

Vinhaça: Aplicações, Impactos ambientais e Previsões Legais.

Jéssica Maria Ferreira de Almeida do Couto (UEM) jeh_mfa@hotmail.com

Ana Carolina Sestito Guerra (UEM) anacarolina_guerra@hotmail.com

Gabriela de França Lopes (UEM) gabidflopes@gmail.com

Paulo Roberto Paraíso (UEM) prparaíso@uem.br

Luiz Mário M. Jorge (UEM) lmmjorge@uem.br

Resumo:

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo e seus derivados. No processo de produção de etanol temos a geração de uma carga elevada de um composto conhecido como vinhaça. Esse composto pode gerar impactos ambientais severos, por isso têm despertado o interesse de diversos estudiosos sobre possíveis tratamentos e usos desse resíduo. No passado a vinhaça era descartada em corpos hídricos gerando várias consequências ambientais; atualmente, a fertirrigação é uma alternativa adotada pela legislação vigente. Contudo, as previsões legais relacionadas ao armazenamento e aplicação da vinhaça são ainda insuficientes. Como o uso inadequado e indiscriminado dessa técnica também pode acarretar impactos ambientais, alternativas como tratamento químicos, tratamentos biológicos e o uso de filtros percoladores vêm sendo estudadas, sendo a digestão anaeróbica a grande tendência para diminuir seu potencial poluidor e ainda gerar produtos com valor agregado.

Palavras chave: Vinhaça, Sustentabilidade, Legislação, Tratamento.

Vinasse: Applications, Environmental Impacts and Legal Provision.

Abstract

Brazil is one of the largest producers of sugar cane in the world and its derivatives. In the process of producing ethanol we have the generation of a high charge of a compound known as vinasse. This compound can generate severe environmental impacts, so they have aroused the interest of several scholars about possible treatments and uses of this residue. In the past, vinasse was discarded in water bodies generating several environmental consequences. Currently the fertigation is an alternative adopted by the current legislation. However, the legal provisions related to the storage and application of vinasse are still insufficient. As the inappropriate and indiscriminate use of this technique can also have environmental impacts, alternatives such as chemical treatment, biological treatments and the use of percolating filters have been studied, and the anaerobic digestion is the great tendency to diminish its potential polluter and still to generate products with added value.

Key-words: Vinasse, Sustainability, Legislation, Treatment.

1. Introdução

A conceituação de desenvolvimento sustentável ocorre tanto no âmbito ambiental, como no econômico e social e leva em consideração os avanços tecnológicos e o crescimento populacional em conjunto com as atividades humanas. Para que seja possível implementar o conceito de desenvolvimento sustentável nos mais diferentes setores da economia é necessário

conhecer as diferentes matrizes energéticas que envolvem o mundo e as mais diferentes atividades desenvolvidas nele. Assim, recursos ou ações que permitam transformar a matéria a partir do trabalho englobando todas as atividades físico químicas e biológicas é uma temática bastante relevante no cenário atual (PORTO-GONCALVES, 2008).

A substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis tem sido extremamente importante em todo o mundo para estimular o crescimento das economias com base na sustentabilidade através do uso de recursos renováveis. Neste cenário, o Brasil se destaca devido ao uso de etanol a partir da cana-de-açúcar. O setor sucroenergético constitui hoje uma das principais atividades econômicas no país, sendo responsável por movimentar US\$ 28,2 bilhões equivalentes a 2% do PIB. Além disso, a cana-de-açúcar é uma das culturas mais promissoras para geração de energia renovável e a produção de biocombustíveis a partir de fontes renováveis têm recebido cada vez mais destaque devido à maior busca pela conscientização ambiental e desenvolvimento sustentável (NEVES *et al.*, 2010; REGO & HERNANDEZ, 2006; BERMANN, 2008).

Do ponto de vista ambiental, a substituição de combustíveis fósseis por etanol reduzira as emissões de gases de efeito estufa. No entanto, este processo de produção de biocombustíveis gera grandes volumes de resíduos que podem constituir um grave problema ambiental dependendo de sua destinação final. De acordo com Silva *et al.* (2014) a industrialização da cana-de-açúcar produz dois tipos principais de resíduos: resíduos agrícolas e subprodutos industriais. O primeiro grupo é composto principalmente de palha de cana, o segundo é composto pelo bagaço e pela vinhaça.

