
Artigo de Divulgação

IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DO ETANOL BRASILEIRO: DO CAMPO À INDÚSTRIA

PUGLIESE, Lilian; LOURENCETTI, Carolina . - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, Câmpus Matão, SP

RIBEIRO, Maria Lucia. - Docente do programa de Pós-Graduação (Mestrado Stricto Sensu) em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente - Universidade de Araraquara/UNIARA

RESUMO

O Programa Nacional Pró-álcool foi criado em 1975, período de crise de petróleo e de baixa produção de petróleo no Brasil. Uma vez que os fatores ambientais não eram relevantes para o design do projeto, este trabalho tem como objetivo identificar os principais impactos ambientais causados pela produção agrícola e industrial da produção de etanol, assim como apontar medidas de mitigação que têm sido apresentadas na literatura. O delineamento do estudo foi realizado pela análise qualitativa do material obtido em revisão bibliográfica. Durante a produção agrícola, os principais impactos ambientais encontrados foram a compactação dos solos por tratores e implementos agrícolas, a contaminação de corpos d'água e solos pelo uso intensivo de fertilizantes e agrotóxicos, aplicação não controlada de vinhaça, torta de filtro ou escórias de siderurgia e poluição do ar resultante das queimadas da palha da cana-de-açúcar. Durante a produção industrial, os principais impactos ambientais apontados relacionam-se com a poluição de ar proveniente da queima do bagaço e palhada excedente para geração de energia elétrica e cinzas dessa queima; com o descarte inadequados da água de lavagem da cana e de equipamentos, das águas residuais de condensadores e multijatos e das águas residuais domésticas. As discussões apresentadas demonstram que a produção de etanol pode gerar impactos desconhecidos pela maior parte da população, tanto na produção agrícola, quanto na produção industrial, podendo ocasionar poluição atmosférica e dos recursos hídricos. Medidas de mitigação, como biodegradação da vinhaça e produção de gases para geração de energia, diminuição do consumo e reuso da água, também são apontadas.

PALAVRAS-CHAVE: Impactos ambientais; Produção de Etanol; Desenvolvimento Sustentável.

ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE BRAZILIAN ETHANOL PRODUCTION: FROM FIELD TO INDUSTRY

ABSTRACT

The National Alcohol Program (Proálcool) was created in 1975, period of oil crisis and low oil production in Brazil. Since environmental factors were not relevant for the project design, this study aims to identify the main environmental impacts due to agricultural and industrial production of ethanol, as well as to point out mitigation measures that have been presented in the literature. The study design was carried out by a qualitative analysis of material obtained in literature. During agricultural production, the main environmental impacts were: soil compaction by tractors and agricultural implements, contamination of water bodies and soil due to intensive use of fertilizers and pesticides, uncontrolled application of vinasse filter cake or steel lag and air pollution resulting from the burning of sugarcane straw. During the industrial production, the main environmental impacts are related to the air pollution originated from the burning of bagasse and straw for power generation and the release of burning ashes; to the inadequate disposal of effluent generated from the water of sugarcane and washing of equipments; to the residual waters from capacitors and multijets and to domestic waste waters. The discussions show that

ethanol production can generate impacts that are not well known by most of the population, both in agricultural and in industrial production, which may cause air and water pollution. Mitigation measures, such as biodegradation of vinasse and production of gases to generate energy, decrease of water consume and reuse are also pointed out.

KEYWORDS: Environmental impacts; Ethanol production; Sustainable development.

INTRODUÇÃO

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), criado em 14 de novembro de 1975 pelo decreto nº 76.593 (BRASIL, 1975), teve como objetivo estimular a produção do etanol para ser utilizado como combustível. Em sua primeira fase, 1975-1979, destilarias de álcool foram implantadas anexas às usinas de açúcar, proporcionando crescimento da produção do etanol anidro combustível com no máximo 0,4% de água com a finalidade de adicioná-lo à gasolina. A segunda fase, 1979-1986, foi caracterizada pela implantação de destilarias autônomas em novas áreas de produção de etanol combustível hidratado, destinado para o uso direto nos automóveis. A terceira fase, 1986-2003, abrangeu a ampliação da produtividade agrícola e eficiência industrial. O governo investiu no programa cerca de sete bilhões de dólares (SANTIAGO et al., 2006). A quarta fase do programa, a partir de 2003 é caracterizada pelo desenvolvimento do veículo bicomustível, conhecido como flex fuel (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

A demanda por etanol brasileiro se insere no contexto de uma formulação de políticas públicas que objetivam a substituição do consumo dos combustíveis fósseis pelos combustíveis “renováveis” ou de fontes “limpas” de energia. Na União Europeia, o consumo destes tipos de combustíveis foi estimulado pela publicação da Diretiva nº 28, de maio de 2009, que define a meta do bloco alcançar uma cota de 20% de fontes de energias “renováveis” no consumo

final e 10% no setor de transportes. Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental estima que até 80 bilhões dos 136 bilhões de litros de biocombustíveis, previstos para o consumo em 2022, sejam provenientes de fontes “renováveis” (XAVIER; PITTA; MENDONÇA, 2008).

O incentivo da criação do Proálcool pelo governo brasileiro ocorreu em um período que tinha como cenário a produção de apenas 160 mil barris de petróleo por dia, aproximadamente 20% do consumo interno, e, portanto, alta dependência da importação desse recurso energético, e crise dos preços do petróleo no início da década de 1970. A guerra do Yom Kippur gerou no Oriente Médio vários conflitos que colaboraram para a quadruplicação dos preços do petróleo, que na época estava em torno de US\$ 2,91 (SHIKIDA; BACHA, 1999). Dentre os critérios do programa, os fatores sociais e ambientais não foram relevantes para criação do projeto (GOLDEMBERG; NIGRO; COELHO, 2008).

A primeira reunião a preocupar-se com as mudanças climáticas aconteceu somente em 1988, em Toronto, Canadá, 13 anos após a criação do Proálcool. Em 1990, foi elaborado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), e somente em 1997, em Kyoto, Japão, foi assinado o Protocolo de Kyoto no qual vários países se comprometiam com a redução em 5,2% dos gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990, no período de 2008 a 2012 (GREENPEACE, 2014).

Entretanto, é pela visão sobre as supostas vantagens ambientais do etanol que se baseiam as perspectivas do setor de aumento da demanda internacional. Essas perspectivas contribuem para o constante crescimento do monocultivo de cana-de-açúcar e também para os possíveis impactos gerados por este modelo agrícola (XAVIER; PITTA; MENDONÇA, 2008).

Para atingir o objetivo de inserir o álcool na matriz energética brasileira foram necessários investimentos governamentais em infraestrutura para instalação e modernização de destilarias

em áreas tradicionais da agroindústria canavieira (SHIKIDA; BACHA, 1999). Porém essa infraestrutura não foi planejada na lógica de preservação ambiental.

Os impactos ambientais causados tanto pela monocultura como pela produção do etanol deveriam ser mínimos, se considerado que toda a atividade deve passar previamente pelo licenciamento ambiental. O licenciamento ambiental tem por objetivo garantir que as medidas preventivas e de controle no setor sucroalcooleiro, assim como em outros setores agrícolas e industriais, não causem danos irreparáveis ao meio ambiente.

É determinado que, para novas unidades de produção, seja apresentado um estudo de impacto ambiental nas áreas de instalação do empreendimento. Primeiramente, é necessária a apresentação do Relatório Preliminar Ambiental (RAP) com as informações de possíveis impactos ambientais e as medidas a serem tomadas para o controle. Caso seja comprovado o efetivo dano ambiental, segundo a resolução CONAMA nº 237 (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 1997) é necessário apresentar também o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impactos ao Meio Ambiente (RIMA).

Jendiroba (2006) ressalta que a resolução CONAMA nº 237 também determina que as licenças prévias de instalação e de operação sejam emitidas pelo órgão ambiental responsável após análise técnica dos documentos e que relatórios adicionais podem ser solicitados, principalmente se as instalações forem localizadas próximas a áreas de zona de amortecimento ou entorno de unidade de conservação de uso sustentável, tais como áreas com matas nativas, áreas de interesse científico, histórico, arqueológico, de manifestações culturais ou etnológicas, ou definidas por legislação própria. Nos casos de grandes empreendimentos, com impacto ambiental significativo, a resolução também determina que os processos poderão passar por audiências públicas para que a comunidade se manifeste sobre as intenções de empreendedores,

ressaltando o impacto gerado, como preconiza a Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988), “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) possui resoluções que tratam do Zoneamento Agroambiental do setor sucroalcooleiro (SMA/SAA 006/09 e SMA SAA 4/08) e do licenciamento de empreendimentos do setor (SMA 88/08 e SMA 67/08), estabelecendo também critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental prévio de destilarias de álcool, usinas de açúcar e unidades de fabricação de aguardente (SMA 42/06 e SMA 14/05).

