II-268 – EMISSÕES DE GASES PELA APLICAÇÃO NO SOLO DE VINHAÇA BRUTA E TRATADA POR PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA.

Thais Girardi Carpanez (1)
Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais.

Victor Rezende Moreira
Engenheiro Químico pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais.

Miriam Cristina Santos Amaral
Professora adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço(1): Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, CEP: 31270-901- Brasil - e-mail: tgcarpanez@gmail.com

RESUMO

O setor sucroalcooleiro, apesar de exercer grande impacto na economia brasileira, possui elevada geração de resíduos, com destaque para a vinhaça, com geração anual de 300 bilhões de litros e elevado potencial poluidor. Sua composição é rica em nitrogênio, fósforo, potássio e carbono orgânico, razão pela qual é considerada para fertirrigação ou como material percursor para a formulação de fertilizantes organominerais (FOMs) através de processos integrados de separação por membrana, como ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR). Entretanto, essas formas de disposição da vinhaça, tanto via fertirrigação quanto pelos FOMs, podem trazer malefícios ao meio ambiente como emissões de gases como SO_2 e CO_2. Desta forma, neste estudo objetivou-se estimar as emissões da vinhaça bruta e tratada por ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR), quando da sua aplicação via fertirrigação e como fertilizante organomineral. Para tal foram estimadas as taxas de aplicação (VARs) para cada cenário. Na maioria dos cenários analisados, as emissões de CO_2 e SO_2 foram maiores quando a vinhaça bruta foi considerada. Comparando os cenários individualmente, observa-se que as emissões geradas pela fertirrigação foram maiores quando comparadas às geradas pela aplicação via FOM. O estudo demonstrou que as taxas de aplicações da vinhaça nos solos apresentam relação direta com as emissões de gases à atmosfera sendo os fertilizantes organominerais a forma de aplicação que apresentou menor impacto ambiental em termos de emissão de gases de CO_2 e SO_2.

PALAVRAS-CHAVE: Emissão de gases; Fertilizantes organominerais; Vinhaça; Tecnologias de Separação por Membranas.

INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro é um dos segmentos mais tradicionais do país, com grande impacto na economia brasileira, sendo o país o segundo maior produtor de etanol do mundo, o primeiro em produção de cana-de-açúcar e o principal exportador destes itens (UNICA, 2021). Entretanto, aliado à essa grande produção está a geração de resíduos, com destaque para a vinhaça, a qual é proveniente da destilação de uma solução alcoólica, o vinho, obtida no processo de fermentação do álcool, sendo que sua geração ganha maior visibilidade devido à elevada quantidade originada do processo produtivo das usinas e pelo seu alto potencial poluidor. Em média, espera-se que para cada litro de etanol produzido sejam gerados de 10 a 15 litros de vinhaça e que sejam produzidos, aproximadamente, 300 bilhões de litros anualmente deste resíduo (SILVA et al., 2020).

Sua composição é rica em nitrogênio, fósforo, potássio e carbono orgânico, razão pela qual é considerada para fertirrigação, porém sua aplicação excessiva no solo pode causar a lixiviação de nutrientes, risco de salinização pela concentração de sais no perfil do solo, além do impacto severo nas águas ocasionada por altos valores de demanda química e bioquímica de oxigênio. Uma alternativa para o seu descarte é a transformação da vinhaça em fertilizante organomineral (FOM). Os FOMs são reconhecidos pela maior composição e uniformidade de nutrientes e por permitem maior aproveitamento do fertilizante no solo, além de terem potencial para aumentar a matéria orgânica do solo, capacidade de troca catiônica e capacidade de armazenamento de água. Além disso, a concentração de vinhaça por processos integrados de separação por membrana, como ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR), pode reduzir o volume de vinhaça a ser transportado.

No entanto, as duas formas de disposição da vinhaça, tanto via fertirrigação quanto pelos FOMs, podem trazer malefícios ao meio ambiente como emissões de SO_2 e CO_2, gases que podem contribuir para as mudanças climáticas e, consequentemente para o aquecimento global. Estima-se que a agricultura seja responsável por cerca de 35% do total das emissões de CO2 de origem antrópica (MCTIC, 2020). Assim, o conhecimento das emissões de gases, em escala local, pode contribuir para o melhor manejo do sistema e, consequente, diminuição dos impactos gerados.

Dessa forma, este estudo objetivou-se estimar as emissões da vinhaça bruta e tratada por ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR), quando da sua aplicação via fertirrigação e como fertilizante organomineral.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para tratamento da vinhaça foram utilizados os sistemas de UF, NF e OR, sendo seus concentrados analisados para a produção do fertilizante organomineral líquido e aplicação via fertirrigação. A formulação do FOM se deu de acordo com IN 61/2020 (MAPA, 2020), com composição final correspondente à 3% de carbono orgânico e percentual mínimo de macronutrientes primários de 1%.

