

## IMPACTOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO E ALTERNATIVAS PARA O CUSTO AMBIENTAL

### *IMPACTS OF THE SUGAR MILLS SECTOR AND ALTERNATIVES FOR ENVIRONMENTAL COST*

Isabela Cristina de Arruda Appolinário<sup>I</sup>  
Maria Benincasa Vidotti<sup>II</sup>

#### RESUMO

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar do mundo, e em decorrência dessa grande produção, se faz um uso intenso de defensivos e fertilizantes agrícolas. O resultado desses fatos, são os vários impactos ecossistêmicos que podem ser observados, como a mudança da paisagem original e a contaminação da água e do solo. O uso dos herbicidas e da vinhaça como fertilizante são regulamentados, entretanto a manipulação incorreta possui um elevado custo ambiental. Se utilizada em excesso, a vinhaça, pode causar contaminação do lençol freático, salinização do solo etc. A digestão deste subproduto gerando biogás aparece como uma alternativa para mitigar esses danos, além de produzir um produto com alto valor agregado. No passado era comum o uso de herbicidas com características de poluentes orgânicos persistentes, e, mesmo depois de décadas de sua proibição, ainda são encontrados em diversos níveis tróficos. O uso da biorremediação com fungos do gênero *Phlebia*, o fungo marinho *Trichoderma* sp. e a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* L2-1, como medida de descontaminação do solo e da água, se mostrou eficiente e economicamente viável para tratar a contaminação por POP; e ao utilizar uma fonte de carbono alternativa obteve-se uma taxa de biodegradação ainda maior. Diante do exposto, o presente estudo foi realizado através de pesquisa bibliográfica.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis. Biorremediação. Organoclorados. Salinização. Vinhaça.

#### ABSTRACT

Brazil is the largest producer of sugarcane in the world, and as a result of this large production, there is an intense use of pesticides and agricultural fertilizers. The result of these facts are the various ecosystem impacts that can be observed, such as the change of the original landscape and the contamination of water and soil. The use of herbicides and vinasse as fertilizer are regulated, however incorrect handling has a high environmental cost. If used in excess, vinasse can cause groundwater contamination, soil salinization etc. The digestion of this by-product generating biogas appears as an alternative to mitigate these damages, in addition to producing a product with high added value. In the past, the use of herbicides with characteristics of persistent organic pollutants was common, and even after decades of prohibition, they are still found at different trophic levels. The use of bioremediation with fungi of the genus *Phlebia*, the marine fungus *Trichoderma* sp. and the bacterium

<sup>I</sup> Mestranda em Microbiologia Agropecuária (UNESP) de Jaboticabal – Jaboticabal – São Paulo – Brasil. E-mail: isabela.appolinario@unesp.br

<sup>II</sup> Professora Dra. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Jaboticabal – Jaboticabal – São Paulo – Brasil. E-mail: maria.vidotti@fatec.sp.gov.br

*Pseudomonas aeruginosa* L2-1, as a soil and water decontamination measure, proved to be efficient and economically viable to treat POP contamination; and by using an alternative carbon source, an even higher rate of biodegradation was obtained. Given the above, the present study was carried out through bibliographic research.

**Keywords:** Biofuels. Bioremediation. Organochlorines. Salinization. Vinasse.

Data de submissão do artigo: 28/07/2022.

Data de aprovação do artigo: 02/12/2022.

DOI: [10.52138/citec.v14i1.227](https://doi.org/10.52138/citec.v14i1.227)

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Copetti (2020), o agronegócio nacional em 2020 produziu cerca de 250 milhões de toneladas de alimentos, capaz de alimentar 1,6 bilhões de pessoas. Porém para que essa produção ocorra em tamanha proporção, ela torna-se dependente de instrumentos naturais e sintéticos, sendo necessário tanto o solo e a água, quanto o uso de fertilizantes e pesticidas. A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do país e Postal et al. (2020) relatam que a expectativa é de que a produção de cana-de-açúcar continue crescendo devido a utilização desta matéria prima para a produção de biocombustíveis como alternativa ao problema global ligado ao uso indiscriminado de combustíveis fósseis.

