

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

VANESSA ALMEIDA DA SILVA

UFSM - Universidade Federal de Santa Maria
vanessaalmeida@via-rs.net

GILSON ATALIBA RAMOS SEGATTO

garsegatto@hotmail.com

FLAVIA LUCIANE SCHERER

UFSM - Universidade Federal de Santa Maria
flaviascherer@globo.com

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

INTRODUÇÃO

Num momento em que a sociedade efetivamente vivencia as consequências dos efeitos danosos causados ao meio ambiente, após várias décadas de consumo descontrolado dos recursos naturais e, em função disto, acompanha e fiscaliza mais intimamente as ações que governo e iniciativa privada têm tomado frente a essa realidade, torna-se cada vez mais importante e vital às empresas buscar novas alternativas e práticas que possibilitem seu desenvolvimento organizacional e econômico de forma sustentável, e até mesmo sua própria sobrevivência no mercado (ALMEIDA, 2004).

O setor de construção civil é, reconhecidamente, um grande consumidor de recursos naturais em seus processos produtivos. Água, areia, brita e, principalmente, cimento são os mais tradicionais recursos empregados na produção do concreto. Além disto, conforme Santi e Sevá Filho (2004), os principais fornecedores da construção civil figuram entre os maiores poluidores do planeta, em especial a indústria cimenteira que diariamente despeja no meio-ambiente toneladas de resíduos industriais, principalmente gases e poeira originados no processo produtivo do cimento e na queima de combustíveis em seus fornos rotativos.

Ao passo que consome recursos, a área de construção civil é uma rica fonte de resíduos com potencial de reciclagem e reaproveitamento, o que proporciona uma grande oportunidade às empresas do ramo de readequarem seus processos de forma que possam incorporar tais resíduos na fabricação de seus produtos. Ademais, diversas pesquisas (TUTSEK; BARTHA, 1977; ILER, 1979; PITT, 1976; MEHTA; PITT, 1977; SUGITA; SHOYA; TOKUDA, 1992; MEHTA, 1992; SANTOS, 1997; SENSALÉ; DAL MOLIN, 1999; DAFICO, 2002) apresentam alternativas de materiais que podem substituir parcialmente a composição do concreto.

Dentro deste setor, as fábricas de artefatos de concreto têm importante destaque e a cada dia aumentam sua diversidade de produtos destinados a obras de infraestrutura e novas incorporações, oferecendo diversos materiais como canos de concreto, meios fios, galerias, caixas coletoras de águas pluviais e esgotos, enfim, uma grande gama de artefatos que proporcionam agilidade e economia às grandes obras. Diante disto, vários estudos (DAFICO, 2003; SANTI; SEVÁ FILHO, 2004; PAIVA, 2004; PEDROZO, 2008; SILVA, 2012) têm sido desenvolvidos na busca de alternativas para substituir parcialmente o cimento, na composição do concreto utilizado nas indústrias de artefatos de concreto e no ramo da construção civil como um todo, o que impactaria positivamente na diminuição dos resíduos que sua cadeia produtiva deposita na atmosfera.

1.1 Problema de pesquisa e objetivos

Tendo em vista o tema relacionado a Sustentabilidade, a presente pesquisa tem como problemática responder a seguinte questão: É possível inserir práticas sustentáveis no processo de produção de artefatos de concreto, com o intuito de agregar valor ao produto final?

Sendo assim, torna-se relevante a busca por novas práticas de cunho sustentável para as indústrias, em especial aquelas que se utilizam do cimento na composição de seus produtos. Nesse sentido, o estudo conta com o objetivo de avaliar a viabilidade da substituição parcial do cimento Portland pela cinza da casca do arroz (CCA), a fim de agregar valor ao produto final e reduzir os custos de produção do concreto. Além disto, buscou-se identificar os benefícios e dificuldades da utilização da CCA na produção do concreto;

verificar a viabilidade técnica na adoção da cinza da casca do arroz como substituta parcial do cimento Portland na produção do concreto; e, identificar a viabilidade financeira para a implementação desta prática no processo produtivo.

Quanto à estrutura, no capítulo 1 foi apresentada uma introdução sobre o tema em estudo, bem como os objetivos que norteiam a presente pesquisa. O capítulo 2 apresenta uma visão geral sobre o setor da construção civil, sua importância econômica para o país e seus impactos junto ao meio-ambiente, principalmente em função da utilização do cimento como principal matéria-prima. O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada na presente pesquisa e destaca as principais ferramentas utilizadas para o alcance dos objetivos propostos. No capítulo 4 compreende às análises técnicas e financeiras para a utilização da cinza da casca do arroz (CCA) como substituta parcial do cimento Portland CPV-ARI na mistura do concreto. Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões originadas a partir dos resultados obtidos, as considerações e apreciações finais sobre estes resultados.

2 Construção civil e seu impacto sobre o meio ambiente

O século XX foi marcado por profundas transformações em todas as dimensões da existência humana, impulsionadas pelo exponencial desenvolvimento tecnológico que, se por um lado oferece um sensível incremento na expectativa e qualidade de vida da humanidade, também aumenta seu poder de autodestruição. Naturalmente, o crescimento das populações fomentou a demanda por novos bens e serviços, o que desencadeou, durante os anos, sérios problemas ambientais gerados por padrões de vida incompatíveis com o processo de regeneração da natureza e de seus recursos (VAN BELLEN, 2005).

No Brasil, esta concepção começou a mudar quando da criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente, em 1974, que mais tarde transformou-se no Ministério do Meio Ambiente. Mas, principalmente a partir dos anos 80, quando várias leis federais e estaduais foram promulgadas para normatizar as relações de proteção ao meio ambiente, com destaque à Política Nacional do Meio ambiente de 1981, que definiu princípios, instrumentos e mecanismos de formulação e aplicação da política ambiental. A Resolução Conama 001, em 1986, que determinou a obrigatoriedade da avaliação de impacto ambiental para atividades potencialmente poluidoras, e a Constituição Federal, de 1988, que estabeleceu os direitos e deveres dos cidadãos e do Estado em relação ao meio ambiente (AFONSO, 2006). Desta forma a sustentabilidade depende de um processo de transformação em que a exploração dos recursos, os investimentos, o desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se alinham e se harmonizam de forma a reforçar o potencial presente e futuro a fim de atender às necessidades e aspirações humanas (AFONSO, 2006).

