

O CONCEITO DE ENERGIA EMBUTIDA NA VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS COMO CO-PRODUTO

Janiel Rodrigo Zaro¹ (janielrzaro@gmail.com), Carlos Alberto Mendes Moraes¹
(cmoraes@unisinis.br)

1 UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

RESUMO

Este trabalho estuda o conceito de energia embutida como parâmetro de análise na viabilidade da reutilização de resíduos como co-produtos. Três são as formas de quantificação da energia embutida dos materiais que se destacam: Análise de processos, entradas e saídas, análise híbrida. Dentre estas metodologias de quantificação de energia embutida, ou seja, a energia utilizada direta e indiretamente na produção 1kg de qualquer produto, destacam-se as parcelas de energias despendidas na extração, transporte e manufatura dos materiais. A análise destes métodos de quantificação apontou a necessidade de uma padronização sólida ainda inexistente sobre o tema. Comparou-se a energia embutida de dois produtos utilizados como materiais adsorventes: carvão ativado e cinza de casca de arroz. A cinza de casca de arroz, gerada em grande quantidade no Rio Grande do Sul, demonstra-se um resíduo com alto potencial adsorvente e baixa energia embutida, uma vez que os processos de segregação são mínimos ou desnecessários, apresentando-se viável economicamente. Já o carvão ativado, onde a principal fonte é o carvão mineral, possui alta energia embutida devido seus processos de produção e manufatura, implicando altos valores comerciais.

Palavras-chave: energia embutida, cinza de casca de arroz, carvão ativado.

THE CONCEPT OF EMBODIED ENERGY IN THE VALUATION OF INDUSTRIAL WASTE AS A CO-PRODUCT

ABSTRACT

This paper studies the concept of embodied energy as a parameter of analysis in the feasibility of reuse of waste materials as a co-product. Three are the embodied energy methods quantification: Process analysis, Input/output analysis and Hybrid energy analysis. Among these embodied energy quantification methodologies, which means the energy used directly and indirectly in the production of 1kg of any product, highlights the energy spent in extraction, transportation and manufacturing of the materials. The analysis of these quantification methods pointed to the need for a solid standardization that still does not exist on the subject. The embodied energy of two products used as adsorbent materials have been compared: activated carbon and rice husk ash. Rice husk ash, generated in large quantities in Rio Grande do Sul, shows a residue with high adsorbent potential and low embodied energy, once the processes of segregation are minimal or unnecessary, and are economically viable. Activated carbon, where the main source is coal, has high embodied energy due to its production and manufacturing processes implying high commercial values.

Keywords: embodied energy, rice husk ash, activated carbon.

1. INTRODUÇÃO

“A ideia de transformar resíduos em matéria prima tem produzido esforços no sentido de estudá-los e qualificá-los, já que o aproveitamento integral dos resíduos é uma necessidade cada vez maior na indústria moderna, principalmente pela crescente escassez de recursos naturais não renováveis e a necessidade de preservação e recuperação do meio ambiente” (SCHNEIDER, 2012).

A reciclagem de resíduos provenientes dos processos de produção mostra-se fundamental na conjuntura ambiental atual. Desta forma, prevenir, senão reduzir, senão for ainda suficiente, reutilizar ou reaproveitar os resíduos gerados na cadeia produtiva diminuem significativamente custos econômicos e também energéticos, uma vez que empregados corretamente substituirão diversos materiais com capacidades similares.

De acordo com Ashby et al. (2012, p. 518) energia embutida¹ (EE) é a energia que deverá ser empregada na criação de 1kg de qualquer material usável. GUTOWSKI et al. (2013) sugerem que a EE dos materiais está compreendida geralmente em dois processos (i) extração e (ii) refinamento, somando ainda ao montante quaisquer gastos energéticos de outros procedimentos necessários, como o transporte, energia de operação utilizada na produção do produto e seu transporte até o consumidor final. Ashby (2009, p. 72) alerta para o fato de ser difícil quantificar a energia empregada na reciclagem de resíduos, contudo, apesar do processo demandar energia, esta é certamente menor do que a energia empregada em um ciclo de produção inteiro de um material. Entretanto, uma análise cuidadosa pode demonstrar que o processo de reciclagem será inviável economicamente, ou seja, processos de segregação necessários para utilizar resíduos como co-produto possuem caráter demasiado oneroso. Atualmente a maioria dos estudos que envolvem o conceito de energia embutida estão voltados para o ramo da construção civil. Dixit et al. (2010), Zaini et al. (2016), Sposto & Paulsen (2014), Postay (2015), por exemplo, identificam os principais parâmetros na medição da EE no setor.

