

## Produção de biogás a partir de biomassas residuais provenientes do setor agroindustrial



Odorico Konrad  
Camila Hasan  
Eugênia Vargas Hickmann  
Munique Marder  
Marildo Guerini Filho  
Maria Cristina de Almeida Silva

# **Produção de biogás a partir de biomassas residuais provenientes do setor agroindustrial**

Laboratório de Biorreatores  
Tecnovates  
Lajeado (RS) - Brasil  
[www.univates.br](http://www.univates.br)

Dezembro de 2018



Universidade do Vale do Taquari  
Polo de Modernização Tecnológica do Vale do Taquari  
Parque Científico e Tecnológico do Vale do Taquari  
Laboratório de Biorreatores

**Reitor da Univates**

Ney José Lazzari

**Coordenador do Projeto**

Odorico Konrad

**Revisão Linguística**

Veranice Zen e Sandra Lazzari Carboni



**Convênio SDECT DCIT nº 57/2016**

Governo do Estado do Rio Grande do Sul  
Secretaria de Desenvolvimento, Ciência e Tecnologia

**Governador do Estado do Rio Grande do Sul**

José Ivo Sartori

**Secretária de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia**

Susana Kakuta

# 1. APRESENTAÇÃO

Garantir segurança energética, evitar o esgotamento dos recursos naturais e reduzir a poluição são três dos maiores desafios da contemporaneidade que exigem uma mudança de paradigma na gestão de recursos e meio ambiente, visto que, tradicionalmente, o conceito de progresso está fundamentado no consumo indiscriminado dos recursos naturais (UMBACH, 2010).

A agropecuária intensiva e a agroindustrialização no Estado do Rio Grande do Sul geram um volume significativo de biomassas residuais que intensificam problemas ambientais relacionados à disposição de resíduos orgânicos. Neste cenário, o uso desses resíduos para geração de biogás constitui uma alternativa que contribui para a redução de impactos ambientais e para a oferta de energia renovável, agregando valor aos resíduos orgânicos gerados pelo setor produtivo e de transformação.

O biogás é um combustível renovável com potencial de produção e aplicações variadas, podendo ser obtido a partir da digestão anaeróbia de distintas biomassas, de fontes residuais ou não. Quando purificado, o biogás dá origem ao biometano, um gás com poder calorífico maximizado devido à maior participação do metano ( $\text{CH}_4$ ) na mistura gasosa, podendo ser equiparado ao gás natural (GNV) em características de composição e em todas as suas utilizações: produção de eletricidade, aquecimento e combustível veicular.

Desde 2009 o Laboratório de Biorreatores da Univates desenvolve pesquisas na área do biogás, a partir da investigação dos potenciais de produção de biogás oriundo, principalmente, de biomassas residuais. Em 2017, ao ser contemplado com recursos do Governo do Estado, pôde ampliar seu escopo de atividades incluindo avaliações na área do aproveitamento do biogás em relação ao seu potencial de geração de energia elétrica, térmica e como combustível veicular. Este Boletim Técnico expressa os principais resultados obtidos com o projeto “Tratamento anaeróbio de biomassas residuais com foco na geração de energia renovável”, no que diz respeito à produção de biogás a partir de biomassas residuais. O projeto teve como parceira e objeto de estudo a Cooperativa Languiru, com sede no município de Teutônia - RS e abrangência regional em atividades que movimentam os setores primário e secundário do Vale do Taquari - RS.

## 2. VISÃO DO PROJETO

Considerando a energia um insumo indispensável à garantia do desenvolvimento regional e analisando a diversidade e os volumes de resíduos orgânicos gerados pelas inúmeras atividades agropecuárias e industriais que sustentam o Vale do Taquari, inseriu-se esta proposta de pesquisa e incentivo ao uso de biomassas residuais na produção de biogás com o intuito de possibilitar o seu aproveitamento energético.



Imagens: Germano Tiago Wojahn

## 3. BIOMASSAS RESIDUAIS

No contexto energético, “[...] biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia” (ANEEL, 2005, p. 77).

A Região Sul do Brasil tem se mostrado relevante no setor de produção de alimentos, com ênfase na criação de animais para abate e processamento. Essas atividades resultam em uma quantidade elevada de biomassas residuais com alta carga orgânica que podem ser aproveitadas na digestão anaeróbia para a produção de biogás (KONRAD et al., 2016).

