

Potencial energético do resíduo alimentício de um restaurante – estudo de caso

Mazzonetto, Alexandre Witier
Oliveira, Jean Carlo Santos de
Lopes, João Paulo Vieira

Resumo

A crescente demanda energética, ocasionada pelo crescimento populacional e aumento da dependência energética pela sociedade, faz com que haja necessidade de novas fontes de energia. O aumento da população também incide no aumento de resíduos gerados. Diante deste cenário, um dos produtos que vem ganhando destaque no setor energético e ambiental é o biogás, proveniente da decomposição de materiais orgânicos, são transformados em um gás combustível. Além disso, há possibilidade de geração de outras formas de energia a partir de biomassas residuais. Neste trabalho foram coletados e caracterizados energeticamente os resíduos da churrascaria “Tchê”, em Piracicaba – SP, no bairro de Santa Terezinha. Com a caracterização energética (análise Imediata e Elementar, PCI & PCS) dos resíduos foram realizadas simulações do potencial energético por processos térmicos e pela geração de biogás utilizando-se as equações da Agência de Controle Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – US EPA) e IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change). Os resultados obtidos indicam que seria possível diminuir consideravelmente o consumo de GLP ou energia elétrica do restaurante, já que o resíduo gerado pode contribuir com energia - eletricidade e/ou biogás.

Palavras-chave: resíduo alimentício, potencial energético, processos térmicos, caracterização energética, energia.

Abstract

The growing energy demand, caused by population growth and increasing energy dependence on society, means that there is need for new sources of energy. The increase in population also affects the increase of waste generated. Given this scenario, one of the products that has been gaining prominence in the energy and environmental sector is the biogas, coming from the decomposition of organic materials, turning them into a combustible gas, as well as the possibility of generating energy from residual biomass. In this work the residues of the steak house "Tchê", in Piracicaba - SP, in the district of Santa Terezinha were collected and characterized energetically. With the energy characterization (Immediate and Elementary Analysis, Low Heating Value & Higher Heating Value) of the residues were realized simulations of the energy potential by thermal processes and the generation of biogas using the equations of the United States Environmental Protection Agency (United States Environmental Protection Agency – US EPA) and IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change). With the results obtained it would be possible to reduce considerably the consumption of LPG or electric energy of the restaurant, showing that the waste generated can contribute to the decrease of energy of the restaurant (LPG and / or electricity)

Keywords: waste, energy potential, thermal processes, energy characterization, energy.

Resumen

La creciente demanda energética, ocasionada por el crecimiento de la población y el aumento de la dependencia energética por la sociedad, hace necesario nuevas fuentes de energía. El aumento de la población también se centra en el aumento de los residuos generados. Ante este escenario, uno de los productos que viene ganando destaque en el sector energético y ambiental es el biogás, proveniente de la descomposición de materiales orgánicos, transformándolos en un gas combustibles, así como la posibilidad de generación de energía a partir de biomásas residuales. En este trabajo se recolectar y caracterizar energéticamente los residuos de la parrilla "Tchê", en Piracicaba - SP, en el barrio de Santa Terezinha. Con la caracterización energética (análisis Inmediata y Elementaria, PCI y PCS) de los residuos se realizaron simulaciones del potencial energético por procesos térmicos y por la generación de biogás utilizando las ecuaciones de la Agencia de Control Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – US EPA) e IPCC (Intergubernamental Panel Climate Change). Con los resultados obtenidos sería posible disminuir considerablemente el consumo de GLP o energía eléctrica del restaurante, mostrando que el residuo generado puede contribuir en la disminución de energía del restaurante (GLP y / o electricidad).

Palabras clave: el residuo alimentario, el potencial energético, los procesos térmicos, la caracterización energética, la energía.

INTRODUÇÃO

A sociedade é altamente dependente do petróleo e seus derivados, a sociedade tem pesquisado e implementado novas fontes de energias renováveis para suprir a demanda e substituir as fósseis. Essas energias ainda não suprem totalmente a utilização do petróleo.

Os biocombustíveis auxiliam na redução dos impactos ambientais, principalmente nas alterações climáticas, que ocorrem pela alta taxa de gás carbônico (CO₂) emitida na atmosfera pelos combustíveis fósseis.

A energia pode ser obtida de diversas maneiras, uma delas é a produção de biogás a partir de resíduos alimentícios, obtidos de indústrias, escolas, restaurantes, hospitais, entre outros, que geralmente os destinam para aterros sanitários. Esses resíduos podem servir de matéria-prima para a geração de uma energia renovável, a partir da degradação da matéria orgânica - por bactérias anaeróbicas ou por processos térmicos.

Todo o resíduo que seria descartado pode passar por um processo de transformação dentro de um biodigestor, produzindo o biogás (CH₄ + CO₂), gás combustível oriundo de uma digestão anaeróbica, ou o resíduo pode ser submetido a um processo térmico em reator ou caldeira para geração de gás de síntese (CO + H₂) ou energia térmica e/ou vapor. Sendo assim não somente há o aproveitamento da biomassa residual como também a geração de energia limpa e renovável, utilizada muitas vezes em fogões ou na geração de eletricidade.

Este estudo tem o propósito de caracterizar a biomassa residual, avaliar o potencial energético e de geração de biogás, fornecidos pela Churrascaria do “Tchê”, localizada em Santa Terezinha em Piracicaba- SP.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos por parte dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, na gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos (MACHADO, 2013a).

