

Resíduo industrial: as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material alternativo para a redução de impactos ambientais

Tainara Rigotti de Castro (UNESPAR) tainaracastro@hotmail.com
Carlos Humberto Martins (UEM) chmartins@uem.br

Resumo:

Devido a necessidade de diminuir o descarte de resíduos industriais, bem como a necessidade da diminuição da utilização de recursos naturais na construção civil e impactos ambientais causados por sua extração, esta pesquisa tem por objetivo realizar a caracterização da cinza pesada e da cinza volante do bagaço de cana-de-açúcar, a fim de apontar se tais amostras possuem as características necessárias para substituir a areia e o cimento, respectivamente. Para tal, as cinzas foram caracterizadas conforme procedimentos metodológicos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), quanto à distribuição granulométrica; índice de pozzolanicidade; massa específica; teor de umidade; perda ao fogo; composição química, e; contaminantes. As cinzas foram caracterizadas como um material alternativo com as características requeridas, sendo viáveis de reaproveitamento.

Palavras-chave: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar, Material alternativo, Impactos ambientais.

Industrial waste: the sugarcane bagasse ashes as an alternative material to reduce environmental impacts

Abstract:

Because of the need to reduce the disposal of industrial waste and the need for reducing the use of natural resources in construction and environmental impacts of its extraction, this research aims to characterize the bottom ash and fly ash from bagasse of sugarcane, in order to point to such samples have the characteristics necessary to replace the sand and cement, respectively. To this end, the ashes were characterized as methodological procedures of the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as the particle size distribution; pozzolanicity index; specific mass; moisture content; loss on ignition; chemical composition and; contaminants. The ashes were characterized as an alternative material with the required characteristics, and viable reuse.

Key-words: Ash sugarcane bagasse, Alternative materials, Environmental impacts.

1. Introdução

Impulsionada pela urbanização e industrialização, a preocupação com a saúde ambiental se iniciou em 1970, quando se intensificaram os danos gerados pelos excessos de impactos causados pela produção em escala industrial (MAURY; BLUMENSCHIN, 2012).

As indústrias, por meio de seus processos, geram resíduos que são, basicamente, toda sobra de produção industrial que não pode ser descartada sem controle e exige um método específico para sua eliminação. Muitos deles podem ser perigosos, trazendo consequências negativas não só para o meio ambiente, mas também para a saúde pública.

Entretanto, a Lei 12.305/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, responsabilizando direta ou indiretamente, tanto pessoas físicas como jurídicas, pela geração de resíduos sólidos ou ações relacionadas. Esta Lei define o destino correto desses resíduos, bem como o reaproveitamento, reciclagem e reutilização dos mesmos, de modo a evitar riscos a saúde pública e impactos ambientais.

Neste contexto, as usinas sucroalcooleiras são grandes geradoras de resíduos industriais, principalmente no Brasil, visto que é o maior produtor mundial de açúcar e álcool e o maior exportador mundial de açúcar (PAULA et al., 2008). Por outro lado, o setor da construção civil é um grande consumidor de recursos, visto que para transformar necessidades em infraestrutura (IBRAHIM et al., 2010), se vale de extrações de matérias-primas, seguido da degradação do meio ambiente (BROWN; LUGO, 1994).

Neste contexto, a melhor maneira de diminuir a utilização de recursos e conservar o meio ambiente é o emprego de formas alternativas, como por exemplo, o uso de resíduos industriais como matéria-prima (ALWAEELI, 2013). Assim, além da redução da demanda da extração de recursos naturais ainda há a possibilidade do reaproveitamento de resíduos.

A incorporação de resíduos no emprego de formas alternativas tem mostrado resultados satisfatórios na literatura, tais como a utilização de: cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, resíduos de construção, resíduos de gesso, entre outros; principalmente no ramo da construção civil através de substituições parciais de agregados e aglomerantes, tanto em concretos, *pavers*, pastas de cimento e argamassas, quanto em materiais cerâmicos e blocos de solo.

Devido à necessidade da diminuição da utilização de materiais na construção civil e impactos ambientais causados por sua extração, bem como do reaproveitamento de resíduos sólidos, esta pesquisa tem por objetivo realizar a caracterização da cinza volante e da cinza pesada do bagaço de cana-de-açúcar, a fim de apontar se tais amostras possuem as características necessárias para substituir o cimento e a areia, respectivamente.

