DOSSIÊ

CONSTRUÇÃO DE UMA MOLÉCULA ÚNICA QUE REPRESENTE O RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO (RSO) E ESTIMATIVA DO PODER CALORÍFICO INFERIOR

CONSTRUCTION OF A SINGLE MOLECULE THAT REPRESENTS THE ORGANIC SOLID WASTE (OSW) AND ESTIMATION OF LOWER CALORIFIC POWER

Isadora Guilherme Branco[1]
Maria Theresa Bettin Boldarini[2]
Admilson Lopes Vieira[3]
Lisandra Ferreira de Lima[4]

Submissão: 05/08/2017 Aceite: 11/12/2017

Resumo: Com o desenvolvimento das cidades, o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos (RSO) tornou-se um desafio pois locais para a disposição do material estão saturados. Objetiva-se a formação de uma molécula única que represente os macronutrientes do RSO. O poder calorífico inferior do material foi calculado a partir da equação de Mendeliev com a finalidade de avaliar seu potencial energético. Concluiu-se que a molécula é válida e o PCI calculado encontra-se dentro da faixa de valores da literatura.
Palavras-chave: Poder Calorífico Inferior. Bioenergia. Biomassa.

Abstract: With the development of cities, organic solid waste management (RSO) has become a challenge because sites for the disposal of the material are satured. It is intended to form a single molecule that represents the macronutrients of RSO. The lower calorific value of the material was calculated from Mendeliev's equation in order to evaluate its energy potential. It was concluded that the molecule is valid and the calculated LCV is within the range of values in the literature.
Keywords: Lower Calorific Value. Bioenergy. Biomass.

[1] Mestranda pela Universidade Estadual de Londrina, branco.isadora@hotmail.com
[2] Mestre pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, mtbboldarini@gmail.com
[3] Professor doutor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, lopesvieira30@yahoo.com.br
[4] Professora doutora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, lisandralima2000@yahoo.com.brIntrodução

A sociedade contemporânea encontra-se em uma situação limite, onde o crescimento populacional, o consumismo, mudanças climáticas, degradação ambiental e desigualdades sociais são agravados pelo fato de vivermos em um planeta limitado em termos de espaço físico e recursos.

Com a consolidação do capitalismo e revolução industrial, os avanços tecnológicos, o acentuado crescimento populacional, o padrão de vida consumista da sociedade moderna e o estimulo ao consumo de bens cada vez menos duráveis, tornaram os resíduos sólidos (RS) um grande problema no âmbito mundial (Salsa, 2013).

A geração em excesso desses resíduos tornou-se preocupações constantes nos centros urbanos já que aproximadamente 70% do resíduo sólido gerado é composto por resíduo orgânico, material este que pode ser transformado em matéria prima para a produção de energia (Salsa, 2013).

Diariamente são coletados 125.281 toneladas de resíduos domiciliares e apenas 47,1% desse montante são destinado para aterros sanitários. Do restante, 22,3% vão para aterros que são ditos controlados, 30,5% para lixões e uma parcela insignificante é destinada para a reciclagem (Grimberg, 2004).

A disposição inadequada desses rejeitos gerados pela população aliado a falta de tratamento dos mesmos resulta na contaminação ambiental, fator esse que favorece não só a proliferação de vetores de doenças, mas também o desperdício material e energético que esses resíduos podem gerar, já que uma parte considerável material pode voltar para a sociedade na forma de lucro financeiro.

Diante desse contexto, o presente trabalho busca desenvolver uma molécula única e fictícia que represente o resíduo sólido orgânico, estimar o poder calorífico inferior (PCI) da amostra e analisar o resultado com base nas referências encontradas, para que em estudos posteriores consiga-se entender o potencial energético do resíduo sólido orgânico a fim de transforma-lo em uma

nova matriz energética mundial, podendo solucionar o problema da disposição final do mesmo e implementar um novo conceito de energia limpa.

