003. Disponível em: <<http://www.porkword.com.br>>. Acesso em: 12 jul 2005

PEREZ, P. G. et al . Potencialidade do Caulim Calcinado Como Substituto Parcial do Cimento Portland. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 12., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SIICUSP, 2004. não paginado.

POUEY, M. T.; DAL MOLIN, D. (2002). Estudo comparativo da resistência à compressão de concretos com adição de **cinza de casca de arroz** de diferentes composições morfológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 200, Belo Horizonte – MG. **Anais...** Belo Horizonte: CBC, 2002, p. 234-239.

PRUDÊNCIO JR., L.R.; SANTOS, S.; DAFICO, D.A. Cinza da casca de arroz. In: ROCHA, J.C.; JOHN, V.M. (Ed.). **Utilização de resíduos na construção habitacional.** Porto Alegre, 2003. v.4, cap.8, p.241-261. Coletânea HABITARE.

QINGGE FENG, R.S. et al. Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. **Cement and Concrete Research**, v.34, n.3, p.521-526, 2004.

REAL, C.; ALCALÁ, M.; CRIADO, J. M. (1996). Preparation of silica rice husks. **Journal of the American Ceramic Society**. v. 79, n. 8, p.. 2.012- 2.016, 1996

RILEM 49TFR. Reunion Intenationale Des Laboratories D'Essais Et Des Recherches Sur Les Materiaux Et Les Constructions (RILEM) – Testing Methods For Fibre Reinforced Cement-Based Composites. *Materiaux et Constructions*, v. 17, n. 102, 1984, p. 441-451.

ROBIN, P., OLIVEIRA, P.A.V., KERMARREC, C. Productions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de procs durant la phase de croissance. **Journées Rech. Porcine en France**, v. 30, 22, p. 111-115, 1999.

ROPPIA, L. Situação atual e tendências da suinocultura mundial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA E QUALIDADE NA PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE SUÍNOS, 1, 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: NUPEA/ESALQ/USP, 1999. p. 196-206.

ROPPIA, L. Competition from South American Pork Production. Disponível em: <http://www.banffpork.ca/proc/2005pdf/PFri-RoppaL.pdf> Acesso em : 01 nov 2004

ROSA, B. **Módulo 01 - Análise de alimentos, introdução:** análises bromatológicas. Goiânia: UFG/EV/DPA, 2003. Disponível em: <http://nutrimail.vilabol.uol.com.br/aula08.htm>. Acesso em: 01 nov. 2005.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos.** 1997. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SAVASTANO Jr., H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000, 149. Tese (Livre-Docência) - EP-USP, São Paulo, 2000.

SCHERER, E.E, BALDISSERA, I.T., ROSSO, A. de. In: DIA DE CAMPO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS SUÍNOS, 1997, Concórdia, SC, **Anais...** Concórdia: Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves, 1997. 47p.

SCHERER, E.E. **Utilização de esterco de suínos como fonte de nitrogênio: bases para adubação dos sistemas milho/feijão e feijão/milho, em cultivo de sucessão.** Florianópolis: Epagri, 1998. 49p. (Boletim Técnico, 99).

SCHULER, A. **Caracterização de argamassas com adições de sílica ativa como material para reparos e reforços de estruturas de concreto armado.** 1998. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santa Maria, 1998.

SEGANFREDO, M.A. **A questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 35p. (Comunicado Técnico, 22).

SEGANFREDO, M.A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.16, n.3, p. 129-141, 1999.

SILVA, J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos : métodos químicos e biológicos**. 3ed., Viçosa : UFV, 2002. 235p. il.

SILVEIRA, A. A. **A utilização da cinza de casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos**: estudo do ataque por sulfatos. 1996. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

SILVEIRA, A. A. **O efeito da incorporação de cinza de casca de arroz em concretos submetidos à reação álcali-agregado**. 2001 102 f. Proposta (Tese) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SONCINI, R. A.; MADUREIRA JR, S. E. Monitorias sanitárias. In: SOBESTIANSKY, J. et al. **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho**. Brasília: Embrapa Serviço de Produção de Informação, 1998. Cap.5, p.93-110.