Diante desta nova realidade, as empresas devem engajar-se a promover uma mudança de paradigma nas comunidades em que estão ou que venham a estar inseridas, de forma que estas busquem o seu próprio desenvolvimento. Isto será possível através de alternativas e estratégias que possibilitem criar uma nova imagem organizacional, na medida em que as atividades e implicações da empresa sejam conhecidas pela comunidade (VILLAS BÔAS, 2011).

A indústria da construção civil é historicamente responsável por impactos ambientais, sociais e econômicos consideráveis, em razão da posição de destaque que ocupa na economia mundial e, em particular, brasileira. Apesar de sua importância, dadas características de alta empregabilidade, viabilização de moradias, renda e infraestrutura, a construção civil merece uma atenção especial para os impactos ambientais de suas práticas produtivas, principalmente no que se refere à destinação dada aos seus resíduos de produção. As políticas ambientais relacionadas ao tema devem focar o correto manuseio e uma possível reutilização ou redução,

reciclagem e posterior disposição destes resíduos (popularmente conhecidos como entulhos de construção) (KARPINSKI *et al.*, 2009).

Estes impactos são causados durante toda sua cadeia produtiva, desde a exploração de jazidas de pedras, areias, calcário, ferro, alumínio, além de um consumo voraz de madeira e água portátil, passando pela produção de materiais, principalmente os compostos de cimento, construção, uso e demolição. Ademais, os principais fornecedores da construção civil estão entre os maiores poluidores do meio ambiente, destacando-se as indústrias cimenteiras. A partir disto, pode-se concluir que não é possível a nenhuma sociedade atingir um elevado grau de desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passando por profundas transformações (PAIVA, 2004).

Neste sentido, torna-se cada vez mais necessária a participação de todos os interessados neste processo de transformação da construção civil, com enfoque em uma gestão ambiental sustentável e eficiente: a sociedade acompanhando mais intimamente seus processos produtivos e cobrando das autoridades uma fiscalização mais eficaz sobre as empresas do ramo; às autoridades competentes, cabe essa fiscalização, além do aprimoramento das leis que normatizam o setor de construção civil e a cobrança enérgica no cumprimento de tais normas; por fim, as empresas têm sob sua responsabilidade, ainda que apenas moral, a readequação de seus processos e a busca incessante por novas tecnologias e alternativas para sua cadeia produtiva, com o intuito de minimizar o impacto que seus processos causam ao meio ambiente como um todo (PAIVA, 2004).

2.2 Cimento: produção e impactos

Um dos grandes vilões na cadeia produtiva da construção civil é o cimento, justamente o insumo mais utilizado no setor. O cimento, segundo Ribeiro (2002), é um aglomerante (material pulverulento que se hidrata em presença de água, formando uma pasta resistente capaz de aglutinar agregados), conhecido mundialmente como cimento Portland. A fabricação do cimento Portland ocorre através da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pela calcinação (oxidação através do calor) de uma mistura crua de calcário e argila, dosados e homogeneizados. Este processo se dá por meio de uma queima intensa de combustíveis, em fornos rotativos, que entrega um produto final em forma de nódulos escurecidos que, após resfriados, são moídos e recebem a adição de gesso, que vai atuar de forma a impedir que as reações de hidratação entre cimento e água se processem instantaneamente (RIBEIRO, 2002).

Segundo a mesma autora, o calcário é a principal matéria-prima para a fabricação do cimento. Este material, quando submetido a uma temperatura acima de 800°C, se transforma em cal (CaO) e dióxido de carbono (CO²), através da reação ao calor do carbonato de cálcio que o constitui. O CaO reage com alumina (Al²O³), óxido de ferro Fe²O³ e sílica amorfa (dióxido de silício, SiO²), provenientes da argila e outras matérias-primas, formando, em ambiente de até 1450°C, no interior dos fornos rotativos, os compostos constituintes do clínquer. A sílica amorfa (não cristalina), ou sílica ativa, tem características dessecantes, absorventes e catalisadoras importantes nas reações químicas oriundas do contato com o cimento, na fabricação do concreto.

Além dos compostos químicos do clínquer, o cimento também é formado por algumas adições, tais como a escória de alto-forno (resíduo siderúrgico), materiais carbonáticos (minerais moídos), pozolanas, entre outras, que diferenciam os cimentos quanto às suas propriedades e determinam características a serem consideradas quando do seu emprego. As pozolanas são materiais silicosos que, pulverizados e na presença de umidade, reagem com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação do cimento Portland, formando compostos com propriedades aglomerantes. Este processo é conhecido como atividade pozolânica, fundamental na fabricação do concreto (RIBEIRO, 2002).

Mas é o processo de queima desta mistura de combustíveis básicos, os fósseis (derivados de carvão mineral e de petróleo), os resíduos industriais e os da biomassa (carvão vegetal e resíduos agrícolas), conhecidos como *blends* (do inglês, misturas), utilizados em cada plano de queima, de cada forno, para cada ciclo produtivo, que merece destaque, em função da composição, quantidade e diversificação da emissão de gases e poeiras na atmosfera, bem como os tipos de contaminantes que podem ficar retidos no produto final. Todo esse grandioso volume de resíduos, altamente nocivos ao meio ambiente, é despejado diretamente na atmosfera. Além disto, processo de fabricação do cimento consome grandes quantidades de energia, seja na forma de calor (em seus fornos rotativos), seja no consumo de energia elétrica em todo processo industrial. Com base nestas informações, torna-se o cimento um importante foco de combate no setor da construção civil, uma vez que é de uso generalizado e em grandes volumes. Assim, a busca por materiais que possam substituí-lo, ainda que parcialmente, na produção do concreto é um primeiro passo para buscar minimizar seu impacto no meio ambiente (SANTI; SEVÁ FILHO, 2004).

2.2.1 Cinza da casca do arroz (CCA)

A utilização de subprodutos agroindustriais com características pozolânicas tem sido uma das alternativas encontradas diante do crescente consumo de cimento (SILVA, 2012). A cinza da casca do arroz tem um grande potencial para uso no concreto, e por isso vários são os estudos que buscam aperfeiçoar os processos de queima visando a viabilidade de seu uso comercial em substituição parcial do cimento Portland (DAFICO, 2003).

