Uso de cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável.

Use of eucalyptus wood ash in cement compounds, a sustainable alternative.

Uso de gris de madera de eucalipto en compuestos cimentados, una alternativa sostenible.

Diego Borges

Engenheiro Civil, Bilac, Brasil (Calibre 9)

borges_diego08@hotmail.com

Diego Valverde

Graduando, UNILINS, Brasil.

diegoaugvalverde@gmail.com

Gislaine Bianchi

Professor Esp., UNIP, Brasil.

gbianchi.arq@gmail.com

Jorge Luís Akasaki

Professor Doutor, UNESP, Brasil

jorge.akasaki@gmail.com

Thiago Francisco Silva Trentin

Professor Mestre, UNIP, Brasil

thiago.trentin@tecnobens.com.br

RESUMO

O objetivo deste artigo é demonstrar os benefícios ecológicos e a viabilidade da utilização da cinza de madeira de eucalipto (CME) através da comparação de diferentes resultados obtidos em pesquisas que tratam da substituição parcial do cimento Portland pela cinza de madeira de Eucalipto (CME). A metodologia utilizada foi a revisão sistêmica de pesquisas exploratórias sobre o assunto através dela verificou-se que em uma fonte encontrada demonstra que o material não tem viabilidade de uso como substituição parcial do cimento. Já para dois outros trabalhos a CME melhora a resistência e durabilidade da argamassa, evidenciando o potencial ecológico da utilização deste material que tem sido produzido em grande escala no Brasil e descartados no meio ambiente à grandes custos ou totalmente sem controle, sua utilização pode gerar uma economia 11,4 bilhões de toneladas de CO₂.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade. Cinza de Madeira de Eucalipto. Concreto.

SUMMARY

The objective of this paper is to demonstrate the ecological benefits and feasibility of using Eucalyptus wood ash (CME) by comparing different results obtained in researches dealing with the partial replacement of Portland cement by Eucalyptus wood ash (CME). The methodology used was the systemic review of exploratory research on the subject through it it was verified that in a source found it demonstrates that the material does not have feasibility of use as partial replacement of the cement. For two other works, the CME improves the strength and durability of the mortar, evidencing the ecological potential of the use of this material that has been produced in large scale in Brazil and discarded in the environment at great cost or totally uncontrolled, its use can generate a economy 11.4 billion tons of CO₂.

KEY WORDS: Sustainability. Eucalyptus Wood Ash. Concrete.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es demostrar los beneficios ecológicos y la viabilidad de la utilización de la ceniza de madera de eucalipto (CME) a través de la comparación de diferentes resultados obtenidos en investigaciones que tratan de la sustitución parcial del cemento Portland por la ceniza de madera de Eucalipto (CME). La metodología utilizada fue la revisión sistêmica de investigaciones exploratorias sobre el tema a través de ella se verificó que en una fuente encontrada demuestra que el material no tiene viabilidad de uso como sustitución parcial del cemento. Para otros dos trabajos la CME mejora la resistencia y durabilidad del mortero, evidenciando el potencial ecológico de la utilización de este material que ha sido producido a gran escala en Brasil y descartados en el medio ambiente a grandes costos o totalmente sin control, su utilización puede generar una economía 11.400 millones de toneladas de CO₂.

PALABRAS CLAVE: Sostenibilidad. Gris de Madera de Eucalipto. Hormigón.

1. INTRODUÇÃO:

Segundo a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o cultivo de eucalipto vem aumentando nos últimos anos no Brasil e é utilizado não só na fabricação de celulose e papel, produção de madeira roliça, produtos serrados e painéis, como também na geração de energia. São inúmeros os benefícios trazidos por essa árvore, tanto nas indústrias de cosméticos e farmacêuticas, como na construção civil.

Há milhares de anos o homem usa a madeira como combustível e, com o passar do tempo, a sua utilização e importância aumentou cada vez mais, principalmente para fins industriais. Desde meados de 1909, o eucalipto é a árvore mais utilizada no Brasil por possuir características que lhe conferem excelentes qualidades mecânicas e em virtude de seu ciclo de cultivo ser inferior ao de outras espécies como o pinus (GLUITZ e MARAFÃO, 2013). Muito utilizada no Brasil por sua capacidade de adaptação natural, é a cada dia mais utilizada como reflorestamento conforme podemos verificar na figura 1, e seu crescimento tem aumentado gradativamente com o passar dos anos. Do total apresentado abaixo, 61% correspondem ao eucalipto, 31% ao pinus e o restante a outras espécies.