Apesar da legislação, a produção de etanol, assim como qualquer atividade agroindustrial pode gerar impactos ambientais, sendo necessário identificá-los e buscar minimizá-los ao máximo. Neste sentido, O presente trabalho teve como objetivo identificar os principais impactos ambientais devido à produção agrícola e industrial da produção de etanol, assim como levantar medidas de mitigação que têm sido apresentadas na literatura.

METODOLOGIA

A condução deste trabalho foi feita pela análise qualitativa do material obtido em revisão bibliográfica sobre os impactos ambientais causados pela agroindústria canavieira e formas de mitigação que vem sendo apresentadas.

Para o levantamento bibliográfico foram utilizadas bases de dados multidisciplinares como Scopus, Scielo, Scholar Google, Periódicos da Capes, sites das universidades brasileiras para busca de dissertações de mestrado, teses de doutorado, anais de congressos e sites de instituições oficiais brasileiras. Considerando que a maioria dos artigos publicados sobre o tema é relativamente recente,

a revisão bibliográfica contemplou o período de 2004 a 2016.

Inicialmente foram utilizadas palavras-chave gerais associadas, nos idiomas português e inglês, como “impactos ambientais” e “cana-de-açúcar”. Posteriormente, foram realizadas pesquisas mais específicas, utilizando as mesmas palavras-chaves associadas a outras, como “resíduos industriais”, “produção agrícola” e “produção industrial”, seguidas das palavras-chaves biodiversidade, agrotóxicos, fertilizantes, solos, poluição atmosférica, vinhaça e poluição dos recursos hídricos.

Informações disponíveis nos sites de instituições oficiais, como a Companhia Nacional de Abastecimento, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Conselho de Informações sobre Biotecnologia, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, também foram consultadas com o objetivo de obter legislações específicas sobre o tema, assim como normas técnicas, recomendações e publicações sobre estudos e tecnologias desenvolvidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento sistemático da produção agrícola realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013), a cana-de-açúcar ocupou na safra de 2012, 10.557.210 hectares do território nacional. Estima-se que a cultura da cana-de-açúcar continue em expansão na temporada 2013/14 e a previsão é que o Brasil tenha um acréscimo na área plantada de cerca de 300 mil hectares, reflexo do aumento da área plantada na região centro-sul. São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul deverão ser os estados com maior acréscimo. Na safra 2012/13, a produção de etanol fechou em 23,64 bilhões de litros e a estimativa para a produção da safra 2013/14 é 27,17 bilhões de litros, um incremento de 3,53

bilhões de litros (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013). Dessa forma, o aumento da produção representa aumento também dos possíveis impactos gerados.

A grande extensão de área plantada e a alta produção de etanol e açúcar no país têm motivado diversos grupos de pesquisa a identificarem os possíveis impactos que essas atividades podem ocasionar ao meio ambiente. A partir de dados apresentados na literatura foi possível observar a descrição de impactos ao meio ambiente relacionando à produção de cana-de-açúcar e os relacionados à produção de etanol. Assim, neste trabalho optou-se por descrever os impactos a partir das divisões impactos na produção agrícola e impactos na produção industrial.

Impactos na produção agrícola: monoculturas Biodiversidade

Aproximadamente 80% da cultura da cana-de-açúcar plantada no Brasil na safra de 2012 encontrava-se em regiões de ocorrência do cerrado, 6.748.393 hectares na região sudeste e 1.712.497 hectares na região centro-oeste (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2013) o Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul e abriga as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata), o que resulta em um elevado potencial aquífero e favorece a sua biodiversidade. Da região depende a recarga dos aquíferos Bambuí, Urucuaia e Guarani e seis das oito maiores bacias hidrográficas nacionais – Amazônica, Tocantins, Atlântico Norte/Nordeste, São Francisco, Atlântico Leste e Paraná/Paraguai. Entretanto, entre 2002 e 2008 este bioma perdeu 14,2 mil quilômetros quadrados de vegetação por ano, principalmente para abrir espaços para culturas como a cana-de-açúcar, permanecendo aproximadamente apenas 20% dos seus remanescentes intactos. Estima-se que 20%

das espécies nativas e endêmicas já não ocorram em áreas protegidas e que pelo menos 137 espécies de animais que ocorrem no Cerrado estão ameaçadas de extinção.

Como forma de mitigação, a produção em pequena escala consorciada com outras variedades endêmicas representa uma solução para a erradicação da vegetação natural e respeito às áreas de preservação permanente (APP).

Segundo Altieri (2004), uma das principais razões pelas quais agricultores em todo mundo optem pelos policultivos é que uma área semeada com cultivos múltiplos, frequentemente, produz mais do que uma área equivalente cultivada em parcelas monoculturais.

Dessa forma, a monocultura não representa só uma ameaça à biodiversidade, apresenta também menor produtividade, maior custo para sua produção e maior uso de agrotóxicos.

A grande diversidade de espécies desenvolvendo-se simultaneamente em policultivos ajuda na prevenção de pragas e em uma agricultura itinerante, a abertura de pequenos lotes em áreas cobertas por vegetação de floresta secundária permite fácil migração de predadores naturais das pragas oriundos das florestas adjacentes (ALITIERI, 1991).

Uso de agrotóxicos

Diferentes classes dos agrotóxicos, como herbicidas e inseticidas de diferentes classes químicas e diferentes classes de toxicidade têm sido empregadas em várias etapas, pré e pós-emergentes durante a produção da cana-de-açúcar (ARMAS et al., 2005). Embora contribuam para manter a elevada produção, os mesmos apresentam riscos à saúde humana e animal.

A entrada dos pesticidas no ambiente incluem meios diretos, aplicação intencional dos pesticidas ao solo para o controle de plantas ou pestes indesejáveis, e indiretos, aplicação foliar para o controle de plantas indesejáveis pós-emergentes e para o controle de insetos (RACKE et al., 1997).

Quando aplicados, uma pequena porcentagem atinge a peste alvo, enquanto o restante apresenta potencial para se locomover pelo meio e atingir outros compartimentos ambientais, como os recursos hídricos (HULSCHER; CORNELISSEN, 1996). No Brasil, estudos demonstram que agrotóxicos têm sido encontrados em amostras de ar (SANTOS et al., 2011), água de chuva, superficial e subterrânea (CASARA et al., 2012; NOGUEIRA et al., 2012).

Estudos conduzidos por Goldemberg, Coelho e Guardabassi (2008) apontam que o consumo de agrotóxicos por quilômetro quadrado na cultura da cana-de-açúcar é menor do que, por exemplo, em citros, milho, café e soja, e está dentro dos padrões exigidos por lei. Entretanto, as aplicações feitas em diversas etapas durante o cultivo e a extensão da cana-de-açúcar plantada apresentam um alerta sobre a elevada quantidade que é consumida desse insumo.

Essa quantidade pode tender a aumentar gradativamente, pois em muitos casos, a praga não é completamente atingida, restando indivíduos mais resistentes de genótipo mais forte. O cruzamento desses indivíduos promove aumento substancial na população, que no momento não compete com os demais (exterminados pelo agroquímico) por alimento ou espaço, causando o retorno da praga em maior número e resistência (SOARES; PORTO, 2007).

Ao mesmo tempo, como destacado anteriormente, a produção em pequenas áreas consorciada com outras culturas colaboram para uma menor incidência de pragas do que a monocultura e colaboram para um cultivo mais detalhista, dispensando usos indevidos de agrotóxicos e fazendo uso de alternativas menos impactantes, como produtos biológicos (toxinas biodegradáveis produzidas por microrganismos) ou substâncias naturais no controle de pragas (ALITIERI, 1991).

A agricultura voltada para ecologia pode trazer orientações sobre aplicações com cautela, sem provocar danos desnecessários ou irreparáveis. Um dos objetivos desta prática é procurar restaurar a resiliência do agroecossistema e se a causa da doença, da praga ou da degradação do solo for

entendida como desequilíbrio ecológico, então o objetivo é restabelecê-lo (ALTIERI, 2004).

Uso de fertilizantes

O território brasileiro é caracterizado por uma grande diversidade de tipos de solos, mas são em geral ácidos, pobres em fósforo, cálcio e magnésio e com teores altos de alumínio, e muitas vezes é necessária a adubação (BERNARDI; MACHADO; SILVA, 2002).

