

# A decomposição de cascas de frutas para a produção de biogás

**Jean Carlos Bassani\***, Karol Sevegnani, Thiago da Silva, Thiago Schuler,  
**Willian Roberto de Almeida**

Discentes do Curso Técnico em Química (Modalidade Integrado), Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Câmpus Jaraguá do Sul

\*E-mail: jean.bassani@hotmail.com

**Clodoaldo Machado**

Doutor em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina –  
Câmpus Jaraguá do Sul

E-mail: clodoaldo.machado@ifsc.edu.br

**Resumo:** Nesta pesquisa buscou-se observar a influência da temperatura e da concentração do agente ativante na decomposição de cascas de frutas para a produção de biogás. Para isso, inicialmente foram selecionadas cinco cascas de frutas, sendo estas submetidas a experimentos de biodigestão, na ausência de oxigênio, a fim de determinar a quantidade de biogás produzido ao longo do tempo. Em todos os estudos, a produção de biogás era acompanhada medindo-se o volume de gás recolhido em uma proveta e estes dados possibilitaram à análise do rendimento de cada biodigestão e a determinação da cinética do processo. Quando diferentes cascas de frutas foram testadas, a maior produção de biogás ocorreu com a casca da banana. Assim, este material foi utilizado nos testes posteriores, onde a temperatura e a concentração de agente ativante foram variadas. Nestes estudos, a maior produção de biogás ocorreu à temperatura de 35 °C e com 30 mL de agente ativante (esterco suíno) presente no meio. Estes dados comprovam que a relação C/N interfere na produção de biogás, visto que a casca da banana possui relação C/N muito próxima ao ideal. O rendimento nulo obtido quando a casca de laranja foi submetida à biodigestão indica que pH ácido prejudica o processo. Por outro lado, não foi possível confirmar a influência do teor de sacarose no processo de biodigestão, uma vez que dados relativos ao teor desta substância nas cascas das frutas investigadas não estavam disponíveis na literatura, somado ao fato de não ser possível garantir uma quantidade constante de bactérias nos sistemas com as diferentes cascas de frutas.

**Palavras-Chave:** Biogás. Casca de banana. Biodigestores. Cinética química. Relação C/N.

**Abstract:** The present research sets out to investigate the influence of temperature and concentration of the activating agent on the decomposition of selected fruit peel for biogas production. Five fruit peels were selected to undergo digestion experiments in the absence of oxygen. In all studies, biogas production was monitored by measuring the volume of gas collected in a beaker and these data allowed the analysis of the yield of each digestion and determining the kinetics of the process. When different fruit peels were tested, the higher biogas production occurred with banana peel. Thus, this material was used in subsequent tests where the temperature and the concentration of the activating agent were varied. In these studies, the higher biogas production occurred at a temperature of 35 °C and 30 mL of activating agent (pig manure) in this medium. These data show that the C/N rate interferes with the production of biogas, since banana peels has close C/N relation to the ideal. The zero yield obtained when the orange peel was subjected to digestion indicates that acidic pH hinder the process. Moreover, it was not possible to confirm the influence of the sucrose content in the digestion process, since the data content of this substance in the investigated fruit peels were not available, added to the fact of not being able to ensure a constant amount of bacteria in systems with different fruit peels.

**Keywords:** Biogas. Banana peel. Biodigester. Chemistry kinetic. C/N relationship.

## 1 Introdução

Há, a cada dia, um avanço da urbanização no Brasil e no mundo. Com isso ocorre também o aumento dos gastos energéticos, tanto por grandes empresas quanto por residências, estabelecimentos comerciais, entre outros. Como as fontes de energia que utilizamos a séculos estão se esgotando há a hipótese da utilização de biodigestores para esta finalidade. Estes sistemas consistem na biodegradação da matéria orgânica para a produção de biogás, sendo que este pode ser convertido em energia mecânica, térmica ou elétrica. O processo de biodigestão pode então colaborar para se obter a independência energética, além de eliminar restos orgânicos indesejados e que podem trazer malefícios ao meio ambiente e ao ser humano (ROYA, 2011).

A bioenergia é responsável por aproximadamente 14% do consumo energético mundial. Estimativas projetam que, em vinte anos, cerca de 30% do total de energia consumida pela humanidade será obtida através da bioenergia, energia essa que não produz poluição e nem se esgota, pois provém de fontes renováveis (CELULOSE, *apud* SOARES *et al*, 2006).

Por volta de 1770, o pesquisador e cientista Alessandro Volta descobriu que, nos gases liberados pelos pântanos, havia a liberação de metano, um gás altamente inflamável. A partir daí, começou-se o desenvolvimento e estudos desses gases para chegar ao que hoje chamamos de biogás, uma combinação de gases como metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), entre outros gases em menor quantidade (REIS, 2012). A biodigestão mais comum no dia-a-dia é aeróbia/oxidativa, onde, segundo Teixeira (1981), os produtos consistem basicamente em água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ). Porém, a biodigestão ocorrida nos pântanos era, e ainda é, de forma anaeróbia, e pode ser caracterizada pelos produtos gerados após a degradação (dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ )) (ABREU, 2007).

