

## POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UFSC

**Alexandre Júlio Proença<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

**Paulo Belli Filho<sup>(1)</sup>**

Professor Titular da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Pós-doutorado na École Polytechnique de Montréal, Doutorado em Química Industrial e Ambiental pela Université de Rennes.

**Rodrigo de Almeida Mohedano<sup>(1)</sup>**

Professor Adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Pós-doutorado pela UFSC; Doutorado em Engenharia Ambiental pela UFSC.

**Nelson Libardi Junior<sup>(1)</sup>**

Professor Adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Pós-doutorado pela UFSC; Doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus Universitário Trindade - Florianópolis – Santa Catarina – CEP: 88.040-970 – Brasil – Tel: +55 48 37217738 – e-mail: nelson.libardi@ufsc.br

### RESUMO

O biogás se apresenta como uma fonte energética alternativa e sustentável, que pode suprir parte da demanda das atividades humanas, além de restringir a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera. O biogás é produzido durante a digestão anaeróbia de matéria orgânica, mediada pela ação de microrganismos, e que pode ser realizada em biodigestores ou em reatores anaeróbios para tratamento de efluentes. Resíduos sólidos orgânicos, provenientes das atividades humanas podem ser utilizados no processo de digestão anaeróbia para a produção de biogás. Esta é uma alternativa interessante para locais onde há grande produção deste resíduo. Sendo assim, neste trabalho foi avaliado o potencial de produção de biogás utilizando os resíduos sólidos orgânicos provenientes do restaurante universitário, e o seu uso como alternativa ao gás liquefeito de petróleo utilizado na cozinha do restaurante. O restaurante universitário produz mensalmente 2755,50 Kg de resíduo sólido orgânico, que possui um teor de sólidos voláteis de 291,5 g/Kg. O valor médio de volume de biogás produzido foi de  $830,5 \pm 56,5$  mL, sendo que o biogás apresentou 48,55% em CH<sub>4</sub>, 37,8 % em CO<sub>2</sub>, 2,35% em O<sub>2</sub>, 1085 ppm em H<sub>2</sub>S e 10,8% em outros gases. O biogás apresentou-se com composição de metano um pouco abaixo do que é reportado na literatura para resíduo sólido orgânico (405,9 mL CH<sub>4</sub>/g SV). O biogás produzido pela digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos do restaurante universitário poderia suprir 8,22% do GLP utilizado nas atividades de cocção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodigestor, resíduos sólidos orgânicos, digestão anaeróbia, biogás.

### INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis, como carvão, petróleo bruto e gás natural, são atualmente as fontes de energia predominantes. No entanto, o petróleo bruto e o gás natural são recursos limitados que serão esgotados em um futuro próximo (Nahar, 2020).

As fontes energéticas renováveis são atrativas e oferecem vantagens ambientais e socioeconômicas, pois criam fontes de energia descentralizada e em pequena escala, fundamental para o desenvolvimento sustentável, como é o caso do biogás. O biogás é uma mistura de gases com potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o do dióxido de carbono, sendo que o sua recuperação e uso têm sido bastante importantes para a minimizar os impactos ambientais e oferecer soluções energéticas renováveis.

A produção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos (RSO) é uma estratégia alinhada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que devem ser alcançados até 2030 (ONU, 2015) para a produção de energia limpa, além de evitar o lançamento de gases de efeito estufa para a atmosfera. Além disso, a produção

de biogás a partir de RSO, sob a ótica de biorrefinarias, resulta em fluxo de matéria e energia entre diferentes bioprocessos, onde o resíduo de um torna-se o insumo de outro (Tabatabaei et al., 2020).

A geração de resíduos orgânicos em Restaurantes Universitários (RU) de instituições de ensino superior do país, como é o caso daqueles gerados na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), é significativo. O uso dos resíduos para a produção de biogás para suprimento energético interno pode reduzir custos da instituição, evitando o envio deste resíduo para aterro sanitário (Malinowski 2016; 2021). Ainda, o aproveitamento do biogás evita a sua emissão para a atmosfera, reduzindo seu impacto ambiental.

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de biogás através da digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos do RU da UFSC.

## MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento das informações sobre a quantidade de RSO gerado pelo RU da UFSC foi realizado através de consulta à Pró-reitoria de Assuntos Estudantis – PRAE. Através de um relatório disponibilizado pela direção do RU no período do mês de outubro de 2022, os dados quantitativos de refeições foram coletados para este trabalho. As informações de consumo de GLP foram fornecidas pela diretoria do RU.

As análises para determinação do potencial de produção de biogás foram realizadas utilizando o método de deslocamento de líquido, em um sistema de tubos eudiômetros. A metodologia aplicada foi uma adaptação da norma Europeia VDI 4630.

O inóculo foi coletado de um biodigestor de dejetos suínos e foi mantido armazenado, em condições de temperatura ambiente até seu uso. Foram utilizados 4 reatores nas mesmas condições experimentais, representando 4 replicatas. OS reatores tinham volume útil de 200 mL, sendo utilizado 3,43 g de SV de substrato e 102 mL de inóculo, o que representa aproximadamente a proporção de 1,5 à 2% do reator em massa. O ensaio ocorreu por cerca de 14 dias corridos, aproximadamente 330 horas.

A caracterização do teor de sólidos e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) do substrato e do inóculo utilizados, foi realizada conforme o Standard Methods for The Examination Of Water e Wastewater (APHA, 1995). A análise qualitativa dos gases foi avaliada as concentrações de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Oxigênio ( $\text{O}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e outros gases, utilizando o analisador de gases portátil da marca LANDTEC modelo BIOGAS5000.



**Figura 1 - Sistema experimental para a medição da produção de biogás.**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados quantitativos de refeições servidas no RU, bem como o quantitativo de resíduos gerados está apresentado na Tabela 1. A Tabela 1 apresentada tem como estimativa as médias semanais e mensais baseadas nas médias diárias que a direção do RU forneceu. É válido lembrar que para calcular a estimativa das médias mensais, foi utilizado o valor de 22 dias para representar o montante de um mês.

**Tabela 1 - Resumo médio das refeições servidas e estimativa de geração de resíduo alimentar do Restaurante Universitário – UFSC Trindade.**

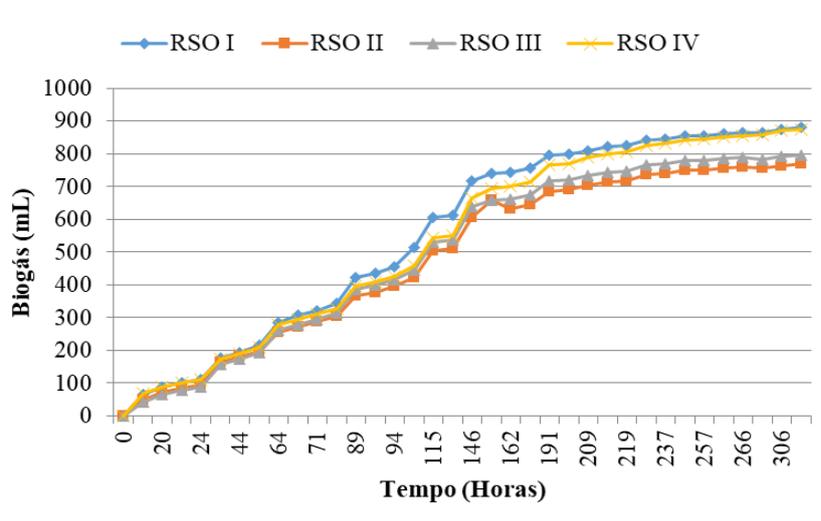
| Refeições servidas e geração de resíduos orgânicos | Quantidade             |
|--|------------------------|
| Média de almoço e janta (2ª à 6ª feira)            | 8339 refeições/dia*    |
| Média de almoço e janta semanal (2ª à 6ª feira)    | 41695 refeições/semana |
| Média de almoço e janta mensal (2ª à 6ª feira)     | 183458 refeições/mês** |
| Média de geração de resíduo orgânico diária        | 125,25 Kg/dia          |
| Média de geração de resíduo orgânico semanal       | 776,25 Kg/semana       |
| Média de geração de resíduo orgânico mensal        | 2755,50 Kg/mês**       |

\* Quantidade na base referência do mês letivo de outubro de 2022.

\*\* Estimativa baseada em uma média mensal de aproximadamente 22 dias.