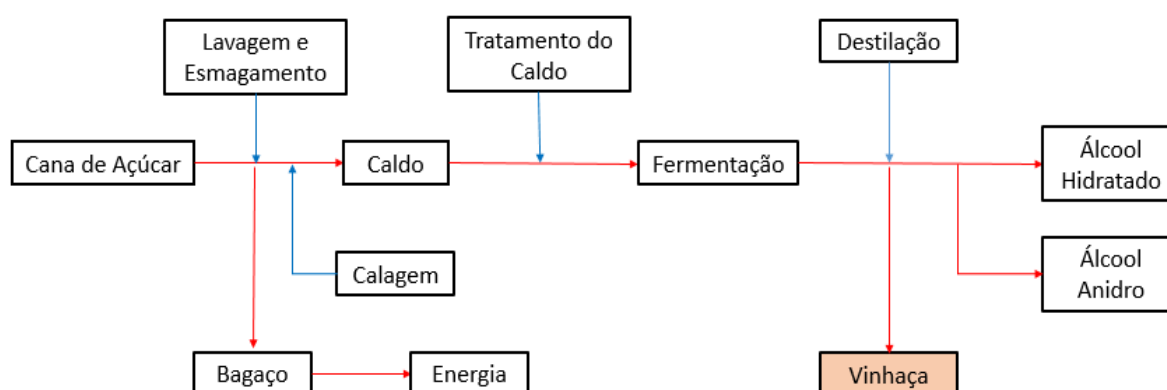
Dá-se destaque aqui aos impactos gerados pela vinhaça, que é o resíduo mais importante não só em termos de volume gerado, mas também devido ao seu enorme potencial poluição. Estima-se que a safra de 2017/2018 de cana-de-açúcar seja de 646,34 milhões de toneladas, considerando que 13 toneladas de cana-de-açúcar geram em média 10 m³ de vinhaça, a safra atual deverá produzir cerca de 487,18 milhões de m³ desse resíduo (REGO & HERNÁNDEZ, 2006; CONAB, 2017).

Assim, levando em consideração o elevado fator de impacto ambiental que o setor sucroalcooleiro representa no cenário atual, o presente estudo está pautado em uma revisão de literatura que busca abordar os usos e tratamentos mais recentes para a vinhaça, bem como um levantamento das principais legislações envolvidas à temática, de forma a proporcionar um maior conhecimento e conscientização da problemática levantada pelo trabalho.

2. Revisão de Literatura

2.1. A Vinhaça

A vinhaça, também conhecida como vinhoto ou restilo, é um líquido residual gerado em larga escala a partir da destilação do caldo de cana fermentado, como representado na Figura 1. Entre seus principais constituintes está a matéria orgânica na forma de ácidos orgânicos e cátions como cálcio, magnésio e potássio. Contudo suas características físico-químicas dependem da composição da matéria-prima utilizada. Apresenta forte odor para humanos, coloração marrom escuro, baixo pH (3-4.5), condutividade elétrica (250-300 dS/m), alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que fica em torno de 25000-45000 mg/L e demanda química de oxigênio (DQO) entre 50000-150000 mg/L. Seu elevado teor de potássio impulsiona sua utilização como fertilizante, mesmo apresentando características como a acidez e elevada DBO que a torna um material altamente poluidor (CAMPOS *et al.*, 2014; SILES *et al.*, 2011; CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013, CARVAJAL-ZARRABAL, *et al.*, 2012).



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2011)

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo gerador da vinhaça

Para cada litro de álcool produzido, são gerados entre 10 e 13 L de vinhaça, que resulta em uma alta DBO que consome cerca de 12000 a 20000 mg para cada litro de vinhaça. A alta DBO faz com que o efeito poluidor da vinhaça seja 100 vezes superior ao de um esgoto doméstico (PAULINO *et al.*, 2002; SALOMON, 2007; DIAZ *et al.*, 2002; SILES *et al.*, 2011; CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013).

O não tratamento da vinhaça pode ocasionar impactos severos e mudanças no ecossistema natural, como a eutrofização de ambientes aquáticos ou degradação dos solos. Alguns exemplos de manejo inadequado da vinhaça e seus impactos são descritos na Tabela 1.

Erros comuns	Impactos
Acúmulo de vinhaça na área agrícola por excesso de aplicação	Proliferação de insetos; Percolação da vinhaça; Contaminação de águas subterrâneas;
Falta de uniformidade na irrigação	Áreas irrigada duplamente; Áreas sem irrigação;
Falta de impermeabilização dos reservatórios de armazenamento ou canais de distribuição da vinhaça	Perdas da vinhaça por percolação; Contaminação de águas subterrâneas;
Falta de análise do solo antes da aplicação da vinhaça	Aplicação excessiva ou reduzida; Perda de produtividade do cultivo;
Lançamento da vinhaça em corpos hídricos	Proliferação de microrganismos; Redução/esgotamento do O_2 dissolvido na água; Danos/Destruição da fauna e flora aquática;

Fonte: Adaptado de Silveira (2016)

Tabela 1 - Exemplos de manejo inadequado da vinhaça

Em razão dos impactos ambientais, a geração de vinhaça pelas indústrias sucroalcooleiras tornou-se um grande motivo de preocupação para os órgãos ambientais e tem desencadeado a busca por tecnologias novas e mais eficientes para o tratamento de águas residuais (TEH *et al.*, 2016).

