



## **Produção estimada de biogás durante o tratamento de água residual têxtil em reatores UASB**

Ronei de Almeida<sup>1</sup>

### **Tecnologia Ambiental**

#### *Resumo*

As águas residuárias provenientes da indústria têxtil são uma das principais ameaças aos ambientes aquáticos e terrestres. O tratamento desses efluentes pode ser realizado através de processos físico-químicos e biológicos. Os processos biológicos destacam-se pela simplicidade e elevado custo-benefício. Recentemente, a crescente demanda de energia tem motivado pesquisas relacionadas aos processos biológicos anaeróbios. O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB, do inglês, *Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) se sobressai pelo potencial de degradar os compostos corantes presentes nos efluentes têxteis e concomitantemente produzir bioenergia. Nesse sentido, o objetivo geral do presente estudo foi estimar a produção de biogás em reator UASB utilizado para o tratamento de efluentes industriais têxteis. Como um primeiro passo, foi realizada uma pesquisa exploratória para levantamento dos dados necessários para estimativa do potencial de produção de biogás durante o tratamento de efluente têxtil em reatores UASB. A partir da metodologia de cálculo adotada, observou-se que a tecnologia UASB pode proporcionar uma produção anual de energia de 2.541.340,00 kWh, correspondendo a uma economia de US\$ 306.417,50/ano. Os biorreatores anaeróbios oferecem oportunidades para a produção de energia renovável, que pode ser utilizada na própria instalação, contribuindo para a redução do consumo de eletricidade. Outros benefícios incluem a redução do consumo de combustível fóssil e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Em contrapartida, cabe ressaltar que para superar as principais limitações dos reatores UASB no tratamento de água residual têxtil, tais como, longo tempo de partida do biorreator e efeitos inibitórios, devido a elevadas concentrações de corantes e presença de sulfatos nos efluentes, pesquisas futuras são necessárias.

**Palavras-chave:** Bioenergia; Corantes; Efluente industrial; Gases de efeito estufa; Processo anaeróbio

---

<sup>1</sup>Prof. Me. Ronei de Almeida – Estudante de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro – ronei@eq.ufrj.br.



## INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados por compostos corantes das indústrias de tinturaria, farmacêutica, têxtil, pesticidas, cosmética e alimentícia têm sido um dos maiores desafios do saneamento ambiental nos últimos anos. Particularmente, as indústrias têxteis utilizam cerca de 50% do total de corantes produzidos e consomem uma quantidade considerável de água; portanto, é uma das maiores atividades poluidoras dos ambientes terrestres e aquáticos (FLORENCIO *et al.*, 2021).

Vários métodos de descoloração de águas residuais têxteis são reportados na literatura, tais como, coagulação-floculação, oxidação química, adsorção, processos biológicos (aeróbios e anaeróbios) e processos de separação com membranas Holkar *et al.* (2016). Os processos biológicos destacam-se pela simplicidade e elevado custo-benefício. Recentemente, a escassez de combustíveis fósseis e a demanda crescente de energia tem motivado pesquisas relacionadas aos processos anaeróbios. Durante a digestão anaeróbia, o biogás – uma fonte de energia renovável com alto valor calorífico – é produzido e pode ser utilizado para geração de energia térmica e/ou elétrica (YADVIKA *et al.*, 2004).

Entre os vários biorreatores anaeróbicos, o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB, do inglês, *Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) é utilizado em sistemas de tratamento de efluentes devido à confiabilidade, simplicidade e alto custo-benefício. Em economias em desenvolvimento, tais como, Brasil e México, esses reatores têm uma posição importante em estações de tratamento de esgoto. Para efluentes industriais, os reatores UASB têm sido usados com sucesso em destilarias, indústria de laticínios, matadouros e indústrias químicas (NOYOLA *et al.*, 2012). Na Tabela 1 são apresentadas as vantagens e limitações da tecnologia UASB.