Desta maneira, uma produção tão intensa requer uma grande demanda de defensivos e fertilizantes agrícolas, além de um grande volume de água para irrigação dos canaviais. O uso exacerbado destes defensivos pode causar contaminação do solo e da água através de diversas vias, já que estão expostos a condições ambientais, impedindo a ciclagem de nutrientes. Em um solo saudável, a própria biota original é capaz de filtrar parte dos impactos de contaminação, porém corpos d'água não possuem essa espécie de filtro, causando danos mais severos (VRYZAS, 2018).

Portanto, o problema que esta pesquisa busca entender é quais são os impactos gerados para a água e o solo a partir da cultura da cana-de-açúcar no decorrer dos anos. O objetivo deste estudo é verificar o uso de substâncias degradantes químicas e naturais implementadas ao campo, focando no comportamento destes compostos, observando problemas gerados a curto, médio e longo prazo. Além disso este trabalho busca descrever e pontuar medidas ambientalmente corretas, capazes de reverter prejuízos no ecossistema, uma vez que as contaminações através de produtos químicos já ocorreram.

## 2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho foi elaborado a partir de pesquisa bibliográfica, através de conteúdos já publicados como monografia, trabalho de conclusão de curso, tese de doutorado, dissertação de mestrado, livros, revistas científicas e dados da internet. Para esta pesquisa foi importante analisar os dados, confrontando autores diferentes verificando a veracidade das informações de modo que fosse possível identificar questões contraditórias que as obras possam apresentar. Para obtenção dos documentos de referência, foi utilizado a ferramenta google acadêmico, que permitiu de maneira rápida e confiável encontrar outros trabalhos do assunto abordado neste. Foi realizada uma pesquisa de abordagem qualitativa, visto que os dados

observados não são mensuráveis numericamente. Houve uma redução de complexidade ao separar o conteúdo em categorias, facilitando a análise de dados obtidos.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Segundo dados da Conab (2022), somente no primeiro mês da safra de 2022/23, o Brasil exportou 1,3 milhão de toneladas de açúcar e 119,5 milhões de litros de etanol, o que torna o setor sucroenergético encarregado por uma parcela econômica expressiva do mercado brasileiro.

A região sudeste é responsável pela maior parte da produção de cana açúcar do Brasil, sendo São Paulo o estado mais produtor. No total, o país possui cerca de 9,9 milhões de hectares destinados ao cultivo, e de 2017 a 2021, o valor de produção aumentou em 21 milhões de reais, demonstrando ser um mercado que está em constante expansão. (IBGE 2021).

Nas regiões onde há a produção de cana-de-açúcar, a paisagem original é marcada por uma forte mudança visual, pois trata-se de uma monocultura. Os efeitos ambientais deste vasto processo produtivo são notáveis, como a grande demanda do uso de recursos hídricos, emprego excessivo de agroquímicos e uso intensivo do solo. Além disso, durante muito tempo houve a queima dos canaviais para a colheita, com isso eram emitidos na atmosfera alguns gases que afetavam a saúde de trabalhadores, além de gerarem chuva ácida causando danos atmosféricos imensuráveis a longo prazo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2019).

#### **3.1 Implicações do uso de agroquímicos**

O Brasil passou por alguns processos para chegar ao patamar produtivo atual, entre eles o melhoramento genético de algumas espécies, plantio e colheita mecanizada, além da utilização de produtos químicos mais eficientes. Segundo Copetti (2020): “Entre 1989 e 2019 se deu um grande ganho de escala, quando dobramos a produção com apenas 16% a mais de área.” Porém o uso desses produtos gera um indicador que requer muita atenção, pois esses agroquímicos sofrem ação das condições ambientais podendo alcançar corpos d’água e impedir a ciclagem de nutrientes pelo solo.

A cultura de cana-de-açúcar é a segunda na comercialização de agrotóxicos, neste plantio ocorre uma operação de preparação do solo para sua descompactação que corrobora para lixiviação e drenagens dos agroquímicos utilizados no canavial. Uma das consequências do uso destes produtos é a poluição de recursos ambientais, como o solo e água, além da contaminação de alimentos que posteriormente são ingeridos pelo ser humano, isso ocorre, pois, as moléculas dos herbicidas podem sofrer degradação e sorção<sup>1</sup> ao serem inseridas no solo. Uma das questões mais emblemáticas e de difícil mensuração é a bioacumulação em diferentes níveis tróficos que estes compostos alcançam (VRYZAS, 2018).