Esta pesquisa se enquadra na área da Engenharia da Sustentabilidade, que de acordo com a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2008), é o planejamento da utilização eficiente dos recursos naturais nos sistemas produtivos diversos, da destinação e tratamento dos resíduos e efluentes destes sistemas, bem como da implantação de sistema de gestão ambiental e responsabilidade social.

2. Revisão Teórica

2.1 Responsabilidade social da Engenharia de Produção

Responsabilidade social, de acordo com a NBR 16001, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004d), é a relação ética e transparente de uma organização com todas as suas partes interessadas visando o desenvolvimento sustentável.

A responsabilidade social, da ética e da sustentabilidade na engenharia de produção parte do princípio de que o engenheiro de produção tem por objeto o fenômeno produtivo, com vista no conceito de que a organização deve mapear os impactados pelo seu processo. Esse mapeamento consiste em identificar os que são impactados pelo processo de produção a fim de reduzir ou eliminar quaisquer impactos negativos (QUELHAS; ALLEDI FILHO; MEIRIÑO, 2008).

A Figura 1 ilustra a necessidade de abordagem sistêmica no exercício da profissão e pesquisa da engenharia de produção, visto a complexidade da gestão produtiva e seus subsistemas componentes.

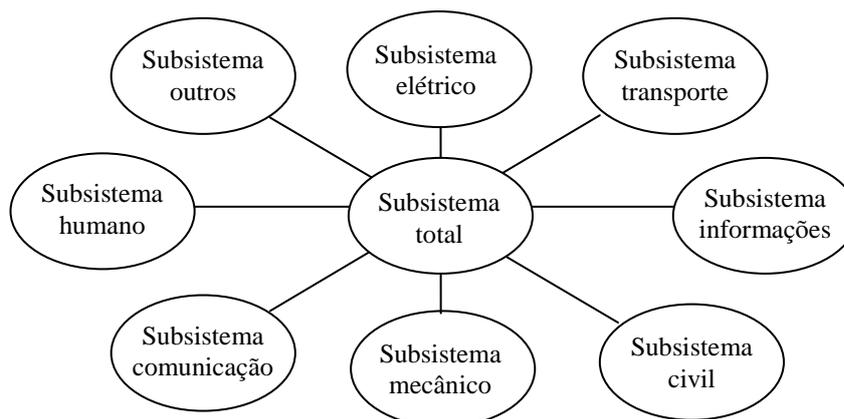


Figura 1 – A tarefa do engenheiro de produção: integrar subsistemas para a sustentabilidade organizacional
Fonte: Quelhas, Alledi Filho e Meiriño (2008)

Neste contexto, desde o levantamento das necessidades do cliente, ao projeto do processo e do produto, da logística à gestão da produção, os cuidados quanto aos impactos sociais, ambientais e econômico-financeiros devem ser atendidos pelo engenheiro de produção.

2.2 Resíduos industriais

O ponto em comum entre a maioria dos mais diversos processos produtivos é a geração de resíduos. São originadas toneladas de resíduos sólidos e efluentes que, onde a grande produção associada com a falta de tratamento e disposição adequadas é hoje uma das principais formas de contaminação do solo e das águas, tornando-se um dos principais problemas ambientais na atualidade (CASTRO, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas:

Todo resíduo nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10004:2004a).

A grande geração desses resíduos trouxe como consequência uma carência de locais adequados para disposição dos mesmos, em que iniciou-se a busca por soluções mais eficazes do que a simples deposição dos mesmos no meio ambiente. Essas soluções são escolhidas a partir de abordagens distintas (Figura 2), e expressas pelas seguintes providências (VALLE, 1995 apud SOUZA; SILVA, 1997):

- Minimização: abordagem preventiva, orientada para reduzir o volume e o impacto causado pelos resíduos. A minimização é feita através de modificações no processo produtivo, ou pela adoção de tecnologias limpas, mais modernas que permitem, em alguns casos, eliminar completamente a geração de materiais nocivos. Não se considera a redução do volume de resíduos como minimização sem a redução de sua toxicidade;
- Reciclagem: é refazer o ciclo, permite trazer de volta, à origem, sob a forma de matérias-primas, aqueles materiais que não se degradam facilmente e que podem ser reprocessados, mantendo suas características básicas. A reciclagem não deve ser confundida, portanto, com os processos químicos e físicos de tratamento que recuperam ou reutilizam materiais;

