



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

VI-061 – DESEMPENHO DE BIODIGESTORES RURAIS ANAERÓBIOS ALIMENTADOS EM BATELADA COM RESÍDUOS DA AVICULTURA E SUINOCULTURA COM E SEM A UTILIZAÇÃO DE INÓCULO EM DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO

Lara Steil⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Biotecnologia pelo Instituto de Química (UNESP/Araraquara). Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Jorge de Lucas Júnior

Engenheiro Agrônomo pela FCAV-UNESP/Jaboticabal. Mestre em Produção Vegetal pela FCAV-UNESP/Jaboticabal. Doutor em Energia na Agricultura pela FCA-UNESP/Botucatu. Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP-Jaboticabal.

Roberto Alves de Oliveira

Engenheiro Agrônomo, formado pela FCAV-UNESP/Jaboticabal. Mestre em Produção Vegetal pela FCAV-UNESP/Jaboticabal e Doutor em Engenharia Civil, área de concentração Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP/São Carlos. Professor Assistente Doutor do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP-Jaboticabal.

Endereço⁽¹⁾: Alameda das Rosas, 132 – Cidade Jardim – São Carlos – SP – CEP 13566-560 – Brasil – Tel. (16) 273-9560



: lsteil@sc.usp.br

RESUMO

O presente trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias da Unesp – Campus de Jaboticabal, cujas coordenadas geográficas são 21°15'22"S; 48°18'58"W e altitude média de 575 metros. Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da utilização de inoculo adicional na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos, assim como estudar a influência de diferentes estações do ano sobre o processo. Com base em todos os parâmetros estudados, pode-se observar que a utilização de inoculo adicional favorece a partida de um novo processo, aumenta o potencial da biomassa na conversão do substrato, além de favorecer a predominância de metano no biogás produzido logo no início do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestores rurais, inoculo adicional, tratamento de resíduos da avicultura e suinocultura.

INTRODUÇÃO

O poder de poluição dos resíduos animais é extremamente alto, face ao elevado número de contaminantes que possuem, cuja ação individual ou combinada, representa uma fonte potencial de contaminação do ar, dos recursos hídricos e do solo. Estes fatos vêm exigindo uma legislação ambiental cada vez mais rigorosa.

O grande desafio para um país que possui 38 milhões de cabeças de suínos (ABCS, 2004), um plantel de aves de mais de 800 milhões de cabeças (IBGE, 2000) é o manejo adequado do enorme volume de resíduos gerados nessas explorações pecuárias.

Levando-se em conta que os dejetos de animais apresentam alta carga orgânica e que contém as populações microbianas necessárias à digestão anaeróbia, ou seja, um inóculo natural, e que no início do processo a biomassa acidogênica é maior que a metanogênica, a utilização de inóculo adicional na partida do biodigestor apresenta-se como uma boa solução para manter um equilíbrio entre as fermentações ácida e metanogênica, uma vez que conterá uma população metanogênica elevada. Além disso, a utilização de inóculo em biodigestores pode levar a um aumento do potencial da biomassa na conversão do substrato, assim como à antecipação da produção de biogás, como foi avaliado por Lucas Jr *et al* (1993).

Considerando a importância da presença de uma comunidade diversificada no processo de degradação de resíduos orgânicos, este trabalho teve como objetivos avaliar a influência da utilização de inóculo adicional na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos, assim como estudar a influência de diferentes estações do ano sobre o processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em biodigestores tipo batelada instalados no Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP – Campus de Jaboticabal.

Este trabalho foi dividido em duas etapas, sendo que na primeira foi avaliada a influência do uso de inóculo no processo de digestão anaeróbia e na segunda fase comparou-se o desempenho dos reatores em diferentes épocas do ano (primavera, verão, outono e inverno). Para a realização da primeira etapa do experimento foram utilizados biodigestores de campo e de bancada alimentados em batelada. Na segunda etapa apenas os biodigestores de campo alimentados em batelada foram usados.

Os biodigestores de bancada constituíam-se de dois vidros, cada um com capacidade útil de substrato em digestão de 2 litros, fechados com tampa de borracha com um tubo metálico no centro para permitir a passagem do biogás produzido para tubos de látex, os quais se conectam a gasômetros. Os gasômetros são metálicos e possuem "selo de água", permitindo o armazenamento e medida do biogás produzido. A Figura 1 mostra detalhes dos biodigestores de bancada.

