



V SINGEP

Simposio Internacional de Gestao de Projetos, Inovacao e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317 - 8302

Inovacao sustentavel: Uso de cinzas pesadas de carvao mineral provenientes de usinas termelétricas na obtencao de novos materiais

HERNANI TABARELLI MATIAS

UNINOVE – Universidade Nove de Julho
hernanitabarelli@hotmail.com

CLAUDIA TEREZINHA KNISS

UNINOVE – Universidade Nove de Julho
kniesscl@yahoo.com.br

MAURO SILVA RUIZ

UNINOVE – Universidade Nove de Julho
maurosilvaruiz@gmail.com



V SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade

International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2517 - 8302

INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL: USO DE CINZAS PESADAS DE CARVÃO MINERAL PROVENIENTES DE USINAS TERMELÉTRICAS NA OBTENÇÃO DE NOVOS MATERIAIS

Resumo

Este relato objetiva estudar a aplicação de um subproduto industrial, no caso a cinza pesada de carvão mineral nacional após sua combustão em usina termelétrica, na produção de materiais cerâmicos, uma inovação sustentável. Este é um estudo de caso único em que as propriedades da cinza pesada do carvão mineral foram caracterizadas por fluorescência de raios X e difração de raios X para determinar a composição química e mineralógica do material bem como as fases cristalinas. Foram moldados corpos de prova com a cinza e um corpo de prova com mistura padrão e foram sinterizados para comparar as propriedades de densidade aparente, resistência mecânica à flexão e absorção de água. Pode-se concluir que esta inovação sustentável proporcionou benefícios ao material cerâmico quando comparado com o material padrão sem a adição da cinza pesada.

Palavras-chave: Inovação sustentável, Cinza pesada, Carvão mineral, Subproduto, Cerâmica.

Abstract

This report aims to study the application of an industrial by-product, the coal bottom ash after combustion in thermal power plant, in production of ceramic materials, a sustainable innovation. This is a unique case study in which the properties of the coal bottom ash were characterized by X-ray fluorescence and X-ray diffraction to determine the chemical and mineralogical composition of the material as well as crystalline phases. Specimens were molded with the bottom ash and a specimen was molded with standard mixture; in both cases these specimens were sintered to compare the properties such as apparent density, flexural strength and water absorption. It can be concluded that this sustainable innovation provided benefits to the ceramic material when compared with the standard material without the addition of coal bottom ash.

Keywords: Sustainable innovation, bottom ash, Coal, Byproduct, Ceramics.



1 Introdução

O carvão mineral tem participação na matriz energética e elétrica nacional, mesmo sendo a matriz com maior participação de fontes renováveis de energia primária no mundo, conforme o Balanço Energético Nacional [BEM] de 2016 (Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2016, p. 13), a participação do carvão mineral relativa às outras fontes de energia em 2015 foi de 5,9% , na matriz energética e na matriz elétrica foi de 4,5% (19.069 GWh) ante 4,3% (18.385 GWh) em 2014.

Na matriz energética mundial, a participação do carvão mineral em 2014 foi de 29% e na matriz elétrica mundial foi de 39,2% (Ministério de Minas e Energia, 2015, p. 20 e 21).

O carvão mineral nacional utilizado na produção da energia elétrica é considerado como sub-betuminoso de baixo poder calorífico e por sua característica e composição mineralógica, resulta em cerca de 50% de sua massa em cinzas após a combustão. As cinzas resultantes são divididas em leves e pesadas que promovem a poluição do meio ambiente. As cinzas pesadas são depositadas em bacias de sedimentação, resultando na poluição do ambiente, como a contaminação do solo e águas subterrâneas por lixiviação e depois de sedimentadas são removidas para depósitos a céu aberto (Kniess, 2005, p. 19; Ravazzoli, 2013, p. 180). As cinzas leves, conforme a autora cita, são transportadas pneumáticamente para armazenamento, onde fica estocada para utilização, uma das aplicações para esta parcela da cinza leve é a indústria cimenteira. Conforme verificou Kniess (2005, p. 21 e 23) as cinzas pesadas têmem sua composição, uma quantidade de quartzo e alumina, adequada para a aplicação em substituição total ou parcial de matérias primas convencionais em materiais vítreos e cerâmicos. Além disso, por ser um subproduto, conduz a um menor consumo de matérias primas em comparação com outras (Lucas & Benatti, 2008, p. 409).

O Brasil tem em operação 2.916 usinas termelétricas [UTES] em operação atualmente com potência fiscalizada de 40.643.497KW, sendo que 13 delas são movidas a carvão mineral com potência fiscalizada de 3.389.465KW e estão distribuídas nas regiões sul, nordeste e norte do país com respectivamente 8, 4 e 1 usinas (ANEEL, 2016a).