Considerando os processos de segregação e beneficiamento de resíduos, a viabilidade de sua utilização com determinado fim industrial deve ser quantificada energeticamente. Nesse contexto, o conceito de energia embutida mostra-se fundamental e emergente, sendo, portanto, caracterizado como o montante de energia despendida direta e indiretamente na produção de qualquer produto. A crescente quantidade de materiais contaminantes orgânicos e metais pesados, oriundos dos processos de produção, implica na necessidade de adsorventes. Vastamente utilizado como adsorvente, o carvão ativado possui grande capacidade de adsorção, e além disso, demonstra-se viável economicamente. (KIELING, 2009).

Em contrapartida o Rio Grande do Sul é atualmente o maior produtor de arroz do Brasil. Sendo a casca de arroz elemento relevante na constituição do grão, sua queima nos processos de parboilização do arroz, ou em termelétrica que produzem energia elétrica ou térmica, geram um alto volume de cinza de casca de arroz (CCA). Neste sentido, a CCA está sendo amplamente empregada como material adsorvente, apresentando-se módica economicamente e demonstrando possuir baixa energia embutida residual bem como capacidade de adsorção similar às do carvão ativado. Assim, medidas quantitativas de seu processo de segregação são relevantes de acordo com KIELING (2009), mas verifica-se que poucos estudos destas medidas são realizados.

Os estudos que abordam o conceito de energia embutida buscando métodos de sua quantificação e padronização, são em grande maioria voltados ao setor da construção civil. Isto pode ser justificado considerando que, segundo DIXIT 2012, o ramo da construção civil é atualmente responsável por consumir em torno de 40% dos recursos energéticos globais. Tal alíquota atingirá valor superior se forem consideradas as projeções de crescimento populacional e a proporcional demanda por moradias. MENZIES 2007 sugere que o ramo das construções é o maior contribuinte de gases de efeito estufa, representando cerca de 50% das emissões de dióxido de carbono. Ainda

¹ Pode ser encontrado também em parte da literatura sob a definição de energia incorporada.

de acordo com Menzies, a energia embutida pode representar cerca de 40 a 60% da energia utilizada em todo ciclo de vida de um material.

Objetiva-se então com este trabalho apresentar o parâmetro da energia embutida, e como exemplificação, analisou-se o caso de avaliação energética do uso da cinza da casca de arroz em comparação ao carvão ativado como material adsorvente.

2. METODOLOGIA

Embora seja recente, tem sido demonstrado que é um conceito importante na quantificação da energia, mas a EE não apresenta uma padronização quanto aos métodos de medição² (Ashby, 2009).

Diversas metodologias para calcular a energia embutida de um material estão sendo desenvolvidas, mas um problema que preocupa os pesquisadores e profissionais de áreas técnicas é a ausência de um protocolo internacional sobre o assunto. Na grande maioria dos casos as discrepâncias nos valores de energia embutida dos materiais são consequências de variações nos limites e escopos das análises (MENZIES 2007). Esta discrepância pode também estar associada com características locais, como matriz energética, tipos de processos e equipamentos utilizados.

Apesar disso três métodos são comumente utilizados na quantificação da energia embutida: Método de Entradas – Saídas; Análise de Processos e Análise Híbrida.

O método de análise de processos é o mais comumente utilizado. Leva em conta a energia empregada em cada processo de produção dos produtos, como extração, transporte, manufatura, uso, reciclagem e disposição final. Inicia-se a análise geralmente pelo produto final em direção retrógrada, ou seja, aos insumos utilizados. Somam-se então as energias empregadas em cada transformação até o limite inicial.

O método de entradas e saídas foi originalmente desenvolvido por Leontief como forma de demonstrar interações financeiras entre as indústrias de determinado país. Neste método, utilizam-se as bases de dados que reúnem as transações monetárias entre diversos setores da indústria. Tais transações são então convertidas em fluxos de energia, o que viabiliza a quantificação da energia embutida. Assim, uma demanda maior por determinado produto acarreta proporcionalmente um aumento da produção de insumos de sua produção.

O método da análise híbrida é uma junção dos dois métodos anteriores que visa a redução das incongruências apontadas.