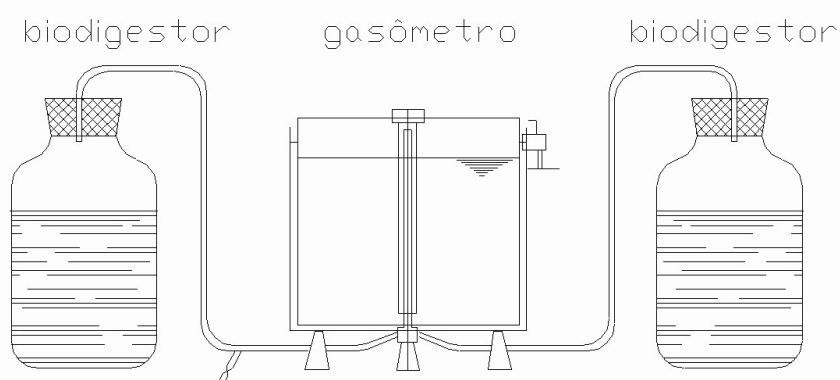


Figura 1. Esquema dos biodigestores tipo batelada montados em laboratório. (Fonte: Santos, 1997)

Os biodigestores de campo apresentaram capacidade útil de 60 litros de substrato em fermentação e fazem parte de uma bateria de mini-biodigestores, descrita por ORTOLANI *et al.* (1986). São constituídos, basicamente, por dois cilindros retos, um dos quais, encontra-se inserido no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior comporte um volume de água que se convencionou denominar "selo de água", atingindo profundidade de 480 mm. Uma campânula flutuante de fibra de vidro, emborcada no "selo de água", propicia as condições anaeróbias sob as quais se desenvolve o processo de digestão, além de armazenar o gás produzido e conferir pressão ao mesmo. Os biodigestores são semi-subterrâneos, sendo a superfície do solo a sua volta revestida por uma calçada de concreto com 5 cm de espessura. O cilindro interior (câmara de fermentação) encontra-se em comunicação com uma vala de drenagem através de um tubo de escoamento ligado ao fundo da câmara e que serve para limpeza. A Figura 2 mostra detalhes de um biodigestor batelada.

Na primeira etapa a alimentação dos biodigestores de bancada foi realizada utilizando-se separadamente os resíduos de

aves de postura, frangos de corte e suínos diluídos em água. Os biodigestores de campo foram abastecidos com os resíduos separadamente, água e 10% de inóculo adicional, que era o efluente de um biodigestor alimentado com uma mistura contendo dejetos de suínos e frangos. Na segunda fase os biodigestores de campo foram alimentados individualmente com cada resíduo, água e 10% de inóculo adicional. O inóculo utilizado constituiu-se no efluente de biodigestor alimentado anteriormente com o mesmo tipo de resíduo. A primeira alimentação foi realizada no verão, seguida pela alimentação de outono, inverno e primavera. Cada alimentação era feita em duplicata.

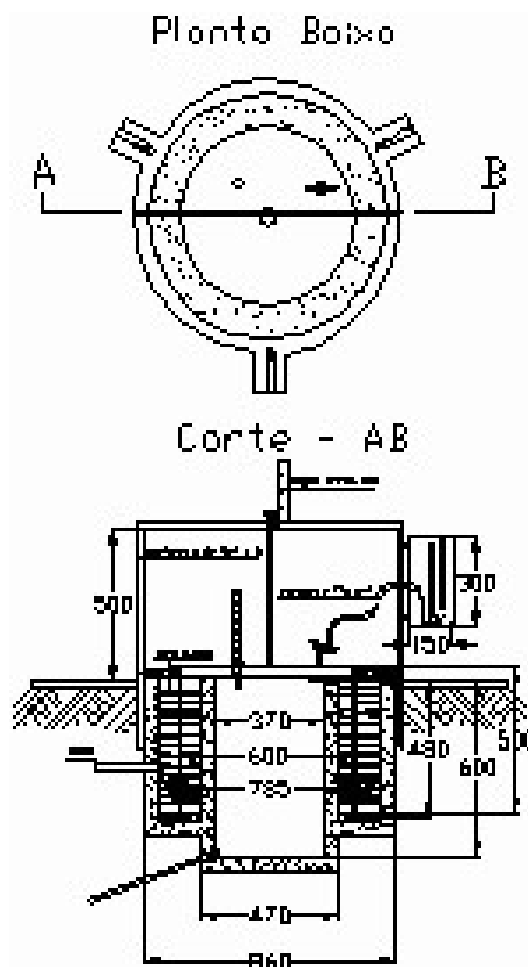


Figura 2: Esquema dos biodigestores batelada de campo, medidas em mm. (Fonte: Ortolani *et al.*, 1986).