Materiais e Métodos

Formação da Molécula de Resíduo Sólido Orgânico

Tendo em vista que os resíduos sólidos orgânicos são constituídos por resíduos orgânicos originados do preparo da alimentação humana e não existe uma padronização de sua composição química (Viana *et al*, 2006), adotou-se como composição química do resíduo os carboidratos, lipídeos e proteínas presentes nos alimentos. Os macronutrientes foram de fundamental importância para realizarmos o estudo energético da biomassa e para a formação da molécula única (fictícia) de resíduo sólido orgânico.

Segundo Fausto *et al* (2001), as refeições apresentam, em média, a seguinte composição proximal (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química centesimal da alimentação humana

Composição Química	Porcentagem (%)
Proteínas	4,74
Lipídeos	10,84
Carboidratos	24,32
Fibras	3,3
Cinzas	1,0
Umidade	55,8

Fonte: Fausto *et al*, 2001.

No entanto, cada um dos macronutrientes representa uma classe de compostos e não possui estrutura ou mesmo uma massa molar única. Para especificar a análise optou-se pelas moléculas nas proporções relacionadas na Tabela 2 para representar cada um desses grupos. Vale ressaltar que as proporções utilizadas para cada subgrupo foram estimadas e para o estudo das proteínas foram utilizados os principais aminoácidos que as compõe, já que não foi possível identificar as estruturas moleculares básicas das proteínas em função da grande variedade que as mesmas podem apresentar.

Tabela 2 - Subdivisões dos grupos utilizados no estudo e suas proporções.

Proteína	Lipídeos	Carboidratos
Valina – 20%	16:0 – 20%	Glicose – 90 %
Leucina – 20%	18:1 – 30%	Lactose – 10%
Treonina – 20%	18:2 – 50%	
Lisina – 20%		
Metionina – 20%		

Grupos funcionais encontrados nas moléculas dos subgrupos apresentados

1) Ácido graxo palmítico (16:0): É um dos ácidos graxos saturados mais comuns e pode ser encontrado em animais ou plantas em pequenas quantidades (Biomedicina, 2013).

Grupos	Quantidades
C	16
H	32
O	2
Massa Molecular (MM)	**256**

2) Ácido graxo oleico (18:1): É o principal ácido graxo das gorduras, sendo encontrado no amendoim, azeite de oliva, óleo de girassol, milho e algodão (Biomedicina, 2013).

Grupos	Quantidades
C	18
H	34
O	2
Massa Molecular (MM)	**282**

3) Ácido graxo linoleico (18:2): Muito importante para a dieta humana, já que o nosso organismo não é capaz de produzi-lo e é o precursor de outros ácidos graxos. Presente nos frutos do mar, óleos de canola/milho/girassol e sementes oleaginosas (RGNutri, 2015).

Grupos	Quantidades
C	18
H	34
O	2
Massa Molecular (MM)	**280**

4) Glicose: Alimentos como pão, batata e feijão são fontes de carboidrato e podem ser consideradas fontes de açúcar (Zanin, 2015).

Grupos	Quantidades
C	6
H	12
O	6
Massa Molecular (MM)	**180**

5) Lactose: É o açúcar presente no leite e seus derivados. (Zanin, 2015).

Grupos	Quantidades
C	12
H	22
O	11
Massa Molecular (MM)	**342**

6) Valina: Alimentos ricos em valina: carne, peixe, leite, iogurte, queijo e ovo (Zanin, 2014).

Grupos	Quantidades
C	5
H	11
O	2
N	1
Massa Molecular (MM)	**117**

7) Leucina: Pode ser obtida pela ingestão de feijão, ervilhas, castanhas e grãos (Zanin, 2015).

Grupos	Quantidades
C	6
H	13
O	2
N	1
Massa Molecular (MM)	**131**

8) Treonina: Aminoácido essencial, presente nos alimentos: grãos/cereais, cogumelos, legumes/verduras (ex: berinjela, beterraba, quiabo, brócolis, tomate e couve) (Zanin, 2014).