Em construção há 25 UTE sendo 1 a carvão mineral com potência outorgada de 340.000KW na região sul (ANEEL, 2016b) e mais 3 UTEs com construção ainda não iniciada na mesma região, com capacidade outorgada de 795.500KW (ANEEL, 2016c).

Conforme o plano decenal de expansão de energia 2024 – PDE 2024 (MME & EPE, 2015, p. 400) as UTEs têm vantagem locacional comparada às outras, se levado em consideração o seu tamanho reduzido e condicionadas à facilidade no transporte de seu combustível, como a presença de gasodutos, produção de biomassa, jazidas e reservas. Todos esses condicionantes agregados mostram que é possível instalá-las próximas aos centros de carga fazendo com que não haja tanta perda em linhas de transmissão longas.

Ainda analisando-se o documento supracitado está planejado o aumento da participação de UTE a carvão mineral na matriz elétrica até 2024, fazendo com que a capacidade instalada passe de 3,064 MW para 3.404MW. Dessa forma, é de se esperar também, que os impactos ambientais causados por essa fonte energética aumente, já que a maior parte dessas usinas estão localizadas na região sul do país.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é descrever como as cinzas pesadas de carvão mineral, resultantes do processo de combustão em uma usina termelétrica brasileira, podem ser utilizadas na obtenção de produtos cerâmicos de revestimento.

Na primeira parte do estudo se faz uma breve contextualização do cenário energético e elétrico em nível nacional e mundial seguida da participação do carvão mineral. Na sequência, se faz uma breve descrição de inovação sustentável. No item metodologia explicita-se como esse estudo de caso foi realizado e como os dados foram obtidos. Por fim na seção resultados descreve-se os resultados obtidos para, em seguida, concluir o estudo.



2 Referencial Teórico

2.1 Matriz Energética Nacional

No Brasil a matriz energética é composta de 41,2% de fontes renováveis de energia sendo biomassa de cana (16,9%), hidráulica (11,3%), lenha e carvão vegetal (8,2%), lixo e outras renováveis (4,7%) o restante não renovável como petróleo (37,3%), gás natural (13,7%), carvão mineral (5,9%), urânio (1,3%) e outras não renováveis (0,6%), enquanto que no mundo a participação de fontes renováveis chega a apenas 13,5% conforme o BEN 2016. A Resenha Energética 2014 aponta que nos últimos 40 anos houve uma tendência à diminuição da participação do petróleo e da hidráulica em comparação com as outras fontes (MME, 2015).

A matriz elétrica brasileira em 2015 apresenta maior participação relativa das fontes renováveis sendo 75,5% ante 21,2% no mundo. A matriz elétrica brasileira é composta da seguinte forma: hidráulica (64,0%), biomassa (8,0%), gás natural (12,9%), petróleo e derivados (4,8%), carvão mineral (4,5%), eólica (3,5%), nuclear (2,4%), e solar fotovoltaica (0,1%). Uma observação pertinente às fontes solar e fotovoltaica e eólica é que em 2014 participavam com 0% e 2% e apresentaram maior participação em 2015, assim como o carvão mineral, que passou de 4,3% para 4,5% (MME & EPE, 2016).

Variáveis de desempenho econômico e indicadores demográficos interferem diretamente no planejamento e produção de energia do país, bem como o desempenho setorial de indústrias intensivas no consumo de energia, as energointensivas. Deste modo é de fundamental importância que o setor energético esteja alinhado às políticas de desenvolvimento do país garantindo assim a segurança no fornecimento energético (MME & EPE, 2015, p. 18).

Na matriz elétrica brasileira, se pretende manter a participação majoritária das fontes energéticas renováveis, porém com participação e expansão de usinas termelétricas, visando manter a segurança da carga disponível na rede quando estas forem viáveis conforme a disponibilidade do combustível, seja gás natural, óleo combustível ou carvão mineral conforme o MME, EPE (2015, p. 14).

2.2 Participação do Carvão Mineral na Matriz Energética

Martins & Freitas (2015, p. 5) afirmam que as usinas termelétricas têm a qualidade de não sofrer com as variáveis climáticas e retorno do investimento rápido, porém como desvantagem, tem a poluição gerada pelo uso de combustíveis fósseis. Nadruz & Gallardo (2015, p. 2) reiteram que as atividades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica provocam interferências ambientais e socioeconômicas ao meio onde estão inseridas.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2014 (MME & EPE, 2015, p. 95) projeta para 2024 que a produção de energia elétrica por meio de usinas termelétricas a carvão seja de 3.404MW ante 3.064MW em 2014, dessa forma aumentando também a quantidade de resíduos e subprodutos oriundos da queima do combustível que precisam ser destinados e tratados de forma adequada.