**Tabela 01:** Vantagens e desvantagens do reator UASB.

ASPECTO	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
OPERACIONAL	FÁCIL OPERAÇÃO BAIXA DEMANDA DE ÁREA ELEVADA CARGA ORGÂNICA BAIXA PRODUÇÃO DE LODO BAIXO TRH E ELEVADO TEMPO DE RETENÇÃO CELULAR	PROBLEMAS DE CORROSÃO E VAZAMENTO DE BIOGÁS GERAÇÃO DE ODOR ELEVADO TEMPO DE PARTIDA ( <i>START-UP</i> ) CONTROLE DO PROCESSO DE GRANULAÇÃO DO LODO GERENCIAMENTO DO LODO
DESEMPENHO	ELEVADA REMOÇÃO DE DQO (>70%) CAPACIDADE DE SUPORTAR CHOQUES DE CARGA ORGÂNICA	BAIXA REMOÇÃO DE PATOGÊNICOS E NUTRIENTES EFLUENTE TRATADO REQUER PÓS-TRATAMENTO SENSIBILIDADE A SUBSTÂNCIAS TÓXICAS E METAIS PESADOS
ECONÔMICO	BAIXO CUSTO DE INVESTIMENTO E OPERAÇÃO FÁCIL CONSTRUÇÃO	MANUTENÇÃO (CORROSÃO E VAZAMENTO DE BIOGÁS) CONTROLE DA TEMPERATURA DO PROCESSO (EM REGIÕES FRIAS)

Fonte: DOS SANTOS *et al.*, 2007; NOYOLA *et al.*, 2012 (Adaptado)

O processo anaeróbico tem o potencial de degradar os poluentes de corantes e, simultaneamente, fornece uma fonte potencial enorme de energia limpa. As águas residuais têxteis são carregadas com compostos orgânicos e, nos reatores UASB, a matéria orgânica é biotransformada e convertida em biogás. Dependendo da característica da água residual, a composição do biogás normalmente está dentro dos intervalos  $\text{CH}_4 = 50\text{--}70\%$ ,  $\text{CO}_2 = 30\text{--}50\%$  e  $\text{H}_2 = 1\text{--}5\%$ , junto com traços de vapor d'água,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  e siloxanos (ANGELIDAKI *et al.*, 2018). O biogás também pode ser processado para produzir biometano – um substituto direto do gás natural (YENTEKAKIS & GOULA, 2017).

Neste contexto, o objetivo geral do presente trabalho foi estimar, a partir dos dados da literatura recente, a produção de biogás em reator UASB empregado no tratamento de efluentes industriais têxteis. Complementarmente, os benefícios ambientais



18º Congresso Nacional de  
**MEIO AMBIENTE**  
Poços de Caldas

2021

**21, 22 e 23 DE SETEMBRO**  
**100% On-line**

# Justiça climática no Antropoceno

ISSN on-line N° 2317-9686-V.13 N.1 2021

e econômicos da recuperação energética do biogás são evidenciados. Ao final, desafios e oportunidades são sumarizados.

Realização



**INSTITUTO FEDERAL**  
Sul de Minas Gerais  
Campus Muzambinho



Grupo de Pesquisa  
Ciências Ambientais  
IF SULDEMINAS - Muzambinho



**INSTITUTO FEDERAL**  
Sudeste de Minas Gerais  
Campus Santos Dumont

Apoio Institucional



## METODOLOGIA

Para calcular o potencial de produção de biogás a partir de águas residuais industriais têxteis, como um primeiro passo foi realizada uma pesquisa exploratória, restringindo-se a busca de informações que dão suporte ao objetivo do presente estudo. Os documentos foram selecionados através de busca na base de dados *Scopus*. As palavras-chave “UASB” e “dye” (corante) foram utilizadas para o levantamento das publicações. Restringiu-se o período de publicação entre os anos 2000 e 2021. A seleção dos documentos foi realizada em 24 de março de 2021. Em seguida, realizou-se a leitura dos resumos das publicações a fim de identificar os principais temas abordados. Por fim, a discussão foi desenvolvida tomando como base as ideias principais desses trabalhos. No total, 100 estudos principais foram identificados durante a pesquisa.

Baseado nos dados extraídos da literatura, a quantidade produzida de água residual têxtil foi multiplicada pela Demanda Química de Oxigênio (DQO), em massa de DQO por unidade de volume de efluente. Em seguida, o valor obtido foi multiplicado pela produção em volume de biogás (produtividade) por massa de DQO para finalmente chegar à quantidade total de biogás produzido (Equação 1). Para calcular a quantidade potencial de produção de energia (kWh/ano) foi utilizado a Equação 2, um fator de conversão de 10 kWh/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> foi adotado (VOLSCHAN JUNIOR *et al.*, 2021).

$$P = Q \times C \times r \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

P é a produção total estimada de biometano (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano), Q é a vazão de água residuária têxtil gerada anualmente (m<sup>3</sup>/ano), C é a concentração de matéria orgânica da água residuária têxtil (kg DQO/m<sup>3</sup>), r é o rendimento médio de biometano (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ kg DQO).

$$E = P \times f \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

E é a produção estimada de energia (kWh/ano) e f é o fator de conversão (kWh/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos da literatura que avaliaram a produção de biogás durante o tratamento de efluentes industriais têxteis são apresentados na Tabela 2.