- c) Recuperação dos resíduos gerados: abordagem orientada para extrair valores materiais ou energéticos dos resíduos, contribuindo para reduzir os custos de destinação dos resíduos;
- d) Tratamento: são reunidas diversas soluções, que visam processar os resíduos com o objetivo de reduzir ou eliminar sua periculosidade, imobilizar seus componentes perigosos, fixando-os em materiais insolúveis, e reduzir o volume de resíduos que depois de tratados ainda requeiram cuidados especiais. Tratar um resíduo significa transformá-lo de maneira que se possa reutilizá-lo posteriormente, ou dispô-lo em condições mais seguras e ambientalmente aceitáveis;
- e) Incineração: destruição dos resíduos, caracterizando-os e reduzindo drasticamente o seu volume: transformando-os em cinzas. No caso de incineração de resíduos combustíveis há a geração de energia. Uma vantagem dessa solução é que a área requerida para a instalação de um incinerador é bastante reduzida, se comparada com aterros. A incineração traz duas preocupações: os gases emitidos pela combustão dos resíduos e a destinação das cinzas e dos particulados retidos nos sistemas de lavagens de gases;
- f) Disposição: abordagem passiva, orientada para conter os efeitos dos resíduos, mantendo-os sob controle, em locais que devem ser monitorados, para que no futuro não contaminem o meio-ambiente. A disposição em aterro é a solução indicada para resíduos estáveis, não perigosos, com baixo teor de umidade e que não contenham valores a recuperar. Para atender às exigências impostas pela legislação ambiental, os critérios para projetos de aterros foram reformulados com a introdução de novas técnicas para reduzir os riscos de infiltrações que possam contaminar o solo e os lençóis freáticos e eliminar a presença de macrovetores (ratos, moscas, aves...) e microvetores (vermes, fungos, bactérias, vírus...).

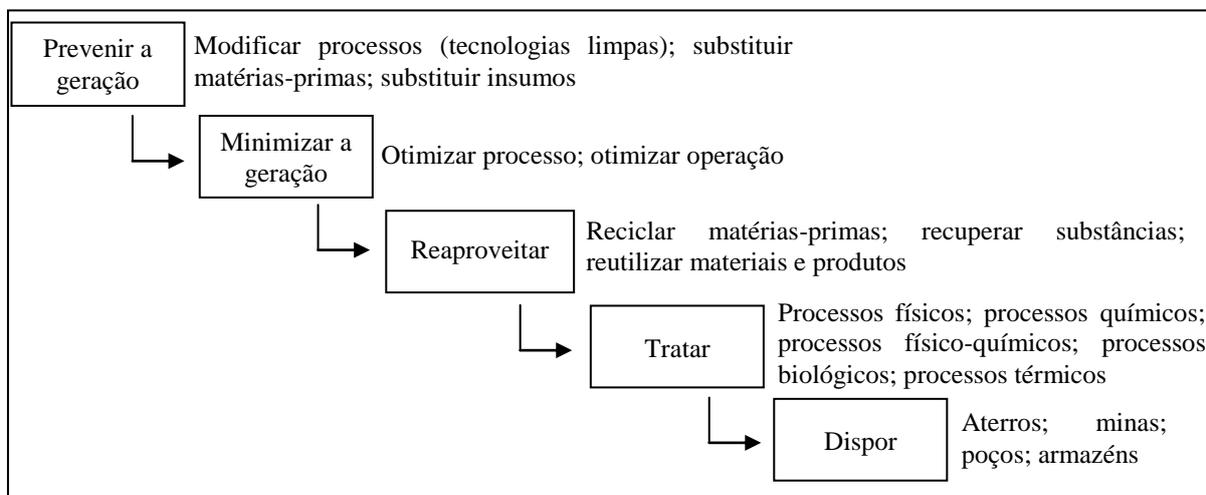


Figura 2 – Escala de prioridades no gerenciamento de resíduos
 Fonte: Valle (1995 apud SOUZA; SILVA, 1997)

2.2.1 Cinzas do bagaço de cana-de-açúcar

No processo de beneficiamento da cana-de-açúcar o maior subproduto gerado é o bagaço da cana-de-açúcar, utilizado em larga escala como combustível em caldeiras para geração de energia que resulta em cinzas. Na safra 2015/2016, o total de cana-de-açúcar para ser moída será de 654,6 milhões de toneladas, com aumento de aproximadamente 3,1% (19,8 milhões de toneladas) em relação à safra 2014/2015 que foi de 634,8 milhões de toneladas, (CONAB, 2015).

Parte da cinza pesada é depositada num cinzeiro abaixo da grelha da caldeira e o restante, de

distribuição granulométrica mais fina, dita cinza leve ou volante, é suspensa pelos gases de combustão e, antes de ser dispersa na atmosfera através da chaminé passa por algum processo de limpeza de gases para redução nas emissões de particulados, (VASKE, 2012). A Figura 3 ilustra o processo de geração das cinzas pesada e leve.