Figura 1- distribuição de áreas de reflorestamentos no Brasil (dados arredondados¹)

Sudeste: 45%
Sul: 35%
Nordeste: 13%
Centro-Oeste: 5%
Norte: 4%

Fonte: Resende, 2013

À medida que o eucalipto ganha espaço em processos produtivos, surgem vários problemas que colocam em risco à sustentabilidade ambiental, como a poluição do ar e o excesso de cinzas produzidas pela queima da madeira. Pesquisadores de diversas áreas como Gluitz & Marafão, 2013; Resende, 2013; Ramos, Matos e Coutinho, 2013; estudam a composição química destas cinzas para a sua utilização na obtenção de novos materiais e, portanto, evitar o descarte do material no meio ambiente.

As cinzas são um tipo de resíduo, que geralmente contém metais, e produzem potenciais danos tanto no meio ambiente quanto na saúde humana. Entre as alternativas tecnológicas que visam diminuir os impactos ambientais oriundos da liberação indiscriminada de resíduos,

¹ O arredondamento dos dados foi feito pelo próprio autor RESENDE, 2013. Isso faz com que os mesmos ultrapassem o valor de 100% em 2% a mais.

em especial as cinzas, seria o seu uso em produtos relacionados à construção civil (BORLINI et al., 2005), visto que se trata de um material produzido em grandes quantidades e facilmente encontrado no país, além de possuir características químicas e físicas que podem proporcionar ao material atividade pozolânica.

Atualmente, grande parte das cinzas de biomassa, como às provenientes da madeira de eucalipto (CME), produzidas em usinas térmicas são descartadas em aterros, na maioria das vezes sem nenhum controle, ou são reutilizadas nas florestas e até mesmo na agricultura, para melhorar a alcalinidade dos solos, porém esta utilização é em pequena escala diante da produção existente. É necessário um planejamento eficaz e aterros adequados para o descarte das cinzas, buscando evitar a poluição do ar e, conseqüentemente, problemas respiratórios nas pessoas que são atingidas. Por isso, uma das alternativas economicamente viáveis é a utilização desse material no concreto (RAMOS et al., 2013).

As Cinzas de Madeira de Eucalipto (CME) podem ser definidas como cinza residual das termoelétricas que utilizam a madeira de eucalipto (em casca, cavaco, pó de serra...) como fonte de energia para a geração de calor.

De acordo com Silvério e Horn (2013), as cinzas de madeira de eucalipto (CME) apresentam como principal nutriente o cálcio na forma de cal virgem (CaO), que passa a carbonato de cálcio (CaCO₃) e, quando em contato com a água, resulta-se no hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂). Em sua composição química, também há grandes quantidades de dióxido de silício (SiO₂), conhecido como sílica.

Para M. C. Borlini et al (2005), a presença de CaO se deve ao carbonato e hidróxido de cálcio e o SiO₂ aparece devido à fase cristalina do quartzo. Através do difratograma de raios X da cinza da lenha foi possível identificar quantidades significativas de K₂O e MgO, conforme demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 1 – Composição química da cinza da lenha (% peso).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	MnO ₂	Cl	SO ₃	P ₂ O ₅	SrO	PF
16,9	2,7	0,8	7,0	2,4	7,2	32,6	0,39	0,15	4,4	3,7	0,27	21,5

Fonte: M. C. Borlini et al (2005).

As cinzas de madeira de eucalipto (CME) podem ser utilizadas em compostos cimentícios em substituição da areia ou ao cimento, conforme aponta estudos realizados por Ramos et al. (2013), devido a ocorrência de atividade pozolânica.

A adição de material pozolânico provoca um efeito físico e químico na mistura. O efeito químico acontece pelas reações pozolânicas, ou seja, pela reação da sílica amorfa, presente nas pozolanas, com o hidróxido de cálcio formado pelas reações dos compostos de hidratação do cimento (MORAES, 2001).