Este projeto investigou o potencial de produção de biogás de 13 biomassas residuais, que incluem dejetos animais, lodos de Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) e resíduos do processamento de alimentos de uma Cooperativa de Alimentos do Vale do Taquari, além de duas amostras referentes a misturas de codigestão dos substratos da Cooperativa.



## Dejetos animais

Os dejetos animais possuem alta carga orgânica, proveniente das fezes e urina, liberadas juntamente com a água desperdiçada em bebedouros ou resultantes da higienização de espaços de confinamento, resíduos de ração, pelos, poeiras, entre outros materiais decorrentes do processo criatório.

A adoção dos sistemas de produção de animais sob confinamento amplia a produtividade e, conseqüentemente, os volumes de dejetos animais gerados por propriedade rural, resultando em problemas de disposição de resíduos. No entanto, são também essas mesmas características que conferem à Região Sul do Brasil amplo potencial para viabilizar a produção de biogás, devido à concentração de resíduos e efluentes das atividades agropecuárias, especialmente da suinocultura, bovinocultura de leite e avicultura (BIASI et al., 2018).

Na categoria de dejetos animais foram investigados: dejetos suíno das fases UPL (Unidade Produtora de Leitões), creche e terminação, dejetos bovinos (bovinocultura de leite) e cama aviária - material utilizado na avicultura de corte para a absorção dos dejetos gerados pelos frangos em aviários.



Imagens: Laboratório de Biorreatores Tecnovates

## Lodos de Estação de Tratamento de Efluentes

Segundo Von Sperling (2005, p. 358), o termo “lodo” tem sido utilizado para designar os subprodutos do tratamento de efluentes. Esse material se caracteriza por possuir elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes, apresentando-se na forma sólida, semissólida ou líquida (BATISTA, 2015). De acordo com Metcalf e Eddy (2016), a produção de lodo, bem como suas características, pode variar de acordo com o tipo do processo de tratamento



empregado. Neste contexto, destaca-se a geração de lodo por meio da remoção física de sólidos presentes no efluente bruto, por decantação ou flotação ou da biomassa microbiana excedente, oriunda de processos biológicos.

Na categoria dos Lodos de ETE, foram investigados neste estudo: lodos provenientes de flotor (lodo flotado) e de processos biológicos aerados (lodo ativado), resultantes das ETEs das unidades produtivas (UP) de laticínios e dos abatedouros de frangos e suínos da Cooperativa.



Imagens: Laboratório de Biorreatores Tecnovates

### **Resíduos do processo produtivo**

Todas as atividades humanas interagem com o meio ambiente, consumindo recursos e gerando rejeitos (SANTOS; YAMANAKA; PACHECO, 2005). Dentre elas, ressalta-se o processamento industrial do ramo alimentício, que a partir do emprego de matéria-prima para produção de insumos, inevitavelmente também produz resíduos e efluentes. Uma parcela corresponde a resíduos orgânicos que, de acordo com Karlsson et al. (2014), possuem potencial para utilização em processos de digestão anaeróbia para geração de biogás.

Na categoria dos Resíduos de Processo foram investigados neste estudo: leite de descarte da unidade produtiva de laticínios, sangue e pelo suíno do abatedouro de suínos e, ainda, sangue de aves do abatedouro de frangos.



Imagens: Laboratório de Biorreatores Tecnovates

### Misturas para ensaio de codigestão

O tratamento anaeróbio de dois ou mais substratos, por meio da codigestão, pode permitir o desenvolvimento eficiente do processo devido à sinergia dos cossustratos, apresentando vantagens sobre a digestão de resíduos individuais (monodigestão) (MATA-ALVAREZ et al., 2014). Dentre as vantagens que podem ser obtidas nesse processo cita-se a diluição de componentes tóxicos ou mesmo a adição de nutrientes ao meio.

Para a composição das misturas utilizadas no ensaio de codigestão das biomassas, os substratos foram combinados percentualmente de acordo com a sua representatividade de geração dentro da Cooperativa, ao serem analisados no montante total, conforme ilustrado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Referência utilizada para elaboração da mistura de lodos (*mix lodos*)

<b>Mix lodos</b>	<b>Quantidade gerada (Ton/mês)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Lodo Flotado (UP* Suínos)	412,5	25,2
Lodo Flotado Ativado (UP* Aves)	743,3	45,5
Lodo Flotado (UP* Laticínios)	450,1	27,5
Lodo Ativado (UP* Laticínios)	30,0	1,8
<b>TOTAL</b>	<b>1.635,9</b>	<b>100,0</b>

\* UP: Unidade Produtiva.

