

Caracterização da cinza de casca de arroz como adição mineral ao concreto
Characterization of rich husk ash mineral addition to concrete
Caracterización de la ceniza de cáscara de arroz como adición mineral al concreto

Sâmara Ferreira dos Santos

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: samara.engcivil@yahoo.com.br

Luana de Almeida Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7753-7063>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: luanamoreiraa@live.com

Camila Lacerda Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4105-4174>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

E-mail: camilalgomes@hotmail.com

Rudinei Martins de Oliveira

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: rudmart@gmail.com

Pedro Valle Salles

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6979-1267>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: pedrovallesalles025@gmail.com

Ladir Antonio da Silva Junior

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: ladir@hotmail.com

Recebido: 10/11/2018 | Revisado: 17/11/2018 | Aceito: 19/12/2018 | Publicado: 21/12/2018

Resumo

A incorporação de resíduos em misturas a base de cimento, pode trazer vantagens técnicas relacionadas com aproveitamento de matéria orgânica disponível na natureza. O objetivo desta pesquisa consiste em substituir percentuais de cimento em peso por cinza de casca de arroz (CCA), uma vez que a relevância desta pesquisa se baseia na sustentabilidade gerada na utilização da cinza. O processo metodológico consistiu na caracterização da CCA através de

um programa experimental. Os resultados apresentados foram realizados através de ensaio DRX, granulometria a laser, método B.E.T. e perda ao fogo, nos quais mostram a presença de sílica em estado cristalino com baixa amorfização (estrutura pouco amórfica), expondo que a cinza de casca de arroz analisada apresenta propriedades pozolânicas de forma moderada. Além disso, a CCA possui uma maior superfície específica e maior granulometria quando comparada com o cimento, salientando assim a necessidade de um processo adequado de moagem e aditivos superplasticantes para sua utilização como substituição de percentuais de cimento em massa em traços de concreto convencional.

Palavras-chave: Resíduo; Caracterização; Viabilidade.

Abstract

The incorporation of residues in cement-based mixtures can bring technical advantages related to the use of organic matter available in nature. The objective of this research is to replace percentages of cement by weight per rice husk ash (CCA), since the relevance of this research is based on the sustainability generated using ash. The methodological process consisted in characterizing the CCA through an experimental program. The results presented were performed using XRD test, laser grading, B.E.T. method and fire loss, in which the presence of silica in a crystalline state with low amorphization is shown (a little amorphous structure), exhibiting that the rice husk ash analyzed has moderate pozzolanic properties. In addition, the CCA has a higher specific surface area and greater particle size when compared to cement, thus emphasizing the need for an appropriate milling process and superplasticizer additives for it uses as a substitution of percentages of bulk cement in traces of conventional concrete.

Keywords: Residues; Characterization; Viability.

Resumen

La incorporación de residuos en mezclas a base de cemento, puede traer ventajas técnicas relacionadas con el aprovechamiento de materia orgánica disponible en la naturaleza. El objetivo de esta investigación consiste en sustituir porcentajes de cemento en peso por gris de cáscara de arroz (CCA), ya que la relevancia de esta investigación se basa en la sostenibilidad generada en la utilización de la ceniza. El proceso metodológico consistió en la caracterización de la CCA a través de un programa experimental. Los resultados presentados fueron realizados a través de ensayo DRX, granulometría láser, método B.E.T. y la pérdida al fuego, en los que muestran la presencia de sílice en estado cristalino con baja amorfización (estructura poco amórfica), exponiendo que la ceniza de cáscara de arroz analisada presenta propiedades pozolânicas de forma moderada. Además, la CCA posee una mayor superficie

específica y mayor granulometría cuando se compara con el cemento, resaltando así la necesidad de un proceso adecuado de molienda y aditivos superplante para su utilización como sustitución de porcentajes de cemento en masa en trazos de hormigón convencional.

Palabras clave: Residuo; caracterización; Viabilidad.