O desempenho dos biodigestores foi avaliado a partir da determinação das concentrações afluente e efluente de sólidos totais e voláteis de acordo com método descrito pela APHA (1995), produção diária de biogás e composição do biogás conforme relatado em STEIL *et al.* (2002). No período inicial do experimento, após a determinação do biogás produzido, efetuou-se o teste de queima do mesmo, para que se pudesse determinar, de forma simples, a predominância de metano no biogás e, portanto, a possibilidade de utilização do mesmo como gás combustível.

Para o preparo dos substratos, utilizaram-se resíduos de aves de postura, de frangos de corte e suínos, obtidos, respectivamente, junto ao setor de avicultura da FCAV – Unesp; de galpão comercial pertencente à Empresa Frango Sertanejo, localizada no município de Sertãozinho – SP, utilizando serragem de madeira (pó-de-serra de pinus) como material base (cama); e junto ao setor de suinocultura da FCAV – Unesp, na fase de terminação.

Buscou-se o preparo de substratos para entrada nos biodigestores com concentração de sólidos totais de 8 mg L⁻¹, como sugerido por Lucas Jr. *et al.* (1993), que observaram melhor produção de biogás com essa concentração de sólidos.

RESULTADOS PRIMEIRA FASE

A Figura 3 mostra a distribuição média acumulada de 7 dias da produção de biogás ao longo do período de operação dos reatores e a porcentagem média acumulada de biogás produzido. Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os

resultados médios de ST, SV, redução de SV, porcentagem de metano no biogás, tempo de operação dos reatores e potenciais de produção de biogás durante a primeira fase do experimento.

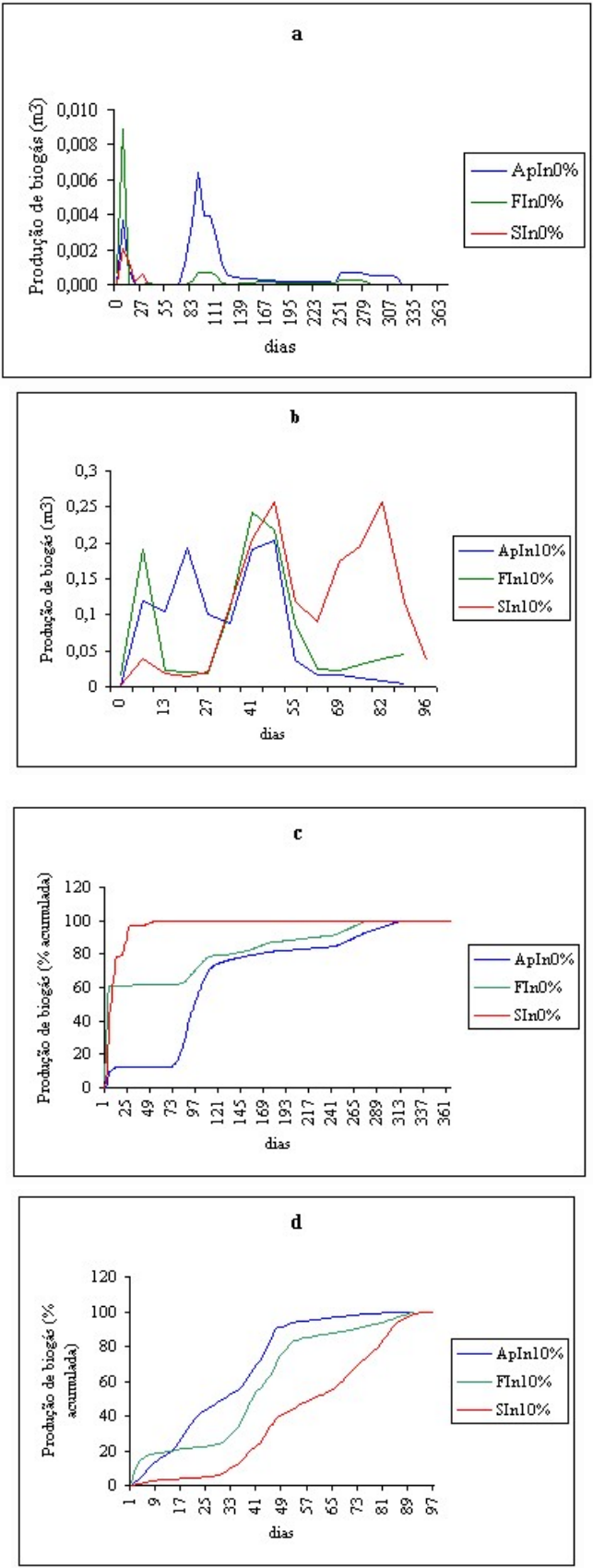


Figura 3. Distribuição média da produção de biogás nos biodigestores sem inóculo adicional (a) e com 10% de inóculo adicional (b); porcentagem acumulada de biogás produzido pelos biodigestores sem inóculo adicional (c) e com inóculo adicional (d).