Fonte: adaptado da Base de Dados da Cooperativa Languiru (2017)



Tabela 2 – Referência utilizada para elaboração da mistura de lodos e sangue (*mix lodos e sangue*)

<b>Mix lodos e sangue</b>	<b>Quantidade gerada (Ton/mês)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Lodo Flotado (UP* Suínos)	412,5	21,7
Sangue (UP* Suínos)	120,0	6,3
Lodo Flotado Ativado (UP* Aves)	743,3	39,1
Sangue (UP* Aves)	144,2	7,6
Lodo Flotado (UP* Laticínios)	450,1	23,7
Lodo Ativado (UP* Laticínios)	30,0	1,6
<b>TOTAL</b>	<b>1.900,1</b>	<b>100,00</b>

\* UP: Unidade Produtiva

Fonte: adaptado da Base de Dados da Cooperativa Languiru (2017)

## 4. ENSAIOS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

Para identificar o potencial de produção de biogás obtido a partir de biomassas residuais, foram conduzidos ensaios de digestão anaeróbia no Laboratório de Biorreatores do Tecnovates. As premissas de ensaio foram adotadas com base em protocolo delineado pela normativa alemã VDI 4630 - *Fermentation of organic materials: characterisation of the substrate, sampling, collection of material data and fermentation tests* (2006), para determinação do Potencial Bioquímico de Biogás e Metano (PBB e PBM) referente aos substratos.

O potencial bioquímico de biogás e de metano de um substrato refere-se à quantidade máxima de gás que pode ser obtida por este, em determinadas condições, sendo expressa como volume de biogás ou metano por unidade de massa de matéria orgânica (sólidos voláteis). Para tanto, os ensaios de digestão anaeróbia são conduzidos em batelada, utilizando-se uma pequena quantidade de amostra de substrato incubado em condições mesofílicas, na presença de um inóculo anaeróbio (STEINMETZ et al., 2016). Consequentemente, para a determinação dos valores de PBB e PBM, o volume acumulado de biogás e metano da amostra é dividido pela quantidade de material orgânico adicionado ao reator, expressa pelos sólidos voláteis. No entanto, no reator, haverá também resíduos orgânicos referentes ao inóculo adicionado que produzirá certa quantidade de biogás no processo anaeróbio e, portanto, deve ser subtraído do volume total acumulado para obter a

verdadeira produção a partir do substrato (BIOPROCESS CONTROL, 2016). Assim, o PBB e o PBM podem ser expressos de acordo com a Equação 1.

$$PBB \text{ ou } PBM = \left( V_s - V_b \times \left( \frac{mSV_{is}}{mSV_{ib}} \right) \right) / mSV_s \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

Vs: Volume acumulado (biogás ou metano) do substrato com inóculo (amostra)

Vb: Volume acumulado (biogás ou metano) do branco (somente inóculo)

mSV<sub>is</sub>: massa de sólidos voláteis correspondentes ao inóculo na amostra

mSV<sub>ib</sub>: massa de sólidos voláteis correspondentes ao inóculo no branco

mSV<sub>s</sub>: massa de sólidos voláteis correspondentes ao substrato na amostra

Em complementação aos ensaios de digestão anaeróbia foram realizadas as análises descritas no Quadro 1 para todos os substratos avaliados.

Quadro 1 - Análises físicas e químicas efetuadas

Análise	Método	Referência/Equipamento
pH	Potenciométrico	Medidor de pH - TEC 7 (Tecnal).
Sólidos Totais e Sólidos Voláteis	Gravimétrico	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2450 Solids 2450G. Total, Fixed and Volatile solids in solid and semisolid samples. 20<sup>th</sup> edition, 1999.</i>
Carbono Total	Automatizado	Analisador Elementar do modelo PE-2400 Series II CHNS da marca PerkinElmer.
Nitrogênio Total	Automatizado	Analisador Elementar do modelo PE-2400 Series II CHNS da marca PerkinElmer.