1. Introdução

O concreto é um dos materiais mais utilizados nas obras de construção civil, devido suas propriedades quanto a durabilidade, trabalhabilidade e versatilidade. O material tornou objeto de diversos estudos dentro da engenharia. Pesquisas apontam a possibilidade da incorporação de resíduos em misturas a base de cimento, trazendo vantagens técnicas e benefícios sociais, além de contribuir para a sustentabilidade (MARQUES et al., 2006).

Dentre os resíduos gerados pela agroindústria está a cinza de casca de arroz (CCA) que é oriunda do processo de beneficiamento de arroz, este resíduo pode apresentar altas porcentagens de sílica reativa ou amorfa após o processo da queima controlada da casca de arroz, que em geral é utilizada na construção civil em argamassas e concretos por apresentar propriedade pozolânica (BEZERRA et al., 2011). Deste modo, a incorporação da CCA ao concreto, pode ser uma importante forma de conduzi-la a uma finalidade nobre, ambientalmente correta, tornando-se uma das soluções para o aproveitamento de subprodutos poluentes.

Segundo Bezerra et al. (2011), a sustentabilidade gerada pelo uso da CCA, se dá pelo seu aproveitamento, visto que quando descartada de forma incorreta no ambiente provoca poluição tanto do solo quanto do ar, por apresentar em sua composição, certa quantidade de carbono residual.

Esta pesquisa se baseia, sobretudo, no aproveitamento de CCA, na qual pretende-se verificar, através da caracterização e classificação a viabilidade da utilização de uma cinza de casca de arroz, sem queima controlada, como substituição parcial de percentual em peso do cimento em um traço de concreto estrutural convencional. Deste modo, esta pesquisa pretende apresentar as propriedades pozolânicas de uma cinza de casca de arroz, sem queima controlada através de um programa experimental de ensaios, alcançando assim o seu objetivo.

2. Contexto histórico

O setor da indústria da construção civil tem sido considerado atrasado do ponto de

vista ambiental, em razão do desperdício de materiais e, principalmente, pelo alto impacto gerado pelos processos construtivos e de fabricações de materiais e obtenção de matérias primas, que polui o solo e degrada a paisagem. Este fato pode ser concluído também por outros autores (KARPINSK et al., 2009). Faz-se necessário desta forma, o estudo e a utilização de métodos que proponham mudar esse cenário, seja pela redução de resíduos gerados e utilização dos mesmos, ou pela introdução de subprodutos como constituintes dos materiais utilizados.

O concreto é normalmente definido como mistura de cimento Portland, agregados (gráudo e miúdo) e água. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), algumas razões tornam o concreto essencial na engenharia, como sua propriedade de resistência à água, sua versatilidade, baixo custo e rapidez com que ele é disponível na obra.

O cimento, principal componente do concreto, é um material em pó fino que possui propriedade pozolânica, na qual pode ser substituída por outro material de mesma propriedade em quantidades que variam entre 5 e 70% da massa do cimento, sendo definido pela NBR 12653 (ABNT, 2014).

Dal Molin (2005) e Gomes (2018) afirmam que os principais benefícios do uso adições minerais no concreto são: a redução na porosidade capilar do concreto, a diminuição das fissuras de origem térmica em relação ao calor de hidratação, ganho de resistência final, fortalecimento da zona de transição interfacial e a durabilidade, além disso, reduz o consumo de cimento Portland.

A cinza de casca de arroz (CCA), é um subproduto proveniente da combustão da casca de arroz. Silva, Tashima e Akasaki (2007) e Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a CCA produzida a partir de queima controlada com temperatura variando entre 500 a 800°C, e apresenta em sua morfologia presença de sílica no seu estado amorfo, que por sua vez indica propriedade pozolânica proporcionando reatividade em misturas à base de cimento.

O beneficiamento da CCA ocorre na forma de uma simples combustão e pelo tratamento físico da mesma. O processo de combustão depende do equipamento utilizado, uma vez que este processo pode ser realizado a céu aberto, em fornalhas do tipo grelha ou em leito fluidizado e depende também da temperatura de queima e tempo de exposição durante o processo (POUEY, 2006).