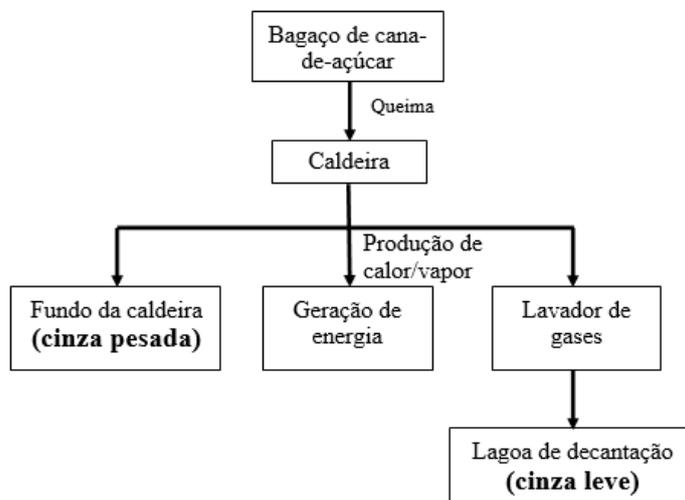


Figura 3 - Fluxograma simplificado de obtenção de cinzas
 Fonte: Hojo (2014)

A quantidade de cinzas geradas varia de acordo com diversos fatores, tais como: tipo de cana, solo, umidade do bagaço e tecnologia utilizada para queima. Geralmente, cada tonelada de bagaço queimado gera em torno de 25 quilos de cinzas, resultando em dois tipos de cinzas distintas, a cinza pesada semelhante a areia fina e a cinza leve semelhante a um pó. Considerando que na safra 2015/2016 há previsão de moagem de 654,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, haverá a geração de aproximadamente 16,4 milhões de toneladas de cinzas leve e pesada.

Parte dessas cinzas volta para o solo dos canaviais para ser utilizada como adubo, apesar de ser um componente pobre em nutrientes e de difícil deterioração, ainda possui em sua composição metais pesados, podendo contaminar o solo e lençóis freáticos. A literatura ressalta que esta prática é comum entre os agricultores de cana, chamada de iniciativa ambientalmente correta, eliminada juntamente à torta de filtro e vinhaça, porém, ignora o uso de agrotóxicos nas plantações, fazendo com que estes produtos persistam no solo juntamente com as cinzas (SALES; LIMA, 2010). As cinzas, quando descartadas de maneira inadequada, podem causar a contaminação dos solos adjacentes, águas subterrâneas e problemas de saúde, ocasionando consequentemente graves problemas sociais e ambientais. Dessa forma, não possuindo outro modo de utilização, o correto é que esse resíduo seja destinado aos aterros sanitários (FRÍAS; VILLAR; SAVASTANO, 2011).

Andrade et al. (2007) ressalta que as cinzas pesadas são capazes de substituir a areia natural, tendo potencial de aproveitamento para produção de materiais à base de cimento. Cordeiro *et al.* (2008) afirma que a cinza volante (leve) do bagaço de cana-de-açúcar tem potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos.

Neste contexto, o encaminhamento desse resíduo da forma adequada é considerado de suma importância para combater os problemas de disposição inadequada de resíduos industriais.

2.3 Impactos e degradação ambiental

Uma das principais atividades que acarretam impactos para o meio ambiente é a mineração. A

extração pode ser realizada através de vários métodos e seu objetivo é a retirada de substâncias a partir de depósitos ou massas minerais. No ano de 2011, o Brasil registrou o número de 8.870 mineradoras presentes em seu território (IBRAM, 2012).

Com a prática desta atividade todos os componentes ambientais tornam-se influenciados, sendo denunciada por uma ampla manifestação visual, trazendo mudanças drásticas para a paisagem, cobrindo frequentemente uma área tão vasta que é impossível restaurá-la ao seu estado original novamente (DULIAS, 2010).

Os principais impactos causados ao meio ambiente pela extração de minérios são subsidência, contaminação e escassez das águas, destruição de habitat, extinção e escassez de fontes e jazidas, alterações na flora e fauna do entorno destes locais de exploração, reconfiguração das superfícies topográficas, aceleração do processo erosivo, modificações de cursos d'água, interceptação do lençol freático, aumento da emissão de gases e partículas em suspensão no ar, aumento de ruídos e propagações de vibrações, resultando em áreas degradadas (ROTH; GARCIAS, 2009).