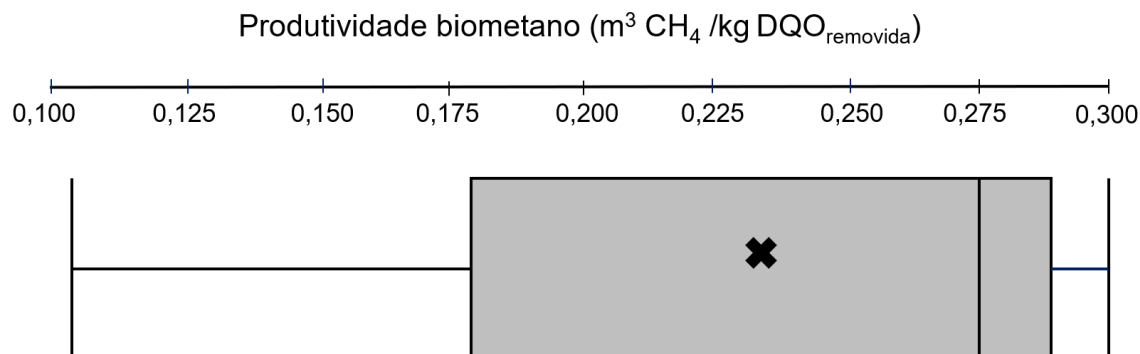
**Tabela 02:** Produção de biogás durante o tratamento de água residual têxtil em reator UASB.

SISTEMA DE TRATAMENTO	CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO REATOR UASB	PRODUÇÃO DE BIOGÁS	REFERÊNCIA
Reator UASB	MODO CONTÍNUO, 37°C, TRH 20h, COV 3,86 kg DQO/m <sup>3</sup> /d	2,26 L/d (70% CH <sub>4</sub> )	Işik (2004)
Processo anaeróbio em batelada + Reator UASB + Reator tanque agitado contínuo	MODO CONTÍNUO, 37°C, TRH 3–30h, COV 2–15 kg DQO/m <sup>3</sup> /d	0,36; 0,372; 0,938 L/d	Işik; Sponza (2004)
Reator UASB	MODO BATELADA, 37°C, TRH 18,3h, COV 0,286 kg DQO/m <sup>3</sup> /d	2,0–2,7 L/d	Işik; Sponza (2005)
Reator UASB híbrido*	MODO CONTÍNUO, 33°C, TRH 50h, COV 12 kg DQO/m <sup>3</sup> /d	36,04 L/d (79%CH <sub>4</sub> )	Katal et al. (2014)
Reator UASB + Biorreator aeróbio	MODO CONTÍNUO, 37±1°C, pH 7,6, TRH 6h, COV 12,97 kg DQO/m <sup>3</sup> /d	3,86 L CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> /d	Gadow; Li (2020)

COV = Carga Orgânica Volumétrica. DQO = Demanda Química de Oxigênio. TRH = Tempo de Retenção Hidráulica. \*Zona superior do reator possui filtro anaeróbio preenchida com material de enchimento (biomídia de polietileno).

KATAL *et al.* (2014) operaram um reator UASB em escala de laboratório para tratar efluentes têxteis, determinando a produção de biogás. Os autores obtiveram produtividade máxima de biogás de 36 L/d com percentual de biometano de 79% em TRH de 50h. Em outros estudos laboratoriais, produtividade de biometano na faixa de 0,36 a 2,7 L/d foram reportadas (IŞIK, 2004; IŞIK & SPONZA, 2004, 2005).

A Figura 1 mostra os valores de produtividade de biometano a partir dos resultados obtidos por ZHANG *et al.* (2018) e GADOW & LI (2020).