SUGITA, S.; SHOYA, M.; TOKUDA, H. Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash. In: MALHOTRA, V. M. (Ed.). International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 4, Istanbul: ACI. **Proceedings...**, 2v., v. 1, p. 495-512 (SP132), 1992.

SUGITA, S.; HOHKOHNO, A.; NIIDA, O.; SHI, H.; KEN, A. **Method of Producing Active Rice Husk Ash**. United States Patent. Patent Number: 5,329,867, 1994.

TAKITANE, I.C. **Produção de dejetos e caracterização de possibilidades de aproveitamento em sistemas de produção de suínos com alta tecnologia no estado de São Paulo**. 2001. 137f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2001.

TESTA, V.M. et al. **O desenvolvimento sustentável do Oeste Catarinense**. Florianópolis: EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 1996. 247p.

TOJAL, J. H. V. **Termorregulação de eqüinos em uma construção rural feita com blocos vazados de argamassa de cimento, areia e casca de arroz.** 2002. 143 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

VLASSAK, K. Animal manure: environmental problems, currents recommendations and regulation in Flanders (Belgium). In: HALL, J.E. (ed.). *Animal waste managemet.* Rome: FAO, 1994, p.13 a 23 (REUR. Technical series, 34).

VARSHNEY, R.S. **Concrete technology.** Oxford: IBH Company, 1982.

WEBER P. et al. Maturity indices for composted dairy and pig manures. **Soil Biology and Biochemistry**, Minesota, v.36, n.5, p.767-776, 2001.

WORLD RICE PRODUCTION – Prospects Fall. Disponível em: <www.fas.usda.gov>. Acesso em: 12 maio 2005.

YALÇIN, N.; SEVINÇ, V. Studies on silica obtained from rice husk. **Ceramics International**. v. 27, p. 219-224, 2001.

ZHANG, M.; MALHOTRA, V. M. High-Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash as a Supplementary Cementing Material. **ACI Materials Journal**., v.6, p. 34 - 40 1996.

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DA CAL TIPO CH-1

Tabela 18 – Características químicas e físicas da cal hidratada

Características	Valor	Método	Limite (NBR 7175)
Químicas			
umidade (%)	0,59	NBR 6473	
perda ao fogo (%)	25,32		
resíduo insolúvel (RI) (%)	1,34		
óxidos de ferro e alumínio (%)	1,17		
óxido de cálcio (CaO) (%)	70,9		
óxido de magnésio (MgO) (%)	0,59		
anidrido sulfúrico (SO ₃) (%)	0,24		
anidrido carbônico (CO ₂) (%)	3,3	NBR 11583	≤ 5% ¹ : ≤ 7% ²
Na base do material original:			
óxidos não hidratados ³ (%)	0		≤ 10%
Na base de não-voláteis:			
óxidos totais (CaO+MgO) ³ (%)	98,07	NBR 6473	≥ 88%
(%CaO/(%CaO+MgO))*100 (%)	99,17		>90%
Constituintes calculados:			
sulfato de cálcio (%)	0,41		
carbonato de cálcio (%)	7,5		
hidróxido de cálcio (%)	87,69		
hidróxido de magnésio (%)	2,16		
Físicas			
massa unitária (g/cm ³)		NBR 12127	
massa específica (g/cm ³)		NBR 6474	

¹no depósito

²na obra

³valores calculados a partir da análise química considerando como não voláteis: % de umidade + % de Perda ao fogo.