O mesmo documento também alerta para as interferências causadas ao meio onde serão instalados esses empreendimentos, na qualidade do ar, recursos hídricos entre outros. No caso das UTEs, em especial das movidas a carvão mineral, merecem destaque as emissões atmosféricas e os resíduos da queima do combustível. No caso do carvão, em que cerca de 50% deste minério se transforma em cinzas no processo de combustão (Kniess, 2005, p. 21), esta é uma questão importante a ser tratada tendo em perspectiva a mitigação ou minimização dos impactos.



A maior parte das cinzas oriundas da combustão do carvão mineral é leve e é capturada por precipitadores eletrostáticos, armazenadas e destinadas a produção de cimento entre outras aplicações. As cinzas pesadas são removidas e transportadas para bacias de sedimentação e, depois de sedimentadas, são recolhidas e armazenadas a céu aberto causando danos ao meio ambiente (Kniess, 2005, p. 18 e 19).

2.3 Inovação Sustentável

Segundo Barbieri, Vasconcelos, Andreassi, & Vasconcelos (2010), inovação sustentável, apesar de controversas acerca dos conceitos de desenvolvimento e sustentabilidade, trata-se de algo que ajude a atingir um desenvolvimento sustentável, sendo que esses valores quando institucionalizados se tornam exemplos a serem seguidos em determinado setor.

Martens, Kniess, Carvalho, & Martens (2013, p. 3) sintetizam que inovação é algo novo ou inovador em processos, práticas e tecnologia que agregue valor, como ideias que tragam novidades e inovação sustentável, quando esta suporta as dimensões sociais, ambiental e econômica. Sendo assim, uma empresa inovadora e sustentável é aquela que desenvolve novas ideias, técnicas e tecnologias, promovendo o equilíbrio das três dimensões da sustentabilidade, que conforme Barbieri, Vasconcelos, Andreassi, & Vasconcelos (2010, p. 150), é algo complexo.

A inovação também pode ser incremental ou radical dependendo da forma como são implementadas, se de forma gradual ou em complementaridade de algo já existente ou quando divergem muito do padrão existente (Mussi & Canuto, 2012, p. 36).

Devido o grande volume de produção e possibilidade de uso em grande escala de resíduos industriais, a indústria cerâmica tem destaque nesse tipo de aplicação e inovação agregando vantagens ao material produzido e economizando recursos naturais não renováveis e a energia dispendida para sua extração (Lucas & Benatti, 2008, p. 410).

Casagrande et al. (2008, p. 35) reitera que os resíduos industriais aplicados em desenvolvimento e produção de artefatos cerâmicos, de forma indireta, tem atuação importante para a redução do consumo de energia e matérias primas, reduzindo também o custo por tonelada de material produzido pelo setor ceramista.

Este relato trata da aplicação de um subproduto, no caso, a cinza pesada de carvão mineral proveniente de UTE a carvão mineral na região sul do país, na fabricação de material cerâmico em substituição de uma de suas matérias primas.

Metodologia

Este relato é um estudo de caso único por ser uma técnica de análise mais abrangente de uma situação que é tecnicamente única com mais variáveis que pontos de dados, mas que lança mão de múltiplas fontes de evidência que convergem para um tema em questão (Yin, 2010, p. 32),

O caso estudado é a utilização de cinzas pesadas do carvão mineral nacional, oriunda de sua combustão para a geração de energia elétrica em termelétrica, na região sul do país.

As cinzas pesadas utilizadas foram caracterizadas por meio de fluorescência de raio X, que consiste na excitação de todos os elementos de uma amostra por meio de um feixe policromático de raios X, e por difração de raios X para identificação das fases mineralógicas do material (Kniess, 2005, p. 78 e 80).

Os materiais cerâmicos foram desenvolvidos com a utilização da cinza pesada de carvão mineral e dois diferentes tipos de argilominerais utilizados em indústria cerâmica de revestimentos que utiliza processo de moagem a seco e processo de monoqueima.



Foram formulados 10 corpos de prova nas seguintes proporções: 23% a 47% da argila 1; 41% a 65% da argila 2 e 12% a 36% de cinza pesada. Também foi formulado um corpo de prova com a composição padrão indústria.