O tratamento físico da CCA está direcionado às condições de moagem, no qual pode ser realizado através do moinho de bolas em via seca (obtendo-se diâmetros médios variando de 7 a 8 μ m) ou ainda em via úmida, obtendo diâmetros ainda menores. Santos (1997), afirma que o tempo de moagem influencia a área superficial do material, visto que a cinza de casca

de arroz produzida pelo processo de queima, possui seu tempo de moagem ótimo para atingir maior efeito pozolânico da CCA.

Se tratando de propriedades químicas, a CCA possui, como maior componente químico, o dióxido de silício (SiO_2), variando entre 74 a 97%, oriundo do processo de queima. O elevado teor de sílica torna a CCA valorizada, mas este resíduo só terá alto valor econômico se tiver alta qualidade, caracterizada pela elevada superfície específica, tamanho dos grãos e pureza das partículas, podendo ser usado em diversas aplicações assim como em substituição parcial do cimento, em produtos da construção civil (FOLETTTO et al., 2005).

Contudo, Mehta e Monteiro (1992) afirmam que basta uma substituição de 10% a 20% de CCA (em massa), pelo cimento, para que o concreto se beneficie com ganho de resistência mecânica e diminuição de permeabilidade com relação a sulfatos e cloretos. Entretanto, a grande absorção da água da CCA pode diminuir a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, se um elevado teor de cinza for adicionado.

3. Materiais e métodos

3.1. Materiais

3.1.1. Cinza de casca de arroz

A cinza de casca de arroz utilizada para o processo de caracterização foi da marca Terra Forte, fornecida pela empresa Casa Jardim de Blumenau, Santa Catarina - RS. Pode-se concluir que não houve processo de moagem e controle de queima da casca de arroz pois, através de uma análise macroscópica, o material possuía restos de casca não incinerada.

Em busca de uma granulometria semelhante a do cimento e a retirada de possíveis impurezas, foi realizado um ensaio de vibração em peneiras de classificação Mesh 30# (aberturas de 0,595 mm), conforme Figura 1.

Figura 1 - (a) Ensaio em peneiras de vibração e (b) resultado do processo



Fonte: as autoras (2018).

Após o processo de vibração no peneirador, a Figura 2 apresenta o material retido na peneira. Macroscopicamente, é possível identificar a presença de cascas de arroz que não foram incineradas corretamente, bem como, resíduo de fornos de queima.

Figura 2 - Material retido na peneira após processo de vibração



Fonte: as autoras (2018).

3.2. Método

O programa experimental desta pesquisa compreendeu-se inicialmente em pesquisas e estudos sobre os principais meios de caracterização mineralógica e físico-química da cinza de casca de arroz, afim de buscar resultados para que a mesma possa ser utilizada como material constituinte da mistura do concreto estrutural convencional.

3.2.1. Ensaios de caracterização da cinza de casca de arroz

Inicialmente foi realizado o ensaio de Difração de Raios X (DRX) para determinação da composição mineralógica da estrutura cristalina da CCA. O resultado desta análise permite avaliar e identificar se a cinza possui uma estrutura cristalina ou amorfa. Este método, baseia-se na incidência de Raios-X monocromáticos sobre a amostra do material.

Em conformidade com a NBR NM 18 (ABNT, 2012), o ensaio de perda ao fogo foi realizado pelo (método convencional I) que consistiu na queima de $1,000g \pm 0,001g$ de amostra em forno mufla à temperatura entre $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 50 minutos, conforme item 5.1 desta norma. O objetivo do ensaio foi descobrir a porcentagem de carbono contida na amostra de CCA.

Para a determinação da massa específica da CCA, o ensaio realizado foi o de picnometria de gás hélio. Segundo Batista (2016), durante este ensaio utiliza-se o gás He

devido a sua capacidade de penetrar em poros muito finos.

A granulometria da CCA, foi analisada por meio do ensaio de Difração a Laser através de via úmida e com partículas dispersas em água com ultrassom.

Com o objetivo de obter a área superficial da CCA, o método B.E.T (Brunauer, Emmett e Teller) determina a área superficial da cinza e foi realizado por um processo que utiliza o princípio da adsorção de partículas de nitrogênio.