Fonte: Laboratório de Biorreatores Tecnovates (2018)

No ensaio envolvendo a codigestão dos substratos, foram efetuadas análises de cromatografia gasosa, utilizando cromatógrafo gasoso disponível no Laboratório de Biorreatores do Tecnovates, do modelo Clarus 580 GC, da marca PerkinElmer, equipado com Detector Fotométrico de Chama (FPD) para identificação de H<sub>2</sub>S e com Detector por Condutividade Térmica (TCD) para leitura de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>, conforme descritivo apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Informações sobre a análise de Cromatografia Gasosa

Cromatógrafo Gasoso - Clarus 580 GC	
Tipo de coluna	Empacotada ( <i>Hayesep</i> e Peneira Molecular)
Gás de arraste e referência do TCD	Argônio
Gás de combustão do FPD	Hidrogênio
Temperatura do forno	60°C
Tipo e temperatura dos detectores	TCD (250°C) e FPD (325°C)
<i>Software</i>	<i>TotalChrom &amp; Int LINK</i>

Fonte: Laboratório de Biorreatores Tecnovates (2018)

A análise de caracterização do biogás produzido pelas misturas de codigestão foi efetuada quando o experimento atingiu estabilidade no percentual de metano identificado a partir de sensor específico (*Advanced Gasmitter* - Pronova). A análise cromatográfica foi realizada para identificação dos demais constituintes presentes no biogás além do metano. A partir da coleta de uma alíquota de 20 mL de biogás em cada reator das triplicatas em análise, efetuou-se a verificação dos constituintes do biogás gerado pelos *mixes*, tendo o resultado final considerado a média obtida nas análises.

## 5. RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES

### 5.1 Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e pH

Tabela 3 - Caracterização das biomassas em relação aos ST, SV e pH

Biomassas	1ª Coleta (Março/2018)			2ª Coleta (Agosto/2018)		
	Média ST (%)	Média SV (%)	pH	Média ST (%)	Média SV (%)	pH
Dejeto Suíno UPL	7,0 ± 0,1	63,8 ± 0,9	7,8	12,1 ± 0,2	59,1 ± 0,2	7,1
Dejeto Suíno Creche	1,8 ± 0,1	74,8 ± 0,8	6,5	2,0 ± 0,0	61,2 ± 0,2	7,1
Dejeto Suíno Terminação	12,7 ± 0,1	67,7 ± 0,0	7,6	4,5 ± 0,0	68,8 ± 0,2	7,5
Dejeto Bovino	14,4 ± 0,3	60,1 ± 0,0	8,1	15,3 ± 1,6	73,9 ± 0,2	7,0
Cama Aviária	75,4 ± 0,1	72,7 ± 0,5	-	69,5 ± 0,0	58,7 ± 0,5	-
Lodo Flotado Laticínios	3,5 ± 0,0	77,5 ± 0,3	6,6	5,3 ± 0,1	74,8 ± 0,7	6,9
Lodo Ativado Laticínios	2,2 ± 0,0	86,4 ± 0,2	7,2	2,6 ± 0,0	70,2 ± 2,3	7,6
Leite Descartado Laticínios	10,1 ± 0,0	88,7 ± 0,5	4,3	7,5 ± 0,1	92,7 ± 0,1	3,2
Lodo Flotado Abatedouro Suínos	6,3 ± 0,0	87,2 ± 0,0	6,0	5,5 ± 0,0	86,2 ± 0,1	6,8
Pelo Abatedouro Suínos	21,8 ± 0,3	92,2 ± 2,4	-	27,2 ± 1,5	96,6 ± 1,3	-
Sangue Abatedouro Suínos	18,5 ± 0,1	95,9 ± 0,8	6,9	14,40 ± 0,02	95,0 ± 0,4	7,2
Sangue Abatedouro Aves	11,2 ± 0,0	92,1 ± 0,0	6,3	6,75 ± 0,08	92,5 ± 0,2	7,4
Lodo Flotado Ativado Abatedouro Aves	6,1 ± 0,0	94,7 ± 0,1	5,4	3,7 ± 0,0	81,6 ± 0,4	6,2
Mix Lodos	5,5 ± 0,0	90,5 ± 0,1	5,3	4,9 ± 0,6	86,6 ± 1,6	6,6
Mix Lodos e Sangue	6,9 ± 0,0	91,7 ± 0,1	5,8	5,6 ± 0,4	86,9 ± 0,3	6,8

**Observações:** As médias estão acompanhadas do desvio padrão e os valores percentuais de SV se aplicam à parcela de ST identificada nas amostras.