Além disso, essas áreas não possuem mais a capacidade de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes e biomassa, alterando as características biológicas, físicas e químicas do local explorado, tornando o solo estéril (BROW; LUGO, 1994).

A extração de calcário, para a produção de cimento, e a extração de areia, largamente utilizado como materiais na construção civil, são realizadas através da mineração.

O cimento, além da necessidade da retirada das pedras de calcário do solo, necessita da operação de calcinação, dada através da queima de combustíveis necessários para manter as altas temperaturas necessárias nos fornos utilizados (aproximadamente 1500°C). Sendo assim, a indústria do cimento além de degradar áreas, ainda é considerada uma das principais contribuintes para as emissões dos gases de efeito estufa (ALI, SAIDUR, HOSSAIN, 2011).

O mercado cimenteiro, no Brasil, é composto por grupos nacionais e estrangeiros, com 81 fábricas espalhadas por todas as regiões brasileiras e com uma capacidade instalada anunciada de 78 milhões de toneladas/ano (CIMENTO.ORG, 2012). Desta forma, o Brasil está entre os 10 maiores produtores de cimento no mundo. Segundo Mehta e Monteiro (2008) a fabricação de uma tonelada de clínquer de cimento Portland lança uma tonelada de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. Desta forma, a produção anual mundial de cimento é de 1,5 bilhão de toneladas, responsável por quase 7% das emissões globais de CO₂ (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A areia é um material de granulometria variada, composto essencialmente de sílica e que passou por um processo de beneficiamento, suas fontes de produção são representadas por depósitos de areia quartzosa, arenito ou quartzito (FERREIRA; DAITX, 2000). De acordo com o tipo de depósito mineral, varia o processo de retirada do solo (lavra), que geralmente é por dragagem ou desmonte hidráulico. O mercado brasileiro é atendido por uma ampla e diversificada gama de produtores, envolvendo cerca de 2500 empresas de extração de areia (ANEPAC, 2013).

Neste contexto, a redução da utilização tanto do cimento, como da areia é considerada de suma importância para combater os problemas de degradação e poluição do meio ambiente.

3. Metodologia

Os materiais foram coletados em uma Usina localizada no Noroeste do Paraná/PR. A cinza pesada foi coletada em sacos plásticos e preparada em laboratório, para posterior caracterização. Antes dos procedimentos ela foi peneirada em malha 0,6 para a retirada de folhas e pedaços de bagaço com queima incompleta.

A cinza leve foi coletada em uma cooperativa na região de Maringá-PR de uma lagoa de decantação e tratada em laboratório para posterior caracterização. Antes dos procedimentos ela foi seca em temperatura ambiente por 48h e após seca em estufa por mais 48h para a retirada de umidade. Após a etapa de secagem, o material foi desgrumado com o auxílio de um almofariz.

Após a etapa de secagem, a cinza leve foi desgrumada com o auxílio de um almofariz e um mão de gral revestido de borracha. Essa cinza previamente seca foi armazenada em saco plástico dentro uma barrica de papelão para garantir que a umidade não danificasse e/ou provocasse a perda do material.

Quanto aos métodos, a distribuição das partículas das amostras de cinzas foi determinada pela combinação dos procedimentos de peneiramento e sedimentação conforme sugere a NBR 7181 (ABNT, 1984b). A atividade pozolânica foi determinada através do Método de Chapelle modificado (ABNT, 2010). Através da ABNT NBR 6508 (ABNT, 1984a), foi determinada a massa específica de cada amostra de cinza. O teor de umidade foi determinado a partir da secagem das amostras de resíduos em estufa por 24h, conforme especificações da NBR NM 24 (ABNT, 2003), e o teor de perda ao fogo conforme a NBR NM 18 (ABNT, 2012), a partir da calcinação das amostras em forno mufla à temperatura entre 950 ± 50 °C por no mínimo 50 min. A composição química das amostras foi determinada utilizando espectrômetro de raios-X Rigaku, com radiação Pd K α , corrente de 1,2 mA e voltagem de 40kV. Os contaminantes presentes nas cinzas foram analisados por meio da obtenção do extrato lixiviado, seguindo especificações da NBR 10005 (ABNT, 2004b) e solubilizado, de acordo com a NBR 10006 (ABNT, 2004c) para determinação dos teores de contaminantes de acordo constantes na NBR 10004 (ABNT, 2004a), por meio de Espectrômetro de Absorção Atômica (EAA 52 VarianSpectraa - 240FS) e Cromatógrafo de íons (Metrohm – 850 Professional IC).