2.2. Principais Usos e Tratamentos

No passado, a vinhaça produzida por algumas indústrias alcooleiras tinha como destino o descarte em lagoas apenas com a finalidade de evaporação, entretanto este método de destinação do resíduo gerava muitos problemas que iam desde a contaminação de águas

subterrâneas e de superfície, mau cheiro, até o surgimento de insetos (MADAJÓN *et al.*, 2001; SILES *et al.*, 2011).

Hoje, no entanto, existem diferentes métodos para o tratamento da vinhaça. Os métodos variam entre o tratamento por produtos químicos como coagulação e floculação, precipitação e oxidação química; e tratamento biológico aeróbio ou anaeróbio, utilização de filtros percoladores, lagoas, disposição em aterro, entre outros (EYKELBOSH *et al.*, 2015; PRADO *et al.*, 2013; SILES *et al.*, 2011).

O tratamento da vinhaça nas últimas três décadas era pouco utilizado uma vez que a indústria de etanol no Brasil regulamentou a disposição final da vinhaça especificando que esta poderia ser reciclada nos campos agrícolas (FILOSO *et al.*, 2015). Assim, a principal maneira de se eliminar a vinhaça era através da aplicação direta da mesma nas lavouras de cana-de-açúcar. Esta solução foi adotada principalmente devido a proliferação de flores e algas e aumento da DBO de corpos hídricos quando a vinhaça era descartada em cursos de água (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013), e também porque esta representa a solução com menor custo e aplicação mais simples (CORTEZ *et al.*, 1992).

A aplicação de vinhaça nas lavouras de cana-de-açúcar, bem como a aplicação da técnica de fertirrigação (irrigação dos campos com a vinhaça), são práticas adotadas por várias usinas, sendo tecnologias conhecidas e bem definidas com vários estudos que comprovam os resultados positivos obtidos na produtividade agrícola, associados à economia dos adubos minerais (PENATTI *et al.*, 1988), uma vez que combina fertilização e irrigação do solo. Essa técnica, se utilizada adequadamente, gera claros benefícios à produção de cana, fornecendo água e nutrientes.

Porém, quando utilizada de forma indiscriminada altas doses de vinhaça podem levar à salinização do solo, contaminação de aquíferos com sais, redução do oxigênio do solo, contaminação por espécies químicas como nitratos, cloretos, chumbo, cobre e zinco, acidificação e saturação do solo de matéria orgânica e gerando variações e inconsistências na obtenção de respostas positivas quanto a sua utilização (LEME & SEABRA, 2016).

Vários estudos foram desenvolvidos abordando o benefício agrícola da irrigação por vinhaça em campos de cana-de-açúcar, mas atualmente existem estudos que enfatizam impactos ambientais desta prática quando realizada sem controle de dosagem ou na utilização da mesma área de aplicação por longos períodos de tempo. A Tabela 2 apresenta alguns autores que discorreram sobre a temática.

Estudos desenvolvidos	
Benefícios agrícolas da técnica de fertirrigação	MACEDO <i>et al.</i> , 2005; RESENDE <i>et al.</i> , 2006; PARNAUDEAU <i>et al.</i> , 2008; SMEETS <i>et al.</i> , 2008
Malefícios agrícolas da técnica de fertirrigação	RESENDE <i>et al.</i> , 2006; CARMO <i>et al.</i> , 2013; CHRISTOFOLETTI <i>et al.</i> , 2013; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013; FUESS e GARCIA, 2014; PAREDES <i>et al.</i> , 2014

Fonte: os Autores (2017)

Tabela 2 - Estudos desenvolvidos abordando benefícios e malefícios da utilização da vinhaça para fertirrigação.

O transporte da vinhaça para os campos de irrigação é outro problema importante para ser confrontado. Como o volume de resíduo obtido é grande, o transporte para instalações distantes é uma tarefa difícil e que libera elevadas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera. Neste contexto, a concentração da vinhaça de cana-de-açúcar é uma abordagem promissora para o melhoramento da utilização deste resíduo líquido, uma vez que concentrando-a pode-se

minimizar problemas decorrentes do transporte, custos, além de ampliar seu alcance de aplicação já que a fertirrigação ainda é uma técnica largamente utilizada.

Thereza *et al.* (2012) aborda em seu estudo a utilização de membranas para concentrar vinhaça como alternativa à evaporação. Queiroga *et al.* (2018) também evidencia em seu estudo a recente utilização de membranas tubulares assimétricas para o tratamento de uma amostra de vinhaça. Desta forma, nos últimos anos, tecnologias de tratamento têm sido ampliadas e cada vez mais utilizadas.