## 5.2 Caracterização das amostras em relação a Carbono Total e Nitrogênio Total

Tabela 4 - Carbono Total e Nitrogênio Total

Biomassas	1ª Coleta (Março/2018)			2ª Coleta (Agosto/2018)		
	Média C (%)	Média N (%)	C:N	Média C (%)	Média N (%)	C:N
<b>Dejeto Suíno UPL</b>	27,4 ± 1,3	3,3 ± 0,1	8,3 ± 0,2	29,1 ± 0,7	3,6 ± 0,0	8,1 ± 0,2
<b>Dejeto Suíno Creche</b>	40,3 ± 0,8	3,8 ± 0,2	10,7 ± 0,7	31,8 ± 0,0	4,3 ± 0,0	7,3 ± 0,0
<b>Dejeto Suíno Terminação</b>	31,6 ± 0,3	4,6 ± 0,2	6,9 ± 0,3	34,9 ± 0,2	4,8 ± 0,1	7,3 ± 0,2
<b>Dejeto Bovino</b>	29,6 ± 0,7	2,1 ± 0,1	14,1 ± 0,6	33,9 ± 2,3	3,0 ± 0,4	11,3 ± 0,8
<b>Cama Aviária</b>	30,9 ± 1,9	3,7 ± 0,1	8,4 ± 0,3	24,0 ± 0,7	3,6 ± 0,0	6,6 ± 0,4
<b>Lodo Flotado Laticínios</b>	42,9 ± 0,3	5,8 ± 0,1	7,4 ± 0,1	49,9 ± 0,5	3,8 ± 0,2	13,0 ± 0,6
<b>Lodo Ativado Laticínios</b>	42,5 ± 0,3	6,5 ± 0,1	6,5 ± 0,0	43,1 ± 0,1	7,7 ± 0,0	5,6 ± 0,0
<b>Leite Descartado Laticínios</b>	46,2 ± 1,0	4,7 ± 0,2	9,9 ± 0,2	45,7 ± 0,2	3,3 ± 0,0	13,7 ± 0,2
<b>Lodo Flotado Abatedouro Suínos</b>	49,4 ± 0,1	6,2 ± 0,1	7,9 ± 0,1	46,7 ± 0,0	6,7 ± 0,0	6,9 ± 0,0
<b>Pelo Abatedouro Suínos</b>	47,5 ± 0,4	14,2 ± 0,0	3,3 ± 0,0	46,8 ± 0,3	14,4 ± 0,0	3,2 ± 0,0
<b>Sangue Abatedouro Suínos</b>	46,8 ± 0,2	13,2 ± 0,0	3,5 ± 0,0	47,2 ± 0,0	14,7 ± 0,0	3,2 ± 0,0
<b>Sangue Abatedouro Aves</b>	44,6 ± 0,3	13,2 ± 0,1	3,4 ± 0,0	44,5 ± 0,2	13,7 ± 0,1	3,3 ± 0,0
<b>Lodo Flotado Ativado Abatedouro Aves</b>	57,7 ± 0,0	4,7 ± 0,0	12,4 ± 0,1	52,9 ± 0,3	6,2 ± 0,4	8,5 ± 0,5
<b>Mix Lodos</b>	52,2 ± 0,2	6,1 ± 0,2	8,5 ± 0,3	50,7 ± 0,4	5,8 ± 0,0	8,7 ± 0,0
<b>Mix Lodos e Sangue</b>	50,1 ± 0,3	8,3 ± 0,1	6,0 ± 0,0	48,8 ± 0,3	8,0 ± 0,1	6,1 ± 0,0

**Observações:** As médias estão acompanhadas do desvio padrão e os valores percentuais de C e N correspondem à parcela verificada em matéria seca da amostra (temperatura de secagem: ~ 60°C).

### 5.3 Potencial Bioquímico de Biogás (PBB) e Potencial Bioquímico de Metano (PBM)

Tabela 5 - PBB e PBM verificados para os substratos, acompanhados dos rendimentos estimados