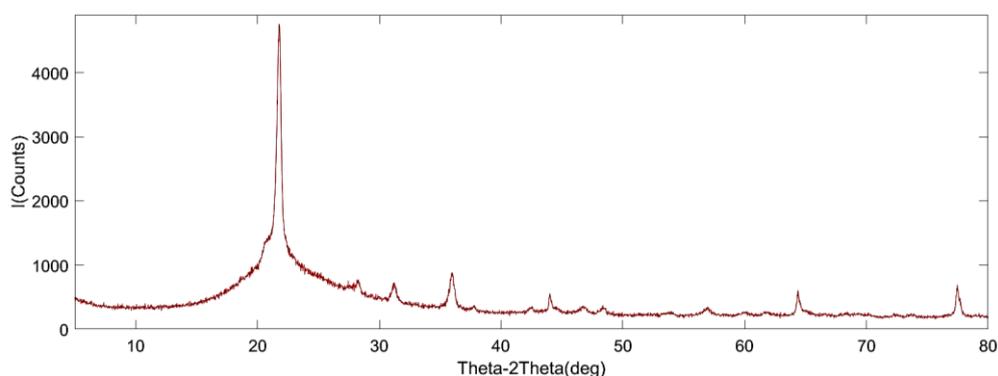
4. Resultados experimentais e discussão

O ensaio de difração de Raio – X foi realizado para a determinação da composição mineralógica do material em estudo. O difractômetro de Raio-X foi empregado com uma radiação $K\alpha$ de Cu. A voltagem e a intensidade do tubo gerador de Raio-X foram ajustadas em 40 kV e 30 mA, respectivamente. A amostra foi ensaiada em um suporte de alumínio e, os registros foram efetuados em um intervalo entre 2θ entre 10 e 80° (representados graficamente em deg), com um intervalo de ângulo de 0,02 e um tempo de acumulação de 2 segundos.

O pico definido no espectro, ocorreu entre os ângulos de 20° e 25°, conforme a Figura 3. De acordo com estudos realizados por Cordeiro (2006), o pico mostra a presença de sílica cristalina sob forma de cristobalita (SiO_2), caracterizando a amostra com uma estrutura parcialmente cristalina. De acordo com estudos do mesmo autor, durante o processo de queima da CCA analisada, temperaturas acima de 800° C podem ter sido alcançadas, para que pudesse chegar a estrutura cristalina.

Em estudos anteriores, Cordeiro (2006) e Collatto et al. (2011) obtiveram resultados pouco semelhantes, ao estudarem a mesma adição mineral ao concreto, porém levando em consideração um processo de queima controlado.

Figura 3 - Resultados do ensaio de DRX



Fonte: os autores (2018).

Em conformidade com a NBR NM 18 (ABNT, 2012), ensaio de perda ao fogo, o

resultado obtido foi uma diminuição na massa da amostra apresentando um resultado de perda de 16%. Esse valor sugere que a CCA utilizada tem um elevado teor de carbono residual em sua composição, uma vez que se encontra acima do limite superior da classificação de materiais pozolânicos da norma NBR 12653 (ABNT, 2014), que é de 10% (tipo N) para este ensaio.

O ensaio para determinação da densidade e o volume real da CCA, foi realizado através do picnômetro de gás hélio. A amostra utilizada apresentava um peso de 3,2414 g. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da análise de ensaio de picnometria de gás hélio

Valores de Análise do Multipicnômetro			
Densidade (g/cm ³)	2,078	Desvio Padrão	0,025
Volume máximo (m ³)	1,5839		
Volume mínimo (m ³)	1,5319	Desvio Padrão	0,0188

Fonte: os autores (2018).

Para a amostra de CCA analisada, devido ao tamanho das partículas, a caracterização granulométrica foi realizada através de análise da distribuição de granulometria por difração a laser.