O emprego de processos químicos de tratamento da vinhaça tem sua utilização menos evidenciada quando se deseja minimizar os impactos ambientais causados pelo efluente uma vez que há, neste caso, a produção de um subproduto de tratamento ainda bastante complexo para ser destinado. Por outro lado, o emprego de técnicas biológicas de tratamento têm sido mais largamente utilizadas em razão de seus benefícios.

A aplicação de processos anaeróbios para o tratamento de águas residuais mostra avanços notáveis nas últimas décadas com base na melhoria dos sistemas que comportam elevadas cargas e fluxos (CHAN *et al.*, 2009; VAN LIER *et al.*, 2015). Como vantagens a degradação biológica anaeróbia proporciona uma redução eficiente na carga orgânica total, fácil manutenção e operação e custo relativamente baixo, entretanto como desvantagens a digestão anaeróbia da vinhaça tem um maior tempo de detenção do que sistemas aeróbios, odor desagradável e corrosivo durante a produção de biogás, efluente do tratamento com altas concentrações de sal, altos níveis de sulfato e a presença de compostos fenólicos e a disseminação bem sucedida da fertirrigação (BARRERA *et al.*, 2014; DRIESSEN *et al.*, 1994; LAIME *et al.*, 2011; CORTEZ *et al.*, 2007).

Entretanto, as vantagens na utilização deste método se sobressaem no cenário ambiental atual, pois a digestão anaeróbica em reatores biológicos não é considerada apenas um processo utilizado para reduzir a carga de resíduos e minimizar impactos ambientais (FUESS *et al.*, 2017). Na verdade, estudos recentes destacam o papel da digestão anaeróbica como processo básico para a recuperação de recursos utilizando resíduos como matérias-primas para a produção de produtos de valor agregado e bioenergia (POGGI-VARALDO *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2015).

Estudos recentes tem demonstrado que a vinhaça de cana-de-açúcar apresenta um potencial energético favorável para exploração através da geração de eletricidade a partir do biogás (SALOMON *et al.*, 2015; MORAES *et al.*, 2014; FUESS *et al.*, 2015). A co-digestão da vinhaça para a produção de biogás tem sido estudada e aplicada de forma promissora (GONZÁLEZ *et al.*, 2017) e o aproveitamento energético trata-se de uma alternativa para a aprimoramento do tratamento anaeróbio da vinhaça que objetiva minimizar as desvantagens desses sistemas.

Contudo, melhorias na aplicação de digestão anaeróbia ainda são necessárias para melhor explorar a produção de bioenergia em plantas de grande escala, visando a aplicação de altas cargas orgânicas com tempos de retenção relativamente baixos. Essas melhorias poderiam ser alcançadas, segundo Fuess *et al.* (2017) empregando combinações de sistemas de reatores acidogênicos e metanogênicos, para a conversão da matéria orgânica complexa, e o uso de processos termófilos de degradação, através da exploração do potencial energético em razão das elevadas temperaturas nas quais a vinhaça é gerada (90-100°C).

A aplicação da digestão anaeróbica termófila é também uma boa escolha para o tratamento da vinhaça de cana-de-açúcar uma vez que este processo permite a recuperação de energia como hidrogênio e metano sem a necessidade de fornecimento de energia na forma de calor e sem causar interferência na qualidade do produto como biofertilizante (JÚNIOR *et al.*, 2016). Ainda em se tratando de processos biológicos de tratamento, a compostagem pode ser citada como um

dos métodos mais indicados para converter resíduos agrícolas e, como a vinhaça possui elevada carga orgânica sais de potássio e cálcio, que são necessários para o crescimento de microrganismos, ela também pode ser aplicada em processos de degradação aeróbios.

Alguns estudos nesta área foram desenvolvidos, como por exemplo Molina *et al.* (2013) investigou a estabilização do lodo de esgoto, vinhaça e esterco de coelho por vermicompostagem usando minhocas *Eisenia fetida*. Em outro estudo, co-compostagem de vinhaça com bagaço de uva foi tema de estudo e otimização (DIAZ *et al.*, 2002). Co-compostagem seguida de vermicompostagem com misturas de vinhaça, esterco bovino, bagaço de cana-de-açúcar e zeólita natural usando minhocas da espécie *Eisenia fetida* em estudo desenvolvido por Alavi *et al.* (2017). Madejón *et al.* (2001) também avaliaram o efeito de três adubos de vinhaça como fertilizante profundo em culturas de milho e beterraba e algumas propriedades químicas do solo aplicando dois adubos em sucessivas aplicações.

Os principais usos, tratamento e a forma de destinação final mais adequada para cada sistema produtor pode variar de acordo com as características do mesmo, entretanto fica evidente que o tratamento da vinhaça deve receber atenção especial devido à grande abrangência da indústria sucroalcooleira no cenário brasileiro e ao impacto ambiental que a mesma gera nas mais diversas áreas de seu sistema produtivo.