Os dados apresentados pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (1999) mostraram que as culturas que mais utilizaram fertilizantes no mundo em 1999 foram soja (24%), milho (23%), cana-de-açúcar (21%), seguidas pelo café, arroz, feijão, trigo, laranja, batata e algodão. Essas dez culturas consomem aproximadamente 94% do total de fertilizantes utilizados no país.

Aponta-se que a eficiência do uso de nitrogênio na produção agrícola de açúcar e álcool é nula ao final do processo, pois ambos os produtos não incorporam nitrogênio na sua molécula. O fertilizante aplicado é utilizado apenas como um promotor do crescimento da cana-de-açúcar. O nitrogênio não utilizado acaba ficando no ambiente próximo à produção agrícola podendo se dispersar pelo ambiente (GARCIA; CARDOSO; SANTOS, 2013).

Além do nitrogênio, potássio e fósforo também podem ser dispersos no ambiente. Os problemas relacionados ao excesso de fertilizantes são a salinização dos solos e consequente diminuição da produtividade das culturas, contaminação das águas e efeitos na atmosfera. Aspectos relacionados aos recursos hídricos e atmosfera serão abordados em tópicos posteriores.

Alternativas ao uso de fertilizantes sintéticos têm sido propostas, tais como pousios (descanso ou repouso proporcionado às terras cultiváveis, interrompendo-lhe as culturas para tornar o solo mais fértil), rotações de cultura, plantio consorciado com leguminosas e espécies capazes de reciclar os nutrientes e adubação orgânica com húmus de

compostagem, esterco, restos de capina ou solos de formigueiros (KLEE, 1980; ALTIERI, 1987). Essas práticas não são novas e não requerem um dispêndio grande de investimento ou conhecimento.

Conservação e compactação dos solos

O atual sistema de exploração agrícola tem afetado o potencial produtivo dos solos, expostos a um processo de degradação de suas características físicas, químicas e biológicas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

A intensidade do uso dos solos e de máquinas e equipamentos de grande porte no campo tem aumentado como resultado da modernização da agricultura. Segundo Streck et al. (2003) esse processo não foi acompanhado por um aumento proporcional do tamanho e largura dos pneus, resultando em significativas alterações nas propriedades físicas do solo. Os pneus para passarem pelas entrelinhas nas plantações não podem ter espessuras maiores do que os espaçamentos de diversas culturas, que variam de 40 cm para soja, por exemplo, até 150 cm para cana-de-açúcar. Ao mesmo tempo, os implementos para plantação e colheita pesam de 4 a 8 toneladas, em média.

O tráfego sobre o solo aumenta a densidade e a resistência do solo à penetração e disponibilidade de nutrientes e água (STRECK et al., 2003). Com o sistema de plantio direto, o solo deixou de ser revolvido e a compactação passou a ser uma preocupação. Apesar disso, Soratto e Crusciol (2008) afirmam que o plantio direto é uma das melhores alternativas para a manutenção da sustentabilidade dos recursos naturais dos solos tropicais e subtropicais.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2004) aponta que o plantio direto, se feito da forma correta, pode reverter o processo de degradação dos solos e melhorar o desempenho de determinadas culturas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

O manejo dos solos corresponde a um conjunto de práticas que, quando usadas racionalmente,

podem permitir alta produtividade a baixos custos, ao mesmo tempo em que, se usadas incorretamente, podem causar a degradação física, química e biológica dos solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

Entre os principais fatores da degradação dos solos, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2004) enumera “[...] a compactação, a ausência da cobertura vegetal do solo, a ação das chuvas de alta intensidade, o uso de áreas inaptas para culturas anuais, o preparo do solo com excessivas gradagens superficiais e o uso de práticas conservacionistas isoladas”.

Na colheita mecanizada, as folhas, bainhas, ponteiro e pedaços residuais de colmos são cortados, triturados e lançados sobre o solo formando uma cobertura de resíduo vegetal denominado palhada. Souza et al. (2005) avaliaram o efeito desse sistema nos atributos físicos e químicos do solo e na produção de colmos e concluíram que no solo são proporcionados maiores teores de matéria orgânica, estabilidade de agregados, macroporosidade e teor de água e menores valores de resistência do solo à penetração de água e densidade do solo.

Stone e Silveira (1999) observaram que as arações e gradagens alteram as características físicas do solo. Diminuição da porosidade, da distribuição de tamanho e da estabilidade dos agregados, assim como destruição dos canais resultantes do crescimento radicular e da atividade biológica, o que prejudica a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial e a erosão, foram observados. Rossetto et al. (2008) também apresentam aspectos negativos da aração e gradagem do solo, como a oxigenação do solo e consequente crescimento de comunidades microbianas e de pequenos animais que participam da degradação da matéria orgânica do solo e eliminação do CO₂.

Uma alternativa para a compactação dos solos é o chamado cultivo mínimo. Rossetto e Santiago (2013) esclarecem que a técnica consiste no preparo mínimo do solo, na qual a soqueira é eliminada com uso de herbicida e é feita a sulcação do solo para

novo plantio. Porém o uso de herbicidas representa uma grande adversidade para sustentabilidade na agricultura em geral.

A lavoura de cana-de-açúcar permite de três a seis colheitas consecutivas, dependendo da variedade e do manejo, após o término do ciclo. Na renovação do canavial o produtor pode optar por fazer o uso de outras espécies de plantas, caracterizadas como adubo verde. Essas espécies são usadas com o objetivo de obter uma cobertura superficial e melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, inclusive em profundidade. Entre as vantagens do adubo verde, Santiago e Rossetto (2013) destacam a conservação do solo, devido à manutenção de cobertura em épocas de altas taxas de precipitação, o controle de plantas daninhas e o combate indireto de pragas, que se hospedam nas mesmas, e o aumento de produtividade. Algumas espécies, como a *Crotalaria juncea*, apresentam vantagens como o controle de erosão e a diminuição do assoreamento dos sulcos de plantio, o que facilita a germinação, a reciclagem de nutrientes percolados e a fixação de nitrogênio atmosférico no solo, dispensando assim a adição de nutriente.

Os tratores e implementos movidos a óleo diesel também representam um impasse para a sustentabilidade, pois o combustível usado provém de uma fonte de energia não renovável e emite vários gases prejudiciais ao meio ambiente, como o óxido de enxofre, apontado como causador da chuva ácida. Segundo Stump (2011), a Empresa Brasileira de Aeronáutica em parceria com o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial conseguiram em 2005 converter o motor do avião Ipanema, fabricado pela companhia brasileira Neiva há quarenta anos, de gasolina para etanol. Este fato significou redução de custos e melhoria do desempenho ambiental.

Poluição atmosférica

A prática de queimada da cana-de-açúcar antes do plantio foi uma constante até pouco tempo no estado de São Paulo, principalmente por ser

considerada mais eficiente e econômica para o processo industrial, aumentar a produtividade no corte manual e diminuir os acidentes provocados por animais venenosos, encontrados com frequência nas plantações (XAVIER; PITTA; MENDONÇA, 2011).

Durante as queimadas, grande quantidade de fumaça e fuligem é liberada para a atmosfera. O material fino, por conter partículas menores ou iguais a 10 µm (MP10), pode ficar retido nos alvéolos pulmonares (HESS et al., 2010).

Além da liberação de material particulado para a atmosfera, o processo de combustão incompleto da biomassa pode resultar na formação de compostos nocivos como monóxido de carbono, monóxido de nitrogênio e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). Os HPA compõem um grupo de compostos formados por anéis aromáticos condensados. Alguns desses compostos já foram classificados pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer como substância carcinogênica aos humanos (benzo(a)pireno), substância provável carcinogênica (dibenzo(a,h)antraceno) e substâncias possíveis carcinogênicas (naftaleno, benzo(e)acefenantileno, benzo(a)antraceno, benzo(k)fluoranteno, criseno, indeno (1,2,3,cd)pireno) (ANDRADE et al., 2010).

Diversos estudos têm demonstrado a presença de HPA em material particulado, assim como em urina de cortadores de cana-de-açúcar (ANDRADE et al., 2010; ANDRADE et al., 2011; BOSSO et al., 2006; PRADO et al., 2012).

Para evitar os problemas associados às queimadas, a lei nº 11.241 de 19 de setembro de 2002 (SÃO PAULO, 2002) determinou prazos de eliminação gradativa da queima da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. De acordo com o texto, áreas mecanizáveis devem eliminar totalmente as queimas até 2021 e áreas não mecanizáveis até 2031.