**Figura 01:** Produtividade de biometano em reator UASB a partir dos dados apresentados por ZHANG *et al.* (2018) e GADOW & LI (2020). Nota: A cruz e a linha dentro do retângulo representam o valor médio e a mediana, respectivamente. O retângulo denota a faixa de valores de 50% dos dados. As barras mostram o valor mínimo e máximo.

A partir da caracterização dos efluentes têxteis, uma DQO média de  $7,3 \text{ kg/m}^3$  foi reportada por DOS SANTOS *et al.* (2007). Este valor multiplicado pelo rendimento médio de biometano em reator UASB durante o tratamento de água residual têxtil ( $0,230 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{kg DQO}_{\text{removido}}$ ), significa uma produtividade de  $1,679 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{m}^3$  de água residual. Assumindo um fator de conversão de  $10 \text{ kWh/m}^3$  de  $\text{CH}_4$  (VOLSCHAN JUNIOR *et al.*, 2021), os reatores UASB poderiam atingir até  $16,79 \text{ kWh}$  de recuperação de bioenergia por  $\text{m}^3$  de efluente tratado. Considerando que as indústrias têxteis geram de  $70$  a  $400 \text{ m}^3/\text{d}$  de águas residuais (SHUCHISTA & ASHRAFUL, 2015), os reatores UASB poderiam levar a uma economia anual de energia de  $2.541.340,00 \text{ kWh}$  (considerando  $400 \text{ m}^3/\text{d}$ ), correspondendo a uma economia de  $\text{US\$ } 306.417,50/\text{ano}$  ( $0,125 \text{ US\$/kWh}$ ). Desta maneira, a recuperação de biogás dos reatores UASB pode desempenhar um papel essencial na promoção da valorização de águas residuais e na redução dos encargos econômicos do tratamento de efluentes têxteis.

O tratamento de águas residuais industriais permite que o biogás seja capturado



como fonte de energia, ao mesmo tempo que diminui as emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Ao produzir biogás a partir de águas residuais industriais, as emissões de GEE são economizadas de diferentes maneiras. Em primeiro lugar, as emissões de GEEs são reduzidas devido ao menor consumo de energia nas estações de tratamento de efluentes (ETEs) que empregam processos anaeróbios de tratamento. Em segundo lugar, as emissões de GEEs são evitadas pela substituição de fonte de energia fóssil. Por último, a captura e aproveitamento energético do metano gerado em um ambiente fechado e controlado durante o tratamento da água residual mitiga as emissões potenciais do tratamento dos efluentes industriais. A vida útil das ETEs é normalmente de 20 a 25 anos, o que significa que até 2050 toda estação de tratamento de águas residuais será reformada, reconstruída ou substituída pelo menos uma vez. Isso cria oportunidades para escolhas mais sustentáveis (EBA, 2021).

Apesar dos méritos dos reatores UASB, três questões podem ser identificadas como limitações para sua implementação no tratamento de água residual têxtil: 1) o desenvolvimento de lodo granular é um processo demorado, que, conseqüentemente, requer um longo período de partida do biorreator; 2) vários parâmetros influenciam o desempenho do tratamento e, portanto, um desequilíbrio entre eles pode resultar em baixa produção de biogás. Além disso, microrganismos anaeróbios são suscetíveis a efeitos inibitórios por alta salinidade, sulfato e concentração elevada de corante. Esses problemas, se não forem monitorados e controlados adequadamente, levam à deterioração do processo; 3) o gerenciamento de lodo contendo compostos corantes é um grande desafio que deve ser enfrentado devido seu potencial poluidor. O excesso de lodo dos reatores UASB requer tratamento na forma de estabilização, secagem e/ou disposição final (CIEŚLIK *et al.*, 2015).

## CONCLUSÕES

As ETEs têm uma alta demanda de energia. A tecnologia UASB oferece oportunidades para a produção de energia renovável, que pode ser utilizada na própria instalação, contribuindo para a redução do consumo de eletricidade. O reator UASB poderia proporcionar uma produção anual de energia de 2.541.340,00 kWh no tratamento



de efluentes industriais têxteis, correspondendo a uma economia de US\$ 306.417,50/ano. Ressalta-se que os tratamentos anaeróbios são menos intensivos em energia e produzem menor excesso de lodo quando comparados com os processos aeróbios. Além disso, entre os impactos positivos da recuperação do biogás via tecnologia UASB destacam-se a mitigação das emissões de GEEs, que podem favorecer a neutralidade de carbono das ETEs no médio e longo prazo. Contudo, para superar as principais limitações do reator UASB no tratamento de água residual têxtil, tais como, longo tempo de partida do biorreator e efeitos inibitórios, devido a doses elevadas de corantes e presença de sulfatos nos efluentes, pesquisas futuras são necessárias.

