

# 7° CONRESOL

7° Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

## DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO DE LODO AERÓBIO E ESTERCO BOVINO EM SISTEMA BATELADA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.IV-005>

Larissa Maria Silveira Pereira\*, Ana Clara da Costa de Norões Milfont, Orlando Hernandez, Thiago Marena, Thiago Edwiges

\* Universidade Tecnológica Federal do Paraná, larissa-maria100@outlook.com

### RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos na sociedade moderna é desafiadora, impactando na saúde pública e nos ecossistemas. A conversão de resíduos orgânicos em biogás emerge como uma abordagem promissora para mitigar emissões de gases de efeito estufa e produzir energia renovável. Este estudo concentrou-se em determinar o Potencial Bioquímico de Metano (PBM) de lodo aeróbio (LA) e esterco bovino (ES) visando comparar a eficiência dos substratos na produção de metano. As amostras foram caracterizadas quanto a pH, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK). Utilizando inóculo proveniente de um biodigestor que trata dejetos suínos, os testes de PBM foram conduzidos em sistema batelada e a produção de biogás monitorada por 30 dias com leituras diárias e cromatografia gasosa para quantificar os teores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). Quanto aos resultados, as amostras de LA e ES apresentaram valores de caracterização físico-química dentro das faixas consideradas aceitáveis para a digestão anaeróbia, como pH neutro, elevada umidade e teores de nitrogênio. Os resultados indicaram PBM de 375±61 e 407±24 NL/kgSV-1 para ES e LA, respectivamente, com 64% e 66% de CH<sub>4</sub> na mesma ordem. O potencial expresso em matéria natural dos substratos foi de 7,5±1,2 e 6,1±0,5 NL/kgMN-1, indicando uma perspectiva favorável da transformação da matéria orgânica desses resíduos em metano. Sendo assim, a análise dos substratos de LA e ES revelam potencial para a produção de metano, com o LA resultando em valores superiores comparados à amostra de ES, em razão da presença de bactérias metanogênicas que realizam a decomposição anaeróbia da matéria orgânica produzindo metano como subproduto. Ademais, realizar a co-digestão do ES com substrato rico em carbono é uma estratégia eficaz para otimizar o processo de digestão anaeróbia deste substrato.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biogás, digestão anaeróbia, resíduos orgânicos, sustentabilidade.

### ABSTRACT

Solid waste management in modern society is challenging, impacting public health and ecosystems. The conversion of organic residues into biogas emerges as a promising approach to reduce greenhouse gas emissions and generate renewable energy. This study focused on determining the Biochemical Methane Potential (PBM) of aerobic sludge (LA) and cattle manure (ES) in order to compare the efficiency of substrates in methane production. The samples were characterized for pH, total solids (ST), volatile solids (SV) and total Kjeldahl nitrogen (NTK). Using inoculum from a biodigester, that treats swine manure, the PBM tests were conducted in a batch system and biogas production was monitored for 30 days with daily readings and gas chromatography to quantify carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) content. Regarding the results, the LA and ES samples showed physicochemical characterization values within the acceptable range for anaerobic digestion, such as neutral pH, high humidity and nitrogen levels. The PBM results reached values of 375±61 and 407±24 NL/kgSV-1 for ES and LA, respectively, with 64% and 66% CH<sub>4</sub> in the same order. The potential expressed in natural matter of the substrates was 7,5±1,2 and 6,1±0,5 NL/kgMN-1, suggesting a favorable perspective for the conversion of organic matter from these wastes into methane. Thus, the analysis of LA and ES substrates reveals potential for methane production, with LA yielding higher values compared to the ES sample due to the presence of methanogenic bacteria that carry out the organic matter anaerobic decomposition, producing methane as a byproduct. Moreover, co-digestion of ES with a carbon-rich substrate is an effective strategy to optimize the anaerobic digestion process of this substrate.