3. USO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO ADSORBENTE: ESTUDO DE CASO

O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz no país. Responsável por praticar 71,4% da produção, a estimativa é que sejam colhidas 8,3 milhões de toneladas de semente em 2017 (LSPA, 2017). AMICK (1982) sugere que a casca de arroz representa um quinto do grão. Casca de arroz é principalmente utilizada como biomassa (MORAES et al. 2014) nos processos de secagem do arroz, sendo que 20% desta é convertida em cinza nos processos de combustão (REGO, 2001). Portanto, de acordo com as estimativas da produção arrozeira, e assumindo que aproximadamente 30% da casca seja utilizado para a secagem do arroz (FONTOURA, 2015, p. 16) serão produzidas cerca de 99,6 mil toneladas de CCA em 2017. Surge então a necessidade da destinação adequada deste resíduo. A disposição de CCA quando em aterros traz sérios riscos às águas superficiais e subterrâneas pelo seu conteúdo de metais pesados (KALAW et al. 2016). A CCA está sendo utilizada para diversos fins, como substrato em sistemas *wetland* (SCHMITT et al. 2016), fonte de sílica, silicatos (MORAES et al. 2014), construção civil, especificamente na substituição de cimento pela cinza (RIGON, 2015). Kieling (2016), Berwanger Filho (2014), e ZANOLETTI et al. (2017)

² Ashby (2009, p. 102) sugere que não existem equipamentos sofisticados para aferição de EE, e que a norma internacional padrão sobre gestão ambiental, ISO 14040, é vaga e difícil de ser aplicada.

utilizaram a CCA como material adsorvente de substâncias, obtendo resultados promissores quando comparados a resultados provenientes do carvão ativado, que é amplamente empregado comercialmente na limpeza de leitos poluídos e apresenta excelentes resultados em virtude do seu alto grau de porosidade e grande área superficial (ARENA et al. 2016).

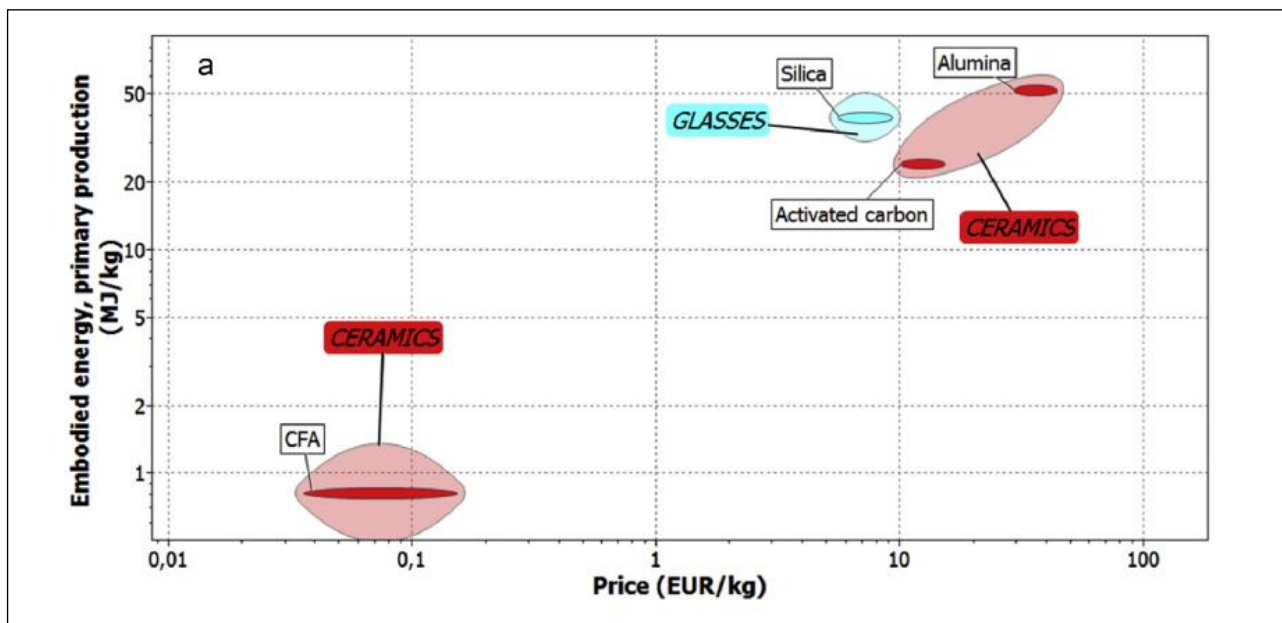
A adsorção é definida como uma operação unitária de transferência de massa, na qual soluções líquidas ou gasosas se concentram na superfície de certos sólidos (SANTOS, 2015). Assim, parte da massa da fase fluida (adsorbato) dispõe-se sobre a fase sólida (adsorvente), e dependendo das forças de ligação entre as moléculas das substâncias, o processo pode ser de adsorção química ou física (KIELING, 2016).