O ensaio traz resultados de uma granulometria fina para a amostra estudada aos quais são apresentados na Tabela 2. Pode-se concluir que grande maioria dos grãos se enquadra no tamanho de 54,55 a 75µm, sendo que 90% das partículas apresentam diâmetro de aproximadamente 75µm. Desta forma, percebe-se que através desta análise, o processo de moagem da cinza não foi satisfatório devido aos tamanhos de granulometria contidos na amostra.

Comparando os resultados obtidos, através da análise granulométrica por difração a laser da CCA, com a granulometria do cimento obtida por meio do boletim técnico da fabricante de cimentos LIZ (2018), é possível observar que 50% da amostra de CCA possui granulometria superior a 54,55µm, enquanto isso, o cimento possui 98,76% de sua granulometria inferior a este mesmo valor e apenas 1,24% da amostra de cimento analisada possui diâmetro de 74 µm. Neste sentido, estes valores corroboram que a granulometria da CCA possui dimensões superiores à do cimento analisado.

Tabela 2 - Valores de granulometria analisados durante o ensaio

Diâmetro analisado em (%)	Granulometria (µm)
10	18,42

50	54,55
90	74,99

Fonte: os autores, (2018).

Para o método B.E.T. (Brunauer, Emmett e Teller), onde se utiliza a adsorção de nitrogênio nas partículas, obteve-se como resultado o valor de 60,062 m²/g, ou seja, 60.062 m²/kg para a amostra utilizada. Este valor é considerado dentro dos limites estudados por autores como Mehta e Monteiro (1992). Os autores (2014), salientam que, para temperaturas entre 500 e 800°C, a sílica contida na cinza é do tipo amorfa, com formato celular e elevada superfície específica (superfície de contato). Além disso, sua área superficial específica pode variar de 40 a 110 m²/g, de acordo com o ensaio B.E.T. Este fato implica nos estudos que, o controle do processo de queima da cinza deve ser levado em consideração.

De acordo com Batista (2016), a superfície específica da CCA possui grande influência na atividade pozolânica em virtude de estar diretamente relacionada à finura do material, afetando o grau de atividade pozolânica que nestes casos, pode ser lento se misturado em misturas a base de cimento. Esse comportamento é influenciado pela distribuição, forma e rugosidade superficial das partículas e pela distribuição dos poros existentes.

Além disso, comparando a com a área superficial específica da CCA com a do cimento, a amostra analisada pelo ensaio B.E.T. apresenta uma área até 126 vezes maior. Ponderando os resultados obtidos, pode-se dizer que, devido à maior granulometria e a maior área superficial da CCA comparada com o cimento, o traço de concreto estrutural convencional com substituição em massa de parte do cimento por CCA irá perder trabalhabilidade, quando comparado com um traço de concreto sem adição da cinza, fazendo com que a relação água/cimento seja diminuída, pela alta hidratação inicial da cinza, devido ao fato de que cinzas de base orgânica apresentam partículas maiores com superfície porosa e irregular. Este fato ocorre uma vez que, a maior área superficial irá consumir maior quantidade de água do traço, diminuindo sua fluidez.

Diante disso, fica clara a necessidade de utilização de aditivos superplastificantes no traço de CCA, com intuito de manter a relação água e cimento do traço original, com uma boa trabalhabilidade. Esta afirmação pode ser comparada com os resultados experimentais obtidos por Duart (2008), onde afirma a importância da utilização dos aditivos superplastificantes na elaboração destes traços.

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que a CCA estudada possui baixa reatividade da cinza devido ao tamanho dos seus finos, e este fato pode ser corroborado

através dos estudos de Batista (2016), no qual afirma que a reatividade da CCA é favorecida diminuindo a finura desse material e que a atividade pozolânica da CCA é caracterizada pela sílica amorfa (reativa), presente em misturas com cimento.

Neste sentido, para o material analisado, verifica-se a presença de sílica em estado cristalino com baixa amorfização (estrutura pouco amorfa), sendo caracterizada como pouco reativa, podendo comprometer dessa forma, a sua utilização como material pozolânico.