Resíduos sólidos

A palavra lixo normalmente é usada para se referir a algo para o qual não há mais utilidade. Na verdade, o lixo nada mais é do que um resíduo gerado a partir da atividade humana, porém hoje pode ser utilizado como uma fonte de energia renovável, através do seu reaproveitamento (MACHADO, 2013b).

O conceito de lixo está descrito na definição de resíduos sólidos, dada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 10004: 2004:

...resíduos 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 técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Há dois sistemas de aproveitamento energético dos resíduos sólidos. Um é através da reciclagem e o outro da biodigestão. A reciclagem é uma maneira de dar uma vida nova aos produtos (HENRIQUES, 2004). Já na biodigestão, os microrganismos decompõem a matéria orgânica, transformando-as tanto em biogás quanto em biofertilizante (MACHADO, 2013b).

Os componentes do substrato são responsáveis pela qualidade e quantidade de gás produzido (MASSOTTI, 2011).

A concentração de resíduos irá determinar o processo de tratamento a ser utilizado. No caso de digestores convencionais o ideal está na faixa entre 6 a 9% (CORTEZ, 2008). Sendo assim quanto maior for a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior será o potencial de geração de metano (PECORA, 2006).

Biomassa residual para produção de Biogás

A obtenção de energia a partir de biomassa envolve processos físicos e químicos ou de conversão bioquímica através da ação de microrganismos. O processo de biodigestão anaeróbia oferece o biogás, composto basicamente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), e por apresentar maior teor de metano em sua composição, pode ser aplicado como combustível, reduzindo o poder poluente dos resíduos (CORTEZ, 2008).

O biogás não compete com a produção de alimentos, afinal, ele pode ser inteiramente obtido de resíduos agrícolas, ou mesmo de excrementos animais e humanos, auxiliando no saneamento ambiental. O biogás pode ser produzido a partir do lixo urbano, como já se faz nos chamados “aterros sanitários” de quase todos os países desenvolvidos (BARREIRA, 2011).

A biomassa com maior eficiência na produção de biogás são os dejetos animais, por estarem carregados de bactérias presentes no intestino, auxiliando o processo de fermentação (BARREIRA, 2011). Na Tabela 1 apresenta alguns exemplos de dejetos animais e sua capacidade de produzir biogás.

Tabela 1. Produção de biogás através de diferentes dejetos

Dejetos	Produção diária	Produção de Biogás
Bovinos	15,0 Kg.animal ⁻¹	270 m ³ .ton ⁻¹
Suínos	2,25 Kg.animal ⁻¹	560 m ³ .ton ⁻¹
Equinos	10,0 Kg.animal ⁻¹	260 m ³ .ton ⁻¹
Ovinos	2,80 Kg.animal ⁻¹	250 m ³ .ton ⁻¹
Aves	0,18 Kg.animal ⁻¹	285 m ³ .ton ⁻¹

Fonte: Barreira (2011).

Processo de biodigestão anaeróbica

O processo de biodigestão anaeróbica é realizado a partir de resíduos advindos de outros processos, conhecido como biomassa. A obtenção de energia se dá pela degradação da matéria orgânica através da ação de diversos micro-organismos (CORTEZ, 2008).

Essa degradação transforma compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, dando origem principalmente ao metano e ao gás carbônico (MAGALHÃES, 1986). Esse processo ocorre por meio das seguintes fases ao longo da degradação:

Hidrólise: nessa fase ocorre a transformação de substâncias complexas em substâncias mais simples. Isto é, a matéria prima, antes insolúvel, passa por uma reação de conversão para se tornar solúvel (MAGALHÃES, 1986). Essa conversão é realizada por enzimas excretadas por bactérias hidrofílicas, sendo essa a etapa mais lenta do processo (SALOMON *et al*, 2012).

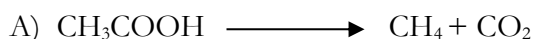
Acidogênese: nessa etapa as bactérias saprófitas se nutrem das substâncias mais simples, originando ácidos orgânicos simples e liberando CO₂ e H₂O;

Acetogênese: nessa fase os ácidos orgânicos simples são metabolizados por bactérias metanogênicas anaeróbicas;

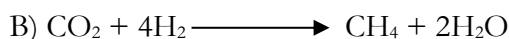
Metanogênese: nessa fase a degradação do substrato é concluída, dando origem ao metano (CH₄) e ao gás carbônico (CO₂). Além desses, outros produtos finais são formados, como Amônia (NH₃), sulfeto de hidrogênio (H₂S), monóxido de carbono (CO), oxigênio (O₂), nitrogênio (N₂) e hidrogênio (H₂) (MAGALHÃES, 1986).

De acordo com Machado (2013c) o biogás pode ser obtido a partir de duas reações diferentes:

1ª. - ocorre a geração do metano (CH₄) e do gás carbônico (CO₂) a partir do ácido acético (CH₃COOH), como mostra a reação A.



2ª. - o gás carbônico (CO₂) e o hidrogênio (H₂) dão origem ao metano (CH₄) e a água (H₂O), de acordo com a reação B.



Biogás

O biogás é produzido a partir da biodigestão anaeróbia, onde microrganismos realizam a decomposição da matéria orgânica, na ausência de oxigênio. O biogás possui alto poder calorífico, pois o metano (CH₄) é o principal constituinte da mistura gasosa (FARIA, 2012).

O biogás originado da digestão anaeróbica é considerado uma energia alternativa, tanto pelo reaproveitamento dos resíduos quanto pela redução dos impactos ambientais. Sua composição se baseia em uma mistura de gases, na qual metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂) se apresentam em maiores proporções. O potencial energético do biogás é obtido em função da proporção e concentração de metano, podendo variar de 40 a 75% dependendo da fonte geradora (SALOMON *et al*, 2012).