Neste contexto, Mehta (1992) pode ser citado como o pesquisador que mais publicou trabalhos sobre a utilização da CCA no concreto, totalizando 13 trabalhos de sua autoria sobre o assunto, nos quais faz uma ampla revisão sobre o uso da cinza de casca de arroz no concreto. Após, Pitt (1976) patenteou, nos EUA, um processo de queima controlada para obtenção de cinza de casca de arroz de alta reatividade. Mehta e Pitt (1977) realizam e registram um estudo sobre o uso industrial da patente, que consiste num processo de queima da casca inteira em leito fluidizado, capaz de produzir uma cinza altamente reativa e de cor negra. A partir daquela época algumas indústrias americanas, como a *Riceland Foods*, começaram a utilizar a casca de arroz para geração de calor baseadas no processo citado.

No Brasil, como em muitos outros países, o arroz é um dos alimentos mais consumidos pela população, impondo o plantio deste cereal como uma das principais culturas agrícolas. O país é um dos principais produtores mundiais de arroz, sendo que o estado do Rio Grande do Sul é responsável por, aproximadamente, 59% da produção nacional (PEDROZO, 2008; SENSALÉ; DAL MOLIN, 1999).

A casca é o primeiro subproduto oriundo do beneficiamento deste grão, numa razão de aproximadamente 200g por quilograma de arroz, em casca. Em função de seu alto poder calorífico, este primeiro resíduo é largamente utilizado como fonte de energia, na maioria das vezes pelas próprias empresas beneficiadoras que as queimam para a secagem ou parbolização dos grãos. Santos (1997) apresenta que mesmo essas cinzas, queimadas sem controle especial, mostram boa reatividade, mas devido provavelmente à sua coloração escura, não possuem nenhum valor comercial.

Talvez por falta de visão comercial de muitos pesquisadores, esses não se preocuparam no passado em desenvolver um processo que gerasse, além de alta reatividade à cinza, também um baixo teor de carbono, para que a cinza tivesse coloração branca ou cinza clara e tivesse, conseqüentemente, um alto valor comercial. Uma exceção é a patente americana de número 4.049.464 de Tutsek e Bartha (1977), que descreve as condições de tempo, temperatura e ar, para gaseificação da casca e posterior combustão, com o objetivo de produzir cinza branca de alta reatividade.

Quando queimada em temperatura controlada (entre 500°C e 700°C) a CCA obtém teor de sílica (SiO₂) altamente reativa, um dos principais componentes do cimento. Após a queima da casca, com ou sem controle de temperatura, a quantidade de cinza da casca do arroz (CCA) gerada, gira em torno de 20%, em massa, e o teor de sílica presente neste resíduo é elevado, variando entre 87% a 97% em sua composição. Este alto teor de sílica presente na cinza da casca do arroz proporciona a este resíduo, devido à sua alta reatividade, diversas aplicações na construção civil, dentre elas a utilização como agregado na produção do concreto, em substituição parcial ao cimento Portland (PEDROZO, 2008).

De acordo com Dafico (2003) como material adicionado conjuntamente ao cimento Portland, muitas propriedades únicas apresentadas pela cinza de casca de arroz têm sido reportadas por diversos pesquisadores. Com o concreto fresco, adições de misturas pozolânicas, tais como a CCA, têm a capacidade de reduzir a segregação e a exudação, e isto acarreta em grande melhoria da trabalhabilidade.

Além disto, o mesmo autor destaca que, apesar de ser possível substituir mais de 70% do cimento Portland por CCA, basta uma substituição entre 10% e 20% para que o concreto se beneficie com um aumento da resistência mecânica e uma grande diminuição da permeabilidade frente aos agentes agressivos (cloretos, sulfatos, CO₂, etc.), sem que isto comprometa a qualidade do material. Exceto a cinza de casca de arroz, nenhum outro material pozolânico, incluindo-se a sílica ativa, tem a habilidade de contribuir para o aumento na resistência mecânica do concreto em baixas idades, como 1 e 3 dias.

A composição química média em base anidra da casca de arroz corresponde a aproximadamente 50 % de celulose, 30 % de lignina e 20% de sílica. A celulose e a lignina podem ser removidas por combustão controlada, deixando para trás a sílica numa forma vítrea e microporosa, de altíssima superfície específica (MEHTA; PITT, 1977). Exceto a cinza de casca de arroz, nenhum outro material pozolânico, incluindo-se a sílica ativa, tem a habilidade de contribuir para o aumento na resistência mecânica do concreto em baixas idades, como 1 e 3 dias. Isto 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).

A obtenção da CCA, em grande maioria, se dá através do resgate do resíduo acumulado no processo de secagem dos grãos nas indústrias beneficiadoras de arroz. Entretanto, ao contrário do processo de queima controlada, a cinza oriunda do processo sem controle de temperatura apresenta características bastante variadas, dentre elas a sílica em formas cristalinas, quem não possui a mesma reatividade da sílica em estado vítreo, obtida através do processo de queima controlada. Contudo, as pesquisas brasileiras sobre a utilização da CCA sem a queima controlada têm obtido bons resultados, mesmo no caso de cinzas contendo picos cristalinos de sílica (PEDROZO, 2008).

3 Metodologia

Foi realizada pesquisa descritiva com aplicação de entrevista semi-estruturada como procedimento para coleta de dados, sobre os quais foram analisados por meio da técnica de estatística descritiva. Buscaram-se informações junto a instituições ligadas ao tema em estudo, mais especificamente junto ao IRGA (Instituto Rio Grandense do Arroz), e também ao Grupo de Pesquisas em Concreto (GEPECON), da Universidade Federal de Santa Maria, responsável por diversas pesquisas que envolvem a utilização da CCA no concreto. Ao final, os dados colhidos foram transcritos e analisados colaborando, assim, para o alcance dos objetivos de identificar a viabilidade técnica e financeira da implantação da CCA na produção do concreto. Deve-se destacar, também, que para a análise da viabilidade financeira foram utilizados orçamentos que contemplaram o modelo tradicional de produção e aquele proposto na presente pesquisa, com a finalidade de confrontar seus resultados. No plano de coleta de

dados, para análise de viabilidade técnica, foram considerados os resultados técnicos da pesquisa realizada para a utilização da CCA, além das condições logísticas para a obtenção desta matéria-prima.