**KEY WORDS:** Biogas, anaerobic digestion, organic residues, sustainability.



## INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos sólidos representa um desafio na sociedade moderna com implicações diretas na saúde pública e nos ecossistemas. Diante dessa realidade, a conversão de resíduos orgânicos em biogás emerge como uma abordagem promissora em busca de soluções sustentáveis para minimizar os impactos ambientais.

A produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos desempenha um papel importante no mercado de fontes renováveis de energia e contribui para a redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE), especialmente o metano e o dióxido de carbono, provenientes da queima de combustíveis fósseis (KHAN et al., 2017). Ademais, os autores também enfatizam que o biogás, quando purificado, possui várias aplicações como produção de energia, calor, combustível veicular, dentre outras.

Contudo, para que haja a possibilidade de submeter um substrato ao processo de digestão anaeróbia é necessário avaliar sua biodegradabilidade por meio de ensaios laboratoriais (CLEVES et al, 2016). Dentre esses testes, o ensaio de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) se destaca por seu baixo custo operacional, rapidez e simplicidade. O teste estima a quantidade máxima de metano gerado durante a digestão anaeróbia, cujo processo é realizado sob condições ideais de temperatura e monitorados através de medições da pressão interna dos reatores.

O lodo aeróbio, proveniente do processo de tratamento de águas residuais em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) constitui-se como um resíduo orgânico enriquecido com microrganismos capazes de decompor a matéria orgânica de águas residuais, resultando na melhoria da qualidade da água e na eficácia da remoção de poluentes (ROLLEMBERG et al., 2020). Por outro lado, o esterco bovino, caracterizado por uma rica microbiota, apresenta elevadas concentrações de fósforo, potássio e outros minerais, tornando-se uma excelente fonte de material orgânico e nutrientes para o solo e culturas (CARDOSO et al., 2017).

Diante deste cenário, a conversão desses resíduos orgânicos em biogás emerge como uma estratégia crucial para a gestão sustentável e produção de energia renovável. Em síntese, a determinação do PBM possui contribuição vital para o processo, fornecendo informações necessárias para a escolha do substrato ideal e contribuindo para o cálculo preciso e eficaz de reatores anaeróbios

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi determinar parâmetros físico-químicos de amostras de lodo aeróbio e esterco bovino, bem como determinar o PBM destes substratos em sistema batelada a fim de comparar a eficiência dos resíduos na produção de metano.

## METODOLOGIA

As amostras de lodo aeróbio (LA) e esterco bovino (ES) foram coletadas na recepção de uma planta de biogás na região de Curitiba/PR e posteriormente armazenadas  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ . Para a caracterização dos substratos foi determinado pH, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) (APHA, 2005) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK) (MALAVOLTA et al., 1997). O carbono orgânico total (COT) foi estimado pela razão de SV em base seca por 1,8, assim, por meio dos valores de NTK e COT foi obtida a relação carbono/nitrogênio (C/N) (KIEHL, 2010).

Para determinar o PBM foi realizada a coleta do inóculo proveniente de biodigestor do tipo lagoa coberta que trata dejetos suínos em temperatura ambiente localizado em São Miguel do Iguçu/PR. O inóculo foi submetido a um processo de degaseificação em incubadora mantida a  $37^{\circ}\text{C}$  por 5 dias. Durante essa etapa foram realizadas análises para determinar o pH, bem como teores de ST e SV do inóculo. Os testes de batelada foram conduzidos em triplicata em frascos de vidro de 120 mL com proporção de inóculo/substrato de 2/1. Para fins de controle experimental, uma amostra de celulose microcristalina foi incubada juntamente com o inóculo permitindo a avaliação da atividade microbiológica do experimento. Sequentemente, em cada frasco foi recirculado gás nitrogênio a fim de garantir um ambiente instantaneamente anaeróbio nos reatores e otimizar o processo de digestão pelos microrganismos (HOLLIGER et al., 2016).