A comparação das porcentagens médias de redução nos teores de sólidos voláteis (SV) nos biodigestores de bancada sem inóculo adicional com os biodigestores de campo com inóculo adicional mostrou que para os resíduos de aves de postura a maior redução foi obtida quando não se utilizou inóculo (ApIn0%). Porém esse resultado está relacionado ao tempo de operação dos biodigestores sem inóculo, que foi de 366 dias, enquanto aqueles com inóculo (ApIn10%) foram operados por apenas 90 dias. Aos 90 dias de operação dos biodigestores sem inóculo apenas 42,6% do total médio de biogás havia sido produzido, mostrando que, embora o inóculo natural presente nos resíduos tenha sido capaz de promover a digestão do mesmo, o tempo necessário para que o processo ocorresse foi extremamente longo comparado ao substrato ApIn10%. Além disso, a presença de inóculo adicional elevou o potencial de produção de biogás, sendo que ApIn0% e ApIn10% apresentaram respectivamente, potenciais médios de 1,37 e 0,03 m³ CH₄ kg⁻¹ SV reduzidos.

Tabela 1. Teores de ST e SV iniciais e finais (g L⁻¹), porcentagem de redução de SV, teor de metano presente no biogás (%) e tempo de operação dos reatores (dias) reatores alimentados com resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos sem inóculo adicional (ApIn0%, FIn0% e SIn0%, respectivamente) e com 10% de inóculo adicional (ApIn10%, FIn10% e SIn10%, respectivamente).

Substrato	ST (g L ⁻¹)		SV (g L ⁻¹)		Redução de SV (%)	Teor de CH ₄ no biogás (%)	Tempo de operação dos reatores (dias)
	Inicial	final	Inicial	final			
ApIn0%	6,07	4,47	3,98	2,08	47,6	73,1	366
ApIn10%	5,28	4,34	3,53	2,20	37,8	80,0	90
FIn0%	5,47	4,40	4,88	3,85	21,0	65,9	366
FIn10%	6,20	3,09	5,53	2,58	53,4	74,5	90
SIn0%	5,51	4,48	4,55	3,53	22,4	39,0	366
SIn10%	5,93	3,89	4,82	2,67	44,7	78,8	96

Tabela 2. Potenciais de produção de biogás expressos como m³ de biogás produzido por kg de substrato, de ST adicionados, SV adicionados, SV reduzidos e de resíduo, obtidos nos reatores alimentados com resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos sem inóculo adicional (ApIn0%, FIn0% e SIn0%, respectivamente) e com 10% de inóculo adicional (ApIn10%, FIn10% e SIn10%, respectivamente).

Substrato	Potenciais de produção de biogás				
	m ³ kg ⁻¹ substrato	m ³ kg ⁻¹ ST adicionados	m ³ kg ⁻¹ SV adicionados	m ³ kg ⁻¹ SV reduzidos	m ³ kg ⁻¹ resíduo
ApIn0%	0,02	0,30	0,47	0,03	0,07
ApIn10%	0,02	0,34	0,52	1,37	0,09
FIn0%	0,007	0,13	0,15	0,02	0,07
FIn10%	0,02	0,29	0,32	0,60	0,22
SIn0%	0,001	0,02	0,03	0,004	0,003
SIn10%	0,03	0,46	0,57	1,28	0,07

Para os resíduos de frangos de corte e suínos pode-se observar que mesmo após 366 dias de operação dos biodigestores sem inóculo adicional, os microrganismos naturalmente presentes nos dejetos animais não foram capazes de promover a digestão dos resíduos com eficiência semelhante aos biodigestores com inóculo adicional. As porcentagens de redução de SV nos biodigestores alimentados com resíduos de frangos de corte foram de 53,4% para o substrato com inóculo adicional (FIn10%) e de 21,0% para o substrato sem inóculo adicional (FIn0%). Os potenciais de produção de biogás encontrados foram 0,60 e 0,02 m³ CH₄ kg⁻¹ SV reduzidos, respectivamente para FIn0% e FIn10%. Para os resíduos de suínos a redução de SV foi de 44,6% e 22,4% respectivamente para SIn10% e SIn0%, e os potenciais encontrados para esses substratos foram, respectivamente, de 1,28 e 0,004 m³ CH₄ kg⁻¹ SV reduzidos.