Os materiais pozolanicos devem possuir características químicas e físicas específicas para serem considerados em conformidade com a ABNT: NBR 12653 (2012), as quais são demonstradas na tabela 1 e 2:

Tabela 1- Exigências químicas

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	≥ 70	≥ 70	≥ 70
SO_3	≤ 4	≤ 5	≤ 5
Teor de umidade	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Perda ao fogo	≤ 10	≤ 6	≤ 6
Álcalis disponíveis em Na ₂ O	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$

Fonte: ABNT: NBR 12653 (2012)

Tabela 2- Exigências Físicas

Propriedades	Classe de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira com abertura de malha de 45 μm	≤ 34	≤ 34	≤ 34
Índice de atividade pozolânica:			
com cimento aos 28 dias em relação ao controle	≥ 75	≥ 75	≥ 75
com a cal aos 7 dias	$\geq 6 \text{ MPa}$	$\geq 6 \text{ MPa}$	$\geq 6 \text{ MPa}$
água requerida	$\leq 115\%$	$\leq 110\%$	$\leq 110\%$

Crítérios de uniformidade: a massa específica e a finura das amostras individuais não podem ter variação, em relação à média estabelecida em dez ensaios consecutivos, superior a no máximo 5% em todos os casos.

Fonte: ABNT: NBR 12653 (2012)

Quanto ao efeito físico, o mesmo acontece pela presença de partículas finas das adições, preenchendo os vazios, ocorrendo a diminuição dos poros da estrutura, o efeito filler. Além disso, a presença das pequenas partículas, apesar de serem menos reativas que o cimento, provocam o surgimento de locais de nucleação para a precipitação de produtos de hidratação, tornando a pasta mais densa e homogênea pela diminuição do diâmetro e melhor distribuição dos poros (MORAES, 2001).

A substituição do cimento Portland na construção civil é uma das metas perseguidas, isso porque o clínquer, principal material constituinte do cimento Portland, resultante da calcinação a 1450°C de uma mistura de calcário, argila e corretivos químicos produz 440 kilogramas de CO₂ para produzir uma tonelada do produto (Kyhara e Centurione, 2005; John, 2007). Portanto, além da degradação durante a extração desses materiais, gasto energético elevado soma-se ainda a degradação da atmosfera.

A utilização das adições minerais na produção do cimento na substituição total ou parcial dele nos compostos cimentícios de materiais de construção provoca a redução do impacto ambiental em ambas vertentes: no destino das cinzas de madeira de eucalipto, as quais receberão tratamento adequado e serão reutilizadas; quanto na redução da extração de

matéria prima virgem, gasto energético e produção de CO₂ para a produção do cimento. Assim como ponderado por Resende, 2013:

A adição deste material pode acarretar numa melhoria nas propriedades do compósito produzido e poderá reduzir o consumo do clínquer por m³ de concreto ou de argamassa, resultando assim em menor emissão de CO₂ para a atmosfera e menor consumo de matéria prima para a produção do cimento, uma vez que a cinza pode vim a substituir parte do clínquer na produção.

Há uma grande gama de materiais residuais pozolânicos utilizados como adições minerais ao cimento ou concreto, tais como: Cinzas de casca de arroz, cinza do bagaço de cana de açúcar, cinzas volantes e sílica, estas duas últimas incorporadas mais comumente ao composto, as quais trazem benéficos como aumento da resistência, melhoria na trabalhabilidade e em alguns casos retardamento do tempo de pega (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Portanto, a CME quando incorporada aos compostos cimentícios receberão um destino diferenciado, dirimindo a agressão ao meio ambiente, e promovendo a melhoria nas características físicas e mecânicas do material, assim como em suas características ecológicas.

2. OBJETIVO:

Este artigo científico busca comparar os resultados de experimentos realizados em laboratórios referentes à substituição parcial de cimento Portland por cinza de madeira de eucalipto (CME) na argamassa e no concreto, utilizando a metodologia de revisão bibliográfica sistêmica.