Na análise da pesquisa foram considerados os resultados obtidos no que se refere à resistência à compressão, resistência mecânica e tempo de cura, com base nas necessidades técnicas utilizadas na fabricação de artefatos de concreto, em concordância com as Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR), mais especificamente a NBR 8890 que normatiza e regulamenta a produção de artefatos de concreto. Quanto às condições logísticas foram consideradas a localização e concentração dos materiais propostos, a disponibilidade destes produtos já beneficiados para comercialização ou, na falta deste recurso, sua necessidade de beneficiamento para a utilização como agregado em argamassa de concreto.

Para a análise da viabilidade financeira, primeiramente foi feita uma comparação de custos entre o processo de fabricação atual dos artefatos de concreto considerando-se o valor comercial do cimento Portland CP-V ARI (cimento com alta resistência inicial), areias grossa e média, brita 1 e pedrisco, acrescidos de seu respectivo custo de frete e, como alternativa proposta, acrescentando a CCA no processo, como substituta parcial de cimento Portland CPV-ARI. Como referência, foi considerada a composição do metro cúbico (m³) de concreto produzido e um consumo médio mensal de, aproximadamente, 140 toneladas de cimento. Também foi desenvolvido estudo para a obtenção do *payback* como indicador para a análise dos investimentos necessários à adequação da produção nas organizações.

O estudo de viabilidade da implantação da cinza da casca do arroz na produção do concreto foi feito a partir da análise envolvendo aspectos de cunho técnico para identificar as possibilidades de utilização da CCA sem que isso comprometa as características mais básicas encontradas no concreto empregado na construção civil, mais especificamente a resistência mecânica, capacidade de absorção de água e tempo de cura das peças. Além disso, foram levantadas as necessidades de adequação nos equipamentos e processos utilizados no setor de produção de uma empresa como parâmetro, no caso, uma fábrica de artefatos de concreto na cidade de Santa Maria/RS. Por fim, foi elaborada análise para a obtenção da viabilidade financeira para a implantação deste insumo na produção do concreto, das necessidades logísticas e da relação oferta x demanda para a utilização desse resíduo em escala industrial.

4 Análise dos resultados

4.1 Análise técnica

Para a análise da viabilidade técnica da utilização da CCA na composição do concreto foi utilizada uma pesquisa bibliográfica a partir das obras de Dafico (2003), Santi e Sevá Filho (2004), Paiva (2004) e, principalmente, Pedrozo (2008) e Silva (2012), que desenvolveram um profundo estudo sobre a utilização da CCA, como substituta parcial do cimento Portland na composição do concreto. Como complemento, foram buscadas informações pertinentes junto ao Grupo de Pesquisa em Concreto (GEPECON) da Universidade Federal de Santa Maria/RS (UFSM), responsáveis por coordenar as pesquisas em concreto e, especificamente, a utilização da CCA como substituta parcial do cimento Portland. Também foi consultado o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), entidade pública responsável por incentivar, coordenar e superintender a produção, a indústria e o comércio de arroz no Estado do Rio Grande do Sul. Os dados foram coletados através de consulta a trabalhos acadêmicos, no caso do GEPECON, e consulta ao acervo bibliográfico e ao site da instituição, no caso do IRGA, onde foram levantadas informações com o intuito de entender melhor o processo de utilização da CCA no concreto, as principais dificuldades para

sua utilização em escala industrial, o volume de produção de arroz no Estado, e a relação oferta x demanda de CCA em âmbito regional, dentre outras questões relevantes ao tema.

A contextura atual de desenvolvimento e sustentabilidade da construção civil exige um concreto mais resistente, durável, econômico e, ao mesmo tempo, mais eficiente energeticamente que seus antecessores. Para que seja considerada durável, uma estrutura de concreto deve, fundamentalmente, conservar seus requisitos de projeto, em termos de segurança, de funcionalidade e de estética, o que depende, dentre outras coisas, das diversas etapas do projeto (especificações, materiais utilizados, manutenção), da agressividade do meio ambiente em que a estrutura está inserida, da forma de utilização, etc (PEDROZO, 2008).

O concreto é formado, segundo Ribeiro (2002), basicamente, por cimento e água (pasta do cimento), acrescidos dos agregados areia (grossa e média), e pedras do tipo brita1 e pedrisco (brita 0) e, em alguns casos, aditivos especiais, dosados de acordo com as características do traço que se busca no concreto. Os agregados apresentam-se na forma de grãos e devem ser inertes, ou seja, não provocarem reações indesejáveis. Estes constituem aproximadamente 70% do volume total do concreto e proporcionam uma menor retração do mesmo, além de aumentarem a resistência ao desgaste superficial dos produtos. Algumas características influenciam diretamente na qualidade dos agregados, impactando diretamente no concreto obtido, conforme apresentado no Quadro 01.

Característica	Descrição
Composição granulométrica:	Expressão das proporções dos grãos de diferentes tamanhos, que influenciam diretamente na qualidade do produto final, principalmente no que tange à trabalhabilidade, compacidade e resistência aos esforços mecânicos.
Resistência aos esforços mecânicos:	Os agregados devem ser compostos por grãos, pelo menos, mais resistentes e duráveis do que a pasta do cimento, do contrário estes se romperiam antes da pasta.
Resistência ao desgaste:	A destruição das estruturas de concreto se processa através do rompimento dos grãos, em função da ação de agentes abrasivos do meio. Desta forma, quanto mais duro for o agregado, melhor.
Reatividade potencial:	Possibilidade de virem a ocorrer reações prejudiciais entre os agregados e a pasta do cimento como, por exemplo, reações que provoquem expansões, fissurações e outras manifestações prejudiciais ao concreto.
Teor de umidade:	O teor de umidade da areia, deve ser controlado com cuidado especial, uma vez que pode influenciar na quantidade total de água na mistura. Esse excesso de água pode provocar um aumento no volume aparente desse agregado, causando distorções no traço do concreto.

Quadro 01 – Principais características dos agregados do cimento

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2002)

Dentro desta necessidade de adequação do setor de construção civil às novas diretrizes sócio-ambientais e à manutenção de características fundamentais do concreto, neste caso resistência e durabilidade, a CCA surge como uma alternativa tecnicamente viável, principalmente em função de suas características físicas e abundância de oferta a partir da grande produção nacional de arroz. O elevado teor de sílica amorfa presente na cinza da casca do arroz proporciona a este resíduo, devido à sua alta reatividade, a possibilidade de sua utilização como pozolana agregada ao cimento. Alguns pesquisadores chegam a considerá-la como uma superpozolana em função de suas características estruturais que garantem efeitos semelhantes ao da sílica ativa quando utilizada no concreto (PEDROZO, 2008).