Em junho de 2007 foi assinado um protocolo de cooperação entre o governo do estado de São Paulo e a União da Agroindústria de São Paulo (UNICA). Denominado Protocolo Agro-Ambiental do Setor Sucroalcooleiro Paulista, o mesmo objetiva de antecipar a eliminação da queimada da cana no

estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2007). O protocolo não tem força de lei, assim as usinas não são obrigadas a aderirem ao acordo (MORAES, 2007). Neste protocolo, os prazos de eliminação das queimadas são antecipados de 2012 para 2014 em áreas mecanizáveis e de 2031 para 2017 em áreas não mecanizáveis.

Aliadas às queimadas, o intenso uso de fertilizantes e combustão de combustíveis fósseis podem favorecer à formação do smog fotoquímico, denso nevoeiro de cor castanha. O smog fotoquímico ocorre pela reação entre a luz solar e uma mistura de substâncias, como óxidos de nitrogênio (NOx), compostos orgânicos voláteis, aerossóis ácidos e material particulado, formando NO₂, peróxido de acetyl nitrato (PAN), ozônio, aldeídos e compostos orgânicos voláteis. Essa mistura de poluentes secundários pode ocasionar irritação ocular e às mucosas, diminuição da visibilidade e danos aos vegetais. Substâncias tóxicas e cancerígenas podem ser absorvidas no material particulado, desencadeando ou agravando diversas patologias. O NO₂ formado como produto das reações fotoquímicas atua como catalisador na formação de ozônio troposférico, poderoso oxidante que ataca plantas, pulmões, borrachas e obras de arte (ANDRADE; SARNO, 1990; TORRES; MARTINS, 2005; GARCIA; CARDOSO; SANTOS, 2013).

Impactos na produção industrial: poluição atmosférica, do solo e dos recursos hídricos

Os impactos apontados devido à produção industrial devem-se principalmente aos efluentes e subprodutos gerados no processo e consumo de água, mas também devido aos resíduos da cogeração de energia elétrica. Um detalhado esquema da produção industrial do setor sucro energético, com destaque para a geração de resíduos e efluentes e subprodutos abordados neste trabalho é apresentado por Rebelato, Madaleno e Rodrigues (2013).

Resíduos da cogeração de energia elétrica

Na safra de 2011 foram moídos 559.215.000 toneladas de cana-de-açúcar (UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA DE SÃO PAULO, 2013) e apenas 40%-50% da palhada são retiradas do solo (VIAN, 2013). Estima-se que a cada tonelada de cana colhida sobre 250 kg de bagaço com 50% de umidade (125 kg de matéria seca) e 204 kg de palhas e pontas. Esse valor pode variar dependendo da variedade da cana-de-açúcar. Portanto, através dessa estimativa, foram gerados em torno de 139.803.750 toneladas de bagaço úmido e 114.079.860 toneladas de palhas e pontas.

Atualmente as usinas utilizam o bagaço e a palhada residuais para cogeração de energia elétrica através da queima, entretanto, essa prática gera resíduos de cinzas. Nunes et al. (2008) constataram que as cinzas podem ser empregadas como enchimento em compostos a base de cimento Portland curados ao ar. A substituição de até 13% de cimento pelas cinzas produziu um ganho de 7% de resistência. Porém, a grande aposta das empresas do seguimento é a produção do etanol denominado como etanol de segunda geração, processo feito pela hidrólise da biomassa celulósica e geração de glicose que pode ser fermentada em etanol. A obtenção do etanol a partir da fermentação da glicose é uma etapa bem controlada e o grande desafio é a obtenção da glicose a partir da celulose com minimização dos gastos com altas temperaturas e pressão e solventes orgânicos (OGEDA; PETRI, 2010).

Pesquisadores do Instituto Nacional de Biotecnologia para o Etanol, apoiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) em conjunto com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) divulgaram em abril de 2014 que conseguiram desvendar alguns mecanismos que fazem com que as paredes celulares da cana-de-açúcar sejam resistentes à hidrólise enzimática (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014). Essa descoberta representa um passo importante para o desenvolvimento do etanol de segunda geração.

Poluição do solo e água: resíduos e efluentes

O excesso da aplicação de nutrientes no solo também representa risco de contaminação das águas, principalmente se os nutrientes forem carregados pela água das chuvas até corpos d'água.

O fósforo, juntamente com o nitrogênio são promotores da eutrofização de águas. A eutrofização é definida como o aumento da produtividade primária de um sistema aquático devido ao excesso de nutrientes. O crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas diminui a penetração da luz solar no corpo d'água inibindo assim a fotossíntese e formação de oxigênio. A decomposição desse material orgânico por organismos aquáticos diminui o nível de oxigênio da água e na ausência do mesmo os processos anaeróbios predominam, tendo a formação dos gases sulfídrico (H₂S), metano (CH₄) e amônia (NH₃) e ferro, manganês e fosfato na forma solúvel. Como consequência desse processo ocorre a diminuição da qualidade da água e mortalidade de peixes e outros animais (MANSOR, 2005).

Atualmente as usinas armazenam em lagoas de estabilização a torta, proveniente da filtração do caldo extraído das moendas, a vinhaça, proveniente da primeira destilação do vinho fermentado, e as águas residuais de toda a usina, compreendendo a água de lavagem da cana, de condensadores e trocadores de calor. Tais efluentes e resíduos, após prévia diluição, são utilizados na adubação da cultura. Benefícios dessa prática, como diminuição da erosão (SADEGHI; SHARIFI; KHALEDI, 2016) e do escoamento superficial (SADEGHI; HAZBAVI; HARCHEGANI, 2016 e melhora nos parâmetros químicos do solo (FRANCISCO et al., 2016; PRADO; CAIONE; CAMPOS, 2013; MIYAMOTO; KAMEYAMA; NAKAJIMA, 2013) têm sido apontados por diversos autores. Entretanto, essas práticas, se feitas de forma indevida, pode causar prejuízos aos solos como salinização e toxicidade para a biota do solo (ALVES et al., 2015).

A vinhaça tem despertado maior preocupação entre os pesquisadores por ser produzida na razão

de 10 a 14 litros por litro de etanol, constituindo-se assim o efluente gerado em maior quantidade na indústria do etanol. Tem composição variada (Tabela 1) e representa um problema ecológico devido à sua alta DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio), 13 e 25 g/L em média, respectivamente, temperatura de aproximadamente 85 °C e pH 4,5 (PINTO, 1999). Essas características explicam os motivos da preocupação com relação aos impactos ambientais e também a proibição do seu lançamento nos corpos d'água a partir da safra 1979/1980 pela Portaria do Ministério do Interior nº. 323 (BRASIL, 1978). Uma nova portaria, nº. 158, também do Ministério do Interior (BRASIL, 1980), foi publicada com o objetivo de aperfeiçoar o que foi determinado na Portaria nº. 323 de 1978, e dispõe sobre o lançamento de vinhoto em coleções hídricas, considerando também os demais efluentes de destilarias de etanol e de bebidas alcoólicas e das usinas de açúcar.

A vinhaça tem sido empregada na lavoura da própria cana-de-açúcar, substituindo, em parte, o uso de fertilizantes. Porém, os critérios para aplicação da vinhaça na fertirrigação são de ordem econômica e não técnica, devido ao grande volume e custos do manejo desse resíduo (NOLASCO JR., 2010).

A prática parece ter oferecido a solução para o problema da disposição desse resíduo quando foi proibido o seu simples descarte no curso d'água mais próximo da usina. Contudo, nitrogênio na forma de nitrato pode, se alguns cuidados não forem tomados, infiltrar e atingir camadas mais profundas do solo e de lençóis freáticos, principalmente nos casos em que uma única área, chamada área de descarte, recebe grandes concentrações de vinhaça (Pinto, 1999). É importante ressaltar que a vulnerabilidade dos aquíferos com relação à contaminação por constituintes da vinhaça depende do tipo do solo, taxa de aplicação e principalmente intensidade de chuva. Ortégón et al. (2016) observaram apenas pequeno aumento no conteúdo de sais dissolvidos na água subterrânea em um

estudo em área controlado na Colômbia. Entretanto, os autores apontam que pesquisas mais detalhadas para melhor acompanhar o transporte da vinhaça através da zona insaturada considerando balanço de massa podem contribuir para determinar o risco de poluição da água subterrânea.

O nitrogênio, dentre suas diversas formas, além de poder causar a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul), pode também formar substâncias de poder mutagênico e carcinogênico em diversos organismos (MURATA; SANTOS; TERÁN, 2011). Garcia, Cardoso e Santos (2013) chamam atenção para os compostos de nitrogênio e seus efeitos no ambiente. Para os autores, o nitrogênio proveniente da ação antrópica já ultrapassou processos naturais e continua crescendo quase sem limitações.