## REFERÊNCIAS

ANGELIDAKI, I.; TREU, L.; TSAPEKOS, P.; et al. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. **Biotechnology Advances**, v. 36, n. 2, p. 452–466, 2018. Elsevier.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011>>. .

CIEŚLIK, B. M.; NAMIEŚNIK, J.; KONIECZKA, P. Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 1–15, 2015. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614012116>>. .

EBA (EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION). **The role of biogas production from industrial wastewaters in reaching climate neutrality by 2050**. Bruxelas, Bélgica, 2021.

FLORÊNCIO, T. DE M.; GODOI, L. A.; ROCHA, V. C.; et al. Anaerobic structured-bed reactor for azo dye decolorization in the presence of sulfate ions. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, , n. October 2020, p. jctb.6695, 2021. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jctb.6695>>. .

GADOW, S. I.; LI, Y.-Y. Development of an integrated anaerobic/aerobic bioreactor for biodegradation of recalcitrant azo dye and bioenergy recovery: HRT effects and functional resilience. **Bioresource Technology Reports**, v. 9, n. January, p. 100388, 2020. Elsevier.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100388>>. .

HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 351–366, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>>. .

IŞIK, M. Efficiency of simulated textile wastewater decolorization process based on the

methanogenic activity of upflow anaerobic sludge blanket reactor in salt inhibition condition.

**Enzyme and Microbial Technology**, v. 35, n. 5, p. 399–404, 2004. Disponível em:

<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141022904001619>>. .

IŞIK, M.; SPONZA, D. T. Anaerobic/aerobic sequential treatment of a cotton textile mill wastewater. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 79, n. 11, p. 1268–1274, 2004. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/jctb.11122>>. .

IŞIK, M.; SPONZA, D. T. Effects of alkalinity and co-substrate on the performance of an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor through decolorization of Congo Red azo dye.

**Bioresource Technology**, v. 96, n. 5, p. 633–643, 2005. Disponível em:

<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852404002275>>. .

KATAL, R.; ZARE, H.; RASTEGAR, S. O.; MAVADDAT, P.; DARZI, G. N. Removal of dye and chemical oxygen demand (COD) reduction from textile industrial wastewater using hybrid bioreactors. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 13, n. 1, p. 43–50, 2014. Disponível em: <[http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol13/no1/7\\_509\\_Katal\\_11.pdf](http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol13/no1/7_509_Katal_11.pdf)>. .

NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; GÜERECÁ, L. P.; HERNÁNDEZ-PADILLA, F. Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 40, n. 9, p. 926–932, 2012.

DOS SANTOS, A. B.; CERVANTES, F. J.; VAN LIER, J. B. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology.

**Bioresource technology**, v. 98, n. 12, p. 2369–85, 2007. Disponível em:

<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852406006043>>. .

SHUCHISTA, D.; ASHRAFUL, I. A Review on Textile Wastewater Characterization in Bangladesh. **Resources and Environment**, v. 5, n. 1, p. 15–44, 2015. Disponível em:

<<http://article.sapub.org/10.5923.j.re.20150501.03.html>>. .

VOLSCHAN JUNIOR, I.; DE ALMEIDA, R.; CAMMAROTA, M. C. A review of sludge pretreatment methods and co-digestion to boost biogas production and energy self-sufficiency in wastewater treatment plants. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, p. 101857, 2021.

Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101857>>. .

YENTEKAKIS, I. V.; GOULA, G. Biogas Management: Advanced Utilization for Production of Renewable Energy and Added-value Chemicals. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, n.

FEB, 2017. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fenvs.2017.00007/full>>.

ZHANG, W.; LIU, F.; WANG, D.; JIN, Y. Impact of reactor configuration on treatment performance and microbial diversity in treating high-strength dyeing wastewater: Anaerobic flat-

sheet ceramic membrane bioreactor versus upflow anaerobic sludge blanket reactor. **Bioresource Technology**, v. 269, n. June, p. 269–275, 2018. Elsevier. Disponível em:  
<<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.126>>. .