Silva (2012) destaca que durante o processo de combustão da casca do arroz alguns componentes presentes, como a lignina e a celulose, podem ser removidas, restando, principalmente sílica e algumas impurezas, como carbono, potássio, cálcio e sódio, resultando

em uma estrutura porosa que, quando finamente moída, adquire propriedade pozolânica influenciando, assim, benéficamente nos aspectos relacionados à resistência mecânica e durabilidade. Sendo assim, identifica-se a necessidade de beneficiamento para uma utilização que agregue benefícios ao concreto, muito embora estudos comprovem que sua utilização *in natura* seja possível, embora com perdas de qualidade.

Ainda segundo a autora, a queima da casca do arroz até 500°C gera como resíduo uma cinza escura, constituída basicamente de sílica amorfa. Porém, quando queimada a temperaturas acima de 750°C, a cinza resultante tem uma cor mais clara, conseqüentemente mais cristalina. Para entendimento, quanto mais amorfa (não-cristalina) for a sílica, melhor será sua qualidade. Com a finalidade de se obter condições ótimas de queima para a obtenção de uma cinza com alta reatividade pozolânica a temperatura de queima deve situar-se na faixa de 500°C e 700°C, muito embora uma queima com temperatura entre 700°C e 800°C seja possível, desde que o tempo de queima não ultrapasse 1 minuto, mantendo-se assim uma sílica em fase amorfa.

Contudo, com o processo tradicional de queima durante a secagem dos grãos, sem o devido controle de temperatura, a CCA tem sido obtida com características bastante variadas, daí o surgimento de certo preconceito no meio técnico para a utilização deste resíduo, mesmo que não haja evidências de mau desempenho quando adicionado ao concreto. Neste sentido, as atuais pesquisas para a utilização da CCA, oriunda de processo de queima sem controle de temperatura, vêm apresentando bons resultados, mesmo no caso em que são apresentadas com picos cristalinos de sílica (PEDROZO, 2008). A cinza resultante de uma queima sem controle de temperatura em seu processo não pode ser considerada de baixa pozolanicidade sem que tenham sido apresentadas evidências de mau comportamento quando empregadas a concretos (SILVA, 2012).

Dos diversos autores que promoveram pesquisas para estudar a utilização da CCA como substituta parcial do cimento Portland, Silva (2012) destaca que resultados positivos foram observados com valores de substituição de até 35% de cimento por CCA, porém, os melhores resultados foram evidenciados com índices de substituição entre 10% e 20%, apresentando aumento nos valores de resistência à compressão axial já a partir dos 7 dias de cura, em comparação ao concreto de referência (sem a utilização da CCA). Este aumento de resistência é resultado, principalmente, do menor tamanho da partícula da CCA em comparação ao cimento, que promove o efeito *filler* (preenchimento dos vazios). Porém deve-se destacar que em alguns estudos com índices de substituição superiores a 15% foram observados valores menores de resistência para concretos que utilizaram a CCA em idades menores a 7 dias, que pode ser explicado pelo fato de que a CCA absorve parte da água disponível durante a mistura e somente a libera em idades posteriores, promovendo a hidratação tardia do concreto. Contudo, não é possível afirmar que este prejuízo de resistência nos primeiros dias de cura possa comprometer a produtividade e agilidade no manuseio das peças fabricadas para o estoque.

Outro ponto fundamental diz respeito aos resultados de retração total do concreto. Quanto maior for este índice, maiores serão as chances de ocorrerem fissuras no concreto durante a cura, em função da redução do volume do concreto a partir da saída de água por exsudação (processo de liberação de água durante a cura). Nos testes apresentados por Silva (2012) para os teores de substituição de 10% e 20% de CCA as reduções nos índices de retração total variaram de 18% a 31%, no período de até 3 dias de cura, chegando a 35% no período até 7 dias de cura. Trata-se de outro importante benefício que a CCA trás ao concreto. Com relação ao tempo de cura, não foram evidenciadas influências em função da adição da CCA no concreto.

Como observado, a adição de CCA oferece uma série de benefícios para o concreto, principalmente no que se refere ao aumento de durabilidade e à melhora de suas propriedades

mecânicas. Porém, questões econômicas e de cunho ecológico também merecem um importante destaque. O cimento Portland é, geralmente, o material com maior custo dentre os utilizados na produção do concreto, sendo assim sua substituição parcial por pozolanas tende a reduzir os custos. Ademais, grande parte das pozolanas provém de resíduos de processos industriais, no caso deste estudo a CCA, que contém a presença de elementos poluentes que podem trazer sérios danos ao meio ambiente e à saúde das pessoas (SILVA, 2012).

4.2 Análise financeira e logística

Nas análises financeira e logística, foram levantadas as necessidades de adequação no sistema produtivo de uma fábrica de artefatos de concreto na cidade de Santa Maria/RS. Sua principal atividade é a fabricação e comercialização de artefatos de concreto dos mais variados tipos, principalmente tubos, meios fios, caixas e tampas para canalização e drenagem de águas pluviais e esgotos sanitários. Sua fabricação obedece às normas vigentes estabelecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), principalmente a NBR 8890, que fixa os principais requisitos e métodos de ensaio para a aceitação de tubos de concreto, simples e armados (reforçados por malha de ferro), de seção circular.

As questões que envolvem a logística para se obter esse insumo também foram analisadas, uma vez que, atualmente, boa parte da CCA produzida ainda é tratada como um resíduo de produção, sendo possível sua coleta diretamente na fonte onde é gerada, ou seja, nos fornos secadores de arroz, localizados em diversas propriedades rurais. Porém este processo de coleta da CCA diretamente dos produtores provoca a necessidade de beneficiamento deste resíduo para utilização na produção do concreto e consigo os custos necessários a este processo. Também foi medida a disponibilidade de CCA no estado do Rio Grande do Sul para avaliar se há oferta suficiente deste resíduo para a hipótese proposta no presente trabalho. Ademais, foi elaborada uma análise dos investimentos necessários para a implantação da CCA na produção do concreto, além de terem sido confrontados os custos de produção através do processo tradicional, atualmente utilizado na fábrica, e o processo utilizando-se teores de substituição variando entre 10% e 18% de CCA em forma de sílica, em substituição ao cimento Portland dos tipos CP-V.