Biomassas	PBB (mLBiogás/gSV)	PBM (mLMetano/gSV)	gSV/gA	Rend. Estimado (m <sup>3</sup> Biogás/TonBiom)	Rend. Estimado (m <sup>3</sup> Metano/TonBiom)
Dejeto Suíno UPL	324,9 ± 33,8	134,5 ± 35,2	0,045	14,5	6,0
Dejeto Suíno Creche	826,6 ± 45,0	482,4 ± 61,5	0,013	11,0	6,4
Dejeto Suíno Terminação	287,5 ± 62,9	137,4 ± 42,5	0,086	24,7	11,8
Dejeto Bovino	258,4 ± 22,6	73,9 ± 41,0	0,086	22,3	6,4
Cama Aviária	477,2 ± 60,8	240,8 ± 35,4	0,548	261,6	132,0
Lodo Flotado Laticínios	319,4 ± 70,2	200,9 ± 46,3	0,027	8,7	5,5
Lodo Ativado Laticínios	142,4 ± 44,1	51,3 ± 20,7	0,019	2,7	1,0
Leite Descartado Laticínios	996,9 ± 90,6	583,8 ± 54,6	0,090	89,7	52,5
Lodo Flotado Abatedouro Suínos	663,9 ± 7,3	415,7 ± 4,3	0,055	36,4	22,8
Pelo* Abatedouro Suínos	314,8 ± 27,1	181,8 ± 21,2	0,201	63,3	36,6
Sangue Abatedouro Suínos	602,2 ± 23,6	391,1 ± 34,3	0,178	106,9	69,4
Sangue Abatedouro Aves	775,1 ± 128,3	479,9 ± 82,0	0,103	79,8	49,4
Lodo Flotado Ativado Abatedouro Aves	1.047,7 ± 59,0	692,5 ± 37,4	0,058	60,9	40,2
Mix Lodos	862,7 ± 50,0	548,9 ± 34,8	0,050	43,0	27,4
Mix Lodos e Sangue	843,0 ± 80,6	511,2 ± 60,9	0,063	53,5	32,5

**Unidades:** mL de biogás por grama de sólido volátil (mLBiogás/gSV); mL de metano por grama de sólido volátil (mLMetano/gSV); grama de sólido volátil por grama de amostra (gSV/gA); metros cúbicos de biogás por tonelada de biomassa (m<sup>3</sup>Biogás/TonBiom); metros cúbicos de metano por tonelada de biomassa (m<sup>3</sup>Metano/TonBiom).

\* Consultar considerações sobre o potencial verificado para o pelo suíno.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 Sobre a Digestão Anaeróbia

Os ensaios de digestão anaeróbia foram conduzidos a partir da primeira coleta dos substratos (março/2018) e, portanto, os valores apresentados para o PBB e PBM foram calculados considerando as características de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV) observados nessa coleta.

Os resultados de potencial de produção de biogás obtidos e apresentados neste trabalho - conduzido em escala laboratorial - estão atrelados a condições ótimas de temperatura (mesofílica), pH e proporção entre inóculo e amostras, oferecidas ao processo, com base no protocolo de ensaio seguindo premissas da VDI 4630 (2006).

Para aplicação em escala real da digestão anaeróbia com foco na produção de biogás, o controle do processo é de fundamental importância, portanto, o oferecimento das condições ótimas de temperatura, pH e carga orgânica volátil torna-se indispensável para a garantia de produtividade constante e coerente com as observadas nesta avaliação.

### 6.2 Sobre as Biomassas Avaliadas<sup>1</sup>

A variabilidade das biomassas residuais pode resultar em desempenhos distintos de produção de biogás, pois esta depende diretamente da interação de microrganismos com os substratos e, na condição de organismos vivos, aqueles são sensíveis e respondem de modo diferente às variações do meio e dos substratos.

Em se tratando de biomassas residuais, é preciso considerar que a variação em suas características pode ser influenciada por muitas variáveis, como a sazonalidade climática ou mudanças nos processos produtivos que dão origem a elas. O aumento ou diminuição na utilização de água em um processo, por exemplo, reflete em maior ou menor teor de ST nos resíduos e efluentes gerados ao final do processo produtivo, o que significa também um