Fonte: Direção RU UFSC (2022)

A Figura 2 apresenta o perfil da produção de biogás durante 14 dias (330 horas), para os quatro reatores operados em condições idênticas.



**Figura 2 – Perfil de produção e biogás utilizando RSO como substrato, realizada em quatro reatores similares.**

A Figura 2 apresenta o perfil da produção de biogás durante 14 dias (330 horas), quando não se observou mais incremento significativo na produção de biogás. O valor médio de biogás produzido foi de  $830,5 \pm 56,5$  mL. Os resultados apresentados neste trabalho foram superiores àqueles apresentados por Neitzel (2015), utilizando o mesmo sistema experimental, entretanto com resíduos sólidos orgânicos como substrato e lodo de biodigestor suíno como inóculo.

A concentração dos gases que compõem do biogás gerado durante a DA é apresentada na Tabela 2. É possível observar a composição do biogás individual para cada reator, bem como a média dos reatores.

**Tabela 2 – Caracterização dos gases produzidos durante a DA.**

| Amostragem           | CH <sub>4</sub> (%) | CO <sub>2</sub> (%) | O <sub>2</sub> (%) | H <sub>2</sub> S (ppm) | Outros Gases (%) |
|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------|
| <b>Reator I</b>      | 50,1                | 37,8                | 1,8                | 1098                   | 10,3             |
| <b>Reator II</b>     | 48,1                | 37,9                | 2,3                | 1108                   | 11,7             |
| <b>Reator III</b>    | 48,6                | 37,1                | 3,1                | 966                    | 10,8             |
| <b>Reator IV</b>     | 48,5                | 37,8                | 2,4                | 1072                   | 10,8             |
| <b>Média</b>         | 48,55               | 37,8                | 2,35               | 1085                   | 10,8             |
| <b>Desvio Padrão</b> | 0,9                 | 0,4                 | 0,5                | 65,1                   | 0,6              |
| <b>Mínimo</b>        | 48,1                | 37,1                | 1,8                | 966                    | 10,3             |
| <b>Máximo</b>        | 48,6                | 37,9                | 3,1                | 1108                   | 11,7             |

Fonte: O Autor (2022)

A Tabela 3 apresenta a composição típica do biogás produzido durante a digestão anaeróbia em diferentes processos. A composição do biogás gerado neste trabalho se assemelha, em alguns aspectos à composição típica para RSO apresentada na Tabela 3, apesar de que a concentração de metano se encontra abaixo da faixa indicada. O enriquecimento do biogás, ou seja, a remoção de dióxido de carbono, poderia ser uma estratégia empregada para elevar a concentração de metano, e elevar o poder calorífico do biogás.

**Tabela 3 - Faixa de concentração típica dos gases presentes no biogás produzido durante DA.**

| Gás              | Unidade | UASB        | Aterro Sanitário | Digestores de lodo | Digestores de RSO |
|------------------|---------|-------------|------------------|--------------------|-------------------|
| CH <sub>4</sub>  | %       | 70 – 85     | 45 -50           | 60 – 70            | 55 – 70           |
| CO <sub>2</sub>  | %       | 5 – 15      | 30 - 45          | 20 – 40            | 25 – 40           |
| CO               | %       | 0 – 0,3     | 0 – 0,2          | -                  | 0 – 0,1           |
| N <sub>2</sub>   | %       | 10 – 25     | 0 – 15           | <2                 | 0,5 – 2,5         |
| H <sub>2</sub>   | %       | 0 – 3       | Traços           | -                  | 1 - 3             |
| H <sub>2</sub> S | ppm     | 1000 – 3000 | 10 – 1000        | 500 – 1500         | 100 – 1000        |
| O <sub>2</sub>   | %       | traços      | 0,8              | -                  | 0,1 - 1           |

Fonte: Adaptado de Cabral (2016)

Em relação ao percentual de metano, a Tabela 4 apresenta o volume produzido relativo à massa de RSO em termos de sólidos voláteis.