No que tange a disponibilidade de CCA, foram levantadas informações junto ao IRGA para que fosse possível projetar, através da análise da safra de arroz 2011/12, a quantidade de casca de arroz que efetivamente permanece dentro do estado do Rio Grande do Sul, disponível para a queima, gerando, assim, a CCA necessária. Segundo o Engenheiro Agrônomo Mário Sérgio de Lima Azeredo, da Seção de Política Setorial do Instituto IRGA, a casca do arroz corresponde a 22% do grão, ou seja, a cada tonelada de arroz produzido no estado, 220 quilos são de casca. Quando queimada, essa casca gera como resíduo a CCA, que corresponde a 20% de sua massa inicial, ou seja, a cada tonelada de casca de arroz queimada, 200 quilos de CCA são gerados (SILVA, 2012).

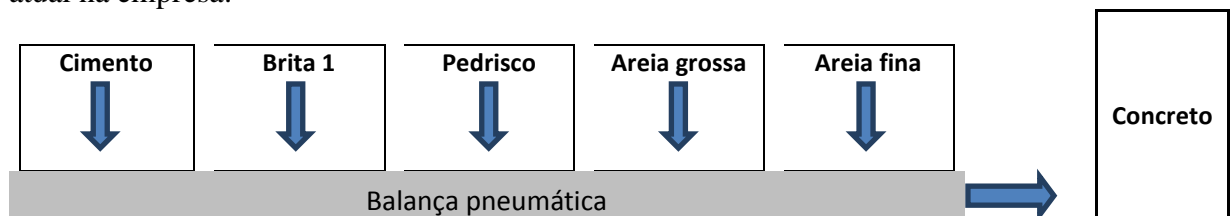
A revista Lavoura arroseira, em sua edição de nº 458, apresenta um balanço da safra de arroz 2011/12, com a produção de arroz irrigado. Segundo a matéria, foram colhidos no estado do Rio Grande do Sul 7.672.809 toneladas de arroz. A partir desses números pode-se deduzir que existe uma disponibilidade de aproximadamente 1,7 milhões de toneladas de casca de arroz com potencial de queima, o que geraria 340 mil toneladas de CCA, aproximadamente.

Atualmente, a empresa em estudo consome mensalmente cerca de 140 toneladas de cimento Portland CP-V ARI e produz aproximadamente 500m³ de concreto por mês. Levando-se em consideração uma substituição de 18% desse cimento consumido por cinzas da casca do arroz, seriam necessárias aproximadamente 25 toneladas de CCA por mês, ou 300 toneladas por ano. Desta forma, conclui-se que a necessidade de CCA na empresa é

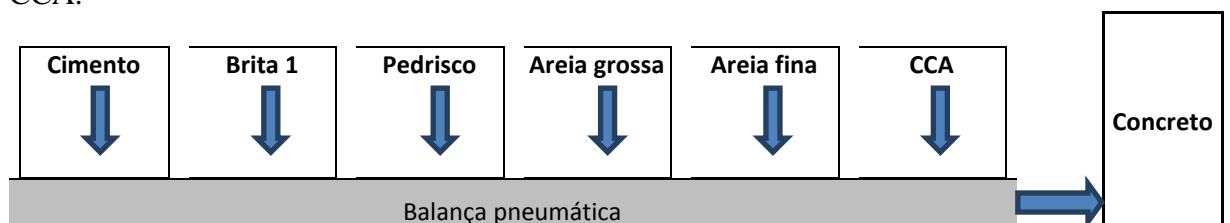
fartamente suprida com a atual produção de arroz no estado. A propósito, neste contexto é possível abastecer, por ano, cerca de 1100 empresas com o mesmo porte e capacidade de produção da empresa em estudo.

A seguir, foi feita uma análise das necessidades de adaptação no sistema produtivo da empresa. Todo sistema de produção se dá a partir da fabricação do concreto como primeira e principal etapa, utilizando neste processo os seguintes insumos, com dosagens específicas de acordo com o tipo de concreto pretendido: água, areia fina, areia grossa, pedra britada nº. 0 (pedrisco), pedra britada nº 1 e cimento Portland ARI (Alta Resistência Inicial). A opção pela utilização do cimento Portland CP-V ARI se dá em função das características específicas deste tipo de cimento que oferecem uma cura e conseqüente resistência inicial acelerada, já nos primeiros dias, possibilitando assim a desforma e manuseio precoce das peças para o estoque.

Na empresa, o processo de produção do concreto é totalmente automatizado, envolvendo a utilização de cinco baias montadas sob uma balança pneumática, onde cada um dos insumos necessários são depositados e dosados, conforme a programação definida na usina de concreto. A água necessária é disponibilizada através de um sistema hidráulico que a dosa conforme a programação escolhida. O esquema abaixo ilustra o processo de produção atual na empresa:



Dai surge a primeira necessidade para que seja possível o acréscimo da CCA na produção do concreto: adicionar outra baia para depósito do novo insumo. Para isso será necessária a expansão do sistema de balança onde as demais baias estão montadas, aquisição da nova baia e reprogramação da usina de concreto para a operação através dos novos parâmetros. O esquema abaixo ilustra o processo de produção proposto, com a utilização da CCA.



Este investimento está orçado em aproximadamente R\$ 15.000,00, valor que envolve a instalação do novo compartimento para a CCA, expansão do sistema de balança e reprogramação da usina de concreto.

Para o cálculo do payback desse investimento, primeiramente será necessário confrontar os custos do sistema de produção atual com o sistema utilizando o sistema de produção com a adoção da CCA, com o objetivo de conhecer o impacto que esta operação terá nos custos de produção do metro cúbico do concreto. A Tabela 01 apresenta a composição dos custos do metro cúbico do concreto, base de preços de outubro de 2012.

Tabela 01 - Composição dos custos para o concreto do tipo FCK-20

Materia prima	Unidade de medida	Quantidade	Valor unitário		Valor total
Cimento CP-V ARI	Kg (quilograma)	285	R\$	0,41120	R\$ 117,19
Água ¹	Lt (litro)	20	R\$	-	R\$ -
Areia grossa peneirada	Kg (quilograma)	360	R\$	0,01870	R\$ 6,73
Areia fina peneirada	Kg (quilograma)	720	R\$	0,01710	R\$ 12,31
Brita 0 (pedrisco)	Kg (quilograma)	450	R\$	0,03940	R\$ 17,73
Brita 1	Kg (quilograma)	450	R\$	0,03940	R\$ 17,73
Custo total					R\$ 171,70

¹ O valor do litro da água não é computado, pois a empresa utiliza água oriunda de poço artesiano próprio.