Grupos	Quantidades
C	4
H	9
O	3
N	1
Massa Molecular (MM)	**119**

4) Glicose: Alimentos como pão, batata e feijão são fontes de carboidrato e podem ser consideradas fontes de açúcar (Zanin, 2015).

Grupos	Quantidades
C	6
H	12
O	6
Massa Molecular (MM)	**180**

5) Lactose: É o açúcar presente no leite e seus derivados. (Zanin, 2015).

Grupos	Quantidades
C	12
H	22
O	11
Massa Molecular (MM)	**342**

6) Valina: Alimentos ricos em valina: carne, peixe, leite, iogurte, queijo e ovo (Zanin, 2014).

Grupos	Quantidades
C	5
H	11
O	2
N	1
Massa Molecular (MM)	**117**

7) Leucina: Pode ser obtida pela ingestão de feijão, ervilhas, castanhas e grãos (Zanin, 2015).

Grupos	Quantidades
C	6
H	13
O	2
N	1
Massa Molecular (MM)	**131**

8) Treonina: Aminoácido essencial, presente nos alimentos: grãos/cereais, cogumelos, legumes/verduras (ex: berinjela, beterraba, quiabo, brócolis, tomate e couve) (Zanin, 2014).

Grupos	Quantidades
C	4
H	9
O	3
N	1
Massa Molecular (MM)	**119**

9) Lisina: É um aminoácido essencial e altamente hidrofílico. Alimentos com lisina são carne de peru, leite desnatado, tremoço, gema de ovo, soja, carne de frango e galinha (Zanin, 2015).

Grupos	Quantidades
C	6
H	14
O	2
N	2
Massa Molecular (MM)	**146**

10) Metionina: É um aminoácido que compõe a proteína e pode ser encontrado em ovo desidratado, castanha do Pará, leite de vaca desnatado, queijos e oleaginosas (Zanin, 2014).

Grupos	Quantidades
C	5
H	11
O	2
N	1
S	1
Massa Molar (MM)	**149**

Estimativa do PCI

O poder calorífico inferior (PCI) da molécula fictícia de RSO foi calculado a partir da metodologia de Mendeliev (Zanatta, 2011) – Equação 1 - e, posteriormente, o valor foi comparado com os encontrados em trabalhos científicos e artigos acadêmicos.

$$PCI = 339 * C + 1030 * H – 109 * (O - S) – 24 * W \quad \textbf{(1)}$$

Resultados e discussão

Formação da molécula de resíduo orgânico

Considerando a composição elementar de lipídeos, proteínas e carboidratos apresentadas anteriormente, temos que as mesmas são compostas basicamente pelos seguintes elementos químicos: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e ainda, algumas moléculas apresentam nitrogênio (N) e enxofre (S) em sua composição molecular.

Para a realização desse estudo foi levado em consideração as porcentagens estabelecidas previamente para cada grupo

(proteína/lipídeos/carboidratos) e subgrupos, suas respectivas massas (kg), o número de mols (n) e a composição elementar.

A composição centesimal do RSO pode apresentar três bases distintas, sendo elas: 1) base seca - não leva em conta a umidade do material, 2) base úmida - considera a umidade ou 3) base combustível - faz uma análise elementar do composto estudado desconsiderando umidade, fibras e cinzas (Bizzo, 2012). No trabalho, foi utilizada como referência a base combustível, já que posteriormente verificou-se o poder energético da molécula.

Figura 1 - Bases energéticas e base de cálculo.

	Umida	Combustivel	Seca
Carboidrato	24,32%	60,95%	55,02%
Proteina	4,74%	11,88%	10,72%
Lipidios	10,84%	27,17%	24,52%
Umidade	55,80%		
Fibras	3,30%		7,47%
Cinzas	1,00%		2,26%
	100,00%	100,00%	100,00%

Base de cálculo	0,136326	kg per capita/dia
Base Combustível		
Carboidratos	0,083094	kg
Lipídeos	0,037037	kg
Proteina	0,016195	kg
	0,136326	kg per capita/dia

A base de cálculo utilizada no estudo levou em consideração a geração *per capita* de resíduo sólido orgânico de 0,34167 kg (Salsa, 2013) subtraindo os valores de umidade, fibras e cinzas.