3. METODOLOGIA:

O presente trabalho pautara-se na revisão sistêmica de material publicado sobre o assunto, de caráter exploratório. Fara-se uma análise sistêmica dos métodos e resultados obtidos por autores em teses, dissertação e artigos e trabalhos de conclusão de curso publicados. De acordo com Sampaio e Mancini (2007) “revisão sistemática é um meio de pesquisa que se baseia em fontes de dados da literatura sobre um tema específico, depende da qualidade das fontes primárias, porém possibilitam a incorporação de uma gama maior de resultados relevantes, além da avaliação sistêmica dos mesmos”. A metodologia será explícita na figura abaixo:

Figura 2- Organograma metodológico

Fonte: próprio autor, 2017

O trabalho realizará a comparação de um trabalho de conclusão de curso, 2013, um artigo, 2013 e por fim uma tese de 2013.

Será necessário comparar os resultados das diferentes pesquisas para que seja possível quantificar a porcentagem de diminuição de produção do cimento/ clínquer, com isso será possível analisar a viabilidade ecológica do material.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados serão analisados separadamente de acordo com sua tipologia nas fontes encontradas:

O objetivo encontrado no trabalho de Gluitz & Marafão, 2013 é: “A caracterizar e avaliar o desempenho da cinza de madeira de eucalipto CME na substituição parcial de cimento para a confecção de argamassa”. A qual caracterizou a CME da “originária de uma indústria de secagem e armazenamento de grãos localizada na cidade de Francisco Beltrão-PR”, o trabalho foi subdividido em: caracterização química, física e teste de pozolânicidade, após houve a mistura para a confecção de uma argamassa, a qual teve corpos de prova moldados e testes de resistência realizados.

Segundo Gluitz & Marafão, 2013 no início do experimento foi realizado o aquecimento do compósito para a retirada da umidade presente, foi utilizado no processo uma estufa em uma temperatura de 60°C durante o período de 2 horas, em seguida essa amostra de cinza foi peneirada para retirada de grãos originários no processo de secagem e para uma melhor homogeneidade da amostra.

Figura 3- (a) A amostra de CME antes de peneirada

Fonte: Gluitz & Marafão, 2013

Figura 4- (b) amostra de CME após secagem em estufa

Fonte: Gluitz & Marafão, 2013

Figura 5- (c) amostra de CME depois de peneirada.

Fonte: Gluitz & Marafão, 2013

Após o preparo da amostra foi realizado por (Gluitz & Marafão, 2013) o ensaio para determinação da massa específica através do procedimento de frasco volumétrico de Le Chatelier especificado pela NBR NM 23 onde foi encontrado uma densidade de $2,62 \text{ g/cm}^3$. Posteriormente foi realizado o ensaio para determinação do teor de matéria orgânica presente na amostra aquecendo-a em mufla a temperatura de 550°C durante 2 horas, onde é necessário se atentar a perda de peso da amostra.

Para a avaliação do grau de pozolanicidade da cinza foi realizado dois métodos, um foi o Índice de Atividade Pozolânica (IAP), conforme ABNT: NBR 5752 (1992 a) e o outro através da condutividade elétrica método proposto por Luxán et al (1989).

Segundo o método IAP, ele propõe que a o grau de pozolanicidade é obtida através da divisão da resistência a compressão do corpo de prova com 35% de adição CME sobre volume de cimento com a resistência obtida com o concreto do traço de referência ambos aos 28 dias onde foi encontrado um valor de 26,09%, já no método proposto por Luxán é calculada através da subtração da condutividade térmica antes e após a adição das cinzas em uma solução saturada de hidróxido de cálcio encontrando um valor igual a $3,84 \mu\text{S/cm}$.

Foi realizado o ensaio de difratometria de raio X ele obteve uma varredura entre 3° e 70° e passo de $0,5^\circ$ através de amostras em pó em porta amostra circular de 25mm de diâmetro.

Para moldagem dos corpos de prova foram determinados teores de 0, 5, 10, 15 e 20% de adição de CME em substituição em relação ao volume do cimento. Foram moldados 3 corpos de prova para cada porcentagem de adição e para cada idade. Para a mistura da argamassa foi utilizada um misturador mecânico colocando os materiais aos poucos separadamente, após o processo de preparo foram moldados os corpos de provas prismáticos, foram desmoldados após 24h e colocados em câmara úmida para processo de cura até o dia do rompimento.

O ensaio de resistência a compressão foi realizado segundo a ABNT: NBR 7215 (1996), e tração na flexão segundo a ABNT: NBR 12142 (2010), rompidos nas seguintes idades 3, 7 e 28 dias, os resultados obtidos foram colocados em um gráfico para análise.