A biodigestão anaeróbia pode ser dividida em quatro etapas, que são denominadas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A primeira etapa consiste na quebra dos grandes polímeros orgânicos em partículas menores e utilizáveis pelas células bacterianas (AQUINO *et al*, 2005, *apud* ABREU, 2007). A segunda etapa é chamada de acidogênese e consiste na absorção dos compostos liberados na hidrólise, e liberação de ácidos graxos voláteis (AGV) de cadeia curta, álcoois, ácido lático e compostos inorgânicos. É nesta fase que qualquer resto de oxigênio que possivelmente possa estar dissolvido no sistema é extinto, já que a gama de bactérias que participa nesta parte é muito grande e algumas destas são anaeróbias facultativas (ABREU, 2007). Já na terceira etapa, acetogênese, ocorre à formação do substrato acetato, necessário para a produção de metano. Essa etapa é uma das mais importantes, visto que se a mesma não funcionar de maneira correta e os AGVs e álcoois não forem retirados do meio pode ocorrer à acidificação do reator, sendo este um dos principais motivos para a pausa na produção de biogás em um reator (SILVA, 2009). Na quarta e última etapa, a

metanogênese, o metano é produzido pelas arqueias metanogênicas por duas vias metabólicas principais: hidrogenotrófica e acetotrófica. As arqueias hidrogenotróficas são autótrofas, reduzindo o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a metano ( $\text{CH}_4$ ) e usando hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) como doador de elétrons, liberando água. As arqueias acetoclásticas são heterótrofas, produzindo o metano e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a partir da redução do acetato (fermentação). Estas últimas têm grande importância em reatores anaeróbios, uma vez que é conhecido que cerca de 70% do metano produzido nestes sistemas é resultante da degradação de acetato (ABREU, 2007).

A biodegradação da matéria orgânica, quando feita sem a coleta dos gases gerados, libera inúmeros gases nocivos ao efeito estufa. O metano ( $\text{CH}_4$ ) é o gás liberado em maior quantidade e o mais agravante, já que é 21 vezes mais nocivo que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (COSTA, 2006). A matéria orgânica quando disposta irregularmente faz do ambiente propício para a proliferação de agentes transmissores de doenças. Há hoje uma grande disposição irregular de matéria orgânica no Brasil, esta podendo ser classificada em resíduos domiciliares, de limpeza urbana, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço, industriais, de serviços da saúde, da construção civil e de mineração e, em grande parte, podendo também ser classificadas como material orgânico, isto é, podendo ser biodegradado (IPT/CEMPRE, 1995 *apud* BENTO *et al*, 2013).

No Brasil, todos os dias, são depositados 188,8 mil toneladas de resíduos domiciliares e públicos em diversos espaços. Do total de 94,3 mil toneladas coletadas por dia de resíduos orgânicos, no ano de 2008, somente 1,5 mil toneladas/dia (1,6%) foram encaminhadas para tratamento via compostagem. Naquele mesmo ano, apenas 211 municípios brasileiros (dos 5.564 municípios brasileiros) tinham unidades de compostagem, sendo a maioria deles localizado nos estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul (SEBRAE-MS, 2012).

A biomassa (matéria orgânica de origem animal ou vegetal (PEREIRA *et al*, 2001)) selecionada para análise foi o epicarpo, a parte externa e delgada do fruto (QUEIROZ, 2011). Com isto foram feitos estudos das influências de diferentes temperaturas. E, ainda, estudos sobre diferentes concentrações de agente ativante na decomposição das cascas de frutas. Estas depositadas em um biodigestor de laboratório conforme descrito na metodologia. Ainda existe a relação C/N (Carbono/Nitrogênio), que têm influência na produção do gás. Esta consiste em quantos carbonos estão para um nitrogênio, deve seguir uma condição ideal para que a reação de formação do gás se dê ao seu máximo e realmente forme o biogás. De acordo com Ricci *et al* (2006), a relação carbono/nitrogênio (C/N) ideal é próxima ou igual a 30/1, com esta relação as bactérias conseguem degradar a matéria orgânica e produzir o biogás, caso a relação esteja baixa, o biodigestor liberará outros produtos que podem ser maléficos para a natureza, inclusive os seres humanos.

Em nossos estudos também investigou-se a cinética das reações, sendo que com esta pretende-se estabelecer a velocidade do processo de conversão da matéria

orgânica em biogás (ZAIAT, 2003). Segundo Neto (1999), o estudo cinético de um determinado fenômeno ou processo significa acompanhar sua evolução com o tempo através da quantificação de certas grandezas que definem adequadamente esta evolução. No caso da degradação de material orgânico, as grandezas medidas são: tempo, concentração de microrganismos presentes, concentração de substrato que limita o processo e a concentração do produto em que se possa estar interessado. Assim, acompanhando-se a variação da concentração de biogás produzido em função do tempo é possível determinar-se a ordem reacional e, conseqüentemente, a velocidade do processo.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Materiais

Para a realização dos processos experimentais foram utilizadas cascas de banana, maçã, uva, coco e laranja; esterco suíno e água destilada. As cascas de frutas foram cortadas em pequenos pedaços, com uma tesoura, e então pesadas.