A CCA em forma de sílica, para uma utilização de 3% de CCA em massa é possível uma redução de até 18% na quantidade de cimento do traço, sem prejuízo na qualidade final. Desta forma, para o cálculo dos custos com a utilização de CCA no traço do concreto, foram considerados três teores de redução de cimento (10%, 15% e 18%), ressaltando quem em todas as projeções foi considerada a utilização de 3% de CCA em massa do cimento utilizado na mistura de referência, ou seja, 285 Kg. A tabela 02 apresenta o traço com uma redução de 10% de cimento CP-V ARI e um acréscimo de 3% de CCA (em forma de sílica).

Tabela 02 - Traço com substituição de 10% de cimento CP-V ARI

Materia prima	Unidade de medida	Quantidade	Valor unitário		Valor total
Cimento CP-V ARI	Kg (quilograma)	256,5	R\$	0,41120	R\$ 105,47
Água	Lt (litro)	20	R\$	-	R\$ -
CCA (Silica)	Kg (quilograma)	8,55	R\$	0,70000	R\$ 5,99
Areia grossa peneirada	Kg (quilograma)	360	R\$	0,01870	R\$ 6,73
Areia fina peneirada	Kg (quilograma)	720	R\$	0,01710	R\$ 12,31
Brita 0 (pedrisco)	Kg (quilograma)	450	R\$	0,03940	R\$ 17,73
Brita 1	Kg (quilograma)	450	R\$	0,03940	R\$ 17,73
Custo total					R\$ 165,96

Com base na Tabela 02 pode-se concluir que, com o acréscimo de 3% de CCA, embora esta tenha um preço unitário superior ao do cimento, é possível uma redução de 3,34% no valor final do concreto, em função da redução proposta de 10% do cimento utilizado na mistura. A Tabela 03 apresenta o traço com uma redução de 15% do cimento utilizado.

Tabela 03 - Traço com substituição de 15% de cimento CP-V ARI

Materia prima	Unidade de medida	Quantidade	Valor unitário		Valor total
Cimento CP-V ARI	Kg (quilograma)	242,25	R\$	0,41120	R\$ 99,61
Água	Lt (litro)	20	R\$	-	R\$ -
CCA (Silica)	Kg (quilograma)	8,55	R\$	0,70000	R\$ 5,99
Areia grossa peneirada	Kg (quilograma)	360	R\$	0,01870	R\$ 6,73
Areia fina peneirada	Kg (quilograma)	720	R\$	0,01710	R\$ 12,31
Brita 0 (pedrisco)	Kg (quilograma)	450	R\$	0,03940	R\$ 17,73
Brita 1	Kg (quilograma)	450	R\$	0,03940	R\$ 17,73
Custo total					R\$ 160,10

Com a redução de 15% na utilização do cimento Portland é possível uma redução de 6,76% no custo final do concreto, o que reduz ainda mais o tempo de payback do investimento, como veremos na sequência da análise. A tabela 04 apresenta a terceira proposta de redução do cimento, com um índice de 18%.

Analisando a Tabela 04 é possível confirmar a tendência de reduções diretamente proporcional entre a quantidade de cimento e o custo final do concreto. Neste caso, com a redução de 18% do cimento utilizado, a economia chega a 8,8%, resultando, em uma produção média mensal de 500m³ de concreto, uma redução de R\$7.555,00 no custo do concreto.

Tabela 04 - Traço com substituição de 18% de cimento CP-V ARI

Materia prima	Unidade de medida	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Cimento CP-V ARI	Kg (quilograma)	233,7	R\$ 0,41120	R\$ 96,10
Água	Lt (litro)	20	R\$ -	R\$ -
CCA (Silica)	Kg (quilograma)	8,55	R\$ 0,70000	R\$ 5,99
Areia grossa peneirada	Kg (quilograma)	360	R\$ 0,01870	R\$ 6,73
Areia fina peneirada	Kg (quilograma)	720	R\$ 0,01710	R\$ 12,31
Brita 0 (pedrisco)	Kg (quilograma)	450	R\$ 0,03940	R\$ 17,73
Brita 1	Kg (quilograma)	450	R\$ 0,03940	R\$ 17,73
Custo total				R\$ 156,59

Para o cálculo do payback, foram feitas simulações com cada uma das três situações propostas acima, ou seja, 10%, 15% e 18% como índice de redução de cimento a partir da mistura de referência, no qual os resultados são apresentados na Tabela 05.

Tabela 05 – Cálculo do payback

% de redução	Investimento necessário (R\$)	Retorno do investimento (R\$)	Payback (n)
10	R\$ 15.000,00	R\$ 2.870,00	5,23
15	R\$ 15.000,00	R\$ 5.500,00	2,73
18	R\$ 15.000,00	R\$ 7.555,00	1,99

Os valores de retorno do investimento foram obtidos através da relação entre o custo de referência e o custo de cada uma das misturas propostas. Esta diferença foi multiplicada pela quantidade mensal de concreto produzido, apresentada em metros cúbicos. O payback, ou tempo de retorno no investimento necessário à implantação da CCA na cadeia produtiva da fábrica em estudo, foi obtido através da seguinte expressão: n (nº de períodos, em meses) = capital investido/ retorno do investimento. Destaca-se mais uma vez a situação com o índice de substituição de 18% onde obtém-se o excelente payback de dois meses para retorno do investimento.

5 Considerações finais

A presente pesquisa teve o propósito de investigar e analisar a possibilidade de utilização da cinza da casca do arroz na cadeia produtiva do concreto, o impacto desta utilização no consumo de cimento e os benefícios que esta prática oferece tanto ao produto

final, quanto ao meio ambiente como um todo e, conseqüentemente, à empresa no que tange sua responsabilidade socioambiental.

Após a análise dos resultados é possível afirmar, que a utilização da CCA no concreto, no que se refere aos benefícios técnicos, desde que queimada a temperaturas controladas e devidamente beneficiada, oferece ao cimento um incremento de características fundamentais ao bom desempenho das estruturas de concreto, principalmente na resistência mecânica e na durabilidade dos materiais.