Figura 6- Resistência à compressão dos corpos de prova aos 3,7 e 28 dias.

Fonte: Gluitz & Marafão, 2013

Como pode-se analisar no gráfico de resistência a compressão, conforme foram aumentando as proporções das quantidades de cinza também foi reduzindo gradativamente o valor da resistência mecânica dos corpos de prova.

Figura 7- Resistência à tração na flexão dos corpos de prova aos 3,7 e 28 dias.

Fonte: Gluitz & Marafão, 2013

O mesmo aconteceu com a resistência a tração na flexão, houve a redução de resistência gradativamente referente aos valores do aumento da substituição, os autores concluem que seja inviável a utilização da cinza da madeira de eucalipto, eles justificam que esta queda na resistência do concreto se dá pela diminuição dos silicatos presentes do cimento, ou seja, com o aumento da proporção das cinzas ocorre a diminuição do cimento consequentemente a diminuição dos silicatos que são os responsáveis pelo ganho de resistência do concreto. Já na tese de Resende, 2013, o objetivo é: “[...] avaliação do uso das cinzas geradas no processo de queima do cavaco de lenha de eucalipto em substituição do cimento em compósitos cimentícios.”

As cinzas foram coletadas no Triângulo Mineiro e no Alto do Paranaíba MG e SP, foram utilizadas para a substituição parcial do cimento em compósitos cimentícios, para os testes foram utilizados os seguintes materiais: Água, Cimento ARI, Areia natural, normatizada (IPT), de Basalto e Cal Hidratada.

As cinzas utilizadas são provenientes da DPA-Nestlé e tinham o descarte monitorado pelos órgãos ambientais, o que gera um alto investimento por parte da empresa na confecção de aterros, são geradas em torno de 14,5 toneladas de cinza a cada 15 dias, as que foram coletadas saíram da grelha do queimador e do filtro manga da termoelétrica.

Foram caracterizadas de acordo com a ABNT: NBR 6457 (1986) e subdividida em três grupos: Cinza in natura, tal qual coletadas; cinza moída, moída durante 12 horas no moinho de bolas; e cinza requeimada, requeimada em mufla a 600°C durante 2 horas.

Figura 8- Cinza in Natura

Fonte: Resende, 2013

Figura 9- Cinza remoída

Fonte: Resende, 2013

Figura 10- Cinza requeimada

Fonte: Resende, 2013

Abaixo segue os resultados para o índice de atividade pozolânica através de três métodos de ensaios diferentes: Índice de atividade pozolânica com cimento ABNT: NBR 5752(2014), ensaio realizado com Cal, Método de Luxan, Metodo de Chapelle modificado. Onde, podemos observar que apenas no ensaio da ABNT: NBR 5752 (2014) obtivemos resultados positivos para atividade pozolânica entre todas as amostras, e no de Luxan apenas para a amostra de cinza in natura, para todos os outros os resultados foram negativos, como demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 3- resultados de atividade pozolânica

Atividade Pozolânica	Baixo	Moderado	Alto
NBR 5752 Índice de atividade pozolânica com cimento	-	CCE moída e Requeimada	CCE in natura
Cal	-	-	-
Luxan	-	-	CCE in natura
Chapelle	-	-	-

Fonte: Adaptado de Resende, 2013

Observa-se, portanto, que não é possível afirmar que esta cinza seja ou não pozolânica, já que os resultados se diferem entre si.

Os resultados do comportamento mecânico indicam que as amostras de CCE in natura apresentaram um efeito de preenchimento de vazios. Para as amostras de CCE moída e requeimada pode se afirmar que, além do preenchimento de vazios, estas cinzas apresentaram uma certa reatividade, podendo se tratar de um efeito cimentante, que melhorou as propriedades do compósito no estado endurecido. Conclui se que este material pode ser utilizado como material cimentício suplementar, pois nos ensaios de comportamento mecânico os corpos de prova apresentaram comportamento muito próximo ao de referência. 136 os ensaios de reação álcalis agregado comprovaram que a incorporação de CCE requeimada em substituição parcial do cimento inibiu a expansão dos corpos de prova produzidos com basalto utilizado na UHE de Nova Ponte, que é conhecido como reativo. As amostras de CCE in natura e moída reduziram parcialmente a expansão. (RESENDE, 2013 p.135,136)