O esterco suíno, agente ativante, a ser empregado nos estudos não deve conter substâncias inibidoras da produção de biogás. A fim de garantir esta situação, o agente ativante foi coletado no Instituto Federal Catarinense (IFC), Campus Araquari, que possui uma unidade experimental de suinocultura, onde emprega-se um rígido controle da alimentação dos suínos. A Figura 1 apresenta o ambiente de coleta do agente ativante, que era retirado diretamente da caixa coletora (de cor verde) próxima ao sistema biodigestor daquela Instituição.



Figura 1. Coleta do agente ativante no IFC/Câmpus Araquari.

Os processos de biodigestão foram realizados em um biodigestor de laboratório, elaborado pelo grupo. Este era constituído por peras de decantação, viradas ao contrário, como mostra a Figura 2. Para o acompanhamento do volume de biogás produzido ao longo do tempo, uma mangueira de silicone foi acoplada à pera, com sua outra

extremidade sendo colocada dentro de uma proveta de 100 mL, estando esta emborcada em uma bacia contendo água. Assim, o biogás liberado na pera era recolhido, de tempos em tempos, na proveta, medindo-se o volume produzido. Para a medida do pH foi utilizado um pHmetro da marca Tecnocon. Para o controle da temperatura durante os experimentos, as peras foram mergulhadas em um equipamento de banho-maria da marca Solab ou deixados em uma estufa bacteriológica, também da marca Solab.



Figura 2. Biodigestores de laboratório.

## 2.2 Métodos

### *Etapa 1*

Foram selecionados 5 tipos diferentes de cascas de frutas: casca de banana, casca de coco, casca de uva, casca de laranja e casca de maçã. Aos biodigestores de laboratório foram adicionados 100 g de casca de frutas (dispostas separadamente em cada biodigestor), 100 mL de água destilada e 30 mL de agente ativante (esterco suíno). A retirada de ar das peras foi feita com a utilização de uma bomba de vácuo da marca Primatec. Estes sistemas foram deixados em processo de biodegradação pelo período de sete dias. Nesta primeira etapa não houve controle da temperatura.

Durante o período de decomposição foram realizadas três coletas de biogás, sendo estas após 24, 72 e 96 horas do início do experimento. A partir da análise dos dados destes experimentos foi possível determinar a casca de fruta que produziu a maior quantidade de biogás, sendo esta selecionada para os estudos posteriores. Ainda nesta primeira etapa foi medido o pH das soluções das peras.

### *Etapa 2*

Nesta etapa investigou-se a influência da concentração de agente ativante na produção de biogás a partir da casca de banana. Foram estudadas as concentrações de 20, 30 e 40 mL de agente ativante, sempre a temperatura ambiente (sem controle), durante um intervalo de tempo de 96 horas e realizando-se os experimentos em duplicata.

### Etapa 3

Nesta etapa investigou-se a influência da temperatura na produção de biogás, também a partir da casca de banana. Realizaram-se estudos nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C, durante um intervalo de tempo de 96 horas e realizando-se os experimentos em triplicata.

## 3 Resultados e Discussões

### 3.1 Etapa 1: Escolha da casca de fruta

Após a realização da montagem dos biodigestores, contendo as 5 diferentes cascas de frutas, foram realizadas coletas de biogás em diferentes intervalos de tempos, sendo que os dados obtidos são apresentados na Tabela 1. Na mesma tabela é demonstrado o valor do pH medido para cada uma das soluções das diferentes cascas de frutas.

Tabela 1 – Volume de biogás produzido pelas diferentes cascas de frutas em função do tempo de biodigestão.

Frutas	24 horas	72 horas	96 horas	Total	pH
Banana	28 mL	55 mL	0 mL	83 mL	3,87
Coco	40 mL	32 mL	0 mL	72 mL	4,67
Maçã	10 mL	0 mL	20 mL	30 mL	3,45
Uva	0 mL*	0 mL*	28 mL	28 mL	3,78
Laranja	0 mL	0 mL	0 mL	0 mL	3,58

\* Houve produção de biogás, porém o volume produzido não atingiu a escala mínima da proveta.

Apesar de algumas cascas de frutas não produzirem, num dado intervalo de tempo, uma quantidade de gás mínima necessária para a leitura (correspondente a 10 mL), é possível definir a casca de banana como a melhor das cascas estudadas para a produção de biogás. A Figura 3 possibilita uma melhor visualização da curva de produção de biogás ao longo do tempo.

A análise dos dados revela que a produção de biogás pela casca de banana e casca de coco foi bem superior as demais cascas investigadas. Também é possível observar que no caso das cascas de maçã e de uva o pico de produção do biogás não foi atingido no tempo total de realização do experimento, denotando que seria necessária a coleta de dados durante intervalos de tempos maiores, a fim de garantir a completa conversão em biogás em todos os casos.