O poder calorífico do biogás depende do teor de metano e do grau de umidade, já que a digestão ocorre em meio úmido (NOGUEIRA, 1986).

O poder calorífico pode chegar a 60% do gás natural (SALOMON *et al*, 2012). Em termos de Kcal.m⁻³ para uma concentração entre 55% e 65% poder calorífico do biogás situa entre 5.000 e 6.000 kcal.m⁻³, de acordo com a Tabela 2 (ADMIN, 2013).

Tabela 2. Poder Calorífico Inferior (PCI) de diferentes gases

Gás	PCI (kcal.m ⁻³)	PCI (kJ.m ⁻³)
Metano	8.500,00	35.558,00
Propano	22.000,00	92.109,00
Butano	28.000,00	117.230,00
Gás natural	7.600,00	31.819,00
Biogás	5.500,00	23027,00

Fonte: Castanón (2002).

Algumas vantagens da utilização do biogás são: Energia renovável (ROYA *et al*, 2011); Gás combustível com grande eficiência energética, redução da concentração de metano na atmosfera, redução do descarte de resíduos, produção de biofertilizante de ótima qualidade, geração de economia no tratamento de esgoto, produção de eletricidade, através de motogeradores (CASTRO *et al*, 2003).

Pirólise

A pirólise é um processo físico-químico em que a biomassa é aquecida a temperaturas consideradas baixas. Geralmente o tipo de biomassa e os parâmetros do processo influenciam no resultado final. Tais parâmetros são: temperatura, tempo de residência, taxa de aquecimento, pressão, tipo de atmosfera e uso de catalisadores (CORTEZ *et al*, 2008).

Os gases obtidos na pirólise são combustíveis com poder calorífico inferior (PCI) entre 4 e 8 MJ/Nm³. Têm um alto conteúdo de metano, e frações de outros hidrocarbonetos. Esses gases podem ser usados para secagem de biomassa, aquecimento ou geração de energia mediante turbinas a gás (BRIDGWATER *et al*, 2001).

Gaseificação

Sánchez (2010) define gaseificação como a conversão de biomassa, ou de qualquer combustível sólido em um gás energético ou de síntese, através da oxidação parcial a temperaturas elevadas (700° C a 1000° C). Esta conversão pode ser realizada em vários tipos de reatores, tais como reatores de leito fixo e de leito fluidizado.

A gaseificação a plasma é um processo térmico, que utiliza temperaturas altas em um ambiente sem oxigênio, no qual o calor extremo decompõe o material de entrada do processo em moléculas simples, com base na sua estrutura molecular original (DODGE, 2009).

Combustão

Reações de combustão são reações químicas que envolvem a oxidação completa de um combustível. Os principais elementos químicos que constituem um combustível são: carbono, hidrogênio e, em alguns casos, enxofre. Esses elementos reagem com oxigênio e, apresentam liberação de calor (BIZZO & SÁNCHEZ, 2010).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletados resíduos do restaurante do Tchê, localizado no bairro Santa Terezinha, em Piracicaba/SP. O resíduo coletado teve sua umidade determinada assim que coletado. Foi submetido a caracterização pelas análises elementar e imediata, posteriormente submetido à bomba calorimétrica. A churrascaria consome uma média de 2087,88 kW.h por mês, a um valor médio de R\$ 1371,20.

Com a caracterização foi possível estimar o potencial energético por processos térmicos e pela produção de biogás, utilizando-se para isso as equações do IPCC (International Panel on Climate Change) e da Agência de Controle Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – USEPA).

Estimativas da produção de biogás

Para estimar a porcentagem de metano gerado pela degradação anaeróbica dos resíduos, utilizou-se uma equação (1) de acordo com alguns métodos do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2014).

$$E = \text{Popurb} * \text{taxa RSU} * \text{RSUf} * \text{FCM} * \text{COU} * \text{COUF} * F * 16/12 \quad (1)$$

Popurb = população urbana (média de clientes da churrascaria por dia);

Taxa RSU = taxa de geração de resíduos sólidos urbanos por habitante, por dia
[kg/dia.pessoa];

RSUf = fração de resíduos sólidos urbanos depositada em locais de disposição de
resíduos sólidos (%);

FCM= fator de correção de metano (% - fração adimensional);

COD = carbono orgânico degradável no resíduo sólido urbano (gC g⁻¹ RSU);

CODf = fração de COU que realmente degrada (%);

F = fração de CH₄ no gás de aterro;

16/12 = taxa de conversão de carbono em metano.

Como o IPCC, a Agência de Controle Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – USEPA) também desenvolveu uma equação (2) recomendada para a elaboração de inventários de produção de biogás, e esta é conhecida como equação de Inventário da USEPA (EPA, 2002).

$$Q = \text{População} \times \text{Taxa de RSD} \times \text{RSDf} \times 0,45 \times F \quad (2)$$

Sendo:

Q = metano gerado [m³/dia];

População = número de habitantes atendidos pelo aterro [habitantes];

Taxa RSD = taxa de geração de resíduos sólidos por habitante por dia [kg
RSD/habitante.dia];

RSDf = fração de resíduos sólidos coletados que é depositada nos LDRS [%];

0,45 = volume de biogás gerado por 1 kg de resíduo sólido [m³ biogás/kg RSD];

F = fração de metano no biogás [%].