Em 2005 a CETESB emitiu uma norma técnica (P4.231) que determina os critérios e procedimentos para aplicação da vinhaça no solo agrícola no estado de São Paulo, contemplando desde o armazenamento e transporte, até a análise da qualidade do solo que recebe a vinhaça para evitar a ocorrência de poluição (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005). Segundo a referida norma, devido a composição da vinhaça ser variada, a dosagem máxima a ser aplicada no solo deve ser calculada por uma equação que considera a capacidade de troca catiônica do solo, a concentração de potássio no solo e a concentração do potássio na vinhaça.

A cana-de-açúcar ocupa extensas áreas, o que torna muito difícil a fiscalização. Esse aspecto é discutido por Rodrigues e Ortiz (2006), que consideram que para obter melhor desempenho e sustentabilidade da cadeia produtiva do etanol no Brasil, são necessárias ações complementares como fiscalização da aplicação das leis ambientais, com acompanhamento pela sociedade civil organizada, entre outras.

Outra preocupação é a presença de antibióticos na vinhaça. Microrganismos não desejáveis estão presentes nos processos industriais e a contaminação pode ocorrer devido às partículas do solo aderidas à matéria-prima, a água utilizada

Tabela 1 - composição química de vinhaças conforme o tipo de mosto.

Parâmetro	Melaço	Caldo	Misto
pH	4,2-5,0	3,7-4,6	4,4-4,6
Temperatura (°C)	80-100	80-100	80-100
DBO (mg/L O ₂) ¹	25000	6000-16500	19800
DQO (mg/L O ₂) ²	65000	15000-33000	45000
Sólidos totais (mg/L)	81500	23700	52700
Sólidos voláteis (mg/L)	60000	20000	40000
Sólidos fixos (mg/L)	21500	3700	12700
Nitrogênio (mg/L N)	450-1610	150-700	480-710
Fósforo (mg/L P ₂ O ₅)	100-290	10-210	9-200
Potássio (mg/L K ₂ O)	3740-7830	1200-2100	3340-4600
Cálcio (mg/L CaO)	450-5180	130-1540	1330-4570
Magnésio (mg/L MgO)	420-1520	200-490	580-700
Sulfato (mg/L SO ₄)	6400	600-760	3700-3730
Carbono (mg/L C)	11200-22900	5700-13400	8700-12100
Relação C/N	16-16,27	19,7-21,07	16,4-16,43
Matéria Orgânica (mg/L)	63400	19500	3800
Subst. Redutoras (mg/L)	9500	7900	8300

¹DBO: Demanda bioquímica de oxigênio. ²DQO: Demanda química de oxigênio.

no processo e também pelo ar (NOLASCO JR., 2010). Esses microrganismos podem causar perdas e aumento dos custos de produção no setor de fermentação, pois algumas utilizam o açúcar, ou propriamente o álcool, como seu substrato. Para o controle dos contaminantes, são utilizados antibióticos e desinfetantes químicos nas diversas etapas do processamento (NOLASCO JR., 2010).

Os antibióticos, por sua natureza termorresistente, se incorporam à vinhaça e ao solo pela fertirrigação e podem contribuir para o aumento da resistência a antimicrobianos (NOLASCO JR., 2010). Se por um lado o desenvolvimento de fármacos no combate de infecções bacterianas diminuiu drasticamente a mortalidade, por outro, levou as bactérias a desenvolverem defesas relativas, com o consequente aparecimento da resistência, representando uma ameaça para a saúde pública (SILVEIRA et al., 2006). Nolasco Jr. (2010) indica que o tratamento do caldo deve ser feito através de tratamentos térmicos e pesquisas tem buscado maior eficiência no processo para que seja

otimizada a retenção de açúcares durante o processo e assim, o uso de antibióticos seja erradicado.

Formas de tratamento da vinhaça vêm sendo investigadas considerando elevado conteúdo de matéria orgânica biodegradável. Estudo da biodegradação da vinhaça em condições aeróbias e anaeróbias indicaram que os carboidratos presentes na vinhaça foram satisfatoriamente degradados e as substâncias com características proteicas foram os principais compostos remanescentes após a degradação biológica. Porcentagem maior do que 96,5% foi apresentada em ambas condições, aeróbia e anaeróbia (MOTA; ARAÚJO; AMARAL, 2015).

Remoção de cerca de 50% da matéria orgânica biodegradável da vinhaça foi obtida com o uso de uma actinobacteria (*Streptomyces sp.*), que também apresentou resultados viáveis para a obtenção de um bioemulsificante (COLIN et al., 2016). A vinhaça também é apontada como potencial substrato para a produção de biosurfactantes pelo *Bacillus subtilis* PC (LIMA; SOUZA, 2014).

Além da degradação da vinhaça e redução

dos impactos ambientais devido ao descarte inapropriado dos resíduos da produção de etanol (MORAES et al., 2014), processos de digestão anaeróbios têm sido apresentados como opções favoráveis à produção de gases para a geração de energia elétrica. Diversos autores têm avaliado processos para obter maior rendimento dos gases hidrogênio (H₂) e metano (CH₄) (LEITE et al., 2015; REIS et al., 2015; LAZARO; VARESCHE; SILVA, 2015; SANTOS et al., 2014; MORAES; ZAIAT; BONOMI, 2015; FERRAZ JR. et al., 2014; POMPERMAYER; PAULA JR., 2000).

Embora não reduza o alto teor de nutrientes, principalmente do potássio, a geração de energia proveniente da biodigestão da vinhaça é apresentada como alternativa para o seu tratamento no Brasil. Entre as vantagens estão a valorização do resíduo e redução da carga orgânica e dos odores, características que estão associadas ao potencial poluente das águas superficiais. A biodigestão da vinhaça também gera um efluente fertilizante que pode ser utilizado na manutenção dos solos (SALOMON, 2007).

Outro processo apresentado como promissor é a evaporação da vinhaça, com recuperação de 77% da água presente na mesma. Além da possível redução da captação de água, o uso da vinhaça concentrada como fertilizante é apresentado como vantajoso, principalmente com relação à diminuição dos custos com transporte (CARVALHO; SILVA, 2009). Duas usinas no Brasil já possuem plantas de evaporação da vinhaça em operação, uma em Novo Horizonte - SP, Destilaria Santa Izabel, e outra em Potirendaba - SP, Usina Cerradinho.

A torta de filtro, subproduto do processamento industrial, é um resíduo rico em minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e matéria orgânica, principalmente proteínas e lipídeos. A composição química é apresentada na Tabela 2. Por apresentar altos teores de proteínas, a torta de filtro pode ser utilizada para a alimentação de animais ou ainda como adubo seco (CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE

BIOTECNOLOGIA, 2013).

Kumar et al., (2010) submeteram a torta de cana-de-açúcar juntamente com bagaço da cana e lixo orgânico a um tratamento de vermicompostagem, tratamento biológico que envolve processo de digestão de minhocas e também processos mecânicos para obtenção do vermicomposto, material com carbono na forma umidificada. Determinações de nitrogênio total, carbono orgânico total, fósforo, potássio, celulose, hemicelulose e lignina foram feitas para avaliar a eficiência da vermicompostagem. O objetivo de diminuir o tempo de estabilização foi alcançado principalmente com resíduos lignocelulósicos da indústria da cana, reduzindo o tempo de pré-decomposição de 40 para 20 dias.

Escórias de siderurgia, também utilizadas na adubação agrícola como fertilizante, são subprodutos da fabricação de ferro gusa e do aço e são constituídas, principalmente, de silicatos de cálcio e de magnésio. Esse resíduo representa um sério problema ambiental, pois é produzido em grandes quantidades pelo parque siderúrgico mundial (BERNARDES; BERNARDES, 2013). Montanari et al. (2008) realizaram um estudo para avaliar a viabilidade do uso das escórias de siderurgia para fins agrícolas e foi constatado que os teores dos elementos possivelmente tóxicos como zinco, cobre, cádmio, níquel e chumbo estão abaixo dos limites estabelecidos na Decisão de Diretoria n°. 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005 (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005) e são viáveis para o uso agrícola. Porém, não se pode desconsiderar a possibilidade do uso indevido. Dessa forma, é mais prudente encontrar alternativas para o uso desses resíduos, pois se depositados em elevada quantidade em lugares impróprios podem causar contaminação do solo e recursos hídricos (BERNARDES; BERNARDES, 2013).

Durante o processamento da cana-de-açúcar, Elia Neto (2005) aponta que os efluentes gerados são água usada para lavagem da cana, água de

Tabela 2 - Composição química aproximada de 100 gramas de torta de filtro.