Figura 11- Micrografia obtida por MEV da cinza in natura (250x)

Fonte: Resende, 2013

Figura 12- Micrografia obtida por MEV das partículas da cinza moída (1000x)

Fonte: Resende, 2013

Figura 13- Micrografia obtida por MEV das partículas da cinza moída (250x)

Fonte: Resende, 2013

O autor recomenda a substituição máxima de 5% de cimento por cinzas de cavaco de eucalipto in natura, os quais não apresentaram grandes percentuais de alteração de qualidade mecânica quanto à referência, o que auxilia na diminuição do passivo descartado em aterros, os quais poluem o solo e a água, assim como a emissão de CO₂ emitida pela produção do cimento.

Da mesma maneira, Ramos, Matos e Coutinho, 2013 perseguem o objetivo de “lidar com a performance de força e durabilidade das argamassas com substituição de 0%, 10% e 20% de cimento Portland por cinzas de resíduos de madeira²”.

Foram realizados vários experimentos com taxas de substituição de 0%, 10% e 20% e houve melhorias na resistência e durabilidade da argamassa, ou seja, as CME contribuem para a sustentabilidade na construção.

² Texto original: The present work deals with strength and durability performance of mortar with 0%, 10% and 20% Portland cement replacement with wood waste ash (WWA)

Utilizou-se ensaios de carbonatação e reação de sílica alcalina (RSA). No segundo método, foram necessários dois corpos de provas cilíndricos de argamassa, com dimensões 25 x 25 x 250 mm, onde temperaturas altas e maior alcalinidade aceleraram a reação. A proporção utilizada foi de 1:3:0,5 (cimento, agregado, relação água/cimento). O objetivo principal é entender a expansão da argamassa simples e modificada para que seja possível avaliar a eficácia de materiais de cimentação. Foram feitos vários testes com argamassas de controle, isto é, sem nenhuma substituição, e com taxas de substituição de 10% e de 20% de cimento durante 26 dias, observando-se um aumento na expansão (%) com o passar do tempo, em todas as amostras. Porém, os resultados nas amostras com 10% e 20% de substituição foram menores do que na amostra controle (T. RAMOS et al., 2013), conforme mostra a figura abaixo:

Figura 14- Expansão versus tempo devido a RSA

Fonte: Ramos et al, 2013

Para Ramos et al. (2013), houve uma redução de cerca de 18% na expansão da argamassa em amostras com taxa de substituição de 10% de cimento por CME e de até 60%, em amostras com taxa de substituição de 20%.

Quanto ao ensaio de carbonatação, concluiu-se que a profundidade de carbonatação foi maior nas amostras com CME quando comparada com as amostras que apresentavam cimento Portland. De modo geral, a CME é considerada um material promissor para a substituição parcial de cimento na argamassa, sem acarretar queda na resistência e melhorando a durabilidade das amostras (T. RAMOS et al., 2013).

Como visto, podemos observar a crescente preocupação dos cientistas em reaproveitar a cinza da madeira de eucalipto CME de maneira adequada no setor de construção civil, uma vez que esta cinza pode ser utilizada na produção do concreto seja na substituição parcial de algum dos seus agregados como o cimento, ou também na substituição parcial dos agregados miúdos. Desta maneira, destina-se os resíduos da queima de resíduos de madeira de forma adequada, diminuindo seu descarte na natureza.

5. CONCLUSÃO

O aumento da urbanização e industrialização resultou no crescimento do consumo de concreto, ocasionado a utilização excessiva de matéria prima, e os grandes gastos energéticos da construção civil faz da CME uma possível solução, tanto em questões ambientais no descarte da cinza quanto em substituição parcial de compostos do concreto ou argamassas, acarretando na diminuição da emissão de.

O objetivo encontrado no trabalho de Gluitz & Marafão, 2013 não foram satisfatórios ao uso da CME em substituição do cimento nos compostos cimentícios, pois com o aumento da proporção da adição do CME reduziu a resistência mecânica do concreto com todas as dosagens, por causa da diminuição dos silicatos hidratados no concreto, entretanto, analisando as outras pesquisas percebeu-se que não foi realizado o processo de requeima da cinza este pode ser um fator causador dessa diminuição da resistência.