#### **3.2 A contaminação do solo por utilização de herbicidas**

A indústria canavieira evoluiu em estudos genéticos de espécies através da seleção de variedades, diminuindo nos últimos anos o uso intensivo de herbicidas. Entretanto, no passado a realidade era muito diferente e a utilização de diversos químicos prejudiciais ao meio ambiente era muito comum, uma pesquisa identificou que de 269 pesticidas utilizados

---

<sup>1</sup> Sorção – ocorrência simultânea dos processos de absorção e adsorção

no Brasil, tendo como base o índice de GUS<sup>2</sup>, pelo menos 61 eram potencialmente lixiviantes, e outros 52 poderiam se tornar lixiviantes de acordo com características do solo onde eram implementados. Foram então criadas regulamentações, como a lei de agrotóxicos e afins nº 7.802, de 11 de julho de 1989, para nortear o uso destes agroquímicos e mitigar seus efeitos ambientais (FILIZOLA *et al.*, 2002).

Um fator que corrobora a contaminação do solo, é a falta de orientação por parte dos agricultores, mesmo em grandes plantações mecanizadas. Isso é validado através de casos de intoxicação dos trabalhadores rurais, uma demonstração da falta de conhecimento de manipulação dos herbicidas. As informações que chegam até estes trabalhadores, muitas vezes são superficiais, sendo que para a manipulação de herbicidas, existem diversas especificidades que devem ser empregadas, como: a forma correta de aplicação, quais concentrações ideais etc. (BURLAMAQUI, 2014).

### **3.2.1 Salinização do solo por meio da vinhaça**

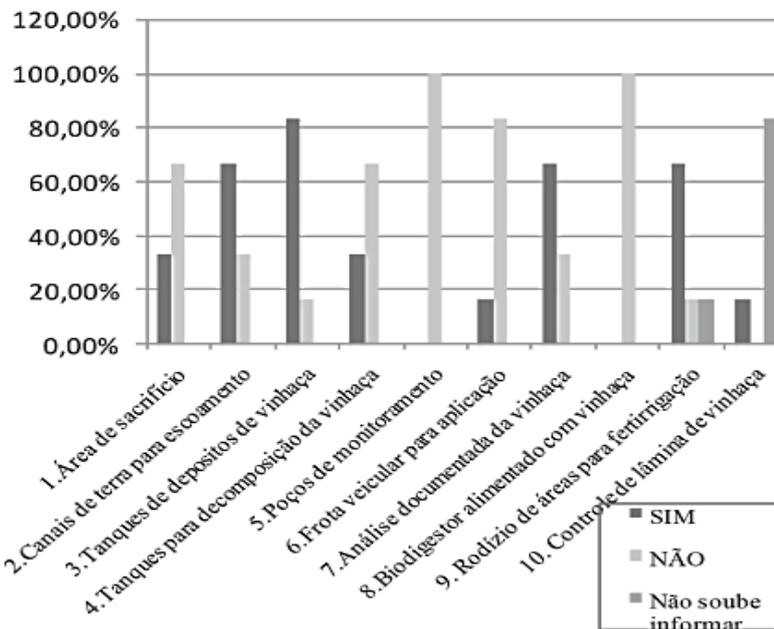
A vinhaça, um subproduto da fabricação do etanol, é utilizada como um fertilizante na cultura de cana de açúcar. Ela possui altos níveis de matéria orgânica, potássio, nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e sulfato, além de um pH ácido e condutividade elevada. Sua composição é de 94 a 97% de água e elevado teor de sólidos, revelando uma grande quantidade de matéria orgânica. A proporção de etanol para vinhaça obtida é de 1 para 14L, e por razões econômicas, devido ao seu grande volume, ela é utilizada de modo excessivo como fertilizante. Dentro os danos que ela pode causar estão: a contaminação do lençol freático com potássio, lixiviação de metais e sulfatos, liberação de mau cheiro, salinização do solo e emissão de gases do efeito estufa, como o óxido nítrico que pode ser até 300 vezes mais poluente que o dióxido de carbono (FUESS *et al.*, 2017).