Análise Imediata

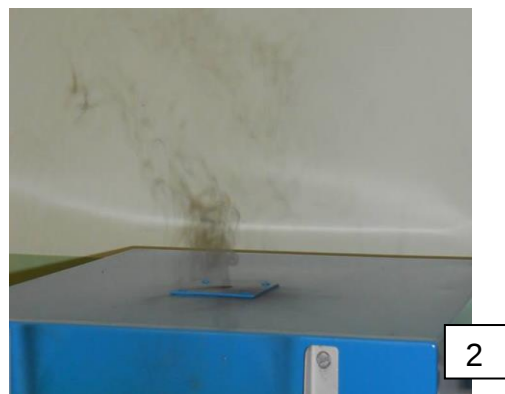
A amostra é submetida à análise imediata, a fim de obter resultados como umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas. Essa análise é baseada em normas e em métodos específicos da ASTM (American Society of Testing And Materials). A análise de umidade refere-se ao teor de água presente no resíduo. Os materiais voláteis representam a reatividade do gás

produzido. O carbono fixo é o material retido, após a volatilização, mas não são cinzas. As cinzas são compostas por óxidos metálicos, que não sofrem combustão. As Figuras 1 e 2 mostram etapas das análises imediatas.

Figura 1. Mufla regulada à 950°C



Figura 2. Queima incompleta de Voláteis



Análise de umidade

A análise foi realizada com base na umidade da amostra, e definiu-se uma temperatura estimada em 105°C, para realizar a secagem e prosseguir com as demais etapas.

Análise de materiais voláteis

De acordo com a norma ASTM D 872-82, a amostra seca é inserida num ambiente inerte (mufla), à uma temperatura de 950°C, por 6 minutos. Essa técnica indica a porcentagem de matérias gasosas contida na amostra no ponto de vaporização. Após a retirada da mufla, somente cinzas e carbono fixos permanecem da amostra.

Análise de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo é determinado pela diferença de 100% da amostra, pela soma dos teores de: umidade (%), cinzas (%) e materiais voláteis (%).

Análise de Cinzas

Após a realização da análise de materiais voláteis, a amostra permaneceu uma hora no dessecador, para estabilizar à temperatura ambiente. Em seguida realizou-se a pesagem para determinar a porcentagem de voláteis que foram liberadas no teste.

A mufla é regulada para 575°C e a amostra permanece por mais três horas. Logo após é submetida novamente ao dessecador e pesada para determinar a porcentagem de cinzas restantes nos cadinhos.

Análise Elementar

A análise elementar busca determinar a porcentagem de alguns elementos orgânicos tais como: carbono, hidrogênio e nitrogênio. Esses elementos reagem com oxigênio e liberam energia na forma de calor. Tudo baseado nas normas ASTM D-3. 176 e ASTM E777, E 775 e E 778.

Os resíduos da análise são considerados cinzas, porém sua concentração não é igual à determinada na análise imediata, devido aos possíveis erros que podem acontecer. Sobre tudo uma amostra que possui elevado teor de cinzas, possui também um elevado teor de resíduos (VISSOTTO *et al*, 2012; FIGUEIREDO, 2009).

Análise de poder calorífico

O poder calorífico é definido a partir da quantidade de energia liberada na combustão, baseados em alguns fatores físicos como temperatura e pressão. Nesse caso, segue-se a norma ASTM E711-87.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obter precisão nos resultados foram realizadas análises de Composição Imediata, Elementar e Poder Calorífico (Dulong e Mendeleev). A partir dessas análises foi possível realizar a caracterização do potencial energético dos resíduos produzidos na Churrascaria do “Tchê” e compará-los com demais trabalhos. A Tabela 4 apresenta valores encontrados nas análises com os resíduos pertencentes aos três béqueres.

Tabela 4. Média da Análise Imediata dos resíduos alimentícios

Amostras Massa [g]	Umidade amostras coletadas [%]	Umidade após secagem [%]	Carbono fixo [%]	Voláteis [%]	Cinzas [%]
Resíduo 1	73,51	3,65	14,66	81,07	4,27
Resíduo 2	71,22	4,75	12,64	82,45	3,68
Resíduo 3	60,06	3,23	8,00	86,72	5,28
Média	68,27	3,87	11,77	83,41	4,41

Fonte: Autores.

A Tabela 5 apresenta a comparação da média desses resíduos com os demais autores.

Tabela 5. Comparação dos valores obtidos pelas Análises Imediatas por Foltran (2015), Vissotto *et al* (2012), Jenkins (1990) e Mazzonetto *et al* (2012) de biomassas residuais

Análises Imediata	Resíduo Alimentício (média)	Res. Alim. Proces. Foltran (2015)	Pinus Vissotto <i>et al</i> (2012)	Eucalipto Vissotto <i>et al</i> (2012)	Bagaço Jenkins (1990)	Poda urbana Mazzonetto <i>et al</i> (2012)
Umidade [%]	68,26	64,14	8,62	26,28	50,00	60,30
Voláteis [%]	80,62	83,31	88,69	88,01	73,78	82,37
Carbono Fixo [%]	14,70	9,48	9,93	10,86	14,95	11,17
Cinzas [%]	4,68	7,2	0,38	1,13	11,27	6,46

Fonte: Adaptado de Foltran (2015), Vissotto *et al* (2012), Jenkins (1990) e Mazzonetto *et al* (2012).

A umidade precisa ser controlada, pois tanto a falta quanto o excesso de água no biodigestor pode interferir na produção de biogás (ADMIN, 2014). Para processos térmicos, quanto menor a umidade melhor, a umidade da média do Resíduo Alimentício apresentou valores elevados em relação as biomassas apresentadas pela Tabela 5.