4. Resultados e discussões

As curvas de distribuição de tamanho de partículas da cinza pesada deixam claro que esta possui partículas de maior diâmetro, quando comparadas às da cinza volante (Figura 4). Os resultados revelaram que 51% da amostra da cinza pesada ficou retida nas peneiras de 0,06 a 0,2 mm, e de acordo com a classificação da NBR 6502 (ABNT, 1995) são semelhantes à areia fina. A cinza volante teve 81% da amostra retida, sendo semelhante ao silte. As amostras das cinzas indicaram pouca variação do diâmetro das partículas, o que indicou uma amostra uniforme, com distribuição das partículas bem graduada.

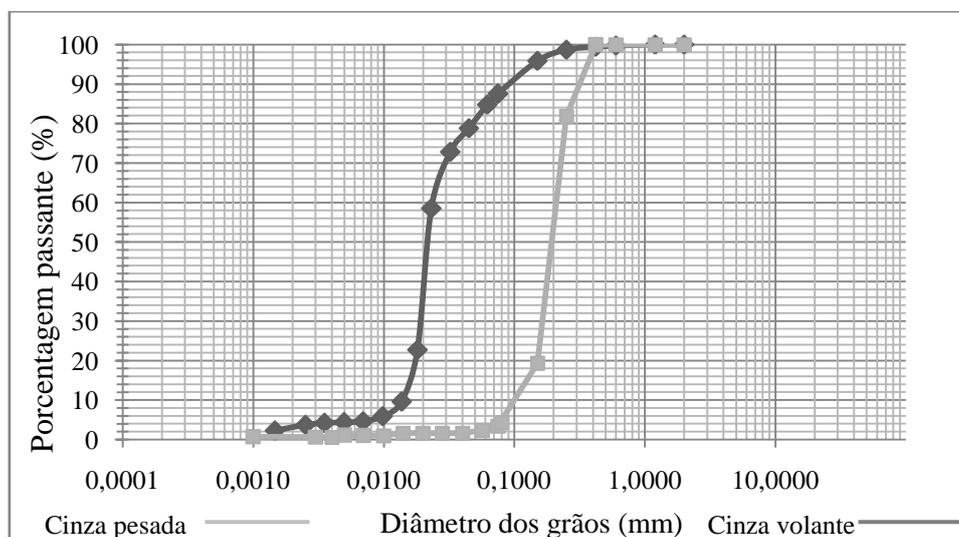


Figura 4 - Curvas de distribuição granulométrica das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar

Um material para ser pozolânico, de acordo com a NBR 15895 (ABNT, 2010), deve apresentar uma pozalnicidade acima de 436mg Ca(OH)₂/pozolana. O valor obtido através da amostra de cinza pesada resultou em 101 mg Ca(OH)₂/g amostra, o que caracteriza que esta cinza não possui atividade pozolânica. O valor obtido para a cinza volante foi de 569 mg Ca(OH)₂/g amostra, o que caracteriza que pode ser viável sua substituição por cimento. Esses ensaios foram realizados no IPT-SP (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) e os respectivos laudos podem ser encontrados em Hojo (2014) para a cinza leve e Castro (2015) para a cinza pesada.

Em relação a massa específica, se encontrou um valor de 2,64 g/cm³ para cinza pesada e de 2,75 g/cm³ para cinza volante. Em comparação com a massa específica da areia e do cimento, respectivamente, valores semelhantes são observados: 2,65 g/cm³ (SALES; LIMA, 2010) e 2,75 g/cm³ (VOTORANTIM, 2014).

Através da determinação do teor de umidade se pode constatar o quão a cinza leve é mais úmida (1,68%), em relação à cinza pesada (0,16%).

O teor de perda ao fogo da cinza pesada e da cinza volante foram de 13,92%, 9,56% respectivamente. Agredo *et al.* (2014), encontraram semelhantemente, em suas amostras de cinzas caracterizadas, valores próximos aos desta pesquisa, sendo de 14% para a cinza pesada e 10% para a cinza volante. Esta propriedade esta diretamente ligada à quantidade de matéria orgânica presente nestes resíduos.