2.3. Implicações Legais

Iniciada com os antigos engenhos nas fazendas, a produção brasileira de álcool da cana-de-açúcar, foi incentivada por políticas públicas desde 1933, no governo Getúlio Vargas, com a criação do IAA, Instituto do açúcar e do álcool. Teve, porém, seu grande desenvolvimento no país com a criação do Proálcool, em 1975, programa que buscava o aumento da utilização de álcool como combustível nos automóveis no Brasil (TÁVORA, 2011). Um resumo das leis, normas, portarias e decretos já criados no Brasil de maior interesse à utilização da vinhaça se encontram na Tabela 3.

Nome	Data	Tipo de legislação
Decreto-Lei nº303	1967	Federal
Portaria nº323	1978	Federal
Portaria nº158	1980	Federal
Norma técnica P4.321	2005	Estadual – SP
Deliberação Normativa nº164	2011	Estadual – MG
Deliberação Normativa nº184	2013	Estadual – MG
Projeto de Lei 5182	2013	Federal
Decreto 10068	2014	Estadual – PR

Fonte: os Autores (2017)

Tabela 3 - Relação cronológica das legislações e atos administrativos brasileiros de maior interesse à vinhaça

Antes da década de 70, a vinhaça produzida nas indústrias brasileiras, bem como outros de seus subprodutos, era descartada diretamente nos mananciais superficiais (cursos de água) ou nas áreas de sacrifício (solo) próximos à indústria, contribuindo para grande poluição dos rios, do solo, dos lençóis freáticos e arriscando a saúde da fauna e da flora das redondezas. Em 1967, foi criado o Decreto Lei nº303, revogado no mesmo ano pela Lei 5318, que tratava sobre poluição, fazia definições importantes, e criava o Conselho Nacional de Controle da Poluição

Ambiental, proibindo a poluição de águas ou da atmosfera por resíduos industriais ou de outra natureza, bem como penalidades para quem descumprisse as novas normas. Com isso, já não foi mais permitido o descarte da vinhaça diretamente em cursos de água (MORAES *et al.*, 2015; BRASIL, 1967).

Em 1978, com a criação do Proálcool e o grande aumento de indústrias de etanol decorrido do programa, o extinto Ministério do Interior criou a Portaria nº323 que, tratando especificamente da vinhaça, proibiu seu lançamento direto ou até indireto em qualquer coleção hídrica por destilarias de álcool (BRASIL, 1978). A portaria não previu, contudo, a poluição causada pelas destilarias de bebidas alcoólicas, levada em conta, então, pela Portaria nº158 do Ministério do Interior. Ela possibilitou que destilarias que, comprovadamente, não tivessem áreas para aplicação ou disposição da vinhaça, pudessem adotar os mesmos critérios estabelecidos para os lançamentos dos demais efluentes líquidos e, além disso, colocou a responsabilidade nos órgãos estaduais de apresentar uma solução para o sistema de tratamento de vinhaça (BRASIL, 1980).

Com as novas diretrizes em relação ao destino da vinhaça, foi necessário encontrar uma nova forma de descartá-la ou utilizá-la. Atualmente, a grande maioria da vinhaça produzida por destilarias brasileiras é lançada ao solo em plantações de cana-de-açúcar e utilizada para fertirrigação. A regulamentação desse procedimento, porém, só foi feita recentemente por alguns estados. A Norma Técnica P4.321 de 2005 da CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, traz critérios e procedimentos para aplicação da vinhaça no solo agrícola, dispondo sobre a área que deve recebê-la, sua localização e caracterização do solo, o armazenamento da vinhaça antes de ir para a fertirrigação, parâmetros dos poços de monitoramento e frequência de análises e a dosagem máxima de vinhaça no solo, levando em conta a sua capacidade de troca iônica e a concentração de potássio no solo e na vinhaça (CETESB, 2005).

As Deliberações Normativas nº164 de 2011 e nº184 de 2013 da COPAM, Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais, trazem normas muito semelhantes às da CETESB, trazendo também regulamentação ao armazenamento e aplicação da vinhaça (BRASIL, 2011; BRASIL, 2013). De acordo com Moraes *et al.*, as normas de São Paulo e de Minas Gerais, todavia, só levam em conta a quantidade de potássio da vinhaça para definir sua aplicação no solo, não prevendo a interferência da quantidade de matéria orgânica contida e de outros componentes. Além disso, se preocupam com os impactos da vinhaça no solo e nos cursos de água, mas negligenciam os possíveis impactos atmosféricos (MORAES *et al.*, 2015).