Trata-se de um resíduo rico em potássio que, se usado em excesso, pode ter como consequência a salinização do solo. De acordo com Fuess et al. (2017) a salinidade é um fator limitante para a agricultura, podendo causar perdas de produtividade. Isso ocorre em razão do aumento do potencial osmótico e da toxidez salina (excesso de potássio), portanto é de extrema importância fazer o uso das quantidades corretas de vinhaça. O valor que deve ser aplicado, varia de acordo com características químicas do solo e do fertilizante, sendo que para o estado de São Paulo, a CETESB define que esse valor é obtido através de saturação de potássio no cálculo da capacidade de troca catiônica (CTC).

Devido elevado volume produzido, a destinação deste subproduto foi um problema para as usinas durante um longo período, era então adotado práticas irregulares de destinação, como a utilização da área de sacrifício. Nessa área, um talhão era escolhido para o descarte da vinhaça que não seria utilizada na fertirrigação, atualmente essas ações são terminantemente proibidas pela CETESB, pois são extremamente prejudiciais ao meio ambiente. No entanto, pelo menos 33% das usinas do estado de Sergipe ainda não possuem sistema de monitoramento e manejo do subproduto. Na Figura 1, é possível observar as formas de gerenciamento da vinhaça (SILVEIRA, 2016).

---

<sup>2</sup> Gus – Índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas diante a compostos potencialmente lixiviantes

**Figura 1 – Gerenciamento de vinhaça**

Fonte: Andrade *et al.* (2016)

### 3.2.2 Produção de biogás através da vinhaça

Uma alternativa para mitigar os problemas gerados através da vinhaça, é realizar o processo de digestão do subproduto através de microrganismos, com intuito de reduzir a carga orgânica que é prejudicial ao solo. A vinhaça biodigerida apresenta maiores valores de NPK, que são os principais nutrientes para o crescimento e desenvolvimento da planta, favorece também a absorção do nitrogênio pelas plantas devido a sua transformação em amônia durante o processo de digestão. Além disso demonstra diminuição dos componentes poluentes como o carbono, gás de efeito estufa. (BULLER *et al.*, 2021).

Como resultado desse processo é possível obter biogás, um combustível gasoso com conteúdo energético semelhante ao gás natural, possui alto valor agregado e versatilidade de aplicação. O biogás é um produto da digestão da vinhaça, gerado através da ação de bactérias e arqueas metanogênicas. O Brasil possui uma matriz energética predominantemente renovável, entretanto há uma dependência das hidrelétricas, que, em caso grave de seca, pode ser insuficiente para suprir a demanda. A energia proveniente do biogás pode ser uma estratégia viável complementar em caso de crises energéticas, no entanto há um baixo aproveitamento dessa fonte (BARROS *et al.*, 2017)

### 3.3 Contaminação de águas

No nordeste do estado de São Paulo está a região de Ribeirão Preto, uma das mais importantes no cenário sucoenergético. Esta região está localizada na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu e na bacia hidrográfica do rio Pardo, sob um dos maiores aquíferos do país, o sistema Aquífero Guarani (SAG). Algumas de suas características são a excelência e sua alta taxa de vulnerabilidade à contaminação, além de ser fonte importante de recurso hídrico para a população em geral. A ocupação do solo em áreas de afloramento do sistema Aquífero Guarani é predominantemente agrícola, reforçando então o alerta em relação a contaminação

do SAG (Sistema Aquífero Guarani) a partir do uso excessivo da vinhaça e de agroquímicos nessa região (PEREIRA *et al.*, 2004).

A localização geográfica da região, em relação a profundidade do SAG, também causa preocupação, pois a poluição por agroquímicos se torna mais provável em locais onde há uma distância pequena dos lençóis à superfície, como é o caso da região de Ribeirão Preto. Dados do ministério da saúde revelam que, a partir de um estudo realizado em 2018, foram encontrados na região de Ribeirão Preto 27 agrotóxicos diluídos na água, dentre eles 11 são associados a doenças como câncer, defeitos congênitos e distúrbios endócrinos. Além disso, em 20 cidades da região foram encontrados agrotóxicos acima do limite considerado seguro na União Europeia, além de que, em outras 4 cidades foram encontrados agrotóxicos acima do limite considerado seguro no Brasil (ARANHA; ROCHA, 2019).