Os dados coletados demonstram, também, um comportamento bastante diferenciado entre as cascas de frutas estudadas, uma vez que as cascas de banana e de coco apresentaram produção acelerada nos primeiros tempos de coletada de dados, estabilizando a produção após 48 horas. Já as cascas de maçã e de uva produziram

lentamente na fase inicial, com aumento da quantidade de biogás na fase final de coleta dos dados.

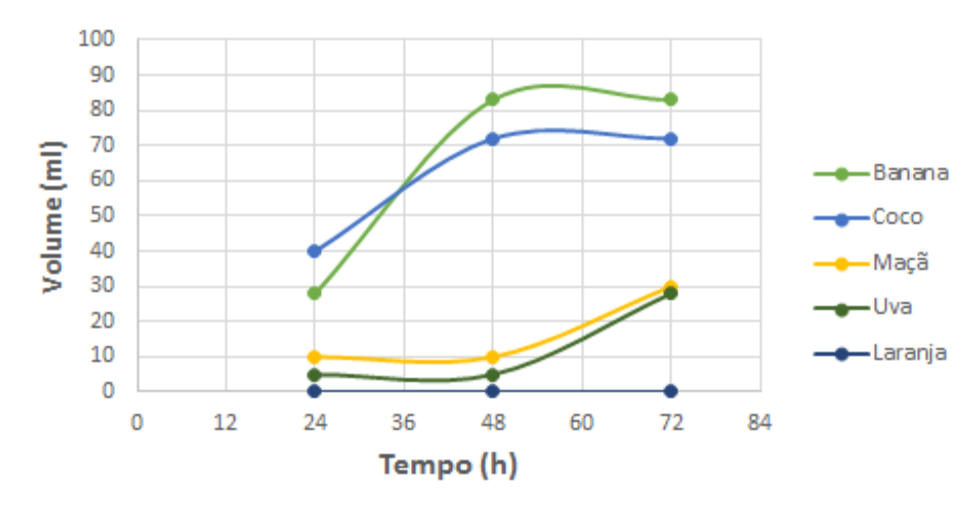


Figura 3 – Volume de biogás produzido em função do tempo de biodigestão em experimentos sem controle da temperatura.

No intervalo de tempo total, a casca de banana foi a que mais produziu biogás, sendo então selecionada para os estudos posteriores. Contudo, convém destacar que a casca de coco também registrou uma boa produção de biogás, resultado este que pode se atribuído a sua composição, que é formado por 45,48% de carbono em forma de fibras. Esta composição tende a equilibrar a relação entre o carbono do coco e o nitrogênio, que se encontra em maior concentração no esterco (CORTEZ, 2009).

Durante o processo de biodigestão também foi medido o pH da solução de cada um dos biodigestores. Os resultados, presentes na Tabela 1, apontam que nas soluções onde o pH é maior há uma maior produção de biogás, ou seja, naqueles experimentos contendo casca de banana (pH = 3,87) e casca de coco (pH = 4,67). Já nas soluções contendo casca de laranja, cujo pH foi de 3,58, não houve produção de biogás ao longo de todo intervalo de tempo. O pH da solução contendo casca de maçã (3,45) é ainda menor que aquele registrado para a casca de laranja, contudo, neste caso, houve produção de biogás. Este resultado corrobora com a hipótese de que substratos com maior quantidade de sacarose, como é o caso da casca de maçã quando comparada a casca de laranja, tentem a produzir maior quantidade de biogás. Assim, é possível concluir que tanto o pH da solução quanto a quantidade de sacarose presente no substrato influenciam na produção de biogás.

### 3.2 Etapa 2: Variação da concentração de agente ativante

Estes estudos foram realizados tendo como único substrato a casca de banana, cuja biodigestão foi acompanhada durante um intervalo de tempo de 96 horas, na presença de três diferentes concentrações de agente ativante (Tabela 2).

Tabela 2 - Volume de biogás produzido em função do tempo de biodigestão da casca de banana em soluções contendo diferentes quantidades de agente ativante.

<b>Agente</b>	<b>24 h</b>	<b>48 h</b>	<b>72 h</b>	<b>96 h</b>	<b>Total</b>
20 mL (a)	0 mL	0 mL	0 mL	0 mL	0 mL
20 mL (b)	0 mL	0 mL	0 mL	36 mL	36 mL
30 mL (a)	0 mL	0 mL	0 mL	0 mL	0 mL
30 mL (b)	0 mL	23 mL	11 mL	15 mL	49 mL
40 mL (a)	0 mL	0 mL	0 mL*	0 mL	0 mL*
40 mL (b)	0 mL	14 mL	24 mL	10 mL	48 mL

\* Houve produção de biogás, porém o volume produzido não atingiu a escala mínima da proveta.

Quando a medida dos volumes de biogás produzidos, a temperatura ambiente era também registrada, sendo que os valores ficaram entre 15,9 e 23,2 °C. Sendo estas temperaturas mais amenas que aquelas registradas nos experimentos da etapa 1, causando uma possível interferência no processo de biodigestão.