Ferreira (2013) afirma que a principal fonte de carvão ativado é o carvão mineral, onde aquele é carbonizado seguido de ativação com dióxido de carbono ou vapor d'água à temperatura elevada. O processo de ativação pode ser químico ou físico (BARBOSA, COUCEIRO, 2014). Caetano (2014) verificou que o carvão ativado utilizado como adsorvente em postos de combustíveis do RS possui custo elevado, o que pode acarretar na limitação de seu uso. Da mesma forma, Chaves et al. (2009) alerta que o custo dos carvões ativados comerciais é ainda um dos empecilhos do seu uso em larga escala industrial. Muranaka (2010) salienta que o carvão ativado se torna um resíduo altamente perigoso após a adsorção de compostos tóxicos, sendo a viabilidade econômica dos processos de adsorção diretamente relacionada à eficiência de regeneração e reciclagem deste. De acordo com o gráfico da figura 1, extraído do artigo de Zanoletti et al. (2017) são necessários em torno de 20 MJ/kg para a produção de carvão ativado sendo o custo por kg de aproximadamente 10 EUR.

Já em relação ao uso da CCA, KALAW (2016) considerou para o cálculo de sua EE, que seria utilizada como geopolímero, somente o transporte do resíduo até o local de utilização. Com o intuito de utilizar a CCA como material adsorvente, Chaves et al. (2009) utilizaram a CCA diretamente nos testes, não passando por nenhum tratamento químico nem térmico. Segundo Berwanger Filho (2014), o processo de segregação da CCA é responsável por aumentar a potencialidade de seu uso através da eliminação de frações maiores constituídas por material não queimado em consequência da combustão incompleta. A partir desta perspectiva, Kieling (2016; 2009) optou por segregar a CCA com a intenção de obter maior homogeneidade granulométrica³ da amostra. Kieling (2009) promove a segregação por meio de um agitador de peneiras durante 5min, onde ocorreu a contenção de frações superiores a 1,2mm, que totalizaram 3% de material indesejável para utilização em seus ensaios adsorventes. Considerando que tal proposta de segregação seja viável industrialmente, pode-se calcular o gasto energético da segregação por kg de CCA de acordo com as especificidades técnicas da peneira utilizada. Em resumo, corroboram as estimativas de que a energia embutida da CCA gira em torno de 0,5 MJ/kg se considerarmos as energias utilizadas no transporte da mesma e seu processo de segregação.

³ De acordo com Kieling (2016) o processo de adsorção, além de outros fatores, depende da granulometria do adsorvente. Assim, adsorventes com granulometrias menores apresentam capacidades superiores de remoção de contaminantes.

FIGURA 1: Gráfico relacionando energia embutida x custos.



FONTE: ZANOLETTI et al, 2017

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho aborda-se o conceito de energia embutida como parâmetro técnico, capaz de proporcionar uma clara visão da capacidade de reutilização de um resíduo sólido, especificamente a cinza da casca de arroz. A partir desta perspectiva de confrontar conhecimentos de diversos materiais promovendo escolhas adequadas ao fim sustentável, o estudo da energia embutida possibilita a evolução na gestão de recursos. Assim, neste trabalho a energia embutida é um parâmetro utilizado na seleção de dois materiais potencialmente adsorventes, eficientes no tratamento de águas poluídas.

Utilizando o método de análise de processos, onde considera-se as energias empregadas em cada parte de produção de determinado produto, observa-se que as energias diretas empregadas na otimização da CCA envolvem os processos de segregação (peneiramento, moagem). De forma indireta, podemos considerar a energia utilizado no transporte da CCA até o consumidor final, montante que dependerá do consumo energético do veículo de transporte do material. Já o carvão ativado, demanda energia embutida diretamente na extração e manufatura do carvão mineral, processos de carbonização e ativação do mesmo, bem como energia embutida indireta no transporte do produto até o consumidor.

Torna-se evidente que a energia embutida da cinza de casca de arroz é inferior à do carvão ativado, e, portanto, obtendo resultados satisfatórios na remoção de poluentes, deve ser fomentada sua utilização como adsorvente, levando ainda em conta sua alta produção no Rio Grande do Sul. Desta forma, propõe-se uma destinação eficiente final ao resíduo, o que reduz o consumo energético se considerarmos a diminuição do consumo de carvão ativado.

REFERÊNCIAS

ARENA, N.; LEE, J.; CLIFT, R. Life Cycle Assessment of activated carbon production from coconut shells. *Journal of Cleaner Production*. V. 125, p. 68-77, 2016.