**Tabela 4 - Volume de CH<sub>4</sub> produzido durante a DA em relação ao teor de sólidos voláteis do RSO.**

| Reator            | Volume de CH <sub>4</sub>      |
|-------------------|--------------------------------|
| <b>Reator I</b>   | 441,4 mL CH <sub>4</sub> /g SV |
| <b>Reator II</b>  | 369,9 mL CH <sub>4</sub> /g SV |
| <b>Reator III</b> | 386,9 mL CH <sub>4</sub> /g SV |
| <b>Reator IV</b>  | 424,9 mL CH <sub>4</sub> /g SV |
| <b>Média</b>      | 405,9 mL CH <sub>4</sub> /g SV |

Fonte: O Autor (2022)

O valor médio de 405,9 mL CH<sub>4</sub>/g SV foi obtido (Tabela 5), o qual foi usado posteriormente para o cálculo do potencial de uso do biogás como alternativa ao GLP utilizado no RU da UFSC. O cálculo do volume de

metano foi realizado considerando o % de CH<sub>4</sub> contido nos gases, de acordo com o medidor portátil utilizado neste experimento.

A média mensal de 3.922,0 Kg de GLP foi utilizada no ano de 2022, de acordo com o relatório do almoxarifado do RU da UFSC. Ainda, a UFSC paga R\$ 7,00 / Kg de GLP, ou seja, teve um custo médio mensal de R\$27.454,0. Considerando que a densidade do GLP que é de 2,5 kg/m<sup>3</sup>, em um mês o RU utiliza em média 1568,8 m<sup>3</sup> de GLP para o preparo das refeições (Tabela 6).

**Tabela 6 - Estimativas de produção de biogás de acordo com os experimentos realizados utilizando o RSO do RU da UFSC.**

| <b>Parâmetro</b>   | <b>Valor estimado</b> |
|--|-----------------------|
| <b>Massa de GLP utilizada/mês</b>                        | 3.922 Kg              |
| <b>Densidade do GLP</b>                                  | 2,5 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Volume mensal de GLP utilizado</b>                    | 1568,8 m <sup>3</sup> |
| <b>Resíduos gerados no RU/mês</b>                        | 2755,5 Kg             |
| <b>Teor de sólidos voláteis do RSO</b>                   | 291,5 gSV/Kg          |
| <b>Sólidos Voláteis de RSO/mês</b>                       | 803,2 Kg              |
| <b>Volume médio de biogás gerado por Kg de SV de RSO</b> | 405,9 L               |
| <b>Volume de biogás possível de ser gerado/mês</b>       | 326,02m <sup>3</sup>  |
| <b>Volume equivalente de GLP gerado/mês</b>              | 129,1m <sup>3</sup>   |

Fonte: O autor (2022)

O RU gera cerca de 2755,5 Kg de RSO/mês e, considerando o seu teor de sólidos voláteis (291,5g/Kg), são gerados mensalmente 803,2 Kg de Sólidos Voláteis (2755,5 x 0,2915 = 803,2 Kg). Considerando um volume médio de 405,9L de biogás gerado a cada Kg de RSO em termos de sólidos voláteis, de acordo com os experimentos realizados neste trabalho, é estimada uma produção de 326,02m<sup>3</sup> de biogás, sem qualquer tratamento prévio (Tabela 6).

Conforme dados da Tabela 1, é possível observar que a geração de RSO corresponde a 0,0150 kg per capita, ou seja, 2755,50 kg/mês. Quando comparamos os resultados da concentração da composição média de gases nos reatores do presente trabalho, temos como referência a dissertação de Silvestre (2015). Os valores para concentração de biogás no trabalho de Silvestre foram de 48,6% para CH<sub>4</sub>, 34,7% para CO<sub>2</sub> e 4,5% para O<sub>2</sub>.

Segundo Mata-Álvarez (2003), a composição do biogás é variável e a composição final resultante de um processo em específico irá depender de diversos fatores, como do estado de oxidação do carbono no substrato; tempo de residência – que geralmente é positivamente relacionado com o teor de metano resultante; ajustes do reator – uma digestão contínua favorece menores teores de CO<sub>2</sub> devido à descarga de dióxido de carbono dissolvido na corrente líquida; temperatura que interfere tanto na cinética do processo como na solubilidade dos gases formados.