As misturas foram realizadas por moagem a seco, sendo a cinza adicionada nesta mesma etapa em função de suas características granulométricas e na sequência foram umedecidas a 6,5% (+0,50) de água e prensadas. Para cada mistura foi moldado um corpo de prova e sinterizado a 1150°C. A mistura padrão, sem adição de cinza pesada, foi processada segundo os mesmos procedimentos como elemento para comparação (Kniess, 2005).

Os corpos de prova já sinterizados foram caracterizados por meio de ensaios físicos de retração linear, absorção de água, densidade aparente e resistência mecânica conforme a norma ABNT 13818 – Placas para revestimento cerâmico e a norma ISO 10545-3 para determinação da densidade aparente (Kniess, 2005, p. 87)

Resultados Obtidos e Análise

A caracterização da cinza pesada resultou na determinação dos seguintes componentes: Ba, Pb, Cu, Cr e Ni em pequenas quantidades, sendo seus componentes majoritários SiO₂, Al₂O₃ (cerca de 80%) e FeO₃ e outras impurezas, baixas concentrações de metais alcalinos e, em alguns casos pode haver a presença de carvão não queimado. Dessa forma a cinza pesada tem características úteis como fonte de aluminossilicatos de baixo custo demonstrando assim sua vocação para aplicação em materiais cerâmicos (Kniess, 2005, p. 99–101).

A composição mineralógica da cinza pesada apresenta presença de fases cristalinas de quartzo, mulita, magnetita e hematita com os seguinte percentuais respectivamente 34,94%, 64,22%, 0,38% e 0,46% (Kniess, 2005, p. 102–106).

Em todas as misturas onde a cinza pesada foi adicionada, há incremento na resistência mecânica à flexão a seco, comparada com a amostra industrial padrão, assim como na diminuição das densidades aparentes. Conforme observa Kniess (2005, p. 125) a argila 1 e a cinza pesada interferem na diminuição da densidade aparente seca da cerâmica, mas adições de até 40% de cinza não interferem nessa propriedade do material enquanto que a argila proporciona o aumento de tal propriedade nas misturas em comparação com a mistura industrial.

Segundo Kniess (2005, p. 134 e 135) a argila 1 proporciona aumento da resistência mecânica à flexão a seco e o uso de cinza pesada até 40% influencia negativamente nessa propriedade do material, apenas traz benefícios em percentuais acima de 50%.

Observa-se também que após a sinterização das cerâmicas secas, as adições em proporções de argila 1, argila 2 e cinza pesada contribuíram para o ganho de resistência mecânica a flexão, redução da absorção de água e aumento da densidade aparente observou-se valores entre 2,53g/cm³ a 2,80 g/cm³ nos corpos de prova moldados com o subproduto de carvão mineral quando que no material com a mistura padrão foi 2,47g/cm³ (Kniess, 2005, p. 137).

Quanto à resistência mecânica à flexão, os materiais com adição de cinza pesada obtiveram valores entre 27,77MPa a 47,21MPa e a mistura padrão obteve 15,34MPa. Quanto a absorção, os valores variaram entre 3,10% a 7,05% e na mistura padrão 8,34%, segundo Kniess (2005, p. 137) houve significativo aumento da retração linear comparado a mistura industrial padrão (3,73%), isto deve-se ao auto percentual de óxido de ferro na argila 2 e na cinza pesada que age como material fundente, mas que a adição da cinza pesada contribui para a diminuição da temperatura de fusão da fase líquida dos materiais, os valores obtidos de retração linear foram 6,65% a 9,93%.



Conforme Barbieri, Vasconcelos, Andreassi, & Vasconcelos (2010, p. 150) uma inovação sustentável, não trata apenas de uma mudança no modo de operação de uma organização ou sistema e sim em bases sistemáticas, técnicas e sociais que proporcionem resultados alinhados ao conceito da sustentabilidade. Sendo assim a aplicação da cinza pesada do carvão mineral nacional sendo utilizada na fabricação de material cerâmico pode ser considerado com tal.

Conclusões

O estudo para aproveitamento de resíduos e subprodutos industriais em outros produtos deve ser feito de forma muito criteriosa, pois deve ser considerada e correlacionada as interações entre as diferentes matérias primas, bem como a relação de cada matéria prima e as propriedades específicas do produto final.

No caso de materiais cerâmicos, cuja composição varia conforme a natureza e origem de suas matérias primas, propor novas misturas mostra-se uma tarefa audaz e meticulosa.