A taxa de aplicação (VAR) do FOM no solo foi calculada com base na concentração de potássio em cada efluente tratado e considerando que a concentração máxima desse nutriente no solo não pode ultrapassar 6% do potencial de CEC, conforme determinado pelo COPAM (2011). O potencial de CEC considerado foi de 15 cmolc/dm^3, comum em solos tropicais. Já a determinação da taxa de aplicação dos concentrados no solo via fertirrigação foi realizada a partir da recomendação proposta pela CETESB (2016), conforme apresentado na Equação 1.

$$\mathbf{VAR = (0{,}05 * CEC - [K]_{SOLO}) * 3744 + 185/ [K]_{VINHOTO}} \qquad \text{Equação (1)}$$

Onde VAR é a taxa de aplicação de vinhaça (m³/ha), CEC é a capacidade de troca catiônica do solo (cmolc/dm^3), $[K]_{solo}$ é a concentração de potássio no solo em uma profundidade de até 0,8 m (cmolc/dm^3) e $[K]_{vinhaça}$ é a concentração de potássio na vinhaça de cana-de-açúcar (kg K_2O/m). O valor constante 3744 é um fator de correção usado para converter a concentração de potássio de cmolc/dm^3 para kg por volume de 8.000 m³ (1 ha x 0,8 m). O valor constante 185 corresponde à massa de K_2O extraída pela cultura por hectare durante a colheita. As características do solo consideradas no cálculo do VAR foram 19,6 mg/dm3 (0,05 cmolc/dm^3) em relação ao teor de K e 3,23 cmol$_c$/dm^3 de CEC (ZOLIN et al., 2011).

As emissões de gases (SO_2 e CO_2) foram estimadas de acordo com as emissões potenciais de sulfeto (PSE), com base na redução de sulfato em sulfeto em condições anaeróbicas (ZHOU; XING, 2015) e com base na produção de CO_2 pela biodegradação da matéria orgânica no solo, conforme apresentado nas Equações 2 e 3.

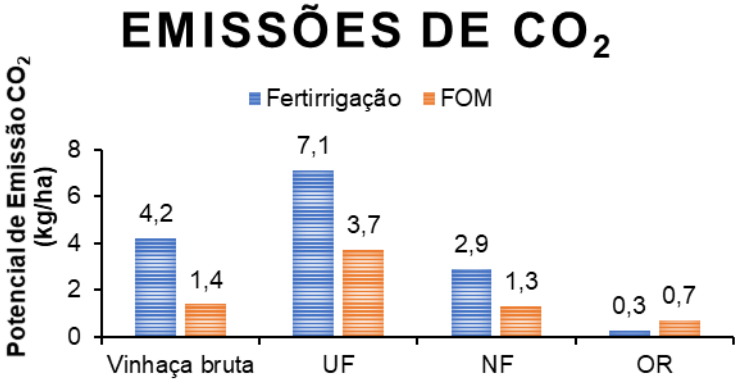
$$\mathbf{PSE = VAR * [SO_4^{-2}] * M_{HS^-} / M_{SO4\text{-}2}} \qquad \text{Equação (2)}$$

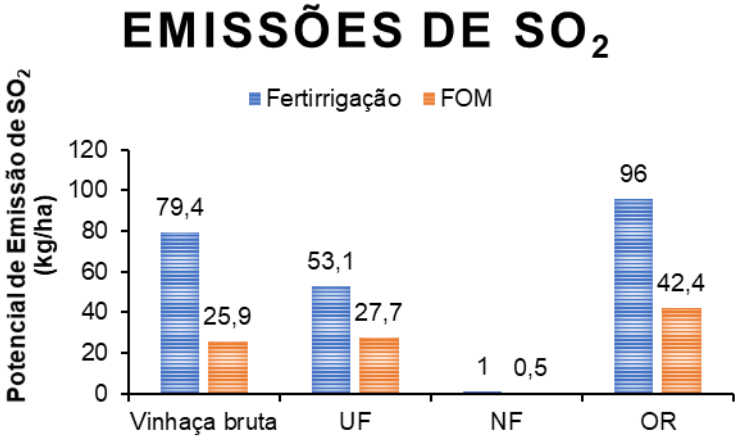
$$\mathbf{C_XH_YO_ZN_W + O_2 \rightarrow C_5H_7O_2N + NH_3 + CO_2 + H_2O} \qquad \text{Equação (3)}$$

Onde PSE é a emissão potencial de sulfeto (kg/ha), $\mathbf{[SO_4^{-2}]}$ é a concentração de sulfato na vinhaça (kg/m³), $\mathbf{M_{HS^-}}$ é a massa molar de sulfeto (g/mol) e $\mathbf{M_{SO4\text{-}2}}$ é a massa molar de sulfato (g/mol).