Os experimentos com diferentes concentrações de agente ativante foram realizados em duplicata e, conforme observado na Tabela 2, o comportamento nos biodigestores replicados foi bastante distinto. Assim, dos dois biodigestores contendo 20 mL de agente ativante, apenas um produziu biogás, sendo que esta produção ocorreu no último dia de experimento. Nos biodigestores contendo 30 mL de agente ativante, uma das duplicatas não produziu biogás, enquanto que o outro registrou a maior produção de todos os sistemas estudados. Semelhante disparidade entre os dados pode ser observada comparando-se os resultados obtidos nos dois biodigestores contendo 40 mL de agente ativante.

Uma possível explicação para estes resultados pode ser atribuída a heterogeneidade da solução de agente ativante, já que este possui partes com densidades bastante distintas. Devido a este fator, é possível que a real quantidade de bactérias inseridas nos biodigestores em duplicata seja bastante distinta. Como estas são responsáveis pela aceleração e degradação da matéria, a variação da concentração justificaria os dados obtidos.

### **3.3 Etapa 3: Variação da temperatura**

Para avaliar a influência da temperatura no processo de biodigestão foram montados três biodigestores, todos contendo as mesmas quantidades dos reagentes: 100 ml de água destilada, 100 g de cascas de banana e 30 mL de agente ativante. Estes biodigestores foram deixados em banho-maria, com temperatura controlada a 25 °C. A cada período de 24 horas eram realizadas leituras do volume de biogás produzido, cujos resultados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Volume de biogás produzido em função do tempo de biodigestão da casca de banana na temperatura de 25 °C.

	<b>24 h</b>	<b>48 h</b>	<b>72 h</b>	<b>96 h</b>	<b>Total</b>
Biodigestor 1	17 mL	0 mL*	0 mL	0 mL	17 mL
Biodigestor 2	0 mL	0 mL	0 mL	0 mL*	0 mL
Biodigestor 3	0 mL*	0 mL	10 mL	0 mL	10 mL

\* Houve produção de biogás, porém o volume produzido não atingiu a escala mínima da proveta.

A análise dos dados revela que a produção de biogás a 25 °C foi bastante reduzida, contrastando com os resultados obtidos na etapa 1 dos estudos, onde a casca de banana apresentou a maior produção de biogás frente a outras cascas de frutas. Contudo, é importante destacar que nos experimentos da etapa 1 não houve controle da temperatura durante o processo de biodigestão. Assim, pode-se justificar a não produção de biogás neste experimento, a temperatura constante de 25 °C, devido a uma condição muito inferior a ideal para o processo de biodigestão, que segundo Pecora (2006) deveria estar próxima a 37 °C.

Na sequência foram preparados novos experimentos, contendo as mesmas quantidades de reagentes utilizados anteriormente, mas agora com os biodigestores sendo termostatizados a 35 °C. As leituras do volume de biogás produzido a cada 24 horas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Volume de biogás produzido em função do tempo de biodigestão da casca de banana na temperatura de 35 °C.

	<b>24 h</b>	<b>48 h</b>	<b>72 h</b>	<b>96 h</b>	<b>Total</b>
Biodigestor 1	37 mL	90 mL	28 mL	21 mL	176 mL
Biodigestor 2	0 mL*	10 mL	14 mL	12 mL	36 mL
Biodigestor 3	0 mL	0 mL	31 mL	19 mL	50 mL

\* Houve produção de biogás, porém o volume produzido não atingiu a escala mínima da proveta.

Os dados dos experimentos revelam uma considerável discrepância entre os volumes de biogás produzidos nos biodigestores em triplicata. O biodigestor 1 produziu muito além dos outros dois sistemas, na mesma proporção de reagentes, chegando a 176 mL após 96 horas. Entretanto, os biodigestores 2 e 3 também registraram uma boa produção de biogás, 36 e 50 mL, respectivamente, sendo que em todos os casos os processos pareciam não ter se encerrado no tempo total de coleta dos dados.

Para realizar os testes a 45 °C, os biodigestores foram novamente montados, mantendo as mesmas quantidades de reagentes dos experimentos anteriores. Neste caso, uma estufa bacteriológica foi utilizada para a manutenção da temperatura constante ao longo das 96 horas de coleta de dados, estando estes apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Volume de biogás produzido em função do tempo de biodigestão da casca de banana na temperatura de 45 °C.

	24 h	48 h	72 h	96 h	Total
Biodigestor 1	48 mL	20 mL	0 mL	10 mL	78 mL
Biodigestor 2	36 mL	15 mL	10 mL	10 mL	62 mL
Biodigestor 3	0 mL*	0 mL*	15 mL	0 mL	15 mL

\* Houve produção de biogás, porém o volume produzido não atingiu a escala mínima da proveta.

Pode-se observar que também há uma discrepância entre os resultados obtidos nos experimentos em triplicata a temperatura de 45 °C, fato que já havia sido observada na temperatura de 35 °C. Quando comparados os volumes de biogás produzido a cada 24 horas nas temperaturas de 35 e 45 °C, observa-se que a 35 °C a produção aumentou, em 2 dos 3 biodigestores, nas leituras finais, ou seja, em tempos de reação maiores. Já a 45 °C, a maior produção de biogás ocorreu, em 2 dos 3 biodigestores, nas primeiras leituras, ou seja, nas primeiras 48 horas de reação. Portanto, os resultados denotam que a 45 °C há uma tendência para uma menor produção de biogás do que aquela registrada a 35 °C.