Parâmetro	Quantidade	Parâmetro	Quantidade
Carbono	8,04%	Matéria orgânica	16,90%
Nitrogênio	0,28%	Água livre	77,77%
Fósforo orgânico	0,53 mg	Boro	3 ppm
Fósforo inorgânico	1,18 mg	Cobre	11-15 ppm
Fósforo total	1,70 mg	Manganês	138-196 ppm
Potássio	56,64 mg	Zinco	20-33 ppm
Carbono	0,80 g	Cobalto	0,3 ppm
Magnésio	76,90 mg	Ferro	3500 ppm

Fonte: Paranhos (1987) e Vitti et al. (2006) apud Rosseto; Santiago (2013).

condensadores barométricos e dos multijatos, água de resfriamento de dornas e de condensadores, além de água residuais (lavagem de equipamentos e pisos e águas residuais domésticas).

A melhor alternativa para diminuir o consumo de água nas usinas é o reuso das águas já utilizadas. Como resultado da legislação e do progresso tecnológico, a quantidade de água coletada para produção de etanol diminuiu consideravelmente devido a algumas atividades, como substituição da lavagem da cana para lavagem a seco e modificação dos circuitos de resfriamento de mancais de moenda e turbogeradores, que passaram a ser fechados com torres de resfriamento em sistemas envolvendo cogeração (JANUZZI, 2010). A produção de vácuo na fase de concentração do caldo, com substituição dos multijatos por colunas barométricas, que são mais eficientes e reduzem em 30% a necessidade de água (JANUZZI, 2010), também resultou na redução do consumo de água. O uso de condensadores evaporativos, com o auxílio de bombas de vácuo, vem sendo estudado com o objetivo de reduzir quase totalmente o uso de água (JANUZZI, 2010).

Januzzi (2010) sugere três procedimentos para otimizar as etapas de evaporação. O primeiro consiste em utilizar o vapor extraído dos múltiplos efeitos e aproveitar na condensação do caldo; o

segundo procedimento é utilizado no processo de destilação do vinho e no processo de desidratação do etanol e consiste na utilização de membranas seletivas que reduzem a necessidade de consumo de água; e o terceiro procedimento consiste em integrar a etapa de concentração da vinhaça à destilação do vinho para aproveitamento do vapor d'água.

Para Januzzi (2010), as águas de limpeza de equipamentos, água para preparo de produtos, águas de embebição da moenda ou difusor poderiam ser utilizadas a partir de águas condensadas de outros processos, como por exemplo, a água evaporada na concentração do caldo ou, conforme sugerido também por Carvalho e Silva (2009), a água recuperada no processo de concentração da vinhaça.

Aponta-se o tratamento dos dejetos provenientes do esgoto doméstico também como importante etapa para a conservação dos recursos hídricos, que podem ser direcionados a um biodigestor para a geração de biogás e autoabastecimento da indústria, como propõem Caron et al. (2009) em um experimento de biodigestão de detritos orgânicos no Campus Barigui da Universidade Tuiuti do Paraná. Segundo os autores (CARON et al., 2009), a biodigestão anaeróbia permite a redução significativa do potencial poluidor de dejetos orgânicos e representa um processo no

qual não há grande geração de calor. Deve-se estar atento à volatilização dos gases, a qual é mínima quando se processa a um pH próximo da neutralidade. Deve-se considerar também a recuperação da energia na forma de biogás, a reciclagem do efluente e material digerido, o

qual retorna sob a forma de biofertilizante. O biogás pode ser utilizado para geração de calor, acionamento de grupos motor gerador para gerar eletricidade, com qualquer teor de metano.

A Tabela 3 sintetiza os impactos e formas de mitigação que vêm sendo discutidos na literatura.

Tabela 3 - Síntese dos impactos e formas de mitigação.

	Impacto Ambiental	Alternativa Sugerida	Referência
Produção agrícola	Destruição da biodiversidade	Produção em pequena escala, agricultura itinerante em lotes em áreas cobertas por vegetação secundária, respeito às áreas de APP	ALTIERI, 1991; ALTIERI, 2004
	Uso de agrotóxicos	Produção em pequena escala consorciada com variedades endêmicas, lotes em áreas cobertas por vegetação secundária, uso de produtos naturais e biológicos, restauração da resiliência natural	ALTIERI, 1991; ALTIERI, 2005
	Uso de fertilizantes	Pousio das terras cultiváveis, rotação de culturas, plantio consorciado com leguminosas, uso de húmus de compostagem. Esterco restos de capina ou solos de formigueiros	KLEE, 1980; ALTIERI, 1987
	Compactação dos solos	Rotação de culturas com espécies caracterizadas como adubo verde	SANTIAGO; ROSSETO, 2013
	Poluição atmosférica	Colheita mecanizada e legislação rígida de proibição de queimadas	XAVIER; PITTA; MENDONÇA, 2011
Produção industrial	Resíduos da cogeração de energia elétrica	Emprego das cinzas como enchimento em compostos a base de cimento Portland curados ao ar, etanol de segunda geração	NUNES et al., 2008; OGEDA; PETRI, 2010
	Poluição da água: Vinhaça	Biodigestão anaeróbia, evaporação da vinhaça	POMPERMAYER; PAULA JR., 2000; CARVALHO; SILVA, 2009
	Poluição da água: Torta de filtro	Alimentação de animais ou adubo, após tratamento de vermicompostagem	KUMAR et al., 2010
	Poluição da água: Águas residuais	Reuso: para preparo de produtos, para embebição da moenda ou difusor, utilizar águas da concentração do caldo ou da vinhaça; otimizar as etapas da evaporação	JANUZZI, 2010

Fonte: elaborada pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Toda atividade humana modifica o espaço, porém, essa modificação pode ser mais ou menos nociva ao meio ambiente. É impossível caracterizar uma atividade, principalmente na fase industrial, isenta de impactos ambientais, mas é possível constatar que os maiores danos vêm acompanhados da massificação dos meios de produção e dos anseios de maximização dos lucros.

Os estudos apresentados na literatura indicam que essa degradação ambiental pode ocorrer. Apesar de iniciativas de órgãos públicos no estabelecimento de legislações e incentivos à pesquisa que busquem medidas de mitigação, as mesmas ainda são escassas. Outro importante aspecto é a elevada extensão territorial que o Brasil possui, dificultando assim a fiscalização e aplicação de penalidades quando as leis são infringidas.

Comparado aos combustíveis fósseis, o etanol representa menor risco de impactos ambientais para a atmosfera, considerando a diminuição de compostos que contém enxofre, mas é capaz de gerar outros impactos, como os apresentados nesse trabalho e desconhecidos pela maior parte da população. Durante a produção agrícola, podem-se destacar como principais impactos ambientais a compactação dos solos por tratores e implementos agrícolas, a contaminação de corpos d'água e solos pelo uso intensivo de agrotóxicos, aplicação não controlada de vinhaça, torta de filtro ou escórias de siderurgia e poluição do ar por queimadas da palha da cana-de-açúcar.

Durante a produção industrial, podem-se destacar como principais impactos ambientais a poluição de ar proveniente da queima do bagaço e palhada excedente para geração de energia elétrica e cinzas dessa queima, descarte inadequados da água de lavagem de cana, das águas residuais de condensadores e multijatos, das águas de lavagem de equipamentos e das águas residuais domésticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. A. **Agroecology**: the scientific basis of alternative agriculture. Boulder: Westview Press, 1987.

_____. **Agroecologia**: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.

_____. Traditional farming in Latin America. **The Ecologist**, v. 21, p. 93-96, 1991.

ALVES, P. R. L.; NATAL-DA-LUZ, T.; SOUSA, J. P.; CARDOSO, E. J. B. N. Ecotoxicological characterization of sugarcane vinasses when applied to tropical soils. **Science of the Total Environment**, v. 526, p. 222-232, 2015.

ANDRADE, J. B.; SARNO, P. Química ambiental em ação: Uma nova abordagem para tópicos de química relacionados com o ambiente. **Química Nova**, v. 13, n. 3, p. 212-221, 1990.

ANDRADE, S. J.; CRISTALE, J.; SILVA, F. S.; ZOCOLO, G. J., MARCHI, M. R. Contribution of sugar-cane harvesting season to atmospheric contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Araraquara city, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 24, p. 2913-2919, 2010.

ANDRADE, S. J.; VARELLA, S. D.; PEREIRA, G. T.; ZOCOLO, G. J.; MARCHI, M. R. R.; VARANDA, E. A. Mutagenic activity of airborne particulate matter (PM 10) in a sugarcane farming area (Araraquara city, southeast Brazil). **Environmental Research**, v. 111, n. 4, p. 545-550, 2011.