Em relação à produção diária de biogás pode-se observar que nos biodigestores de bancada, essa produção foi pequena e irregular quando comparada com aquela encontrada nos biodigestores de campo. O que leva à observação de que, embora um inóculo natural capaz de dar andamento ao processo de digestão anaeróbia esteja presente nos dejetos de animais, é necessário que este inóculo natural esteja adaptado ao substrato para que, então, possa converter os compostos orgânicos do resíduo em biomassa bacteriana e produtos finais. Esta adaptação demanda tempo. Como os biodigestores batelada de laboratório contaram apenas com os microrganismos preexistentes nos dejetos, uma lenta produção de biogás era esperada.

Os testes de queima realizados mostraram que o biogás produzido a partir dos substratos ApIn10%, FIn10% e Sin10% queimou pela primeira vez após a alimentação aos 12, 15 e 12 dias, respectivamente. Para os substratos ApIn0% e FIn0% a queima se deu aos 83 e 89 dias, respectivamente. Com base nesses resultados verifica-se que a utilização de inóculo permitiu teores suficientes de metano no biogás logo no início do processo, permitindo a queima do mesmo. Os biodigestores de laboratório operados com resíduos de suínos apresentaram apenas uma pequena produção de biogás no início do processo sem que ocorresse sua queima.

O biogás produzido nos biodigestores de campo foi avaliado quanto ao seu conteúdo de gás carbônico e metano semanalmente. Devido ao pequeno volume de biogás produzido e à irregularidade de produção nos biodigestores de bancada, a análise de sua composição foi possível uma única vez para o biodigestor operado com dejetos de suínos e algumas poucas vezes para os biodigestores operados com dejetos de aves de postura e frangos de corte.

As concentrações médias de metano encontradas no biogás após a primeira queima, foram de 73,1 e 65,9% respectivamente para ApIn0% e FIn0%. O biogás produzido a partir do substrato SIn0% apresentou concentração média de metano de 39,0% na única amostragem possível. Os substratos com inóculo adicional produziram teores de metano de 80,1; 74,5 e 78,8% respectivamente para ApIn10%, FIn10% e SIn10%. As concentrações elevadas de metano encontradas quando o processo de digestão anaeróbia ocorreu satisfatoriamente ressalta a possibilidade de utilização do biogás produzido em diversas atividades na propriedade rural, tais como em chocadeiras, incubadoras, câmpulas para aquecimento de aves, refrigeradores, geradores de energia elétrica, além do consumo doméstico.

RESULTADOS SEGUNDA FASE

Nas Tabelas 3 e 4 podem ser vistos os resultados médios de ST, SV, redução de SV, porcentagem de metano no biogás, tempo de operação dos reatores e potenciais de produção de biogás durante a segunda fase do experimento.

Tabela 3. Teores de ST e SV iniciais e finais (g L⁻¹), porcentagem de redução de SV, teor de metano presente no biogás (%), tempo de operação dos reatores (dias) alimentados com resíduos de aves de postura (Ap), frangos de corte (F) e suínos (S) com 10% de inóculo adicional nas diferentes estações do ano.

Estação do ano / Substrato	ST (g L ⁻¹) Inicial final		SV (g L ⁻¹) Inicial final		Redução de SV (%)	Teor de CH ₄ no biogás (%)	Tempo de operação dos reatores (dias)
Verão							
Ap	5,28	4,34	3,53	2,20	37,8	80,0	90
F	6,20	3,09	5,53	2,58	53,4	74,5	90
S	5,93	3,89	4,82	2,67	44,6	78,8	96
Outono							
Ap	10,19	5,06	7,42	3,00	59,6	78,0	77
F	5,83	4,27	5,32	3,56	33,0	69,3	77
S	8,72	5,38	7,02	3,78	46,2	71,4	71
Inverno							
Ap	7,44	3,59	5,03	1,99	60,5	70,7	74
F	7,09	4,30	6,10	3,26	46,6	68,6	74
S	10,53	7,61	8,49	5,76	32,1	62,6	74
Primavera							
Ap	7,16	4,01	4,80	2,12	55,9	67,9	33
F	4,61	3,76	3,71	2,98	19,7	62,5	48
S	7,02	4,66	5,78	3,56	38,3	66,0	41

Tabela 4. Potenciais de produção de biogás expressos como m³ de biogás produzido por kg de substrato, de ST adicionados, SV adicionados, SV reduzidos e de resíduo, obtidos nos reatores alimentados com resíduos de aves de postura (Ap), frangos de corte (F) e suínos (S) com 10% de inóculo adicional nas diferentes estações do ano.