Como foram registrados volumes de biogás nas temperaturas de 35 e 45 °C ao longo do tempo, utilizaram-se estes dados para um estudo cinético do processo de biodigestão. O objetivo era determinar a ordem do processo reacional e assim quantificar a constante de velocidade (k) da biodigestão.

As Figuras 4 e 5 apresentam a interpretação dos dados segundo os modelos cinéticos de primeira e segunda ordem, respectivamente, para a temperatura de 35 °C, sendo que os volumes utilizados nesta análise são os valores médios correspondentes aos experimentos efetuados em triplicata.

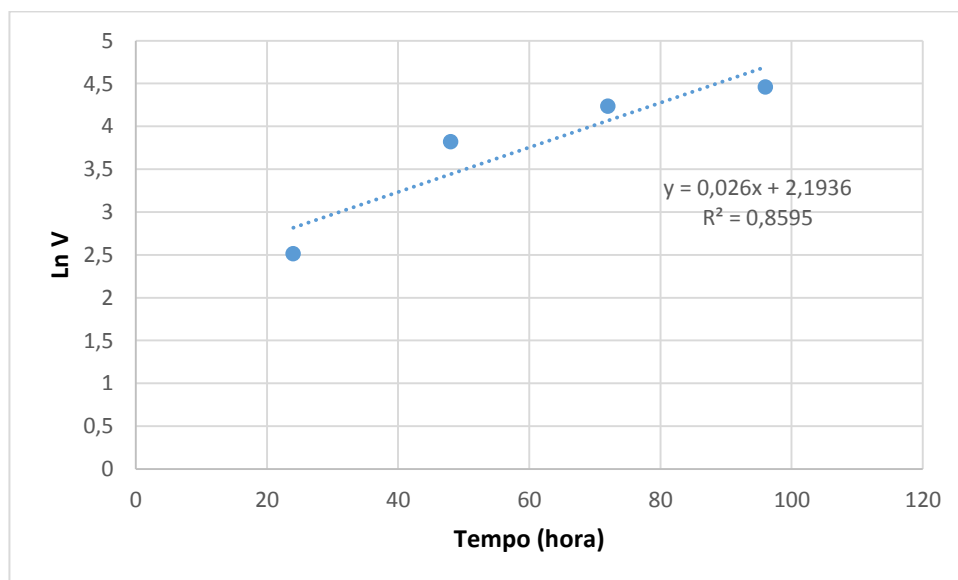


Figura 4 – Análise da biodigestão da casca de banana de acordo com o modelo cinético de 1ª Ordem, a 35 °C.

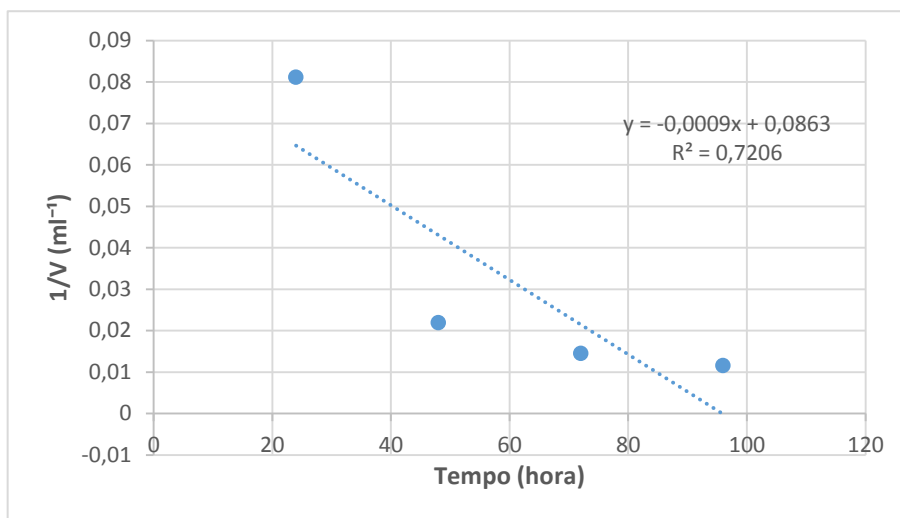


Figura 5 – Análise da biodigestão da casca de banana de acordo com o modelo cinético de 2ª Ordem, a 35 °C.

Conforme pode ser observado, o modelo que melhor interpreta os dados de volume de biogás produzido na temperatura de 35 °C é o de primeira ordem. Enquanto no tratamento de primeira ordem o coeficiente de correlação foi de 0,8595, na interpolação com a equação de segunda ordem obteve-se um coeficiente de correlação de 0,7206.

Considerando que a biodigestão seguiu uma cinética de primeira ordem, o valor da constante de velocidade (k) encontrado a temperatura de 35 °C é de 0,026 h<sup>-1</sup>.

Para a temperatura de 45 °C também foram construídos os gráficos segundo uma cinética de primeira e segunda ordem (Figuras 6 e 7, respectivamente). Os dados de volume utilizados nestas análises correspondem aos registrados no biodigestor 1.