É possível traçar uma relação entre estes agrotóxicos e a cultura de cana-de-açúcar, usando como referencial a região de Ribeirão Preto que é predominantemente composta por usinas sucroalcooleiras, estas representam 90% da produção brasileira. Pelo menos 3 dos 27 agrotóxicos encontrados na água eram utilizados no cultivo da cana na mesma época da pesquisa, são eles: *Diuron*, *S-Metolachlor* e *Glyphosate*. Além do mais, é possível verificar que outros químicos detectados, eram utilizados no cultivo em anos anteriores, como é o caso do *Aldrin*, um tipo de agrotóxico organoclorado de alta persistência e difícil degradação. (ARANHA; ROCHA, 2019), sua presença na água se deve a processos de lixiviação do solo de décadas atrás, porém devido a sua grande resistência, ele ainda é encontrado em grande quantidade e em níveis de concentração acima do limite considerado seguro no Brasil.

### 3.4 Organoclorados: aspectos gerais

Os poluentes orgânicos persistentes (POP) possuem características que os tornam altamente tóxicos, mesmo em baixas concentrações, quando comparado a outros produtos. Ocorre a dispersão em áreas onde nunca houve aplicação de POP, devido a sua sem volatilidade, que o torna capaz de evaporar, condensar e se locomover a pontos com distâncias significativas (KUMAR, 2022). No cultivo da cana-de-açúcar, já foi feito o uso dos seguintes POP organoclorados: *aldrin*, *dieldrin*, *endrin* e *DDT*.

O uso destes compostos foi proibido no país desde a década de 1970, através da convenção de Estocolmo, contudo eles continuam sendo encontrados na água atualmente, devido a sua característica recalcitrante. No entanto, na Tabela 1, é possível observar que houve uma intensa comercialização destes agrotóxicos mesmo após a sua proibição, sendo que o período de maior exportação do agrotóxico *aldrin*, foi em 1982, cerca de 95% (ALMEIDA *et al.*, 2007).

**Tabela 1 – Características e comercialização de agrotóxicos organoclorados no Brasil**

<b>DRINS</b>	Aldrin e endrin foram formulados no estado de São Paulo entre 1977 e 1990. Entre 1961 e 1982 um total de 17 mil t e 10,6 mil t de <i>aldrin</i> e <i>endrin</i> foram importados. Recentemente, entre 1989 e 1995, 300 t de <i>aldrin</i> foram importadas, enquanto entre 1997 e 1998 esta cifra caiu para 0,02 t <sup>6</sup> .
<b>DDT</b>	Início da produção na década de 50. Entre 1959 e 1982, 75,5 mil t de DDT 100% foram produzidos e entre 1959 e 1975 as importações atingiram 31,3 mil t <sup>5</sup> . Segundo o MDIC, entre 1989 e 1991 foram importadas 3,2 mil t de DDT, enquanto entre 1996 e julho de 2003, este valor foi de 7059 kg. Atualmente uma das possíveis fontes de DDT para o meio ambiente é a produção do pesticida dicofol, o qual pode conter DDT como impureza.

Fonte: Almeida *et al.* (2007)

A fotoexposição ou ação de bactérias pode metabolizar os organoclorados em outras substâncias, isso ocorre com o DDT modificando-se em DDD e o Aldrin modificando-se em Endrin. Esses são frequentemente encontrados no meio, mesmo quando não foram utilizados, logo os estudos bibliográficos de biorremediação são focados nos organismos adequados para deteriorar os químicos encontrados com maior frequência (KASEMODEL; PORTO; NITSCHKE, 2014). Quanto maior o período em que os organoclorados permanecem no solo ou na água, maior será a dificuldade de sua remoção; no entanto estudos demonstram bons resultados ao tratamento de herbicidas através da biorremediação, até mesmo em moléculas quimicamente estáveis, variando apenas o tipo de tecnologia de tratamento aplicada (SILVA, 2009).