Após o processo de incubação, os reatores foram vedados e mantidos na incubadora a  $37^{\circ}\text{C}$  por um período de 30 dias. Durante esse período realizaram-se leituras diárias até que a produção de biogás fosse inferior a 1% do volume



acumulado. Ademais, determinou-se os teores de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) por meio de cromatografia gasosa constituindo um monitoramento detalhado do teste em questão.

## RESULTADOS

O pH das amostras de LA e ES foi de 6,4 e 8,5 respectivamente (Tabela 1). Esses valores se encontram dentro da faixa ideal para o processo de digestão anaeróbia (6,5–8,5) (KUNZ; STEINMENT; AMARAL, 2022). Os teores de ST foram de 2,0% e 2,6% para as amostras de LA e ES respectivamente. Esses valores estão dentro da faixa considerada ótima para o processo de digestão anaeróbia líquida (< 10%ST), vista como ideal para promover a hidrólise das macromoléculas. A relação SV/ST dos substratos foi de 80% e 77% na mesma ordem, indicando a presença de uma quantidade considerável de fração orgânica biodegradável propícia à digestão anaeróbia. Esses valores são comparáveis aos encontrados por Alino et al. (2022) em outros resíduos com elevadas frações orgânicas, demonstrando potencial para conversão em biogás.

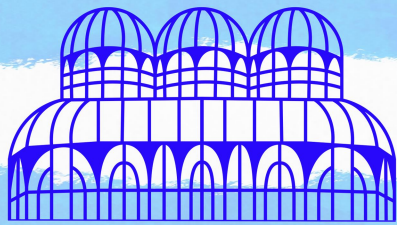
**Tabela 1. Caracterização dos substratos. Fonte: Autor do Trabalho.**

Parâmetro	LA	ES
pH	6,4	8,5
ST (%)	2,0±0,2	2,6±0,1
SF (%)	0,4±0,0	0,6±0,0
SV (%)	1,6±0,1	2,0±0,1
SV/ST (%)	80	77
COT (% <sub>ST</sub> )	43,6±1,0	42,9±1,0
NTK (% <sub>ST</sub> )	10,2±0,0	6,1±0,2
C/N	4,3	7,0

LA: Lodo Aeróbio; ES: Esterco; ST: Sólidos Totais; SF: Sólidos Fixos; SV: Sólidos Voláteis; COT: Carbono Orgânico Total; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; C/N: Carbono/Nitrogênio.

O COT do LA foi de 43,6%ST, levemente superior ao obtido pela amostra de ES (42,9%ST), o que indica que o teor de carbono presente no LA é aproximadamente 2% superior ao resíduo animal estudado. O COT refere-se à quantidade total de carbono presente na matéria orgânica que está sendo degradada durante o processo de digestão, assim, os valores obtidos neste parâmetro indicam níveis atrativos de degradação da matéria. O NTK do LA e ES foi de 10,2%ST e 6,1%ST, respectivamente e, apesar do ES conter nitrogênio residual devido ao sistema digestivo dos ruminantes, seu teor de NTK foi cerca de 40% menor em comparação com LA. A relação C/N dos substratos foi de 4,3/1 e 7,0/1 para LA e ES, na mesma ordem. Nesse contexto, é importante salientar que a relação C/N ótima para a digestão anaeróbia está situada na faixa de 20-30/1. Essa faixa é fundamental para manter a proporção adequada de nitrogênio em relação ao carbono no processo, o que pode impactar a atividade microbiana pela competição por nutrientes entre diferentes grupos de microrganismos.