A adição da cinza pesada proveniente da queima do carvão mineral em materiais cerâmicos, mostrou-se tecnicamente viável ao analisar que as propriedades físicas da cerâmica, produzida com a adição do subproduto industrial em substituição a um de seus constituintes, obteve melhor desempenho quando comparada com o material de mistura padrão. Há de se observar separadamente a propriedade de retração linear da peça sinterizada, que foi sensivelmente maior do que a mistura padrão, isso se deve a composição mineralógica do subproduto industrial e de uma das matérias primas combinada a elevada temperatura de fusão aplicada no estudo.

Em contrapartida a retração linear elevada, demonstra que a peça final, com a adição da cinza, tem menos poros e capilares, tornando a absorção de água e a densidade menor, bem como a resistência à flexão maior.

Outros benefícios associados à aplicação da cinza pesada é a redução do resíduo que é encaminhado à disposição final em aterros e diminuição do impacto socioambiental causado pela exploração do carvão mineral na região. Dessa forma, pode ser entendido também como um processo de inovação sustentável, pois consegue englobar as três perspectivas do desenvolvimento sustentável (ambiental, econômico e social).

Com a substituição de uma das matérias primas da cerâmica (que constituem o material industrial de referência) por cinza pesada de carvão mineral, não há a necessidade de exploração de sua jazida, ou há sensível redução da necessidade de tal atividade, sendo assim os impactos sociais e ambientais também serão minimizados.

Outro aspecto que deve ser considerado é a possível redução do custo final do material cerâmico, pois se elimina uma das etapas da cadeia produtiva do material, ou seja, a mineração de uma das matérias primas, bem como os custos ambientais e sociais relacionados. Também para a geradora de energia por meio da combustão do carvão mineral há benefícios ambientais, sociais e econômicos, pois a cinza pesada passa a ser comprada e utilizada pelas indústrias cerâmicas, reduzindo a quantidade de resíduos a serem destinados a aterros assim como seu monitoramento.



Referências

- ANEEL. (2016a, setembro 4). BIG - Banco de Informações de Geração. Recuperado 4 de setembro de 2016, de <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=2&fase=1>
- ANEEL. (2016b, setembro 4). BIG - Banco de Informações de Geração. Recuperado 4 de setembro de 2016, de <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=2&fase=3>
- ANEEL. (2016c, setembro 4). BIG - Banco de Informações de Geração. Recuperado 4 de setembro de 2016, de <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
- Barbieri, J. C., Vasconcelos, I. F. G. de, Andreassi, T., & Vasconcelos, F. C. de. (2010). Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *Revista de administração de empresas*, 50(2), 146–154.
- Casagrande, M. C., Sartor, M. N., Gomes, V., Della, V. P., Hotza, D., & Oliveira, A. de. (2008). Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. *Cerâmica Industrial*, 13(1/2), 34–42.
- Kniess, C. T. (2005). *Desenvolvimento e caracterização de materiais cerâmicos com adição de cinzas pesadas de carvão mineral*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Recuperado de <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102317>
- Lucas, D., & Benatti, C. T. (2008). Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 1(3), 405–418.
- Martens, M. L., Kniess, C. T., Carvalho, M. M. de, & Martens, C. D. P. (2013). Avaliação de inovação sustentável em desenvolvimento de produtos. *Encontro nacional de engenharia de produção*, (XXXIII), 13.
- Martins, J. C. V., & Freitas, S. N. L. de. (2015). Aspectos Socioambientais de uma Usina Termelétrica no Rio Grande do Norte. *Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade*, (IV).
- Ministério de Minas e Energia. (2015). *Resenha Energética Brasileira*. Brasil: MME.
- Ministério de Minas e Energia, & Empresa de Pesquisa Energética. (2015). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024* (p. 467). Brasília: Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisas Energéticas.
- Ministério de Minas e Energia, & Empresa de Pesquisa Energética. (2016). *Balanço Energético Nacional 2016 - Relatório Síntese*. (p. 62). Brasília: Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisas Energéticas.
- Mussi, F. B., & Canuto, K. C. (2012). Percepção dos atributos de uma inovação por parte dos profissionais de operação e manutenção de uma usina termelétrica: um estudo de caso de transferência de tecnologia com foco nos usuários finais. *Revista de Gestão e Projetos*, 3(3). <http://doi.org/10.5585/gep.v3i3.59>
- Nadruz, V. do N., & Gallardo, A. L. C. F. (2015). Implantação da Avaliação de Desempenho Ambiental em Obras de Linhas de Transmissão. *Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade*, (IV).
- Ravazzoli, C. (2013). A problemática ambiental do carvão em Santa Catarina: sua evolução até os termos de ajustamento de conduto vigente entre os anos de 2005 e 2010. *Revista Geografia em questão*, 6(1), 179–201.



V SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade

International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317 - 8302

Yin, R. K. (2010). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre (RS): Bookman.