### 3.5 Tecnologias de biorremediação

A biorremediação se trata de um método eficaz, devido a sua capacidade de mineralizar e tornar os contaminantes em produtos inofensivos ao meio, além de dispor um bom custo-benefício. Ela possui eficiência no tratamento de água, sedimentos e solo, através de microrganismos autóctones e microrganismos com capacidade de degradação comprovada (DELABONA; GONÇALVES, 2022). No tratamento de áreas contaminadas por organoclorados, é possível realizar a biorremediação no método *in situ*<sup>3</sup>, reduzindo gastos e viabilizando a prática em áreas de preservação ambiental. A degradação do contaminante ocorre quando há o contato com a bactéria e o transporte para sua célula, o tempo para que isso ocorra varia pois o microrganismo precisa se adaptar ao meio; a depender da conjuntura, podem ocorrer adaptações do microrganismo, tanto genética como fisiológica, visando o êxito do processo. (KASEMODEL; PORTO; NITSCHKE, 2014).

Um fator muito importante no processo de biodegradação é a análise do metabólito resultante ao processo de degradação, pois pode ocorrer deste ser mais tóxico do que o composto original. Na biorremediação do dieldrin por microrganismos aeróbicos não obteve bons resultados, já que metabolizaram dois compostos tóxicos: *photodieldrin* e *cetodrin*.

Entretanto, fungos do gênero *Phlebia*, mostraram bons resultados, e a partir deles foram encontrados diversos metabólitos, mas nenhum com a toxicidade superior à do composto original. O resultado do uso do fungo foi a degradação de 50% de dieldrin em 28 dias (KASEMODEL, 2012). Obteve-se o mesmo resultado em termos de tempo e porcentagem de degradação no uso da bactéria *Pseudomonas aeruginosa L2-1*. Foi utilizada glicose como fonte de carbono alternativa (KASEMODEL; PORTO; NITSCHKE, 2014).

Similarmente, também pode ocorrer a formação de metabólitos na biodegradação do DDT, entretanto a degradação deste herbicida requer o uso de co-metabolismo, como a descloração reductiva. O resultado da descloração depende de condições do local contaminado e do substrato utilizado, o uso de ambientes anaeróbicos e aeróbicos associados bem como o uso de uma fonte de carbono, aumentam o êxito do processo de degradação do DDT e de seus metabólitos. De acordo com Kasemodel; Porto e Nitschke (2014): “O fungo marinho *Trichoderma sp.* foi capaz de degradar 33 mg/L de DDD, resultando em 100% de degradação após 14 dias de cultivo.”

---

<sup>3</sup> *In situ* – tratamento exercido no próprio local onde houve a contaminação

#### 4 DISCUSSÃO

Na medida que a tecnologia avançou, o cultivo de cana-de-açúcar foi se modificando, aliado as normas estabelecidas pelos órgãos competentes do meio ambiente. Porém, antes de chegar ao patamar atual, houve inúmeras irresponsabilidades ambientais no plantio desta cultura, que mesmo décadas após os fatos ocorridos, ainda é possível observar as consequências. E, mesmo com tais avanços, os dados revelam que a falta de conhecimento técnico e a não aplicação das leis, cooperam para que ainda haja acidentes.

Uma das consequências visuais mais impactantes da monocultura da cana-de-açúcar é alteração visual da paisagem, que extingue a vegetação local. Portanto, as ações para o uso absoluto da matéria prima, para a necessidade do aumento de produção, são benéficas não apenas financeiramente, mas também ecologicamente, pois naturalmente ao aumentar a eficiência e produção dos campos já existentes, diminui a necessidade de novos canaviais.

O uso dos organoclorados foi um fator determinante para que a cultura da cana-de-açúcar causasse grandes impactos no solo e na água, analogamente na atualidade o uso da vinhaça e o de herbicidas ‘menos nocivos’ são elementos alarmantes no quesito ambiental, que devem ser fiscalizados incisivamente, como medida de prevenção de acidentes humanos e ecossistêmicos. No caso da vinhaça, a produção de biogás como medida de diminuição de carga orgânica, se mostra um eficiente artifício para evitar possíveis alterações no solo bem como contaminações na água, todavia esse assunto requer mais estudos que comprovem a eficácia desta técnica a longo prazo, como solução absoluta do problema. A fiscalização na aplicação dos herbicidas é de extrema importância, principalmente quando for realizada por pequenos produtores, além disso a oferta de treinamentos sobre as especificidades necessárias do uso de herbicidas, é uma maneira de prevenção muito válida.