Medeiros (2020) evidenciou uma produção de metano de 262,9 mL CH<sub>4</sub>/g SV, utilizando o mesmo RSO coletado no RU da UFSC, mas conseguiu elevar este valor para 308 mL CH<sub>4</sub>/g SV quando utilizou a biomassa da macrófita *Landoltia punctata* como co-substrato para a digestão anaeróbia. Vale ressaltar que o inóculo utilizado pelo autor foi constituído de lodo anaeróbio de reator UASB da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Provavelmente o inóculo utilizado neste trabalho (lodo biodigestor de dejetos suínos) estava em estado metabólico superior e com maior capacidade de produção de biogás, quando comparado ao lodo do reator UASB utilizado por aqueles autores.

De acordo com Cassini et al. (2003) a equivalência energética entre gás liquefeito de petróleo e o biogás é de 0,396 L, à 25°C e 1atm. Por meio de cálculos concluiu-se que 326,02 m<sup>3</sup> de biogás equivale a aproximadamente 129,1 m<sup>3</sup> de GLP ao mês. Considerando este equivalente, e o consumo mensal de GLP comercial pelo RU (1568,8m<sup>3</sup>/mês), o biogás gerado poderia suprir 8,22% do GLP utilizado. Sendo assim, o custo médio mensal de R\$27.454,00 com o uso do GLP comercial poderia ser reduzido para R\$ 25.197,28, ou seja, traria uma economia de R\$ 2.256,71 ao mês.

## **CONCLUSÕES**

O ensaio de DA dos RSO do RU demonstrou a viabilidade da produção de biogás até aproximadamente 15 dias, quando se observa estabilização de sua produção. A quantidade de biogás produzida por massa de sólidos voláteis dos resíduos do RU se apresentou superior à alguns valores encontrados na literatura. Este fato pode estar associado à qualidade do inóculo utilizado neste experimento, em detrimento de outros resultados apresentados.

A composição do biogás gerado apresentou um teor de CH<sub>4</sub> um pouco inferior à faixa indicada na literatura, para a DA de RSO. Este fato pode estar associado à composição do substrato. Estudos posteriores para a co-digestão com outros resíduos da UFSC podem resultar maiores teores de CH<sub>4</sub>, que possam viabilizar mais o seu aproveitamento energético.

A avaliação do potencial de uso do biogás em substituição ao GLP para abastecimento do RU mostrou que apenas cerca de 8% do GLP poderia ser substituído pelo biogás. Isto se deve às grandes quantidades de GLP utilizada mensalmente, mas, o percentual pode ser aumentado se o biogás passar por processo de enriquecimento para retirada de CO<sub>2</sub> e aumento da concentração de CH<sub>4</sub> elevando o seu poder calorífico.

O potencial de uso de biogás para fins energéticos, para a produção de eletricidade por sistema moto-gerador também pode ser explorado em futuros trabalhos, para dar subsídios à montagem de um sistema de aproveitamento energético dentro do campus Trindade da UFSC.

## REFERÊNCIAS

1. APHA; AWWA; WPCF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. Washington. American Public Health Association, American Water Woks Association, Water Environment Federation. Washington-DC, USA.
2. CABRAL, C. B. G. Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis: 2016
3. CASSINI, S.T. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003
4. MALINOWSKY, C, Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio, Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016
5. MALINOWSKY, C, Avaliação da digestão anaeróbia em duas fases de resíduos alimentares em escala piloto, Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2021.
6. MEDEIROS, A, Estudo da produção de metano a partir da co-digestão de resíduos sólidos orgânicos com macrófitas aquáticas, Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2020.
7. NAHAR, K.; SUNNY, S. A. Duckweed-based clean energy production dynamics (ethanol and biogas) and phyto-remediation potential in Bangladesh. Modeling Earth Systems and Environment, v. 6, n. 1, p. 1–11, 2020. Springer International Publishing. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40808-019-00659-y>>.
8. NEITZEL, J, Potencial de produção de biogás da co-digestão anaeróbia de resíduos de frutas e verduras e lodo de esgoto primário, Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2015.
9. TABATABAEI, M.; AGHBASHLO, M.; VALIJANIAN, E.; et al. A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 2: Mainstream and downstream strategies. Renewable Energy, v. 146, p. 1392–1407, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.047>>
10. SILVESTRE, Victor Valente. levantamento do potencial de geração de biogás de aterro sanitário para aproveitamento sob a forma de energia elétrica. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.