As composições químicas das amostras de resíduos de cinzas são fornecidas pela Tabela 1. De acordo com os referidos dados, a cinza pesada contém uma grande quantidade de sílica (57,41%), e menor grau de óxido de ferro (21,79%). Para a cinza volante ocorre o inverso, uma maior presença de óxido de ferro (47,98%) e um menor grau de sílica (25,82%). Quando comparada a literatura as cinzas desta pesquisa tendem a ter uma menor quantidade de sílica, onde foram encontradas: cinza pesada com um teor de 66,61% de sílica (FRÍAS; VILLAR; SAVASTANO, 2011) e cinza volante com uma porcentagem de 61,59% (FARIA; GURGEL; HOLANDA, 2012). Estes resultados podem estar relacionados com as diferenças de solos onde a cana é cultivada, métodos de fertilização do solo, métodos de queima do bagaço, entre outros.

Elemento	Fórmula Composta	Concentração (%)	
		Cinza pesada	Cinza volante
Si	SiO ₂	57,41	25,82
Fe	Fe ₂ O ₃	21,79	47,98
Ti	TiO ₂	6,41	7,16
Al	Al ₂ O ₃	4,31	10,57
K	K ₂ O	4,05	4,15
Ca	CaO	1,96	1,53
P	P ₂ O ₅	1,14	0,79
Mg	MgO	1,03	0,68
V	V ₂ O ₅	0,72	-
Cl	Cl	0,46	0,19
Mn	MnO	0,37	0,73
S	SO ₃	0,25	-
Zr	ZrO ₂	0,11	0,11
Cu	CuO	-	0,16
Zn	ZnO	-	0,13

Tabela 1 - Composição química das Cinzasdo bagaço de cana-de-açúcar

A Tabela 2 mostra que o teste de solubilização indicou a presença de metais pesados nas amostras de cinzas. Os resultados do extrato de lixiviação ficaram dentro do limite permitido para o grupo de compostos orgânicos, de acordo com o Anexo F da NBR 10004 (ABNT, 2004a). O ensaio de solubilização revelou elementos químicos excedendo o nível permitido empregado pelo anexo G da referida norma. Portanto, as amostras aqui foram classificadas como “resíduos não perigosos - classe II A - não inerte” (ABNT, 2004a), assim como cinzas já caracterizadas (SALES; LIMA, 2010). Resíduos com esta classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Componentes	Limites (mg/l)	Cinza pesada	Cinza volante
Alumínio	0,2	0,79	2,54
Chumbo	0,01	0,12	0,12
Cádmio	0,006	0,005	0,021
Manganês	0,1	0,02	0,29

Tabela 2 - Elementos químicos encontrados no extrato solubilizado de Cinzas do bagaço de cana-de-açúcar excedentes aos limites padrão da norma brasileira. Fonte: Elaborado pelos autores

5. Considerações Finais

Atualmente, um dos grandes desafios dos processos industriais é diminuir a geração dos resíduos industriais, bem como utilizar formas alternativas para o emprego destes. As usinas sucroalcooleiras, por exemplo, podem conciliar o reaproveitamento de seus resíduos no fabrico de materiais alternativos no setor da construção civil, tendo em vista um desenvolvimento sustentável, consciente e menos agressivo ao meio ambiente.

As cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, cuja quantidade gerada aumentará significativamente nos próximos anos, em decorrência da ampliação do setor de produção de álcool combustível, se mostraram, através da caracterização realizada nesta pesquisa, como um material alternativo viável. A cinza pesada se mostrou um material com características semelhantes às da areia, visto a sua distribuição granulométrica; massa específica; inexistência de atividade pozolânica; alto teor de sílica, podendo ser fonte viável de adição mineral em matrizes cimentícias. O índice da atividade pozolânica da cinza leve pode ser atribuída à presença de sílica amorfa; ao reduzido tamanho de partículas, e; à reduzida perda ao fogo, comprovando sua reatividade e a possibilidade de substituir parcialmente o cimento.

Finalmente, do ponto de vista ambiental, a utilização das cinzas contribui para a redução da extração de recursos naturais (areia e materiais que formam o cimento) e também promovem uma destinação adequada para esses resíduos. Ressalta-se ainda que os resultados obtidos aqui são válidos para as cinzas coletadas e analisadas dessa usina, e que se forem utilizadas outras cinzas, há necessidade da realização de novos ensaios para comprovação da eficácia desses resíduos como substituto parcial do cimento e/ou areia.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ABEPRO. *Áreas e Subáreas da Engenharia de Produção*. 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>>. Acesso em 23 de agosto de 2016.

AGREDO, J. T.; GUTIÉRREZ, R. M. de; GIRALDO, C. E. E.; SALCEDO, L. O. G. *Characterization of sugar cane bagasse ash as supplementary material for Portland cement*. *Ingeniería e Investigación*, v.34, n.1, p.5-10, 2014.