Uma vez que a contaminação já ocorreu, a biorremediação demonstrou ser uma técnica capaz de reverter prejuízos ambientais causados por POP, sendo possível aplicá-la tanto no solo quanto na água contaminada. Os organismos a serem utilizados variam de acordo com o agrotóxico a ser neutralizado, devido a metabolização de seus compostos.

#### 5 CONCLUSÃO

A contaminação do solo e da água ocorre através da utilização incorreta de fertilizantes e herbicidas. A fertirrigação de vinhaça possui um potencial contaminante elevado, por isso a necessidade de seguir as normas estabelecidas de aplicação entanto esse. No entanto, esse potencial poluidor pode ser reduzido ao induzir a vinhaça ao processo de biodigestão, obtendo como produto biogás. Outros herbicidas que foram utilizados na cultura de cana de açúcar, possuíam comportamento persistente no meio, devido a características recalcitrantes, sendo necessário processos intensivos para reverter prejuízos ambientais, mesmo anos após seu uso.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernanda V.; CENTENO, Alberto J.; BISINOTI, Márcia Cristina; JARDIM, Wilson F. **Substâncias tóxicas persistentes (STP) no Brasil**. 30. ed. São Paulo: Química Nova, 2007. 10 p. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/TZJRD6kLCZx5VQCpBk9mZ3s/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 nov. 2021.

ANDRADE, Isabel Cristina Barreto; CRUZ, Izaclaudia Santana da; SOUZA, Roberto Rodrigues de; FACCIOLI, Gregório Guirado. Efluentes da indústria canavieira do estado de Sergipe. In: **INTERFACES CIENTÍFICAS**, 2., 2016, Aracaju. **Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**. [S.L.]: Universidade Tiradentes, 2016. p. 1-10. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/exatas/article/download/3237/1882/0>. Acesso em: 21 nov. 2021.

ARANHA, Ana; ROCHA, Luana. “Coquetel” com 27 agrotóxicos foi achado na água de 1 em cada 4 municípios. **Por Trás do Alimento**. São Paulo, p. 1-13. abr. 2019. Disponível em: <https://portrasdoalimento.info/2019/04/15/coquetel-com-27-agrotoxicos-foi-achado-na-agua-de-1-em-cada-4-municipios/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

BARROS, V. G. DE et al. Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of Methanothermobacter and Methanosarcina archaea and Thermotogae bacteria. **Bioresource Technology**, v. 244, p. 371–381, 2017.

BURLAMAQUI, Mauro. **Falta de informação é uma das principais causa de intoxicação por agrotóxicos**. 2014. Disponível em: <https://trt-10.jusbrasil.com.br/noticias/130925969/materia-especial-falta-de-informacao-e-uma-das-principais-caoa-de-intoxicacao-por-agrotoxicos>. Acesso em: 16 set. 2021.

BULLER, Luz Selene et al. A spatially explicit assessment of sugarcane vinasse as a sustainable by-product. **Science Of The Total Environment**. Netherlands, p. 1-13. fev. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33077218/>. Acesso em: 01 out. 2022.

CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini da et al. Land use changes associated with the expansion of sugar cane crops and their influences on soil removal in a tropical watershed in São Paulo State (Brazil). **Catena**, Rio Claro, v. 172, n. 1, p. 313-323, jan. 2019. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0341816218303680?token=3528B4D4F5200C009BB9F52595FC749C6DD060241A3A64D13EFB41CF8CA08790AF43A35A55A3C1EF6E499DC595F239B4&originRegion=us-east-1&originCreation=20221007122633>. Acesso em: 07 out. 2022.

CONAB. **Análise mensal de cana de açúcar**. Brasília. mar. 2022. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar/item/download/42565\\_2818dbed26297ccb6154128a85311bcc](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar/item/download/42565_2818dbed26297ccb6154128a85311bcc). Acesso em: 27 set. 2022.

COPETTI, Thiago. Brasil produz comida para alimentar até 1,6 bilhão de pessoas. **Jornal do Comércio: Agronegócio**. Porto Alegre, out. 2020. Disponível em: [https://www.jornaldocomercio.com/\\_conteudo/agro/2020/10/761466-brasil-produz-comida-para-alimentar-ate-1-6-bilhao-de-pessoas.html](https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/agro/2020/10/761466-brasil-produz-comida-para-alimentar-ate-1-6-bilhao-de-pessoas.html). Acesso em: 22 fev. 2021.