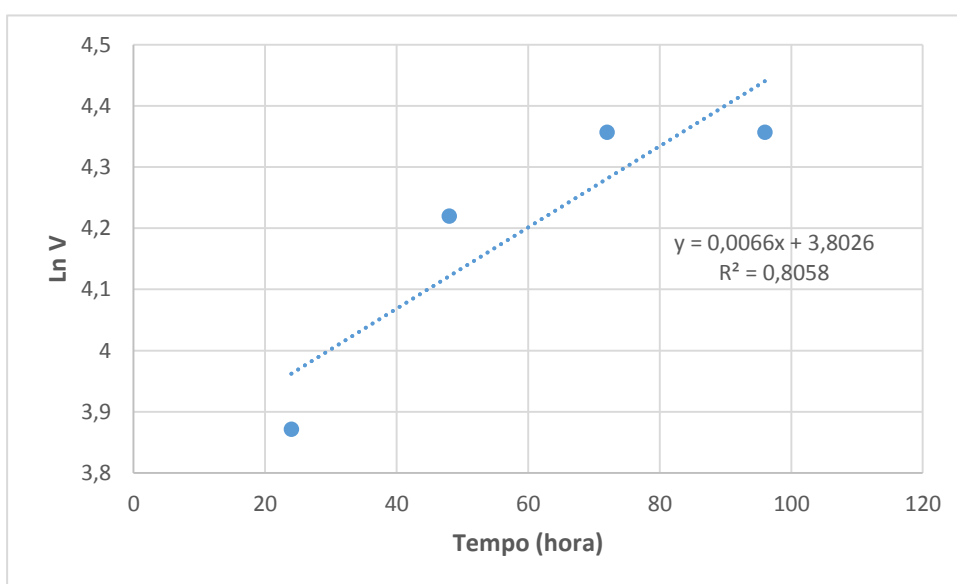


Figura 6 – Análise da biodigestão da casca de banana de acordo com o modelo cinético de 1ª Ordem, a 45 °C.

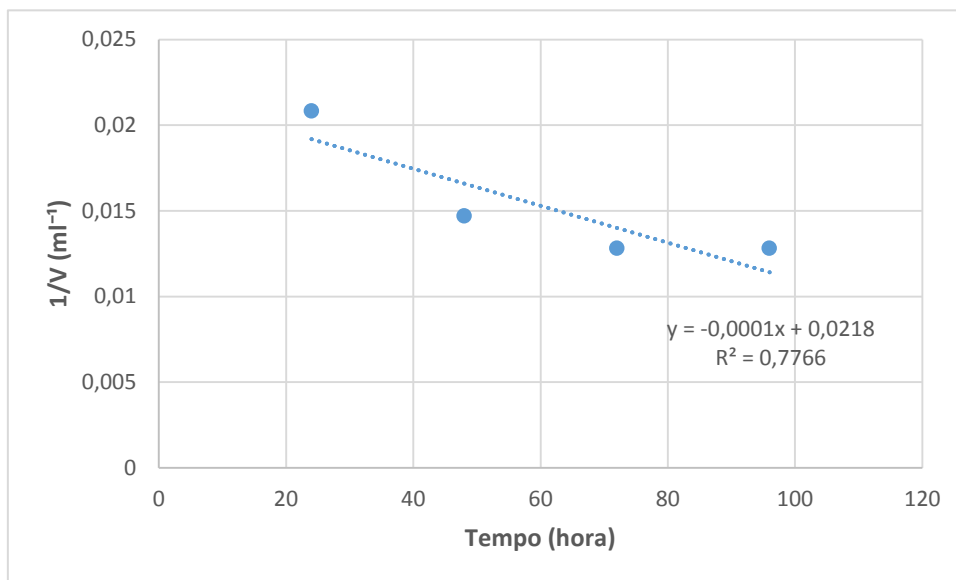


Figura 7 – Análise da biodigestão da casca de banana de acordo com o modelo cinético de 2ª Ordem, a 45 °C.

O modelo aplicado a uma cinética de primeira ordem também interpreta melhor os dados do processo de biodigestão investigado quando comparado ao modelo de segunda ordem para a temperatura de 45 °C. Assim, utilizando-se o modelo de primeira ordem determina-se uma constante de velocidade (k) da ordem de 0,0066 h<sup>-1</sup> a 45 °C, ou seja, bastante inferior a constante de velocidade registrada a 35 °C. Este resultado pode ser justificado pelo fato de que o aumento da temperatura causa uma perda da atividade das bactérias presentes no agente ativante, uma vez que a temperatura ideal de funcionamento das mesmas está mais próxima a 35 °C.

Por fim, é importante destacar que em um processo de biodigestão de materiais orgânicos, como aqueles empregados em nossos estudos, há uma série de reações ocorrendo em paralelo. Portanto, aplicar os modelos cinéticos de primeira e segunda ordem significa apenas uma tentativa de estimar o valor aproximado da velocidade de biodigestão, uma vez que estes modelos cinéticos foram deduzidos considerando-se apenas uma etapa reacional.