Como apresentado pela Tabela 5, o carbono fixo da média do Resíduo Alimentício foi próximo ao do bagaço e superior aos das biomassas tradicionalmente utilizadas para fins energéticos, indicando que possui capacidade de geração de calor e permanência da chama.

Considerando-se a umidade inicial elevada, como a poda urbana, observa por esta análise características similares às biomassas residuais que comumente são usadas para fins energéticos.

A porcentagem de materiais voláteis apresentou valores próximos aos encontrados por Foltran (2015) e da poda de Mazzonetto *et al* (2012).

Segundo Vissotto *et al* (2012), as cinzas são resíduos da oxidação completa dos combustíveis sólidos, constituídos por minerais: óxido de alumínio (Al_2O_3); óxido férrico (Fe_2O_3); óxido de silício (SiO_2); óxido de potássio (K_2O); óxido de cálcio (CaO); óxido de magnésio (MgO), entre outros. A amostra da média de Resíduo Alimentício apresentou 4,68% de cinzas, o que é inferior as cinzas do bagaço e da poda urbana (Tab. 5), pois em excesso pode ocasionar problemas para o processo térmico e frequente limpeza do cinzeiro da caldeira. Lembrando que essa cinza poderá ser utilizada como adubo.

A Tabela 6 apresenta dados obtidos na Análise Elementar dos resíduos e em seguida a comparação com outros autores na Tabela 7.

Tabela 6. Média da Análise Elementar dos resíduos alimentícios

Amostras	Carbono [%]	Hidrogênio [%]	Nitrogênio [%]	Oxigênio [%]*
Resíduo 1	42,51	7,05	1,51	44,66
Resíduo 2	41,34	7,49	2,11	45,38
Resíduo 3	45,61	7,81	3,14	38,16
Médias	57,19	6,10	0,35	29,66

Fonte: Autores. * O Oxigênio foi calculado pela diferença de C, H, N e cinzas.

Tabela 7. Comparação dos valores obtidos pela Análise Elementar com Foltran (2015), Vissotto *et al* (2012), Jenkins (1990) e Mazzonetto *et al* (2012)

Composição elementar	Resíduos alimentícios	Resíduo alim. Processado Foltran (2015)	Pinus Vissotto <i>et al</i> (2012)	Eucalipto Vissotto <i>et al</i> (2012)	Bagaço Jenkins (1990)	Poda urbana Mazzonetto <i>et al</i> (2012)
Carbono [%]	43,15	51,59	47,81	32,29	44,8	42,73
Hidrogênio [%]	7,45	7,5	6,44	4,52	5,35	5,86
Nitrogênio [%]	2,25	8,56	0,13	0,77	0,38	1,34
Oxigênio [%]	42,73	43,97	45,24	61,29	39,55	43,61

Fonte: Adaptado de Foltran (2015), Vissotto *et al* (2012) e Jenkins (1990).

De acordo com Cortez *et al* (2008), a composição elementar é a característica mais relevante do combustível, sendo a base essencial para análises dos processos de combustão. A análise

apresentou que a média do Resíduo Alimentício - tem variação em comparação com os outros autores, mas no geral, nota-se que os valores estão próximos aos de “poda urbana” e “bagaço” quando comparados “C” e “O”, revelando que o resíduo pode ser uma opção energética.

Na Tabela 8 são apresentados dados referentes ao Poder Calorífico dos resíduos alimentícios analisados.

Tabela 8. Média do Poder Calorífico dos resíduos alimentícios [MJ.kg⁻¹]

Amostras	PCS (Dulong – Petit)	PCI (Dulong – Petit)	PCI (Mendeleev)	PCI Bomba Calorimétrica	PCS Bomba Calorimétrica
Resíduo 1	16,57	14,94	16,72	17,67	18,94
Resíduo 2	16,67	14,92	16,67	16,79	18,07
Resíduo 3	19,88	18,10	19,27	**	**
Média	17,71	15,98	17,55	17,23	18,51

Fonte: Autores ** não realizado.

A Tabela 9 apresenta um comparativo entre os valores médios de PCI e PCS das amostras analisadas com outros três autores.

Tabela 9. Poder Calorífico Inferior e Superior comparando aos resultados encontrados por Foltran (2015), Vissotto *et al* (2012), Jenkins (1990) e Mazzonetto *et al* (2012)

Poder Calorífico	Resíduos alimentícios	Resíduo alim. Processado Foltran (2015)	Pinus Vissotto <i>et al</i> (2012)	Eucalipto Vissotto <i>et al</i> (2012)	Bagaço Jenkins (1990)	Poda urbana Mazzonetto <i>et al</i> (2012)
PCS (Dulong - Petit) [MJ/kg]	17,71	22,51	17,61	Não realizado	15,82	15,12
PCI (Dulong – Petit) [MJ/kg]	15,98	19,31	16,00	Não realizado	13,43	12,37
PCI Mendeleev [MJ/kg]	17,55	23,64	22,59	14,91	19,46	19,03
PCI Bomba Calorimétrica [MJ/kg]	17,23	Não realizado	Não realizado	Não realizado	17,3	18,47
PCS Bomba Calorimétrica [MJ/kg]	18,51	Não realizado	18,56	17,73	Não realizado	Não realizado

Após análise do poder calorífico, constatou-se que a média do Resíduo Alimentício apresentou valores superiores aos das biomassas comparadas pelas fórmulas de Dulong-Petit e Mendeleev e valores similares a do Eucalipto medido pela bomba calorimétrica, como já dito, com potenciais energéticos comumente explorados pela sociedade.