Através das análises realizadas, conclui-se a necessidade da utilização de aditivos superplastificantes para traços de concreto com CCA. Além disso, deve-se reduzir a área superficial específica da CCA, aumentando sua superfície de contato, possibilitando uma melhor relação entre a cinza, cimento e água no ato da mistura do concreto e uma maior reatividade. Para o ganho de trabalhabilidade, é necessário que as misturas contendo CCA possuam maior teor de água, do que o correspondente traço convencional.

5. Conclusão

A ideia desta pesquisa foi estabelecer a cinza de casca de arroz como um resíduo benéfico a ser utilizado em substituição parcial do cimento na mistura do concreto, quando beneficiada de forma correta, e criar razões sustentáveis para sua utilização no ramo da construção civil.

O ensaio de DRX mostrou uma estrutura cristalina com baixa amorfização, caracterizando uma baixa reatividade material, enquanto o ensaio de perda ao fogo mostrou em seu resultado que uma grande quantidade de carbono residual ainda existia na estrutura da amostra analisada. Através da granulometria a laser pode comprovar que os grãos da cinza analisada são de fato maiores que os do cimento. O resultado de área superficial específica foi de 60.062 m²/kg, o caracterizou sua estrutura 126 vezes maior que a do cimento.

De modo geral, ensaios realizados para a caracterização físico-química da CCA utilizada da marca Terra Forte, mostraram que o material apresenta poucas propriedades adequadas para a sua substituição por cimentos no concreto. Apesar do elevado teor de carbono em sua constituição, a CCA apresenta alta concentração de SiO₂ (dióxido de silício), porém sua estrutura é composta por grande parte cristalina e pouca amorfa, o que prejudica a atividade pozolânica do material. Além disso, a elevada superfície específica pode gerar perda de trabalhabilidade, em estado fresco, dos traços com a substituição de parte do cimento pelo material, mostrando a importância de um processo de moagem da CCA adequado para que se possa reduzir o diâmetro das partículas e utilização de aditivos superplastificantes.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 18** - Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos – Especificação. Rio de Janeiro, 2014.

BATISTA, A. D. B. **Efeitos de resíduos agroindustriais na resistência mecânica, porosidade e permeabilidade de argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CEFET-MG. 117p. 2016.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental.**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 639-645, junho 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662011000600015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: ago. 2018.

Boletim de análise da empresa **LIZ**, 2018.

COLLATTO, D.; VIECILI, F. A.; ARNDT, J. A.; JESUS, R. T. et al. **Utilização da cinza da casca de arroz na produção de concreto usinado em central**. 53º Congresso Brasileiro do Concreto, 2011. Florianópolis - SC. IBRACON.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese (Doutorado). COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, p. 345-379. 2005.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFMS, RS. 134 p. 2008.

FOLETTTO, E. L. et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 1055-1060, Dec. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422005000600021&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: Mai, 2018.

GOMES, C. L. **Avaliação mecânica e de durabilidade de concretos fabricados com resíduo de construção e demolição e cinza de casca de arroz.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CEFET-MG. 82 p. 2018.

KARPINSK, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J.; PANDOLFO, L. M.; GUIMARÃES, J. C. B. **Gestão diferenciada de Resíduos da Construção Civil: Uma abordagem ambiental.** Porto Alegre: EdiPUCRS, 2009.163. Disponível em: <<http://www.sinduscondf.org.br/portal/arquivos/GestaodeResiduosPUCRS.pdf>>. Acesso em: Mai, 2018.

MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. Resistência mecânica do concreto adicionado de borracha de pneu submetido à elevada temperatura. **Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural.** Campinas - São Paulo.2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Estrutura, Propriedades e Materiais.** 1ª Ed. São Paulo: Editora Pini, 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais.** 2ª Ed. Ed.: IBRACON. ISBN.:978-85-98576213. Português, p. 751. 2014.

POUEY, Maria Tereza Fernandes. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas a produção de cimento composto e/ou pozolânico.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 320p. 2006.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos.** Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 130p. 1997.

SILVA, E. J.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L. Estudo de reações expansivas em argamassas de cimento Portland com cinza de casca de arroz (CCA). **Holos Environment**, v.7, n.1, p.72-86, 2007.