ARMAS, E. D. A.; MONTEIR, R. T. R. M.; A. V. A., CORREA, R. M. L.; GUERCIO, M. A. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, v. 28, n. 6, 975-982, 2005.

BERNARDES, L. J. L.; BERNARDES, L. B. Granulação em Siderurgia - Escória Agrícola. In: Wamgroup. Disponível em: <<http://www.wamgroup.com/cgi-bin/publications/Granula%C3%A7%C3%A3o%20em%20Siderurgia%20-%20Esc%C3%B3ria%20Agr%C3%ADcola.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2013.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO; C. M.; FREITAS JR., E.; PERES, J. R. R. (Orgs.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/uso_agricola_solos_brasileiros.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2013.

BOSSO, R. M. V.; AMORIM, L. M. F.; ANDRADE, S. J.; ROSSINI, A.; MARCHI, M. R.; LEON, A. P.; CARARETO, C. M. A.; CONFORTI-FROES, N. D. T. Effects of genetic polymorphisms CYP1A1, GSTM1, GSTT1 and GSTP1 on urinary 1-hydroxypyrene levels in sugarcane workers. **Science of the Total Environment**, v. 370, p. 382-390, 2006.

BRASIL. Decreto Nº 76.593, de 14 de novembro de 1975. Institui o Programa nacional do Alcool e dá outras Providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, DF, 14 nov. 1975. Seção 1, p. 15257.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado; 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 20 mai. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O ioma Cerrado**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

BRASIL. Ministro de Estado do Interior. Portaria Nº 158. 1980. Dispõe sobre o lançamento de vinhoto em coleções hídricas e sobre efluentes de destilarias e usinas de açúcar. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 nov. 1980.

BRASIL. Ministro de Estado do Interior. Portaria Nº 323. 1978. Proíbe o lançamento de vinhoto em coleções de água. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 de nov. 1978.

CARON, C. F.; MESSIAS, J. N.; COUTINHO FILHO, J. S.; RUSSI, J. C. V.; WEBER, M. I. Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica. **Tuiuti: Ciência e Cultura**, n. 42, p. 63-73, 2009.

CARVALHO, T. C.; SILVA, C. L. Redução do volume de vinhaça através da evaporação. **Seminário da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**, 4, 2009, Bauru, Anais... Bauru: Unesp, 2009.

CASARA, K. P.; VECCHIATO, A. B.; LOURENCETTI, C. ; PINTO, A. A.; DORES, E. F. G. C. Environmental dynamics of pesticides in the drainage area of the São Lourenço River headwaters, Mato Grosso State, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, p. 1719-1731, 2012.

COLIN, V. L.; JUÁREZ CORTES, T. A.; APARICIO, J. D.; AMOROSO, M. J. Potential application of a bioemulsifier-producing actinobacterium for treatment of vinasse. **Chemosphere**, v. 144, p. 842-847, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, segundo levantamento, agosto/2013 - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 237. 1997. **Diário Oficial da União**, 19/12/1997. Disponível <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia da Cana-de-açúcar: Torta de Filtro**. Disponível em: <<http://cib.org.br/biotec-de-a-a-z/publicacoes/guia-da-cana-de-acucar/aplicacoes/torta-de-filtro/>>. Acesso em: 05 ago. 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. São Paulo, 2005. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 03/12/2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

_____. **Norma técnica P4.231**. 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4_231.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

ELIA NETO, A. Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar. In: MACEDO, Isaías de Carvalho. **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: Unica, 2005.

FRANCISCO, J. P.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, L. B. D.; SILVA, J. B. G.; DIOTTO, A. V. Variations in the chemical composition of the solution extracted from a Latosol under fertigation with vinasse. **Revista Ciência**

Agronômica, v. 47, n. 2, p. 229-239, 2016.

FERRAZ JUNIOR, A. D. N. ; WENZEL, J. ; ETCHEBEHERE, C. ; ZAIAT, M. Effect of organic loading rate on hydrogen production from sugarcane vinasse in thermophilic acidogenic packed bed reactors. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 30, p. 16852-16862, 2014.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Pesquisadores desvendam código de defesa da cana-de-açúcar. 2014. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/18973>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manejo do Solo. **Tecnologias de Produção de Soja**. Paraná, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosojaPR/manejo.htm>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

GARCIA, G.; CARDOSO, A. A.; SANTOS, O. A. M. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1468-1476, 2013.

GOLDEMBERG, J.; NIGRO, F. E. B.; COELHO, S. T. **Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, v. 36, n. 6, p. 2086-2097, 2008.

GREENPEACE. O Protocolo de Kyoto. Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2014.
HESS, D. B., RAY, P. D., STINSON, A.

E., PARK, J. Determinants of exposure to fine particulate matter (PM 2.5) for waiting passengers at bus stops. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 39, p. 5174-5182, 2010.

HULSCHER, TEN TH. E. M.; CORNELISSEN, G. Effect of temperature on sorption equilibrium and sorption kinetics of organic micropollutants - a review. **Chemosphere**, v. 32, n. 4, p. 609-629, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=15>. Acesso em: 15 abr. 2013.

_____. **Censo Agropecuário de 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/>>. Acesso em: 30 mar. 2013.

JANUZZI, G. M. Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. 1ª. Ed. São Paulo: Blucher, 2010. Capítulo 8, parte 2, p. 272-277.

JENDIROBA, E. Questões ambientais no manejo da agroindústria canavieira. In: ____ SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. Capítulo 21, p. 347-357.

KLEE, G.A. **World systems of traditional resources management**. New York: John Wiley and Sons, 1980.

KUMAR, R.; VERMA, D.; SINGH, B. L.; KUMAR, U.; SHWETA. Composting

of sugar-cane waste by-products through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 17, p. 6707-6711, 2010.

LAZARO, C. Z.; VARESCHE, M. B. A.; SILVA, E. L. Sequential fermentative and phototrophic system for hydrogen production: An approach for Brazilian alcohol distillery wastewater. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 40, n. 31, p. 9642-9655, 2015.

LEITE, A. F.; JANKE, L.; HARMS, H.; ZANG, J. W.; FONSECA-ZANG, W. A.; STINNER, W.; NIKOLAUSZ, M. Assessment of the Variations in Characteristics and Methane Potential of Major Waste Products from the Brazilian Bioethanol Industry along an Operating Season. **Energy and Fuels**, v. 29, n. 7, p. 4022-4029, 2015.

LIMA, A. M. ; SOUZA, R. R. Use of sugar cane vinasse as substrate for biosurfactant production using bacillus subtilis pc. **Chemical Engineering Transactions**, v. 37, p. 673-678, 2014.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pinhal, Limeira-SP**. 2005. 171p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 369-375.

MIYAMOTO, T.; KAMEYAMA, K.; NAKAJIMA, T. Reduction in saturated and unsaturated hydraulic conductivities of an andisol by vinasse application. **Soil Science Society of**

America Journal, v. 77, n. 1, p. 1-7, 2013.

MICHELLON, E.; SANTOS, A. A. L.; RODRIGUES, J. R. A. Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil. **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 46, 2008, Rio Branco, Anais... Rio Branco: 2008.

MONTANARI, R.; MARQUES JR, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M. Caracterização química de resíduos da indústria metalúrgica para fins de uso agrícola. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 79-88, 2008.

MORAES, M. A. F. D. O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades. **Economia Aplicada**, v. 11, n. 4, p. 605-619, 2007.

MORAES, B. S.; JUNQUEIRA, T. L.; PAVANELLO, L. G.; CAVALETTI, O.; MANTELATTO, P. E.; BONOMI, A.; ZAIAT, M. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? **Applied Energy**, v. 113, p. 825-835, 2014.

MORAES, B.S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 888-903, 2015.

MOTA, V. T.; Araújo, T. A.; Amaral, M. C. S. Comparison of aerobic and anaerobic biodegradation of sugarcane vinasse. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 176, n. 5, p. 1402-1412, 2015.

MURATA, K. B.; SANTOS, C. E. D.; TERÁN,

F. J. C. Remoção de nitrogênio amoniacal em um reator biológico operado com baixas concentrações de oxigênio dissolvido. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 7, n. 12, 2012.

NEDER, H. D.; FILHO, N. A.; MUNIZ, R. S. As implicações sociais e econômicas das alterações no padrão de produção agrícola no Brasil: Produção de biocombustíveis, agricultura famílias, desenvolvimento rural e segurança alimentar. IPEA: Brasília, 2013.

NOGUEIRA, E. N.; DORES, E. F. G. C.; PINTO, A. A.; AMORIM, R.S.S.; RIBEIRO, M. L.; LOURENCETTI, C. Currently used pesticides in water matrices in Central-Western Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, p. 1476-1487, 2012.