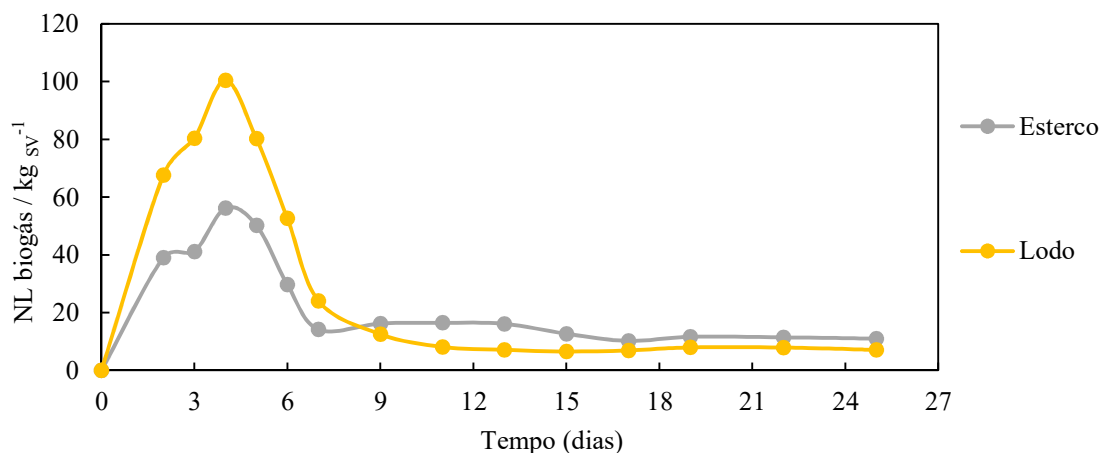
A produção diária de biogás durante o período de incubação dos reatores atingiu valor máximo de 100 NL/kgSV-1 para a amostra de LA e 56 NL/kgSV-1 para a amostra de ES (Figura 1). A menor produção de biogás observada na amostra de ES em comparação com a amostra de LA é possivelmente atribuída à presença de composto lignocelulósico devido a alimentação de pasto pelos bovinos. A lignocelulose consiste em uma matriz complexa de compostos orgânicos que, durante o processo de digestão anaeróbia, são degradados com mais dificuldade resultando a uma menor produção de biogás. O aumento da produção de biogás da amostra de ES em relação a amostra de LA entre o 9º e 17º dia de experimento pode ser explicada pela degradação mais lenta destes compostos lignocelulósicos presentes no substrato.



# 7º CONRESOL

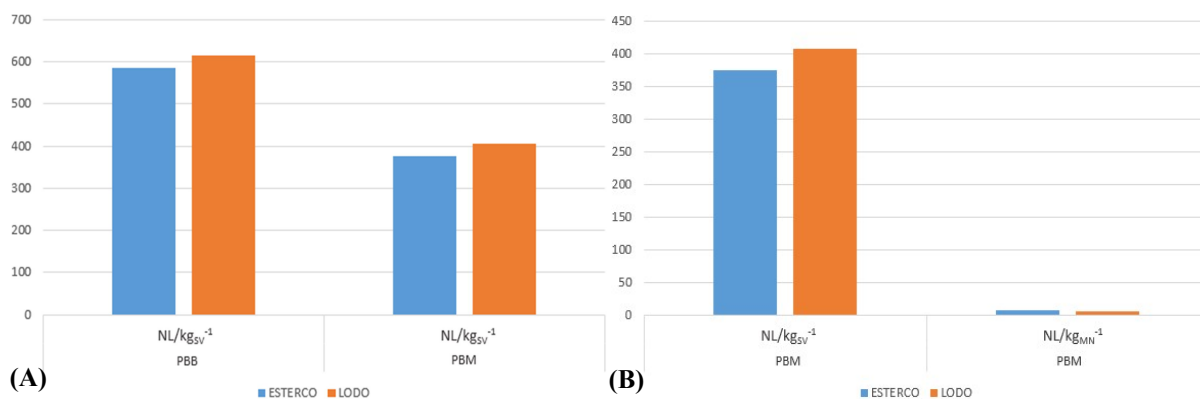
## 7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024



**Figura 1: Produção diária de biogás dos substratos em NL biogás/kg<sub>sv</sub><sup>-1</sup>. Fonte: Autor do Trabalho.**