DELABONA, Priscila da Silva; GONÇALVES, Cecília Rodvalho. Strategies for bioremediation of pesticides: challenges and perspectives of the Brazilian scenario for global application – A review. **Environmental Advances**, Goiânia, v. 8, p. 1-10, jan. 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666765722000552?via%3Dihub>. Acesso em: 07 out. 2022.

FILIZOLA, Heloisa Ferreira et al. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2002. 174 p. Disponível em:  
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1076629>. Acesso em: 22 fev. 2021.

FRANCHIN, Freda. Irrigação em cana-de-açúcar proporciona alta produtividade e longevidade ao canavial. **Coopercitrus**, Bebedouro, v. 419, n. 33, p. 1-50, set. 2021. Disponível em: <http://www.coopercitrus.com.br/revistadigital/pages/?cooper=419#page/51>. Acesso em: 23 set. 2021.

FUESS, Lucas T et al. Fertirrigation with sugarcane vinasse: Foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization. **Journal Of Environmental Science And Health, Part A**. United States, p. 1063-1072. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/169960/2-s2.0-85025634451.pdf?sequence=1>. Acesso em: 01 out. 2022.

IBGE. **Produção de cana-de-açúcar**. 2021. Disponível em:  
<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>. Acesso em: 07 out. 2021.

KASEMODEL, Mariana Consiglio; PORTO, André Luiz Meleiro; NITSCHKE, Marcia. **Biodegradação bacteriana de compostos organoclorados**. 37. ed. São Paulo: Química Nova, 2014. 7 p. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/qn/a/BQs3Bh8PGRksmQZbRNc4M4j/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 set. 2021.

KASEMODEL, Mariana Consiglio. **Seleção de bactérias para biodegradação dos pesticidas organoclorados DDD, PCP e Dieldrin**. 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Ufscar, São Carlos, 2012. Disponível em:  
[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75133/tde-06032013-163207/publico/MarianaConsiglioKasemodel\\_Revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75133/tde-06032013-163207/publico/MarianaConsiglioKasemodel_Revisada.pdf). Acesso em: 18 ago. 2021.

KUMAR, J. Aravind. Persistent organic pollutants in water resources: Fate, occurrence. **Science Of The Total Environment**. Chennai, p. 1-14. mar. 2022. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722019015?via%3Dihub>. Acesso em: 07 out. 2022.

PEREIRA, Sueli Yoshinaga et al. **Os estudos dos impactos da vinhaça no solo e na água subterrânea, ênfase na EDR - Ribeirão Preto: uma análise da situação atual do conhecimento e perspectivas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004, Costão do Santinho. **Artigo**. Florianópolis: Nisam - USP, 2004. p. 2324-2337. Disponível em:  
<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/01/01-051.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2021.

POSTAL, Andreia Marques et al. The impact of sugarcane expansion in Brazil: local stakeholders' perceptions. **Journal Of Rural Studies**. Turquia, p. 1-16. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0743016719301688>. Acesso em: 01 out. 2022.

SILVA, Ricardo Ribeiro da. **Biorremediação de solos contaminados com organoclorados por fungos basidiomicetos em biorreatores**. 2009. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2009. Disponível em: [http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pgibt/2013/09/Ricardo\\_Ribeiro\\_da\\_Silva\\_DR.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pgibt/2013/09/Ricardo_Ribeiro_da_Silva_DR.pdf). Acesso em: 16 set. 2021.

SILVEIRA, Renata Nayara Câmara Miranda. **Curso de Manejo e Cuidados no Uso da Vinhaça na Fertirrigação**. Fortaleza: Agência Nacional de Águas, 2016. 41 p. Disponível em: [https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2199/1/Manejo\\_e\\_cuidados\\_da\\_vinha%C3%A7a-4h.pdf](https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2199/1/Manejo_e_cuidados_da_vinha%C3%A7a-4h.pdf). Acesso em: 21 nov. 2021.

VRYZAS, Zisis. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to preventing contamination. **Environmental Science & Health**. Greece, p. 5-9. ago. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584417300454?via%3Dihub>. Acesso em: 07 out. 2022.