Recentemente, foi criado também o Decreto 10068 de 2014 do estado do Paraná, que dispõe sobre o sistema de armazenamento e distribuição da vinhaça, o projeto técnico para impermeabilização do sistema, dispensa do licenciamento ambiental o uso agrícola de alguns resíduos gerados pelas usinas de beneficiamento da cana-de-açúcar e traz critérios para emissões atmosféricas. O Decreto, contudo, não traz grandes regulações para a vinhaça, não citando parâmetros de monitoramento da vinhaça, nem de sua dosagem no solo (BRASIL, 2014).

Foi também criado o projeto de Lei federal nº5182 em 2013, com base nas normas criadas pelo estado de São Paulo e Minas Gerais, para regular em todo o país o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça no solo de forma adequada. O projeto, porém, encontra-se arquivado até hoje (BRASIL, 2013).

3. Conclusão

O destino dado à vinhaça foi mudando ao longo dos anos, com as descobertas de seu alto potencial poluidor e também da sua grande quantidade de nutrientes, sendo que a aplicação ideal em cada indústria pode variar em função das características particulares de cada processo

e local. A tendência de sua utilização, contudo, é a digestão anaeróbica em reatores biológicos que, segundo estudos, reduz impactos ambientais e traz também produtos com valor agregado. Esse processo, porém, necessita ainda de melhorias para diminuir os tempos de retenção em plantas de grande escala.

Por outro lado, as legislações relacionadas à aplicação da vinhaça não acompanharam os estudos e descobertas, encontrando-se ainda insuficientes. Não há nenhuma legislação federal que aborde o assunto da forma necessária, e as raras legislações e normas em nível estadual que existem, ainda que mais aprofundadas que as federais, deixam a desejar em certos aspectos, levando em conta apenas um dos componentes da vinhaça para avaliar sua dosagem máxima no solo. Dessa forma, apesar da grande quantidade de vinhaça produzida todos os dias no território brasileiro, esse resíduo não recebe ainda a atenção necessária de acordo com os riscos que impõe e o potencial que apresenta.

Referências

ALAVI, N.; DANESHPAJOU, M.; SHIRMARDI, M.; GOUDARZI, A. N.; BABAEI, A. A. *Investigating the efficiency of co-composting and vermicomposting of vinasse with the mixture of cow manure wastes, bagasse, and natural zeolite.* Waste Management, p. 1-10, 2017.

BARRERA, E. L.; SPANJERS, H.; ROMERO, O.; ROSA, E.; DEWULF, J. *Characterization of the sulfate reduction process in the anaerobic digestion of a very high strength and sulfate rich vinasse.* Chem. Eng. J. v. 248, p. 383–393, 2014.

BRASIL. *Decreto-Lei nº303.* 28 de fevereiro de 1967. Presidência da república. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos.

BRASIL. *Portaria nº323.* 29 de novembro de 1978. Ministério do Interior.

BRASIL. *Portaria nº158.* 3 de novembro de 1980. Ministério do Interior.

BRASIL. *Deliberação Normativa nº164.* COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. 2011.

BRASIL. *Deliberação Normativa nº184.* COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. 2013.

BRASIL. *Decreto 10068.* Estado do Paraná. 6 de fevereiro de 2014.

BRASIL. *Projeto de Lei federal nº5182.* Câmara dos Deputados. 2013.

BERMANN, C. *Crise ambiental e as energias renováveis.* Ciência e Cultura, v. 60, n. 3, p. 20-29, 2008.

CAMPOS, C. R.; MESQUITA, V. A.; SILVA, C. F.; SCHWAN, R. F. *Efficiency of physicochemical and biological treatments of vinasse and their influence on indigenous microbiota for disposal into the environment.* Waste Manage. V. 34, p. 2036–2046, 2014.

CARMO, J. B.; FILOSO, S.; ZOTELLI, L. C.; DE SOUSA NETO, E. R.; PITOMBO, L. M.; DUARTE NETO, P. J.; VARGAS, V. P.; ANDRADE, C. A.; GAVA, G. J. C.; ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; NETO, A. E.; MARTINELLI, L.A. *Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation.* Glob. Change Biol. Bioenergy V. 5, p. 267-280, 2013.

CARVAJAL-ZARRABAL, O.; NOLASCO-HIPÓLITO, C.; BARRADAS-DERMITZ, D. M.; HAYWARD-JONES, P. M.; AGUILAR-USCANGA, M. G.; BUJANG, K. *Treatment of vinasse from tequila production using polyglutamic acid.* J. Environ. Manage. V. 95 (Supplement), p. S66– S70, 2012.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Norma técnica P4.32.* Janeiro de 2005.

CHAN, Y. J.; CHONG, M. F.; LAW, C. L.; HASSELL, D. G. *A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater.* Chem. Eng. V. 155, p. 1–8, 2009.

CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S. *Sugarcane vinasse: environmental implications of its use.* Waste Manag. V. 33, p. 2752-2761, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acomp.safra bras. Cana, v.4 – safra 2017/2018, n.2 – Segundo levantamento.* Brasília, p.1-73, agosto 2017.

CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A.; LUCAS JÚNIOR, J.; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. *Biodigestão de efluentes.* In: CORTEZ LAB, LORA ES, editors. *Biomassa para energia*, V. 15. Campinas: Editora da UNICAMP, p. 493–529, 2007.

CORTEZ, L.; MAGALHAES, P.; HAPPI, J. *Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização.* *Rev. Bras. Energ.* V. 2, p. 1-17, 1992.

DIAZ, M. J.; MADEJON, E.; LOPEZ, F.; LOPEZ, R.; CABRERA, F. *Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process.* *Process Biochem.* V. 37, p. 1143–1150, 2002.

DRIESSEN, W. J. B. M.; TIELBAARD, M. H.; VEREIJKEN, T. L. F. M. *Experience on anaerobis treatment of distillery effluent with the UASB process.* *Water Sci. Technol.* V. 30, p. 193–201, 1994.

EYKELBOSH, A. J.; JOHNSON, M. S.; COUTO, E. G. *Biochar decreases dissolved organic carbon but not nitrate leaching in relation to vinasse application in a Brazilian sugarcane soil.* *J. Environ. Manage.* V. 149, p. 9–16, 2015.

FILOSO, S.; CARMO, J. B. d.; MARDEGAN, S. F.; LINS, S. R. M.; GOMES, T. F.; MARTINELLI, L. A. *Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals.* *Renew. Sustain. Energy Rev.* V. 52, p. 1847-1856, 2015.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. *Bioenergy from vinasse anaerobic digestion to enhance the energy balance ratio of ethanol production.* *J Environ Manage* V. 162, p. 102–14, 2015.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. *Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertigation.* *J. Environ. Manag.* V. 145, p. 210-229, 2014.

FUESS, L. T.; KIYUNA, L. S. M.; JUNIOR, A. D. N. F.; PERSINOTTI, G. F.; SQUINA, F. M.; GARCIA M. L.; ZIAT, M. *Thermophilic two-phase anaerobic digestion using na innovative fixed-bed reactor for enhanced organic matter removal and bioenergy recovery from sugarcane vinasse.* *Applied Energy* V. 189, p. 480-491, 2017.

GONZALÉZ, L. M. L.; REYES, I. P.; ROMERO, O. R. *Anaerobic co-digestion of sugarcane press mud with vinasse on methane yield.* *Waste Management*, 2017.

JUNIOR, A. D. N. F.; KOYAMA, M. H.; JUNIOR, M. M. de A.; ZIAT, M. *Thermophilic anaerobic digestion of raw sugarcane vinasse.* *Renewable Energy* V. 89, p. 245-252, 2016.

LAIME, M. O.; FERNANDES, P. D.; OLIVEIRA, D. C. S.; FREIRE, E. A. *Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão.* *Eduardo Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas* V. 5, N. 3, pág. 16, 2011.

LEME, R. M. & SEABRA, J. E. A. *Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry.* Elsevier. *Energy*. 2016.

MARQUES, H. M. S. M. *Vinhoto da cana-de-açúcar – Aproveitamento e impactos ambientais na região de Ibaiti/PR.* Monografia (Especialização em Ensino de Ciências). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Medianeira, 2013.

MACEDO, I. C. *Sugarcane's Energy: Twelve Studies on Brazilian Sugarcane Agribusiness and its Sustainability.* União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, São Paulo, 2005.

MADEJON, E.; LOPEZ, R.; MURILLO, J. M.; CABRERA, F. *Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain).* *Agric. Ecosyst. Environ.* V. 84, p. 55–65, 2001.

MOLINA, M. J.; SORIANO, M. D.; INGELMO, F.; LLINARES, J. *Stabilisation of sewage sludge and vinasse bio-wastes by vermicomposting with rabbit manure using Eisenia fetida.* *Bioresour. Technol.* V. 137, p. 88–97, 2013.

MORAES, B. S.; JUNQUEIRA, T. L.; PAVANELLO, L. G.; CAVALETT, O.; MANTELATTO, P. E.; BONOMI, A. *Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: profit or expense?* *Appl. Energy* V. 113, p. 825–35, 2014.

MORAES, S. B.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. *Anaerobic digestion of vinasse from sucarcane etanol production in Brazil: Challenges and perspectives.* Elsevier. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015.