Estação do ano / Substrato	Potenciais de produção de biogás				
	m ³ kg ⁻¹ substrato	m ³ kg ⁻¹ ST adicionados	m ³ kg ⁻¹ SV adicionados	m ³ kg ⁻¹ SV reduzidos	m ³ kg ⁻¹ resíduo
Verão					
Ap	0,02	0,34	0,52	1,37	0,09
F	0,02	0,29	0,32	0,60	0,22
S	0,03	0,46	0,57	1,28	0,07
Outono					
Ap	0,01	0,14	0,20	0,33	0,07
F	0,01	0,19	0,20	0,62	0,11
S	0,03	0,32	0,39	0,85	0,07
Inverno					
Ap	0,02	0,29	0,42	0,70	0,09
F	0,01	0,18	0,21	0,45	0,13
S	0,01	0,06	0,07	0,23	0,01
Primavera					
Ap	0,02	0,32	0,47	0,85	0,08
F	0,01	0,29	0,36	2,18	0,15
S	0,01	0,19	0,23	0,60	0,03

Os resultados de potenciais de produção de biogás na segunda fase mostraram que para os biodigestores alimentados com substratos contendo resíduos da avicultura de postura e de corte há uma queda nos períodos de menores temperaturas, com recuperação dos potenciais logo em seguida provavelmente devido a uma melhora na adaptação do inóculo ao resíduo na medida em que as alimentações se sucedem. Os potenciais encontrados para os resíduos de aves de postura foram de 1,37; 0,33; 0,70 e 1,42 m³ CH₄ kg⁻¹ SVreduzidos nas estações de verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Para os resíduos de frangos de corte os potenciais no verão, outono, inverno e primavera foram de, respectivamente, 0,60; 0,62; 0,45 e 1,25 m³ CH₄ kg⁻¹ SVreduzidos.

No caso dos resíduos de suínos, o maior potencial encontrado foi na primeira alimentação (Verão: $0,57 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ SVreduzidos}$). Ocorrendo queda no outono ($0,39 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ SVreduzidos}$) e queda brusca no inverno ($0,07 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ SVreduzidos}$). A produção se recupera na primavera ($0,20 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ SVreduzidos}$), mas sem superar os potenciais alcançados na primeira alimentação, como ocorreu com os outros resíduos. Isso pode estar associado ao fato de que o inóculo utilizado na primavera foi o efluente dos biodigestores de inverno, e como nessa estação o desempenho dos reatores com substrato de suínos foi significativamente inferior a todos os anteriores, a população microbiana poderia estar pouco ativa, gerando potenciais de produção menores em relação ao verão. Além disso, o tempo de operação dos reatores na primavera foi inferior ao das outras estações.

CONCLUSÕES

Observando-se os resultados obtidos pode-se notar que a utilização de inóculo adicional favorece a partida de um novo processo, aumenta o potencial da biomassa na conversão do substrato, além de favorecer a predominância de metano no biogás produzido logo no início do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. Washington, 1995.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS. Rebanho Suíno. Disponível em: <http://www.abcs.com.br>. Acesso em: 15 jan. 2004.
3. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Brasil em síntese / Agropecuária / Pecuária e pequenos animais. Disponível em http://www.ibge.gov.br/brasil_em_sintese/default.htm. Acesso em 15 jan. 2004.
4. LUCAS JUNIOR, J.; ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; IMADA, R. Y. Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22. 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. v. 2, p. 915-30.
5. SANTOS, T. M. B. Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte. 1997. 95f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.
6. ORTOLANI, A. F. et al. Bateria de mini-biodigestores: Estudo, projeto, construção e desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. Anais... Botucatu: FCA/UNESP, 1986. p. 229-239.
7. STEIL, L.; LUCAS JR., J.; OLIVEIRA, R. A. Avaliação do uso de inóculos na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 22, n. 2 p. 146-159, maio, 2002.