Figura 2 - Bases energéticas e base de cálculo.

		Porcentagem de cada composto	Massa (kg)	n (MOL)	C	H	O	N	S
Glicose	180,16	0,9	0,07478473	0,415	6	12	6		
Lactose	342,3	0,1	0,008309414	0,024	12	22	11		
Linoleico	282,46	0,3	0,011111108	0,039	18	34	2		
Oleico	280,44	0,5	0,018518514	0,066	18	32	2		
Palmítico	256,42	0,2	0,003239032	0,013	16	32	2		
Valina	117,51	0,2	0,003239032	0,028	5	11	2	1	
Leucina	131,17	0,2	0,003239032	0,025	6	13	2	1	
Treonina	119,12	0,2	0,003239032	0,027	4	9	3	1	
Lisina	146,19	0,2	0,003239032	0,022	6	14	2	2	
Metionina	149,21	0,2	0,003239032	0,022	5	11	2	1	1
					6	11	3	0	0

Como as quantidades de nitrogênio e enxofre são muito inferiores quando comparadas aos outros elementos químicos, as mesmas foram desconsideradas. Vale salientar que o nitrogênio e enxofre foram desconsiderados pautados na resolução do CONAMA 316/2002 que prevê até uma emissão de até 280 mg/Nm³ de SOx e 560 mg/Nm³ de NOx em usinas de processamento térmico de resíduos sólidos orgânicos.

A partir das informações contidas na Figura (2) foi possível determinar a composição elementar da fórmula molecular mínima do resíduo sólido orgânico. Por fim a molécula de RSO ficou definida como: $C_6H_{11}O_3$.

Estimativa do PCI do composto formado

As literaturas listadas na Tabela 3 foram utilizadas para realizar a comparação entre o PCI encontrado pela metodologia de Mendeliev para a molécula de RSO e o poder calorífico inferior do resíduo sólido orgânico já publicado nas referências bibliográficas.

Tabela 3 – Referências sobre o valor do poder calorífico inferior (PCI) do resíduo sólido orgânico (RSO).

Referência	PCI (KJ/kg)
Norma Técnica (DEN 06/08, 2008)	5481,04
Elena Casian (Casian, 2013)	4650,00
Alexandre Maranho (Maranho, 2008)	3079,42

PCI Mendeliev (Zanatta, 2011)

Considerando a molécula de resíduo orgânico formada anteriormente que possui a fórmula molecular mínima $C_6H_{11}O_3$ e sabendo que sua massa molar é de 131 g/mol, temos as seguintes proporções de base úmida e base seca para o resíduo sólido orgânico (Tabela 4).

Tabela 4 – Fórmula percentual em base seca e úmida para o resíduo sólido orgânico.

Elemento Químico	Fórmula percentual em base seca (%)	Fórmula percentual em base úmida (%)
C	55	24,3
H	8,4	3,7
O	36,6	16,2
Umidade	0	55,8

Através dos dados apresentados na Tabela 4 e da Equação 1, foi calculado o PCI da molécula de resíduo orgânico conforme os cálculos a seguir:

$$PCI = 339 * (24,3) + 1030 * (3,7) – 109 * (16,2 – 0) – 24 * 55,8 \quad (2)$$

$$PCI = 8.943,7\ KJ/kg = 8,94\ MJ/kg \quad (3)$$

Objetivando verificar a dispersão estatística entre os dados encontrados na literatura e o valor de PCI calculado a partir da metodologia de Mendeliev, foi realizado o cálculo de desvio padrão tendo como base os valores de PCI para os resíduos sólidos orgânicos descritos na literatura e o PCI calculado para a molécula formada. Assim, encontrou-se que o valor médio do PCI é de 5,54 MJ/kg e o desvio padrão 2,61 MJ/kg quando comparado a média encontrada.