NOLASCO JR., J. **Eficiência de processo térmico para mostos a base de caldo de cana e melaço na produção de bioetanol**. 2010. 221 p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

NUNES, I. H. S.; VANDERLEI, R. D.; SECCHI, M.; ABE, M. A. P. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. **Revista Tecnológica**, n. 17, p. 39-48, 2010.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F.S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **Fertilizer use by crop**. 4.ed. Rome: FAO/IFA/IFDC. 1999. 52p. ORTEGÓN, G. P.; ARBOLEDA, F. M.;

CANDELA, L.; TAMOH, K.; VALDES-ABELLAN, J. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). **Science of the Total Environment**, v. 539, p. 410-419, 2016.

PRADO, G. F.; ZANETTA, D. M. T.; ARBEX, M. A.; BRAGA, A. L.; PEREIRA, L. A. A.; MARCHI, M. R. R.; LOUREIRO, A. P.M.; MARCOURAKIS, T.; SUGAUARA, L. E.; GATTAS, G. J. F.; GOLÇALVES, F. T.; SALGE, J. M.; TERRA-FILHO, M.; SANTOS, U. P. Burnt sugarcane harvesting: Particulate matter exposure and the effects on lung function, oxidative stress, and urinary 1-hydroxypyrene. **Science of the Total Environment**, v. 437, p. 200-208, 2012.

PRADO, R. D. M. ; CAIONE, G. ; CAMPOS, C. N. S. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, Article ID 581984, 8 pages, 2013.

PINTO, C. P. **Tecnologia da Digestão Anaeróbia da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável**. 1999. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

POMPERMAYER, R. S. PAULA JR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. **Encontro de Energia no Meio Rural**, 3, 2000, Campinas, Anais... Campinas: 2000.

QUEIROZ, P. G. M.; JACOMINO, V. M. F.; MENEZES, M. A. B. C. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p.

1233-1239, 2007.

RACKE, K. D.; SKIDMORE, M. W.; HAMILTON, D. J.; UNSWORTH, J. B.; MIYAMOTO, J.; COHEN, S. Z. Pesticides fate and tropical soils. **International Union of Pure and Applied Chemistry**, v. 69, n. 6, p. 1349-1371, 1997.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Ponderação do impacto ambiental dos resíduos e subprodutos da produção industrial sucroenergética. **Revista Gestão Industrial**, v. 9, n. 2, p. 392-415, 2013.

REIS, C.M.; CAROSIA, M.F.; SAKAMOTO, I. K.; AMÂNCIO VARESCHE, M. B.; SILVA, E. L. Evaluation of hydrogen and methane production from sugarcane vinasse in an anaerobic fluidized bed reactor. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 40, n. 27, p. 8498-8509, 2015.

RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil**. Porto Alegre: Amigos da Terra Brasil, 2006.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A.; CANTARELLA, H. Manutenção da fertilidade e recuperação dos solos na cultura da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Edgard Bluncher Ltda., 2010. cap. 3, v. 1, p. 381-403.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. Cultivo Mínimo. **Árvore do conhecimento de Cana-de-Açúcar. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_85_22122006154841.html> Acesso em: 13 jul. 2013.

SADEGHI, S. H.; HAZBAVI, Z.; HARCHEGANI, M. K. Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biochar. **Science of the Total Environment**, v. 541, p. 483-490, 2016.

SADEGHI, S. H. R.; SHARIFI, E. M.; KHALEDI, A. D. Effects of subsequent rainfall events on runoff and soil erosion components from small plots treated by vinasse. **Catena**, v. 138, p. 1-12, 2016.

SALOMON, K. R. Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade. 2007. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Adubação Verde. **Árvore do conhecimento de Cana-de-Açúcar. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_36_711200516717.html> Acesso em: 13 jul. 2013.

SANTIAGO, A. D.; IVO, W. M. P. M.; BARBOSA, G. V. S.; ROSSETTO, R. Impulsionando a produtividade e a produção agrícola da cana-de-açúcar no Brasil. **Workshop Internacional sobre Desenvolvimento da Agricultura Tropical**, 2006, Brasília, Anais... Brasília: 2006, p. 1-4.

SANTOS, L. G.; LOURENCETTI, C. ; PINTO, A. A.; PIGNATI, W. A. ; DORES, E. F. G. C. Validation and application of an analytical method for determining pesticides in the gas phase of ambient air. **Journal of Environmental Science and Health. Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 46, p. 150-162, 2011.

SANTOS, S. C.; ROSA, P. R. F.; SAKAMOTO, I. K.; AMÂNCIO VARESCHE, M. B.; SILVA, E. L. Hydrogen production from diluted and raw sugarcane vinasse under thermophilic anaerobic conditions. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 18, p. 9599-9610, 2014.

SÃO PAULO. **Lei 11.241**, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Lex: Diário Oficial do Estado de São Paulo**, //2002. Disponível em: <http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Repositorio/24/Documentos/Lei%20Estadual_11241_2002.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente; Secretaria da Agricultura e Abastecimento; União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. **Protocolo Agro-Ambiental do Setor Sucroalcooleiro Paulista**. São Paulo, 4 jun. 2007. Disponível em <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/files/2011/10/protocoloAgroindustriais.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

SÃO PAULO. Secretária de Meio Ambiente. **Resolução SMA nº 14/05**, de 15 de março de 2005. Estabelece critérios e procedimentos para licenciamento ambiental prévio de destilarias de álcool e usinas de açúcar. **Lex: Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 15/03/2005. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/resolucoes-sma/resolucao-sma-102-2010/>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

SÃO PAULO. Secretária de Meio Ambiente. **Resolução SMA nº 42/06**, de 24 de outubro de 2006. Estabelece critérios e procedimentos para licenciamento ambiental prévio de destilarias de álcool, usinas de açúcar e unidades de fabricação de aguardente. **Lex: Diário Oficial do Estado de**

São Paulo, 24/10/2006. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2006_Res_SMA_42.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2013.

SÃO PAULO. Secretária de Meio Ambiente. **Resolução SMA nº 67/08**, de 18 de setembro de 2008. Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. **Lex: Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 18/09/2008. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_SMA_67.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2013.

SÃO PAULO. Secretária de Meio Ambiente. **Resolução SMA nº 88/08**, de 19 de dezembro de 2008. Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. **Lex: Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 19/12/2008. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_SMA_88.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2013.

SÃO PAULO. Secretária de Meio Ambiente; Secretária da Agricultura e Abastecimento. **Resolução SMA nº 04/08**, de 18 de setembro de 2008, Dispõe sobre o Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. **Lex: Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 18/09/2008. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_Conj_SMA_SAA_4.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2013.

SÃO PAULO. Secretária de Meio Ambiente; Secretária da Agricultura e Abastecimento. **Resolução SMA nº 06/09**, de 24 de setembro de 2009. Altera o Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo.

Lex: Diário Oficial do Estado de São Paulo, 24/09/2009. Disponível em: <http://www.udop.com.br/download/legislacao/meio/zoneamento/res_sma_conj_6.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2013. SHIKIDA, P. F. A.; BACHA, C. J. C. Evolução da agroindústria canavieira brasileira de 1975 a 1995. **Revista Brasileira de Economia**, v. 53, n. 1, p. 69-90, 1999.

SILVEIRA, G. P.; NOME, F.; GESSER, J. C.; SÁ, M. M.; TERENZI, H. Estratégias utilizadas no combate a resistência bacteriana. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 844, 2006.

SOARES, W. L.; PORTO, M. F. Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 131-143, 2007.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes de aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 32, p. 675-688, 2008.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química Ambiental**. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755-760. 2004.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos de sistemas de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 83-91, 1999.

STUMP, D. A aplicação da tecnologia multicompostível no transporte aéreo. **Sustentabilidade e tecnologias de baixo carbono no Brasil**. USP. 2011. Disponível em: <http://www.usp.br/mudarfuturo/2011/pdf/sustentabilidade_e_tecnologias_de_baixo_carbono_no_brasil.pdf#page=69> Acesso em: 10 mai. 2013.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 16, p. 23-39, 2005.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Relatório final da Safra 2012/2013: Região Centro-Sul do Brasil**. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=83>. Acesso em: 25 jul. 2013.

VIAN, C. E. F. Energia elétrica. **Árvore do conhecimento de Cana-de-Açúcar**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_131_22122006154842.html>. Acesso em: 13 jul. 2013.

XAVIER, C. V.; PITTA, F. T.; MENDONÇA, M. L. Monopólio na produção de etanol no Brasil: A fusão Cosan-Shell. **Direitos Humanos no Brasil**, 2011, p. 45.

Recebido em: 22/09/2016

Aprovação final em: 22/11/2016