ASHBY, M. F. *Materials and the Environment Eco-Informed Material Choice*. USA: Butterworth-Heinemann, 2009. 385 p.

ASHBY, M. F.; SHERCLIFF, H.; CEBON, D. *Materiais*. Rio de Janeiro: Elsevir, 2012. 650 p.

BERWANGER FILHO, J. A. Utilização da cinza de casca de arroz para remoção de hidrocarbonetos aromáticos em efluente petroquímico, através de um sistema de filtração com pressão positiva. São Leopoldo, 173 p., 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

CAETANO, M. O. Equipamento compacto para o tratamento de águas subterrâneas contaminadas por BTEX e TPH. Porto Alegre, 197 p., 2014. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CHAVES, T. F.; QUEIROZ, Z. F.; SOUSA, D. N. R.; GIRÃO, J. H. S.; RODRIGUES, E. A. Uso da cinza da casca do arroz (CCA) obtida da geração de energia térmica como adsorvente de Zn(II) em soluções aquosas. *Química Nova*, V. 32, n. 6, São Paulo, 2009.

DIXIT, M. K.; FERNANDEZ-SOLÍS, J. L.; LAVY, S.; CULP, C. Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, V. 42, n. 8, p. 1238-1247, 2010.

FONTOURA, L. P. Potencial econômico e aplicações da casca de arroz no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 48 p., 2015. Monografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GUTOWSKI T. G.; SAHNI S.; ALLWOOD, J. M.; ASHBY M. F.; WORRELL E. The energy required to produce materials: constraints on energy-intensity improvements, parameters of demand. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, V. 371, 1986, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2012.0003>

KALAW, M.E.; CULABA, A.; HINODE, H.; KURNIAWAN, W.; GALLARDO, S.; PROMENTILLA, M.A. Optimizing and Characterizing Geopolymers from Ternary Blend of Philippine Coal Fly Ash, Coal Bottom Ash and Rice Hull Ash. *Materials*, V. 9, n 7, 2016.

KIELING, A. G. Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente. São Leopoldo, 130 p., 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

KIELING, A. G. Adsorção de BTEX – BENZENO, TOLUENO, ETILBENZENO E XILENO – em cinza de casca de arroz e carvão ativado. Porto Alegre, 171 p., 2016. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MURANAKA, C. T.; Combinação de adsorção por carvão ativado com processo oxidativo avançado (POA) para tratamento de efluentes contendo fenol. São Paulo, p. 165, 2010

POSTAY, R. Correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de CO₂, em projetos de habitação de interesse social. São Leopoldo, p. 120, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Pozolanas e Material. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNISINOS, São Leopoldo, RS,

REGO, J. H. S. Viabilidade técnica da utilização da cinza de casca de arroz produzida sem controle da temperatura como adição de mineral ao cimento. Dissertação (Mestrado), UFG, 2001.

SANTOS, F. D. Avaliação do potencial de adsorventes de baixo custo para purificação de biodiesel etílico e estabelecimento das condições operacionais por metodologia de superfície resposta. Lorena, p. 104, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

SCHMITT, G. T.; MODOLO, R. C. E.; MORAES, C. A. M.; JOHANN, A. D. D.; NUNES, T. Uso de cinza de casca de arroz como constituinte da camada de substrato em sistema *wetland* para tratamento de efluentes. 7 Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre/RS, 2016.

SCHNEIDER, J. B. Solidificação/estabilização do adsorvente composto por cinza de casca de arroz e carvão ativado, contaminado com hidrocarbonetos de petróleo, em matriz de cimento Portland. São Leopoldo, 126 p., 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

SPOSTO, R. M.; PAULSEN, J. S. Energia incorporada em habitações de interesse social na fase de pré-uso: o caso do programa Minha Casa Minha Vida no Brasil. Oculum Ensaios, V. 11, n. 1, p. 39-50, 2014.

ZAINI, N.; IBRAHIM, H.; BAHARUN, A.; NAWI, M. N. M. Review of Embodied Energy (EM) Analysis of Industrialised Building System (IBS). Journal of Materials and Environmental Science. V. 7, n.4, p. 1357-1365, 2016.

ZANOLETTI, A.; FEDERICI, S.; BORGESE, L.; BERGESE, P.; FERRONI, M.; DEPERO, L. E.; BONTEMPI, E.; Embodied energy as key parameter for sustainable materials selection: The case of reusing coal fly ash for removing anionic surfactants. Journal of Cleaner Production, V. 141, p. 230 – 236, 2017.