#### 4 Considerações finais

Nos ensaios envolvendo diferentes cascas de frutas, a casca de banana foi a que apresentou a maior produção de biogás. Este resultado corrobora com o fato de que uma boa relação carbono/nitrogênio (C/N) influencia positivamente na produção de biogás, já que a casca de banana possui relação de 24/1, sendo esta muito próxima daquela tida como ideal, que é de 30/1. As demais cascas de frutas testadas possuem relação C/N mais afastadas deste valor considerado como ideal. O meio de biodigestão da casca de banana apresentou um dos pHs menos ácidos, também em acordo com a hipótese de que menores rendimentos são obtidos em meio mais ácido.

Os problemas enfrentados nos experimentos realizados para analisar o efeito da concentração do agente ativante podem estar relacionados à heterogeneidade deste material, sendo o mesmo constituído de partes sólidas e líquidas, a distribuição de bactérias em um mesmo volume de agente ativante pode ter sido bastante desigual.

Já nos estudos que envolveram avaliar a influência da temperatura no processo de biodigestão da casca de banana, os resultados seguiram uma tendência já esperada. Assim, em temperaturas próximas aquela considerada ideal (37 °C) para o funcionamento das bactérias presentes no agente ativante, como a 35 °C, registrou-se uma maior produção de biogás do que em temperaturas mais baixas (25 °C) ou mais altas (45 °C). Por fim, buscou-se analisar os dados de produção de biogás de acordo com os modelos cinéticos de primeira e segunda ordem. Tanto a 35 °C, quanto a 45 °C, o modelo de primeira ordem interpretou melhor os resultados obtidos, permitindo assim determinar a constante de velocidade do processo de biodigestão e demonstrando que esta diminui seu valor com o aumento da temperatura acima da considerada como ideal.

## 5 Referências

- ABREU, Erika Ferreira. Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.
- BENTO, Ana Laura; TORRES, Flavia Luana; LEMES, Rafael Rocha; Magalhães, Taciani de A. Sistema de Gestão Ambiental para Resíduos Sólidos Orgânicos. Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG. 2013.
- CORTEZ, Luis A. B.; PEREZ, Juan M. M.; ROCHA, José D., JORDAN, Rodrigo A., MESA, Henry R. M. Processamento De Casca E Fibra De Coco Verde Por Carbonização Para Agregação De Valor. Universidade Estadual Paulista - UNESP . 2009
- COSTA, F. David. Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás do Tratamento de Esgoto. Universidade de São Paulo – USP. Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia. 2006.
- HAULY, Maria Celia de Oliveira; OLIVEIRA, Antonio Sergio de; POPPER, Irene. Digestão microbiana de matéria orgânica, produção de biogás e biofertilizante. Departamento de Química da Universidade Estadual de Londrina. 1983.
- NETO, W.S. Cinética de processos fermentativos. In: CURSO FERMENTATION TECHNOLOGY, 1999, Florianópolis.1999, p. 27.
- PECORA, V. Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP – Estudo de Caso. 2006. 152 p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – PIPGE.
- PEREIRA, William Caldart; PAVAN, André Aparecido. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás na suinocultura. UNIOESTE – CCET, Campus Cascavel. 2004
- QUEIROZ, José E. G. Botânica geral e comparada 1. Faculdade de Tecnologia e Ciências. Licenciatura em Biologia – EaD. 2011

REIS, S. Alexandro. Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos em Biodigestores Anaeróbicos. Universidade Federal do Pernambuco – UFPE. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. 2012.

RICCI, Marta dos Santos Friere; NEVES, Maria Cristina Prata; NANNETTI, Alex Nogueira; MOREIRA, Cássio Franco; AGUIAR-MENEZES, Elen de Lima; SILVA, Érico; CAIXETA, Ivan Franco; ARAÚJO; João Batista Silva; LEAL, Marco Antônio de Almeida; FERNANDES, Maria do Carmo; ALMEIDA, Paulo Sérgio de; PEDINI, Sérgio. Cultivo do café Orgânico. Embrapa Agrobiologia, Sistemas de Produção, 2 - 2ª Edição ISSN 1806-2830 Versão Eletrônica, 2006.

ROYA, Bruno; FREITAS, Eduardo; BARROS, Evandro; ANDRADE, Fábio; PRAGANA, Michael; SILVA, Djalma José A. Biogás – Uma Energia Limpa. Revista Eletrônica Novo Enfoque. 2011.

SILVA, Wellington Régis. Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduo sólidos vegetais. Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa. 2009.

SOARES, Thelma Schirlen; CARNEIRO, Angélica C. Oliveira; GONÇALVES, Elzimar de Oliveira; LELLES, José Gabriel. Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia. Universidade Federal de Viçosa. Revista Científica Eletronica de Engenharia Florestal. 2006.

ZAIAT, M. Desenvolvimento e Análise de Biorreatores Anaeróbios Contendo Células Imobilizadas para Tratamento de Águas Residuárias: Reator anaeróbio de leito fixo, reator anaeróbio operado em bateladas sequenciais. Texto (Concurso Público de Título de Livre-Docente) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, 2003.