ALI, M. B.; SAIDUR, R.; HOSSAIN, M. S. *A review on emission analysis in cement industries*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 2252–2261, 2011.

ALWAEI, M. *Application of granulated lead-zinc slag in concrete as an opportunity to save natural resources.* Radiation Physics and Chemistry, v.83, p.54-60, 2013.

ANDRADE, L. B.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. *Evaluation of concrete incorporating bottom ash as natural aggregates replacement.* Waste Management, v.27, p.1190-99, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6502: Rochas e Solo.* Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6508. Massa específica dos Sólidos.* Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181. Solo – análise granulométrica.* Rio de Janeiro, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação.* Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10005. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.* Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.* Rio de Janeiro, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16001. Responsabilidade social – Sistemas de gestão.* Rio de Janeiro, 2004d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15895. Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chappelle modificado.* Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 24. Materiais pozolânicos - Determinação do teor de umidade.* Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL – ANEPAC. *Agregados.* 2013. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/agregados/>>. Acesso em 8 de dezembro de 2015.

BRASIL. *Lei Federal nº 12.305, 02 de agosto de 2010.* Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 18 de janeiro de 2013.

CASTRO, T.R. *Argamassa mista com a cinza pesada e a cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar: Propriedades no estado fresco e endurecido.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, 2015.

CIMENTO.ORG. *Cimento Brasil.* 2012. Disponível em: <http://www.cimento.org/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=18>. Acesso em 29 de novembro de 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. *Acompanhamento da safra Brasileira de cana-de-açúcar Safra 2015/2016.* Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_39_02_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em 05 de julho de 2015, 2015.

BROWN, S.; LUGO, A. E. *Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining developing.* Restoration Ecology, v. 2, p. 97-111, 1994.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. *Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars.* Cement & Concrete Composites, v.30, p.410-418, 2008.

DULIAS, R. *Landscape planning in areas of sand extraction in the Silesian Upland, Poland.* Landscape and Urban Planning, v. 95, p.91–104, 2010.

FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. *Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks.* Journal of Environmental Management, v.101, p.7-12, 2012.

FERREIRA, G.C., DAITX, E.C. *Características e especificações da areia industrial.* Geociências, v.19, n.2, p.235-242, 2000.

FRÍAS, M.; VILLAR, E.; SAVASTANO, H. *Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture.* Cement & Concrete Composites, V.33, p.490-496, 2011.

HOJO, L. Y. C. P. *Análise da atividade pozolânica da cinza volante do bagaço de cana-de-açúcar para substituição parcial do cimento Portland.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, 2014.

IBRAHIM, A. R. B.; ROY, M. H.; AHMED, Z. U.; IMTIAZ, G. *Analyzing the dynamics of the global construction industry: past, present and future.* Benchmarking: anInternationalJournal, v.17, p.232-252, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. *Informações e Análise da Economia Mineral Brasileira.* 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>>. Acesso em 8 de dezembro de 2015.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. *Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente.* Sustentabilidade em Debate, v. 3, p.75-96, 2012.

METHA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto microestrutura, propriedades e materiais.* São Paulo. São Paulo. IBRACON, 2008.

PAULA, M. O. de; TINÔCO, I. de F. F.; RODRIGUES, C. de S.; SILVA, E. N. da; SOUZA, C. de F. *Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.13, n.3, p.353-357, 2009.

QUELHAS, O. L. G.; ALLEDI FILHO, C.; MEIRIÑO, M. *Introdução à Engenharia de Produção.* Rio de Janeiro: Elsevier: 2008.

ROTH, C. G.; GARCIAS, C. M. *Construção Civil e a degradação ambiental.* Desenvolvimento em Questão, v. 13, p.111-128, 2009.

SALES, A.; LIMA, S. A. *Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sandreplacement,* Waste Management, V. 30, p.1114-1122, 2010.

SOUZA, M. R.; SILVA, R. J. *A geração de resíduos industriais e sua deposição final.* In: ENCONTRO BRASILEIRO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 17, Gramado/RS: 1997. Anais... Gramado/RS: ABEPRO, 1997.

VASKE, N. R. *Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumotubular como adição ao concreto.* 2012. 325 f. Tese – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Porto Alegre, 2012.

VOTORANTIM. *Laudo técnico CP II Z – 32.* Rio Branco do Sul, 2014.



VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
Ponta Grossa, PR, Brasil, 30 de Novembro a 02 de Dezembro de 2016