Além disso, o fato de o setor utilizar-se de materiais reciclados em sua cadeia produtiva, com a finalidade principal de reduzir os teores de utilização do cimento, tendem a provocar nos clientes e na sociedade em geral uma melhor percepção de seus produtos e serviços, principalmente em função da preocupação do setor para com o meio ambiente. Não é de hoje que as empresas dos mais variados setores vêm buscando alternativas que promovam seu desenvolvimento de forma sustentável, com o objetivo de colaborar com a manutenção do meio ambiente e da qualidade de vida das pessoas, bem como promover suas práticas de modo a agregar valor ao produto final.

Financeiramente, a adição da CCA também trás excelentes benefícios, basicamente em função da possível redução de 18% do cimento utilizado na produção do concreto que, juntamente com o grande volume produzido, resulta numa redução de custos consideráveis além da possibilidade de retorno do investimento, necessário às adequações nos equipamentos da fábrica em estudo, no período de dois meses. Além disso, abrem-se possibilidades para a canalização de investimentos em outras tecnologias e equipamentos que possam potencializar a produtividade e a qualidade dos produtos, proporcionando, também, melhora na rentabilidade da empresa e a oferta de produtos com preços mais competitivos. Um facilitador desta inserção da CCA na produção do concreto é o fato de já existirem no mercado empresas que proporcionam uma queima de qualidade da casca do arroz e um beneficiamento do resíduo, resultando numa cinza com propriedades mais eficientes para a finalidade proposta.

Por fim, cabe ressaltar que o presente trabalho oferece a oportunidade para a continuação das pesquisas para a utilização da CCA no concreto, a partir de estudos empíricos em que se possa efetivamente proporcionar estes testes de substituição nas organizações e analisar os resultados de forma mais ampla.

Referências

AFONSO, C. M. **Sustentabilidade: caminho ou utopia?** São Paulo: Annablume, 2006.

ALMEIDA, J. R. de. **Gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: Thex Ed., 2006.

ALMEIDA, J. R. de. **Política e planejamento ambiental.** 3. ed. Rio de Janeiro: Thex Ed., 2004.

DAFICO, D. A. **Método de produção de cinza de casca de arroz para utilização em concretos de alto desempenho.** Florianópolis, 2002. Disponível em: http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Dario_Resumo.pdf. Acesso em 25 mai. 2012. 21:05:00.

FERREIRA, R. G. **Engenharia econômica e avaliação de projetos de investimento: critérios de avaliação: financiamentos e benefícios fiscais: análise de sensibilidade e risco.** São Paulo: Atlas, 2009.

ILER, R.K. **The chemistry of silica: Solubility, polymerization, colloid and surface properties, and biochemistry.** A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons. USA, 1979, 866 p.

KARPINSKI, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; GUIMARÃES, PANDOLFO, F.; J.; KUREK, J.; ROJAS, J. W. J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção: uma abordagem ambiental.** (S.l.): Porto Alegre: Edipucrs, 2009. Disponível em <http://books.google.com.br/books?id=ZsfTRBAJr1YC&pg=PA20&dq=impacto+ambiental+constru%C3%A7%C3%A3o+civil&hl=ptBR&sa=X&ei=xEp7T7XSMYrogQfay_GZAw&ved=0CEkQ6AEwAA#v=onepage&q=impacto%20ambiental%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil&f=false>. Acesso em 03 abr. 2012, 17:05:00.

MEHTA, P.K. **Rice husk ash - A unique supplementary cementing material.** In: Advances in concrete technology. CANMET. Ottawa, 1992, p. 407-431.

MEHTA, P.K.; PITT, N. **A new process of rice utilization.** In: International conference on the utilization of rice by-products. Valencia, Spain, 1974. Proceedings. Valencia: IATA, published in 1977, p. 45-58.

PAIVA, P. A. de. **A reciclagem na construção civil: como economia de custos.** São Paulo: FEA-RP/USP, 2004. Disponível em: <http://legacy.unifacef.com.br/rea/edicao06/ed06_art01.pdf>. Acesso em 25 mar. 2012, 15:22:00.

PEDROZO, É. C. Estudo da utilização de cinza da casca do arroz residual em concretos estruturais: uma análise da durabilidade aos cloretos. (**Dissertação de Mestrado**) – Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2008. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/gepecon/diss/ee51f064b7527c2c1cc44161d69c423a.pdf>>. Acesso em 29 fev. 2012, 10:25:00.

PITT, N. **Process for preparation of siliceous ashes.** US Patent No 3959007, May, 1976.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. C. da S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimentos Portland.** Porto Alegre: EDPUCRS, 2011. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=IMcGDikhWXAC&pg=PA31&dq=resist%C3%Aancia+%C3%A0+compress%C3%A3o&hl=ptBR&sa=X&ei=ptyCT8SkHcnMtgfk5fG1Bg&ved=0CD0Q6AEwAA#v=onepage&q=resist%C3%Aancia%20%C3%A0%20compress%C3%A3o&f=false>>. Acesso em 08 abr. 2012. 16:18:00.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos.** Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis, 1997, 111 p.

SANTI, A. M. M.; SEVÁ FILHO, A. O. **Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento.** Artigo apresentado no II Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – ANPPAS: Campinas/SP, 2004. Disponível em:

<http://www.fem.unicamp.br/~seva/anppas04_SantiSeva_cimento_RMBH.pdf>. Acesso em 26 mar. 2012, 21:16:00.

SENSALE, R.; DAL MOLIN, D.C.C. **Study of influence of rice-husk ash on compressive strength of concrete at different ages**. SP 186-13. Proceedings: High- Performance Concrete. Performance and Quality of Concrete Structures. Second CANMET/ACI International Conference. Gramado, Brazil, 1999, p. 213-224.

SILVA, M. P. da. Retração total e penetração de cloretos de concretos compostos com cinza de CCA com diferentes teores de carbono grafítico. (**Dissertação de Mestrado**) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2012. Disponível em: < <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Monique%20Pafiadache.pdf>>. Acesso em 27 out. 2012, 19:10:00.

SUGITA, S.; SHOYA, M.^a; TOKUDA, H. **Evaluation of pozzolanic activity of rice husk ash**. In: MALHOTRA, V.M. (ed)) International conference on fly ash, silica fume, slag, and natural pozzolans in concrete. Proceedings. American concrete institute. Detroit, 1992, p. 495-512.

TUTSEK, A.; BARTHA, P. **Method of producing low-carbon white husk ash**. United States Patent. No 4.049.464. EUA, 1977.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.