As estimativas de produção de biogás foram feitas pelas equações do IPCC (1) e da USEPA (2):

$$E = \text{Popurb} * \text{taxa RSU} * \text{RSUf} * \text{FCM} * \text{COU} * \text{COUF} * F * 16/12 \text{ [kg/dia]} \quad (1)$$

$$Q = \text{População} \times \text{Taxa de RSD} \times \text{RSDf} \times 0,45 \times F \quad [\text{m}^3/\text{dia}] \quad (2)$$

A população diária (Média) na churrascaria é de aproximadamente 150 pessoas, a taxa de RSU é de 0,8 kg de resíduo por dia por habitante (média da região). A taxa de RSU coletada é de 1,0 (100%). Os valores de COU e COUF são 0,4315 e 0,6. O valor de correção do metano, FMC, foi considerado 1,0 e a fração de metano no biogás, F - considerou-se 50%, uma vez que o biogás de aterro possui em média 50% de metano.

Para a estimativa usando-se a equação (2) da USEPA F repetiram-se os parâmetros utilizados na equação (1) do IPCC, com os parâmetros: população diária do restaurante = 150 pessoas, Taxa de RSD = 0,6; RSDf = 1,0 (100%) e F= 50% (0,5)

Os resultados obtidos pelas duas equações que estimam as produções de biogás são apresentados pela Tabela 10.

Tabela 10. Produção de biogás pelas equações do IPCC e da USEPA

Período/ Equação	IPCC CH ₄ [kg]	IPCC CH ₄ [m ³]	USEPA [m ³]	GLP IPCC [kg]	GLP USEPA [kg]
Dia	2,59	3,50	27,00	1,59	12,26
Mês	77,67	104,96	810,00	47,65	367,74
Ano	932,04	1.259,51	9.720,00	571,82	4412,88

A Tabela 11 apresenta o potencial de geração de eletricidade e receita a partir do biogás possível de ser gerado, segundo as equações do IPCC e USEPA. Foi considerada a eficiência do

motogerador de 1,7 kW.h por m³ de biogás, mesmo existindo no mercado motogeradores mais eficientes, optou-se por modelos mais usuais no mercado.

Tabela 11. Produção de biogás pelas estimativas do IPCC e pela fórmula do decaimento, com geração de eletricidade e valores equivalentes de energia elétrica

Período / IPCC	kW.h	MW.h	R\$ ¹	R\$ ²
Dia	5,576	0,0056	2,38	3,66
Mês	167,28	0,1673	71,24	109,85
Ano	2.007,35	2,0073	854,83	1318,23

Período / US EPA	kW.h	MW.h	R\$ ¹	R\$ ²
Dia	45,900	0,0459	19,55	30,14
Mês	1.377,00	1,3770	586,40	904,28
Ano	16.524,00	16,5240	7036,75	10851,31

Fonte: 1- Valor da Energia R\$ 452,85/MW.h (CCEE, 26/08 a 01/09/2017); 2- Valor médio pago pelo restaurante (R\$ 0,6567/kW.h).

A Tabela 12 apresenta dados para o caso do biogás substituir o gás de cozinha (GLP) no restaurante, resultando em economia, de forma que poderia se utilizar o gás produzido no mês durante outros meses ou então transformar em energia elétrica e abater parte do valor no gasto mensal. Lembrando que a Churrascaria do “Tchê” tem um consumo mensal (médio) de 2087,88 kW.h por mês, a um valor médio de R\$ 1.371,20; ou seja, a economia seria considerável.

Tabela 12. Conversão do Biogás em GLP.

	Consumo Churrascaria - GLP	Potencial de Biogás IPCC	Potencial de Biogás US EPA
GLP [kg]	180	47,65	367,74
Gasto com GLP	R\$ 924,00	-	-
Potencial com Biogás	-	R\$ 244,60	R\$ 1.887,73

Caso houvesse substituição do GLP consumido pela churrascaria pelo biogás produzido seria possível substituir 26,5% a 100%.

Na Tabela 13 há dados referentes aos diferentes processos térmicos e seus respectivos valores de geração de energia, no quesito capacidade de produção e renda.

Tabela 13. Energia calculada por processo térmico

Processo Térmico	TAXA [kWh/ton RSU]	RSU/dia [ton]	MWh/dia	R\$/dia	MWh/mês	R\$/mês
Incineração (USEPA)	523	0,15	0,078	35,53	2,354	1.065,78
Incineração	493	0,15	0,074	31,492	2,219	1.004,65
Pirólise	518	0,15	0,078	33,089	2,331	1.055,59
Pirólise/ Gaseificação	621	0,15	0,093	39,668	2,795	1.265,49
Gaseificação Convencional	621	0,15	0,093	39,668	2,795	1.265,49
Gaseificação a plasma	740	0,15	0,111	47,269	3,330	1.507,99

Fonte: Autores baseado nas taxas de YOUNG (2010) e do USEPA (2002); 1- Valor da Energia R\$ 452,85/MW.h (CCEE, 26/08 a 01/09/2017).

A Tabela 13 apresenta as taxas de conversões obtidas por Young (2010) e USEPA (2002), com os valores obtidos junto à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Assim foi possível estimar qual processo térmico que gerará mais energia e consequentemente maior receita para o restaurante, além de tratar o resíduo gerado sobrando, dos processos, apenas cinzas e carvão orgânico (“biochar”). Não foram considerados os custos dos equipamentos nem de implantação, apenas consideraram-se as eficiências dos processos.