RESULTADOS

A taxa de aplicação via fertirrigação para vinhaça bruta foi de 184 m³/ha e, para os concentrados da UF, NF e RO, de 115 m³/ha, 133 m³/ha e 136 m³/ha, respectivamente. Já para aplicação do FOM, foi estimada uma taxa de aplicação única de 12 m³/ha tanto para a vinhaça bruta e quanto para os concentrados obtidos.
As estimativas de emissões de CO2 e SO2 estão apresentadas nas Figuras 1 e 2.





ANÁLISE DOS RESULTADOS

As menores taxas de aplicação encontradas no fertilizante organomineral formulado a partir dos concentrados e da vinhaça bruta caracterizam um cálculo mais assertivo, capaz de considerar o limite máximo de potássio no solo, possibilitando um melhor aproveitamento dos nutrientes sem que haja possíveis malefícios ao solo, como a lixiviação de nutrientes.

Em quase todos os cenários analisados, as emissões de CO_2 e SO_2 foram maiores quando a vinhaça bruta foi considerada, dada a sua maior concentração de matéria orgânica. Entretanto, destaca-se para as emissões de CO_2, nos concentrados da UF, os quais apresentaram valores superiores aos emitidos pela vinhaça bruta, devido à grande retenção de matéria orgânica proporcionado pela técnica. Em uma outra perspectiva, comparando os cenários individualmente, observa-se que as emissões geradas pela fertirrigação foram maiores quando comparadas às geradas pela aplicação via FOM.

Resultados semelhantes foram encontrados por Magalhães et al., (2020) após tratar a vinhaça por um sistema constituído por ultrafiltrarão seguido por biorreatores anaeróbios por membranas e osmose reversa, em que o concentrado obtido ao fim dos processos apresentou concentração orgânica nove vezes menor em relação à vinhaça bruta, reduzindo o impacto nas aplicações no solo e, consequentemente, na geração de CO_2.

CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que as taxas de aplicações da vinhaça nos solos apresentam relação direta com as emissões de gases à atmosfera sendo os fertilizantes organominerais a forma de aplicação que apresentou menor impacto ambiental em termos de emissão de gases de CO_2 e SO_2. Dessa forma, os processos de separação por membranas podem ser uma forma eficaz de tratar a vinhaça e que podem influenciar diretamente na diminuição de emissões de gases da agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria n° 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016. . 2016, 219, p. 4.
2. COPAM, Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 164 de 30/03/2011. 2011.
3. MAGALHÃES, Natalie C.; SILVA, Ana F. R.; CUNHA, Paulo V. M.; DREWES, Jörg E.; AMARAL, Míriam C. S. Role of nanofiltration or reverse osmosis integrated to ultrafiltration-anaerobic membrane bioreactor treating vinasse for the conservation of water and nutrients in the ethanol industry. **Journal of Water Process Engineering**, *[S. l.]*, v. 36, n. May, p. 101338, 2020. DOI: 10.1016/j.jwpe.2020.101338. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101338.
4. MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E. ABASTECIMENTO. Instrução Normativa n° 61/2020. . 2020.
5. MCTIC, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, Inovações e Comunicações. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil.** 5ª ed. Brasília, DF. Disponível em: www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/Estimativas_Anuais.html?searchRef=gases do efeito estufa&tipoBusc.
6. SILVA, A. F. R.; MAGALHÃES, N. C.; CUNHA, P. V. M.; AMARAL, M. C. ..; KOCH, K. Influence of COD/SO42− ratio on vinasse treatment performance by two-stage anaerobic membrane bioreactor. **J. Environ. Manag.**, *[S. l.]*, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j. jenvman.2019.110034.
7. UNICA, União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Unicadata. Exportação e importação**. 2021. Disponível em: http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=24.
8. ZHOU, Jiemin; XING, Jianmin. Effect of electron donors on the performance of haloalkaliphilic sulfate-reducing bioreactors for flue gas treatment and microbial degradation patterns related to sulfate reduction of different electron donors. **Biochemical Engineering Journal**, *[S. l.]*, v. 96, p. 14–22, 2015. DOI: 10.1016/j.bej.2014.12.015.
9. ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. (Exploratory study of the stillage use along the time. I. Characteristics of the soil). **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, *[S. l.]*, v. 15, n. 22–28, 2011.