O Potencial Bioquímico de Biogás (PBB) da amostra de ES foi de  $586 \pm 107$  NL/kgSV-1 e da amostra de LA atingiu  $616 \pm 39$  NL/kgSV-1 (Figura 2A). Este parâmetro leva em consideração a produção total de biogás composto principalmente por CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, bem como pequenas quantidades de outros gases. Já o PBM das amostras de ES e LA foi de  $375 \pm 61$  e  $407 \pm 24$  NL/kgSV-1, com 64% e 66% de CH<sub>4</sub> na mesma ordem. Este parâmetro, contrário do PBB, concentra exclusivamente na produção teórica máxima de metano resultante da degradação anaeróbica da matéria orgânica. Quando considerado o potencial metanogênico em relação à matéria natural dos substratos (em substituição aos sólidos voláteis) para dar melhor suporte à tomada de decisão em escala real, obteve-se valores de  $7,5 \pm 1,2$  e  $6,5 \pm 0,5$  NL/kgMN-1 para as amostras de ES e LA, respectivamente (Figura 2B). Os resultados destacam a capacidade de transformação das substâncias orgânicas presentes nas amostras, evidenciando o potencial promissor desses materiais para produção de biogás.



**Figura 2: PBB e PBM dos substratos em NL/kg<sub>sv</sub><sup>-1</sup> (A) e PBM dos substratos em NL/kg<sub>sv</sub><sup>-1</sup> e NL/kg<sub>MN</sub><sup>-1</sup> (B). Fonte: Autor do Trabalho.**

Em consequência da maior produção diária de biogás da amostra de LA, a produção acumulada deste substrato atingiu maiores valores comparado ao substrato de ES (Figura 3). O gráfico da produção acumulada de biogás dos substratos apresentou aumento contínuo nas linhas de tendência, indicando que ambos substratos apresentam compostos que estão em processo de degradação, exigindo tempo adicional ao período de teste para terem suas estruturas completamente metabolizadas pelos microrganismos anaeróbios.

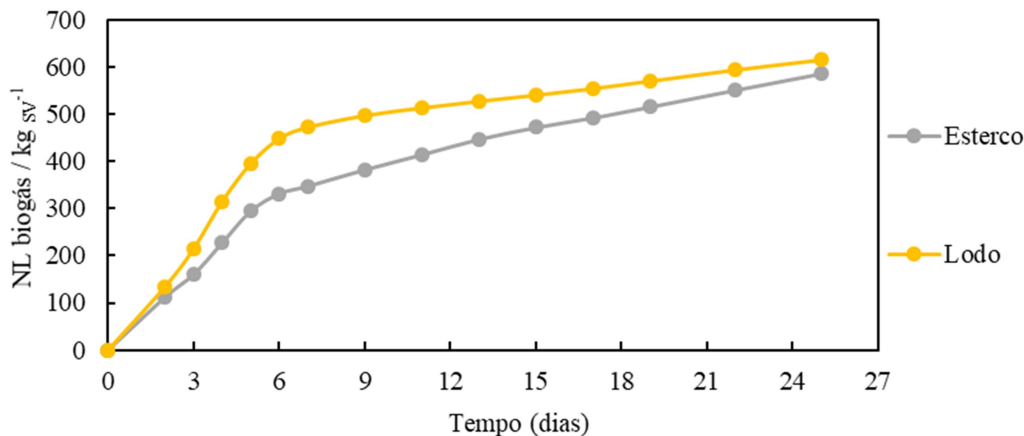
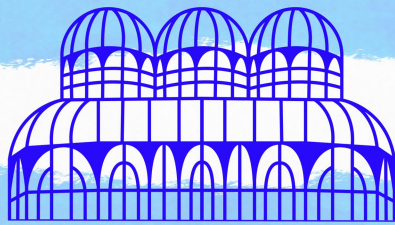


Figura 3: Produção acumulada de biogás dos substratos em NL biogás/kg<sub>sv</sub><sup>-1</sup>. Fonte: Autor do Trabalho.