Os processos térmicos são mais rápidos (horas) e geram menos resíduos (cinzas), pois a churrascaria não teria onde usar o biofertilizante produzido após a biodigestão anaeróbia (dias para o processo - produção de biogás). Qualquer opção adotada representará economia mensal para a churrascaria, quer seja substituindo o GLP ou a energia elétrica. A economia seria de no mínimo de 26,5% sobre os gastos com energia e/ou GLP.

CONCLUSÃO

Após as análises e estimativas, foi possível determinar o potencial energético do resíduo alimentício fornecido pela Churrascaria do Tchê, apresentando um potencial energético para a geração de energia, sendo uma opção para minimizar os gastos com energia elétrica e/ou GLP usados pelo restaurante.

A caracterização energética mostrou que o resíduo alimentar tem valores de PCI & PCS equivalentes a biomassas consagradas para fins energéticos (poda urbana e bagaço de cana). Comparado com as demais alternativas energéticas, a poda urbana, o bagaço de cana e o resíduo alimentício processado apresentaram valores de PCI e PCS superiores a essas biomassas.

REFERÊNCIAS

ABNT. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Resíduos Sólidos: classificação – NBR 10004. São Paulo, 2004.

ADMIN. *Histórico do biogás*. 2013. Disponível em: <http://bgsequipamentos.com.br/blog/hello-world/>. Acesso em: 08/03/2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 711-87 (Reapproved): *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter*. West Conshohocken, 2004. 8 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 872-82 (Reapproved): *Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Conshohocken, 2006. 3 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, ASTM D1102-84: *Standard Test Method for Ash in Wood*, 2 p. 2007.

BARREIRA, P. *Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural*/ Paulo Barreira. – 3. Edição - São Paulo: Ícone, 2011.

BIZZO, W. A. & SÁNCHEZ, C. G. Estequiometria das reações das reações de combustão e gaseificação. In: SANCHEZ, C. G. (Org.). *Tecnologia da gaseificação de biomassa*. Campinas: Editora Átomo, 2010. P. 430. Cap. 11. P. 215–246.

BRIDGWATER, A.V.; CZERNICK, S.; PISKORZ J. An Overview of Fast Pyrolysis. In: *Progress in Thermochemical Biomass Conversion*. [S. l.:] IEA Bioenergy; Blackwell Sciences, 2001. P. 977-997.

CAMARGO, S. *O ciclo do biogás*. 2014. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/biogas-a-energia-invisivel/2014/07/18/o-ciclo-do-biogas/>. Acesso em 08/03/2017.

CASTANÓN, N. J. B. *Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais*. Universidade de São Paulo, 66 p., 2002.

CASTRO, ALMEIDA, TEIXEIRA. *Biogás: Estudo da Viabilidade Econômica de uma Suinocultura com Produção de Biogás*. 2003. Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2003.

bioenergia em revista: diálogos, ano 8, n. 1, p.48- 68, jan./jun. 2018.

Mazzonetto, Alexandre Witier; Oliveira, Jean Carlo Santos de; Lopes, João Paulo Vieira

Potencial energético do resíduo alimentício de um restaurante – estudo de caso

CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A. da; LUCAS JÚNIOR, J. de; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. de In: Biodigestão de efluentes. In: *Biomassa Para Energia*. CORTEZ, L. A. B.; LORA E. E. S. & GÓMEZ, E. O. (org.) Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 15, p. 505-515.

DODGE, Ed. Plasma gasification: clean renewable fuel through vaporization of waste. *Waste Management World*, v. 10, n. 4, 2009. Disponível em: < <https://waste-management-world.com/a/plasma-gasification-clean-renewable-fuel-through-vaporization-of-waste>>. Acesso em 10/05/2017.

FARIA, R. A. P. *Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – Estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 63 p., 2012.

FIGUEIREDO, F. A. B. *Pirólise e Gaseificação de casca de castanha de caju: Avaliação da produção de gás, líquidos e sólidos*. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos, Universidade Estadual de Campinas, 114 p., 2009.

FOLTRAN, R. B. *Avaliação do potencial energético e produção de biogás a partir de resíduo de restaurante*. Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, FATEC Piracicaba – “Dep. Roque Trevisan”, 69 p., 2015.

GRANATO, E. *Geração de Energia através da Biodigestão Anaeróbica da vinhaça*. 2003. Tese (Dissertação de Graduação) – Engenharia da UNESP, Bauru, 2003.

JENKINS, B. M. *Fuel properties for biomass materials*. International Symposium on Application and Management of Energy in Agriculture: The Role of Biomass Fuels. Delhi. p. 21-23, 1990.

HENRIQUES, R. M. *Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica* [Rio de Janeiro] 2004 XIV, 189 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2004). Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T. G. (eds). Published: IPCC, Switzerland. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf.

LUCAS JUNIOR, J. & SOUZA, C. F. Construção e Operação de biodigestores. 2009. *Revista CPT*. MANUAL DE BIODIGESTÃO. Disponível em: http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/manuais/manual_biodigestor_winrock.pdf. Acesso em março, 2017.

MACHADO, G. B. *Tratamento de resíduos sólidos*. 2013a. Disponível em: <http://www.portalesiduossolidos.com/tratamento-de-residuos-solidos/>. Acesso em 10/03/2017.

MACHADO, G. B. *Resíduos sólidos*, 2013b. Disponível em: <http://www.portalesiduossolidos.com/lixo-e-rejeito/>. Acesso em 10/03/2017.