Nos testes realizados com a cinza de CME provenientes de DPA- Nestlé em Ibirá- MG, os resultados foram favoráveis na substituição do cimento Portland pela cinza in natura em até 5%.

De acordo com os estudos realizados por Ramos (2013), a CME possui atividade pozolânica e, portanto, é um material alternativo promissor para a utilização na argamassa em substituição parcial ao cimento, principalmente, devido ao aumento registrado no ensaio de expansão da argamassa que chegou a 60% com a taxa de substituição de 20%.

Observa-se que há recomendações diferentes quanto a taxa de substituição do cimento pela CME para cada autor citado neste trabalho. Para Gluitz & Marafão, por exemplo, que utilizou apenas os ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão notou que não há nenhuma melhora nos resultados. Já Resende (2013), chegou à conclusão que a CME obteve bons resultados, principalmente nos ensaios mecânicos, com taxa de substituição de 5%. Enquanto Ramos (2013), por meio do ensaio de RSA, avaliou a expansão da argamassa e concluiu que até 20% de substituição houve um aumento de 60%.

Considerando-se que em 2016 o Brasil produziu 57,4 milhões de toneladas de cimento, segundo SINC, 2016, e que, a matéria prima para a produção do mesmo, o clínquer, produz segundo Bernardes, 2013 de 800 a 1000 quilos de CO₂ para cada tonelada de clínquer produzido a substituição pela CME em 5% reduziria o consumo de 2,8 milhões de toneladas de cimento. Em 20% a redução seria ainda maior alcançando o valor de 11,4 milhões de toneladas de cimento por ano. Portanto, haveria uma redução de 11,4 bilhões de toneladas de CO₂ produzidos no processo de produção do Clínquer, além de dirimir os gastos que a própria empresa tem com o descarte deste material, que além de ser monitorado por órgãos ambientais ainda gera grandes gastos com construção de aterros, e, todavia, não diminui completamente os passivos ambientais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12142:** Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010. 5p.

_____. **NBR 6457 :** Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7215-** Cimento Portland: Resistência a Compressão. Rio de Janeiro, 1996.

BERNARDES, J. **Nova técnica diminui emissão de CO2 na produção de cimento.** Agência USP de Notícias. 2013. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/?p=134582>. Acessado em 15/09/2017

BORLINI, M. C.; SALES, H. F.; VIEIRA, C. M. F.; CONTE R. A.; PINATTI, D. G. MONTEIRO, S. N.. **Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha.** Universidade Estadual do Norte Fluminense. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n319/26791.pdf>>. Acesso em: 19/09/2017.

EMBRAPA. **Cultivo de Eucalipto.** Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=7811&p_r_p_-996514994_topicold=8509. Acesso em 18/09/2017.

GLUITZ, A.C., MARAFÃO, D. **Utilização da cinza de madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland em argamassa.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: < http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1994/1/PB_COQUI_2013_1_03.pdf>. Acesso em 19/09/2017.

MEHTA P. K., MONTEIRO P. J. M.. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** Ed. PINI, 1ª edição, São Paulo, 1994.

MORAES, R da C.. **Efeito físico e pozolânico das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto.** 2001. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

RAMOS, T., MATOS, A. M., COUTINHO, J. S. **Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion.** LABEST-FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal b FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007563>. Acesso 19/09/2017

RESENDE, D.S.: **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT. Ouro Preto, Dezembro de 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4411> Acessado em 07/09/2017.

SAMPAIO, R.F; MANCINI, M.C. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica.** Revista Brasileira de Fisioterapia, São Carlos, v.11, n.1, jan./fev. 2007.

SILVERIO, J., HORN, P. A. **Determinação da composição química e aproveitamento de cinzas da queima da lenha de eucalipto para produção de água sanitária ecológica.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <
http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/913/1/PB_COQUI_2012_2_05.PDF>>.
 Acesso em: 19/09/2017.

SNIC, Sindicato Nacional da Industria do Cimento. **Produção Nacional de Cimento por Regiões e Estado. 2016.** Disponível em: http://www.snic.org.br/numeros_dinamico.asp. Acesso em 20/09/2017.

LUXÁN, M. P.; MADRUGA, F.; SAAVEDRA, J. Rapide evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. Cement and Concrete Research. Madrid, vol. 19, p. 63 – 68, jan, 1989.