---

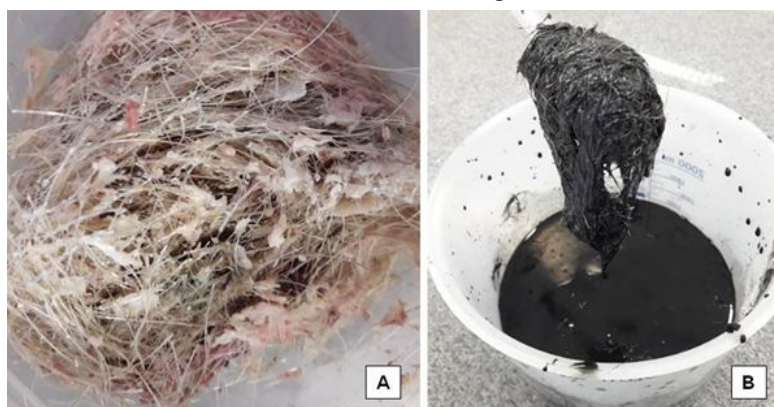
<sup>1</sup> As considerações sobre as biomassas residuais, investigadas neste projeto e compiladas neste boletim técnico, integram a Dissertação de Mestrado de Camila Hasan (2018), vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD/UNIVATES).

maior ou menor rendimento na produção final de biogás e metano por tonelada de biomassa.

Os dejetos suínos representantes das distintas fases de criação apresentaram diferenças na sua composição em relação aos sólidos totais, voláteis e teores de carbono e nitrogênio, o que refletiu diretamente na eficiência de produção de biogás e metano, bem como nos rendimentos finais estimados.

O pelo suíno testado como substrato nesta avaliação, embora tenha apresentado produção de biogás e metano, não sofreu degradação durante o ensaio de digestão anaeróbia, atribuindo-se os volumes de biogás gerados a outros compostos inerentes a essa matéria em sua forma bruta, como pequenos pedaços de pele, gordura e sangue, visualmente identificáveis (Figura 1).

Figura 1 - Pelo suíno antes (A) e após (B) ser submetido ao ensaio de digestão anaeróbia



Fonte: Hasan (2018)

O processo de digestão anaeróbia, nas condições adotadas, não se mostrou adequado para promover a degradação do pelo suíno.

Além disso, a utilização desse substrato em escala pode promover a redução da qualidade do digestato, entre outras situações que podem ser indesejáveis no manejo de biodigestores, como a flotação ou sedimentação do material e entupimentos de canalizações e/ou motores (HASAN, 2018).

A cama aviária, utilizada na criação de frangos (avicultura de corte) como leito para absorver as excretas desses animais, permanece por aproximadamente um ano nos aviários, até ser substituída. Ressalta-se que o substrato de cama avaliado neste estudo era composto por casca de arroz e estava em uso há aproximadamente sete meses, quando foi coletado para as avaliações de PBB e PBM. Os altos rendimentos estimados para esse substrato se

devem principalmente ao conteúdo de matéria seca e sólidos voláteis identificados na amostra.

Ao avaliar os desempenhos obtidos por categorias, com exceção da cama aviária, os dejetos animais são os que apresentaram as menores eficiências na conversão de SV em biogás, seguidos dos lodos de ETE. Os resíduos de processo obtiveram destaque, tendo o leite de descarte superado, inclusive, os valores de eficiência obtidos pelas misturas de codigestão.

Considerando que o tratamento anaeróbio de dois ou mais substratos, por meio da codigestão, pode favorecer a eficiência do processo, apresentando vantagens sobre a digestão de resíduos individuais (monodigestão) (MATA-ALVAREZ et al., 2014), os valores de eficiência de degradação obtidos pelas misturas de codigestão, associados à concentração dos volumes dos substratos - em escala, podem representar os melhores rendimentos de biogás e metano para a cooperativa. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos na análise de cromatografia gasosa das misturas de codigestão.

Tabela 6 - Composição do biogás<sup>1</sup> gerado pelas misturas de codigestão

Parâmetros identificáveis	Biogás Mix Lodos	Biogás Mix Lodos e Sangue
(H <sub>2</sub> ) Hidrogênio (% vol)	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
(CO <sub>2</sub> ) Dióxido de Carbono (% vol)	13,7 ± 0,2	13,5 ± 0,0
(O <sub>2</sub> ) Oxigênio (% vol)	3,1 ± 0,7	3,4 ± 0,2
(N <sub>2</sub> ) Nitrogênio (% vol)	7,4 ± 3,2	8,8 ± 1,1
(CH <sub>4</sub> ) Metano (% vol)	75,8 ± 4,1	74,3 ± 1,4
(H <sub>2</sub> S) Sulfeto de Hidrogênio (ppm)	< 8,00*	< 8,00*

<sup>1</sup>A análise cromatográfica foi realizada no momento em que o teor de metano se encontrava em faixa estável, de acordo com o monitoramento dos reatores. \* Como o ensaio de digestão anaeróbia foi conduzido utilizando inóculo microbiano aclimatado em maior proporção do que as amostras avaliadas, favorecendo e conduzindo a degradação da matéria pela rota metanogênica, acredita-se que o valor de H<sub>2</sub>S identificado não seja representativo do que pode ser obtido em escala real.