## CONCLUSÕES

A caracterização físico-química dos substratos de lodo aeróbio (LA) e esterco bovino (ES) revela um potencial promissor para a produção de metano em ambos os casos. Contudo, a amostra de lodo aeróbio (LA) resultou em valores superiores comparados à amostra de esterco (ES). Em relação à produção diária de biogás, o substrato de LA atingiu um pico de produção equivalente a 100 NL biogás/kgSV-1 enquanto a amostra de ES obteve 56 NL biogás/kgSV-1 no 4º dia do experimento. A Produção Bioquímica de Biogás (PBB) do LA foi 5% superior à amostra de ES, com aproximadamente 90% da matéria orgânica convertida em biogás nos primeiros 5 dias em comparação com os 60% da amostra de ES. Esses resultados indicam que a rápida degradação anaeróbia dos resíduos está correlacionada à elevada quantidade de nitrogênio presente nas amostras. Quanto ao Potencial Bioquímico de Metano (PBM), a amostra de LA apresentou uma produção 8,5% maior que à amostra de ES, o que pode ser justificado pelo valor ligeiramente superior de Carbono Orgânico Total (COT) do LA em comparação ao ES. Perante a isso, a produção acumulada de biogás seguiu o mesmo comportamento, com o substrato de LA apresentando valores superiores. A menor produção de biogás da amostra de ES pode ser atribuída à presença de material lignocelulósico em sua composição, composto predominantemente por lignina, celulose e hemicelulose. A lignina cria barreiras físicas e químicas devido sua matriz complexa dificultando a degradação da matéria e tornando o processo de digestão anaeróbia mais lento e ineficaz. Como alternativa viável do processo, realizar uma co-digestão envolvendo o esterco, rico em nitrogênio, e outro substrato que seja rico em carbono, surge como uma estratégia eficiente para otimizar o processo além de garantir uma relação C/N favorável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALINO, J. H. L.; BASTOS, J. A.; REMOR, P. V.; FRARE, L. M.; ORSSATTO, F.; DAMACENO, F. M.; EDWIGES, T. **Alkaline pretreatment and pre-hydrolysis using acidic biowastes to increase methane production from sugarcane bagasse**. Methane 1, 189–200. 2022.
2. APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: American Water Works Association, p. 1368, 2005.
3. CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; JÚNIOR, A. S. A.; SOBRINHO, C. A. **O produtor pergunta, a Embrapa responde**. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF. 2017.
4. CLEVES, L. M. C; OROBIO, B. A. P; LOZADA, P. T; FRANCO, C. H. V. **Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos**. Colombia. Revista Ion. v. 29, n. 1, p. 95-108, 2016.
5. HOLLIGER, C.; HACK, G.; ALVES, M.; OLIVEIRA, J., V.; ANDRADE, D.; EBERTSEDER, F.; HARTEL, M.; ANGELIDAKI, I.; FOTIDIS, I.; ASTALS, S. **Towards a standardization of biomethane potential tests**. Water Science & Technology, p. 2515-2522. 2016.
6. KHAN, I. U; OTHMAN, M. H. D; HASHIM, H; MATSUURA, T; ISMAIL, A. F; REZAEI-DASHTARZHANI, M; AZELEE, I. W. **Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage**. Energy Conversion and Management. v. 150, p. 277-294, 2017.
7. KIEHL, E. J. **Novos Fertilizantes Orgânicos**. 1ª ed. Piracicaba: Degaspari, p. 248, 2010.



8. KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. DO. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** [s.l.] Airton Kunz, Ricardo Luis Radis Steinmetz, André Cestonaro do Amaral (editores Técnicos), 2019.
9. MALAVOLTA, E. **ABC da adubação.** 5ª ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, p. 292, 1989.
10. ROLLEMBERG, S. L. S.; OLIVEIRA, L. Q.; FIRMINO, P. I. M.; SANTOS, A. B. **Tecnologia de lodo granular aeróbio no tratamento de esgoto doméstico: oportunidades e desafios.** Engenharia Sanitária e Ambiental. v.25, n. 3. p. 439-449. 2020.