Fonte: Antunes (1999)

ANEXO B – DIFRAMATOGRAMAS DE RAO-X

Figura 37 – Análise de DRX da amostra de cinza incinerada a 400°C e passante na peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm)

Figura 38 – Análise de DRX da cinza incinerada a 500°C e passante na peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm)

ANEXO C – MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA (MEV)

Figura 40 – MEV de CCSS (600°C), peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm)

Figura 41 – MEV de CCSS (600°C), peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm)

Figura 42 – MEV de CSS (600°C), peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm)

Figura 43 – MEV de CSS (500°C), peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm)

Mag = 5.00KX Signal = SE1 Date: 14 jul 2004
EHT = 15.00kV WD = 14mm Photo n. 477 Time: 12:01:56

Figura 44 – MEV de CSS (500°C), peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm)

10µm Mag = 5.00 K X Signal A = SE1 Date :14 Jul 2004
EHT = 15.00 kV WD = 14 mm Photo No. = 465 Time :11:34:55

Figura 45 – MEV de CSS (400°C), peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm)

Mag = 5.00KX Signal = SE1 Date: 14 jul 2004
EHT = 15.00kV WD = 14mm Photo n. 461 Time: 11:31:51

Figura 46 – MEV de CSS (500°C), peneira ABNT nº 325 (# 0,044 mm)

10µm Mag = 5.00 K X Signal A = SE1 Date :14 Jul 2004
EHT = 15.00 kV WD = 14 mm Photo No. = 467 Time :11:44:38

Figura 47 – MEV de CSS (600°C), peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

Figura 48 – MEV de CSS (600°C), peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

Figura 49 – MEV de CSS (500°C), peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

Mag = 5.00KX Signal = SE1 Date: 14 jul 2004
EHT = 15.00kV WD = 14mm Photo n. 473 Time: 10:34:12

Figura 50 – MEV de CSS (500°C), peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

Mag = 20.00 KX Signal A = SE1 Date: 14 jul 2004
EHT = 15.00kV WD= 14mm Photo n. 468 Time: 11:46:51

Figura 51 – MEV de CSS (400°C), peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

Mag = 5.00KX Signal = SE1 Date: 14 jul 2004
EHT = 15.00kV WD = 14mm Photo n. 431 Time: 11:49:52

Figura 52 – MEV de CSS (400°C), peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm)

ANEXO D – TABELAS DOS RESULTADOS DE RCS POR CP E MÉDIAS DAS ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PELAS CCSS

Tabela 19 – Resistência de argamassas com substituição parcial do cimento pelas CCSS calcinadas a 600°C, passante na peneira ABNT nº 200 (# 0,074 mm) nos teores de 0, 10, 20 e 30% em massa

Material	Substituição (% em massa)	CP	Resistência à compressão (MPa)			
			Resultados individuais		Médias	
			7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Sílica	10	1	23,2	31,01		
		2	25,5	33,0	24,0	32,6
		3	23,3	33,6		
CCSS	0	1	25,3	27,9		
		2	24,2	28,3	24,9	28,1
		3	25,2	28,1		
CCSS	10	1	30,1	34,9		
		2	30,1	37,2	30,5	34,4
		3	31,2	35,0		
CCSS	20	1	34,1	33,8		
		2	33,9	31,9	33,8	35,7
		3	33,4	37,6		
CCSS	30	1	32,2	38,2		
		2	32,9	35,8	32,5	35,8
		3	32,5	34,6		

Tabela 20 – Resistência de argamassas com substituição parcial do cimento pelas CCSS calcinadas a 600°C, passante na peneira ABNT n° 325 (# 0,044 mm) nos teores de 0, 10, 20 e 30% em massa

Material	Substituição (% em massa)	CP	Resistência à compressão (MPa)			
			Resultados individuais		Médias	
			7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Sílica	10	1	23,9	32,9		
		2	25,7	33,3	24,3	32,7
		3	23,2	31,9		
CCSS	0	1	25,7	27,9		
		2	25,3	28,1	25,3	28,2
		3	24,9	28,6		
CCSS	10	1	31,4	35,1		
		2	30,5	34,9	31,0	34,7
		3	31,0	37,2		
CCSS	20	1	34,3	34,9		
		2	33,6	35,9		35,8
		3	33,5	36,6	33,8	
		2	32,3	35,3		36,0
		3	34,6	35,9		

ANEXO E – CPS APÓS ROMPIMENTO

Figura 53 – CP após rompimento (10% de substituição pelas CCSS)

Figura 54 – CP após rompimento (20% de substituição pelas CCSS)

Figura 55 – CP após rompimento (30% de substituição pelas CCSS)