- OLIVEIRA, B. G.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.** Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. *Geoderma* v. 200 e 201, p. 77-84, 2013.
- PEREDES, D. S.; LESSA, A. C. R.; SANT'ANNA, S. A. C.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.** Nitrous oxide emission and ammonia volatilization induced by vinasse and N fertilizer application in a sugarcane crop at Rio de Janeiro, Brazil. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* V. 98, p. 41-55, 2014.
- PARNADEAU, V.; CONDOM, N.; OLIVER, R.; CAZEVIEILLE, P.; RECOUS, S.** Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. *Bioresour. Technol.* V. 99, p. 1553-1562, 2008.
- PENATTI, C. P.; ARAÚJO, J. V.; FORTI, J. A.; RIBEIRO, R.** Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. *Boletim técnico COPERSUCAR*, São Paulo, V. 44, p. 32-38, 1988
- PORTO-GONÇALVES, C. W.** Outra Verdade Inconveniente: a nova geografia política da energia numa perspectiva subalterna. *Universidade Humanist.* [online]. n.66, p. 327-365. ISSN 0120-4807, 2008.
- POGGI-VARALDO, H. M.; MUNOZ-PAEZ, K. M.; ESCAMILLA-ALVARADO, C.; ROBLEDONARVAEZ, P. N.; PONCE-NOYOLA, M. T.; CALVA-CALVA, G.** Biohydrogen, biomethane and bioelectricity as crucial components of biorefinery of organic wastes: a review. *Waste Manage Res.* V. 32, p.353-65, 2014.
- PRADO, R. d. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S.** Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. *Appl. Environ. Soil Sci.* p. 1-8, 2013.
- QUEIROGA, J. A.; SOUZA, D. F.; NUNES, E. H. M.; SILVA, A. F. R.; AMARAL, M. C. S.; CIMINELLI, V. S. T.; VASCONSELOS, W. L.** Preparation of alumina tubular membranes for treating sugarcane vinasse obtained in ethanol production. *Separation and Purification Technology* V. 190, p. 195-201, 2018.
- REGO, E. E.; HERNANDEZ, F. D. M.** Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar: contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. In: AGRENER GD: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006. Anais... Campinas: UNICAMP, 2006
- RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.** Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco. N.E. Brazil. *Plant soil* V. 281, p. 339-351, 2006.
- ROBERTIELLO, A.** Upgrading of agricultural and agroindustrial wastes: the treatment of distillery effluents (vinasses) in Italy. *Agric. Wastes* V. 4, p. 387-395, 1982.
- RODRIGUES, J. A. R.** Do engenho à biorrefinaria. A usina de açúcar como empreendimento industrial para geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Química Nova*, v.34, n.7, p.1242-1254, 2011.
- SALOMON, K. R.** Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Instituto da Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Itajubá. 247f. 2007.
- SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S.; ROCHA, M. H.; DEL OLMO, O. A.** Cost calculations for biogas from vinasse biodigestion and its energy utilization. *Sugar Ind.* V.136 (4), p. 217-23, 2011.
- SILES, J. A.; GARCIA-GARCIA, I.; MARTIN, A.; MARTIN, M. A.** Integrated ozonation and biomethanization treatments of vinasse derived from ethanol manufacturing. *J. Hazard. Mater.* V. 188, p. 247-253, 2011.
- SILVA, D. A. L.; DELAI, I.; MONTES, M. L. D.; OMETTO, A. R.** Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. *Renew Sustain Energy Rev.* V. 32, p. 532-547, 2014.
- SILVEIRA, R. N. C. M.** Curso de manejo e cuidados no uso da vinhaça na fertirrigação. Fortaleza: INOVAGRI/IFCE, 2016.
- SMEETS, E.; JUNGINGER, M.; FAALJ, A.; WALTER, A.; DOLZAN, P.; TURKENBURG, W.** The sustainability of Brazilian ethanol: an assessment of the possibilities of certified production. *Biomass Bioenergy* V. 32, p. 781-813, 2008.
- TAVORA, F. L.** História e economia dos biocombustíveis no Brasil. Centro de Estudos da Consultoria do Senado Federal. Abril de 2011.

TEH, C. Y.; BUDIMAN, P. M.; SHAK, K. P. Y.; WU, T. Y. *Recent Advancement of Coagulation-Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment*. Ind. Eng. Chem. Res. V. 55, p. 4363–4389, 2016.

THEREZA, M.; SANTOS, D. M.; VIOTTO, L. A. *Concentration of vinasse using membrane filtration processes*, J. Agric. Sci. Technol. B 2, p. 875–886, 2012..

VAN LIER, J. B.; VAN DER ZEE, F. P.; FRIJTERS, C. T. M. J.; ERSAHIN, M. E. *Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment*. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. V. 14, p. 681–702, 2015.

YANG, X.; CHOI, H. S.; PARK, C.; KIM, S. W. *Current states and prospects of organic waste utilization for biorefineries*. Renew Sustain Energy Rev. V. 49, p. 335–49, 2015.