O sangue animal (aves e suínos) é um resíduo de processo gerado diariamente em abatedouros e que vem sendo amplamente utilizado como matéria-prima para fabricação de farinha de sangue (fonte de proteína). Esse substrato apresentou relevante potencial bioquímico de biogás e metano, próximo ao esperado para substratos ricos em proteína, que

de acordo com a VDI 4630 (2006) é na faixa de 800 mL Biogás/gSV, contendo aproximadamente 60% de CH<sub>4</sub> em sua composição.

Dentre os lodos de estação de tratamento de efluentes investigados, a melhor eficiência na conversão de sólidos voláteis em biogás foi obtida pela amostra de lodo flotado e ativado da ETE do Frigorífico de Aves, corroborando com a maior quantidade de gSV por grama de amostra e também a melhor relação carbono-nitrogênio (C/N) verificada na categoria lodos de ETE. Se aplicado em escala, deve ser observado o seu pH, que se encontrou abaixo da neutralidade, e a carga adicionada ao reator, que segundo Gueri, Souza e Kuczman (2018) não deve ultrapassar 6,4 kgSV/m<sup>3</sup>/dia do volume útil do reator mesofílico, a fim de evitar a inibição da atividade microbiana.

Embora as relações carbono-nitrogênio (C/N) dos substratos não se caracterizaram como relações ótimas (na faixa de 20:1), de acordo com literaturas, com exceção do dejetos bovino, os melhores desempenhos em eficiência de degradação dos SV foram obtidos pelas amostras que apresentaram as melhores relações C/N.

## 7. REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005.
- BATISTA, L. F. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2015.
- BIASI, C. A. F.; MARIANI, L. F.; PICINATTO, A. G.; ZANK, J. C. C. **Energias renováveis na área rural da região sul do Brasil**. 1ª Edição. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2018.
- BIOPROCESS CONTROL. **Manual de operação AMTPS II**. 2016. Disponível em: <<http://bioprocesscontrol.com/media/1511/bioprocess-control-manual-ampts-ii-ampts-ii-light.pdf>>. Acesso em: 05 mar. de 2018.
- GUERI, M. V. D.; SOUZA, S. N. M. de; KUCZMAN, O. Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: uma revisão. **Biofix Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2018.
- HASAN, C. **Avaliação do potencial bioquímico de biogás e metano de biomassas residuais com vistas à elaboração de um aplicativo de cálculo para estimativas em escala real**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento), Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018.
- KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N.; MARDER, M.; CASARIL, C.; KOCH, F. F.; PEDROSO, A. G. **Manual básico de biogás**. Lajeado: Univates, 69p., 2014.
- KONRAD, O.; GUERINI FILHO, M.; LUMI, M.; HASAN, C. **Atlas das biomassas do RS para produção de biogás e biometano**. 1. ed. Lajeado: Ed. da Univates, 2016.
- MATA-ALVAREZ, J., DOSTA, J.; ROMERO-GÜIZA, M.S.; FONOLL, X.; PECES, M.; ASTALS, S. A critical review on anaerobic codigestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 412-427, 2014.
- METCALF, E.; EDDY, M. **Tratamento de Efluente e Recuperação de Recursos**. 5 ed. New York, McGraw - Hill Book, 1980p., 2016.
- SANTOS, M. S.; YAMANAKA, H. T.; PACHECO, C. E. M. Bijutérias. *In*: Série P + L. São Paulo: Cetesb, 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>, Acesso em 7 de dezembro de 2018.
- STEINMETZ, R. L. R.; MEZZARI, M. P.; SILVA, M. L. B. da; KUNZ, A.; AMARAL, A. C. do; TÁPPARO, D. C.; SOARES, H. M. Enrichment and acclimation of an anaerobic mesophilic microorganism's inoculum for standardization of BMP assays. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 21-28, 2016.
- UMBACH, F. Global energy security and the implications for the EU. **Energy Policy**, v. 38, n. 3, p. 1229-1240, 2010.
- VDI 4630. **Fermentation of organic materials. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests**. 92 p. Germany: Verein Deutscher Ingenieure – VDI, 2006.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 452p. 2005.