Conclusão

Diante dos resultados podemos afirmar que o valor de PCI calculado para a molécula a partir da metodologia de Mendeliev, juntamente com o desvio padrão determinado para o resíduo sólido orgânico, são aceitáveis quando comparados com os dados encontrados na literatura e também se confrontados com a faixa de variação do PCI de outras biomassas (como por exemplo a cana de açúcar, que apresenta uma variação do PCI entre 7,2 MJ/kg e 13 MJ/kg (Romão Júnior, 2009).

Vale lembrar que a composição química elementar do resíduo sólido orgânico e suas proporções são variáveis dependendo da amostra analisada, sendo este resíduo um material heterogêneo, o que justifica a variação do PCI em função da amostra analisada.

Com o presente estudo verificou-se o potencial energético dos resíduos sólidos orgânicos, sendo possível utilizá-los em sistemas de cogeração de energia, agregando valor ao resíduo, além de solucionar o problema de destinação final do material, uma vez que quando destinados aos aterros sanitários, ocupam grandes volumes e geram diversos impactos socioambientais.

Para posteriores estudos, propõe-se a utilização da molécula fictícia gerada para o resíduo sólido orgânico ($C_6H_{11}O_3$) em software de modelagem buscando otimizar os sistemas térmicos de combustão em função da biomassa residual utilizada.

Referências

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Norma Técnica DEN 06/08:** Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. 2008. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/20081208_1.pdf>. Acesso em: 11 maio 2016.

BIOMedicina. **Biomedicina Brasil**, 2013. Disponível em: <http://www.biomedicinabrasil.com>. Acesso em 01 de novembro de 2016.

BIZZO, W. A. **Geração, Distribuição e Utilização de Vapor. Capítulo 2 – Combustíveis**, Unicamp, 2012. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP2.pdf.>. Acesso em 04 de novembro de 2016.

CASIAN, E. **Recuperação de energia em processos de incineração de resíduos**. Dissertação (Mestrado) – Sistemas Energéticos. Universidade de Aveiro, 2013.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 316/02.** Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistema de tratamento térmico de resíduos. Brasília, 2002.

FAUSTO, M. A.; ANSALONI, J. A.; SILVA, M. E.; JÚNIOR, J. G.; DEHN, A. A.; CÉSAR, T. B. Determinação do perfil do usuário e da composição química nutricional da alimentação oferecida no restaurante universitário da Universidade Estadual Paulista, Araraquara, Brasil. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 14, n. 3, 2001.

GRIMBERG, E. A. **Política Nacional de Resíduos Sólidos:** A responsabilidade das empresas e a inclusão social, 2004.

MARANHO, A. S. **Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

RGNutri. **RG Nutri: Identidade em nutrição**, 2015. Disponível em: <www.rgnutri.com.br>. Acesso em 01 de novembro de 2016.

ROMÃO JÚNIOR, R. A. **Análise da viabilidade do aproveitamento da palha da cana de açúcar para a cogeração de energia numa usina sucroalcooleira.** 2009. Dissertação (Mestrado)- Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2009.

SALSA, N. S. **Caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares em diferentes formas de habitação**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

VIANA E.; SCHULZ, H. E.; ALBUQUERQUE, R.; NORONHA, A. B. Resíduos alimentares do lixo domiciliar: estudo do uso na alimentação de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 203 – 211, 2006.

ZANATTA, F. L. **Desenvolvimento e avaliação de um gaseificador de biomassa e estudo do potencial de produção de biogás com resíduos agrícolas e da avicultura**. Dissertação (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

ZANIN, T. (2014). Disponível em: <http://www.tuasaude.com/tatiana-zanin/>. Acesso em 01 de novembro de 2016.

ZANIN, T. (2015). Disponível em: <http://www.tuasaude.com/tatiana-zanin/>. Acesso em 01 de novembro de 2016.