MACHADO, G. B. *Biodigestão anaeróbia*. 2013c. Disponível em: <http://www.portaldobiogas.com/biodigestao-anaerobia/>. Acesso em 10/03/2017.

MACHADO, G. B. *Sulfetogenese na Biodigestão Anaeróbia*. 2016. Disponível em: <http://www.portaldobiogas.com/sulfatogenese-na-biodigestao-anaerobia/>. Acesso em 11/03/2017.

MAFACIOLLI, D. *Produção de Biogás através do processo de Digestão anaeróbia utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de glicerina bruta*. 2012. Monografia-Bacharel em Engenharia Ambiental, Lajeado, 2012.

bioenergia em revista: diálogos, ano 8, n. 1, p.48- 68, jan./jun. 2018.

Mazzonetto, Alexandre Witier; Oliveira, Jean Carlo Santos de; Lopes, João Paulo Vieira

Potencial energético do resíduo alimentício de um restaurante – estudo de caso

MAGALHÃES, A. P. T. *Biogás: Um projeto de saneamento urbano*. Nobel. São Paulo. 1986.

MASSOTTI, Z. *Viabilidade técnica e econômica do biogás a nível de propriedade*. 2011. Disponível em: [ambienteduram.eng.br/system/files/publicador/PUBLICACOES/BIOGAS_Massotti.pdf](http://ambienteduram.eng.br/system/files/publicador/PUBLICACOES/ BIOGAS_Massotti.pdf) consultado em 17/05/2018

MAZZONETTO, A. W; VISSOTTO, J. P; NEVES, R. C; SÁNCHEZ, E. M. S; SÁNCHEZ, C. C. *Caracterização de resíduos de poda, capina e serragem urbana para geração de energia*. CONEM, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica 2012. São Luís 2012.

MENDELEEV, D. I., Sochineniya (Collection of Works), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1897, vol. 15.

NOGUEIRA, L. A. H. *Biodigestão, a alternativa energética*. Nobel, São Paulo, 1986.

PERCORA, V. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás e tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso*. 2006. Dissertação apresentada à Universidade de São Paulo (USP).

Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2013. Disponível em: <http://www.simpesc.org.br/2013/03/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs/> Acesso em 10/03/2017.

ROYA, B.; FREITAS, E.; BARROS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M. Biogás – Uma energia limpa. *Revista eletrônica Novo Enfoque*. 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149. Disponível em: http://www.castelobranco.br/sistema/novo enfoque/files/13/artigos/12_BunoRoya_Biogas_Prof_Djalma_VF.pdf consultado em 18/05/2018.

SALOMON, K. R., LORA, E. E. S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. *Biomassa e Energia*, v. 2, n. 1, p. 57–67, 2005.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S.; ROCHA, M. H.; LEME, M.. Capítulo 4 - Biocombustíveis de primeira geração: biogás. Em: Lora E. S, Venturini, O. J.. (Org.). *Biocombustíveis*. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, Interciência. 2012.v. 1, p. 311 - 357.

SÁNCHEZ, C. G. (org.). *Tecnologia da gaseificação de biomassa*. Campinas, Brasil: Átomo, 2010, 410p.

SOUZA, C. F.; LUCAS JÚNIOR, J. de; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida. 2005. *Eng. Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 530-539, maio/ago. 2005.

UNEP (United Nations Environment Programme). *Solid Waste Management*. Copyright United Nations Environment Programme, 558 p., 2005. Disponível em: http://www.unep.or.jp/ietc/publications/spc/solid_waste_management/Vol_I/Binder1.pdf. Acesso em: 11/05/2017.

USEPA Environmental Protection Agency – *Solid Waste Management and Green House Gases – A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks*. US.EPA. 2002. Disponível em <https://www.epa.gov/> consultado em 29/09/2017.

VISSOTTO, J. P, MAZZONETTO, A. W., NEVES, R. C, SÁNCHEZ, E. M. S., SÁNCHEZ, C. G. Caracterização de *Pinus*, *Eucalyptus*, Casca de *Eucalyptus* e Resíduos Florestais e de Destoca para fins energéticos. In: CONEM, *Congresso Nacional de Engenharia Mecânica* 2012. São Luís, 2012.

YOUNG, G. C. *Municipal Solid Waste to energy conversion processes: economic, technical and renewable comparison*. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, 304 p., 2010.

1 Mazzonetto, Alexandre Witier. Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônômica – Máquinas Agrícolas/Biomassa – Colheita Integral de Cana, pela Universidade de São Paulo – ESALQ-USP, Doutorado pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Energia – FEM/UNICAMP (Cogaseificação de biomassas residuais). Na Graduação envolveu-se em Pesquisa/Desenvolvimento de processos térmicos, desenvolvendo um secador rotativo de sementes e outro de leito fluidizado. Desde o Mestrado vem trabalhando com fontes renováveis de energia, biomassas residuais (tratamento e geração de energia), levando-o a cursar Química na Universidade Mackenzie (Bacharel, Licenciatura e Industrial). Processos térmicos para obtenção de biocombustíveis, gaseificação e pirólise e combustíveis sustentáveis, gás de síntese (Syngas), produção e uso do biogás, bem como condicionamento do biogás e syngas. Atualmente é Professor nas FATECs de Piracicaba (Biocombustíveis e Gestão Empresarial) e Tatuapé.

2. Jean Carlo Santos de Oliveira é Tecnólogo em Biocombustíveis pela Fatec Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. E-mail: carlojean2017@outlook.com

3. João Paulo Vieira Lopes é Tecnólogo em Biocombustíveis pela Fatec Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. E-mail: po3_ip@hotmail.com