

BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR: UM EXEMPLO DE SUSTENTABILIDADE

Gisele Nascimento Corbanezi (IC) e Sílvia Velázquez (orientadora)

Apoio: PIBIC Mackenzie/MackPesquisa

Resumo

A crise mundial energética na década de 70 levou países de todo o mundo a buscarem alternativas aos combustíveis fósseis. Nesse contexto, são voltadas atenções para o etanol derivado da cana-de-açúcar. No cenário nacional surgiu a necessidade de um plano para minimizar o impacto econômico negativo devido à dependência de 80% do petróleo internacional, que somado à iniciativa de preservar as reservas nacionais para o futuro, proporcionou a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Com o incentivo do governo e o surgimento no mercado de veículos que possuíam motores capazes de funcionar com etanol puro e hidratado, sua produção aumentou consideravelmente no país. A presente pesquisa visa apresentar o etanol proveniente da cana-de-açúcar como alternativa aos combustíveis fósseis, e parte de uma análise de práticas sustentáveis para sua produção e utilização, com o objetivo de aproximar a viabilidade produtiva e a coexistência harmônica com o ambiente. Após o levantamento do histórico do etanol desde o processo que antecede sua produção até a sua queima no motor dos automóveis, o biocombustível se mostrou capaz de substituir os combustíveis fósseis minimizando os impactos ambientais. Porém, ainda há barreiras que impedem o etanol de ser utilizado como único combustível presente na frota veicular como, por exemplo, o preço da gasolina que consegue se manter constante, ou sofrer pequenos aumentos, enquanto o do etanol depende da sazonalidade da cana-de-açúcar e do interesse das usinas em produzi-lo.

Palavras-chave: bioetanol, cana-de-açúcar, práticas sustentáveis.

Abstract

The global energy crisis in the 70's made many countries from the entire world seek new alternatives to the fossil fuels. On this context, the sugar cane derivative, ethanol, draws attention towards itself. On the national scene, the necessity rises, for a new plan to minimize the negative impacts of the dependence on 80% of imported oil, which sum with the desire to preserve the national oil reserves, culminating in the creation of the Proálcool program (National Alcohol Program). With government incentives and the emergence of the new ethanol powered motors in the automotive industries, the national ethanol production rose considerably. This research aims to present the sugar cane derivative ethanol as an alternative to the fossil fuels, and it is based on the analysis of sustainable and environment friendly practices of its production and uses, with the objective of bringing together the

production viability and the harmonical coexistence with the environment. After a survey of the ethanol history, from the processes that precedes its production, until its burning inside a motor, this biofuel showed itself capable of replacing the fossil fuels in order to minimize environmental impacts. However, there are still some barriers that prevents the ethanol from being the single fuel present in the automotive fleet, as for example, the stable price of gasoline or with small variations, while the ethanol price floats with the seasonality of the sugar cane and with the interest of the sugar plants to produce it.

Keywords: bioethanol, sugar cane, sustainable practices.

1 INTRODUÇÃO

O forte crescimento da industrialização a partir do século XX demandou a exploração de uma fonte que fosse capaz de atender à grande demanda por energia. Nesse contexto a exploração do petróleo foi o caminho mais viável, pois oferecia alta densidade energética e disponibilidade no período. Com o crescente consumo e sua característica fóssil, as jazidas de petróleo começaram a se tornar escassas, o que levou a uma intensa crise energética global na década de 70, fazendo com que países de todo o mundo buscassem alternativas aos combustíveis fósseis (RODRIGUES, 2010).

O aumento dos preços internacionais do petróleo se tornou um peso econômico excessivo para o Brasil, cuja dependência de importações, na época, ultrapassava 80% (LEITE, 2010). Os gastos com sua importação se expandiram de 600 milhões de dólares, em 1973, para 2,5 bilhões de dólares, em 1974, provocando um déficit na balança comercial de 4,7 bilhões de dólares. Dessa maneira, tais resultados passaram a pesar fortemente na dívida externa brasileira e na escalada da inflação (KOHLHEPP, 2010).

Para contornar a situação, o país iniciou em 1975 o Proálcool (Programa Nacional do Álcool), que almejava como principal meta a independência energética brasileira, incentivando progressivamente o uso de alternativas energéticas que valorizassem sua produção interna. Neste cenário, surgiu o bioetanol proveniente da cana-de-açúcar como alternativa viável, pois era capaz de unir a potente produção histórica brasileira ligada ao açúcar com políticas estatais de incentivo (KOHLHEPP, 2010).

O Proálcool, portanto, abriu caminhos alternativos ao uso dos combustíveis fósseis. Seus incentivos visavam: à definição de níveis mínimos mais altos no teor de bioetanol anidro na gasolina, que foram progressivamente elevados até atingirem 25%; garantia de um preço mais baixo para o etanol hidratado com relação ao preço da gasolina; garantia de remuneração competitiva para o produtor de bioetanol (subsídio de competitividade); facilidade e condições favoráveis de linhas de crédito para usineiros incrementarem sua capacidade de produção; redução dos impostos para veículos a bioetanol hidratado; obrigatoriedade de venda de bioetanol nos postos de abastecimento e a adoção de estratégias de abastecimento nos períodos de entressafras (BNDES, 2008).

A partir destes incentivos, a produção de etanol aumentou consideravelmente no país devido ao surgimento no mercado de veículos que possuíam motores especiais para funcionar com etanol puro e hidratado (GOLDEMBERG, 2008). Porém, vários fatores influenciaram o desinteresse do consumidor por esses veículos, sendo a queda do preço internacional do petróleo e o aumento do preço internacional do açúcar, fatores que levaram

os produtores a direcionar sua produção para este derivado e, principalmente, a deficiente tecnologia dos motores a etanol hidratado (JOSEPH JR, 2010).

Entretanto, para reverter o quadro do etanol no Brasil, a introdução de veículos bicomcombustíveis (*flex fuel*), ou seja, veículos com motores capazes de processar tanto gasolina quanto etanol, em março de 2003, foi um ponto de inflexão no mercado de combustíveis alternativos. A tecnologia *flex fuel*, importada dos Estados Unidos, fora adaptada aos padrões brasileiros, barateando seu custo e sendo introduzida na montagem dos carros populares (JOSEPH JR, 2010).

Os veículos *flex fuel* são automóveis leves, com motores de Ciclo Otto e que funcionam com gasolina ou etanol hidratado tanto puros ou em qualquer proporção destes, gerando ao proprietário do veículo a oportunidade de escolha de combustível em função da disponibilidade e do preço.

A grande diferença estrutural na configuração dos motores dos veículos *flex fuel* com relação aos que utilizam único combustível está no sistema de gerenciamento eletrônico da injeção e ignição do combustível. Esta tecnologia já vinha sendo desenvolvida há vários anos no Brasil. A partir de 2002, porém, quando os veículos *flex fuel* passaram a ter o mesmo tratamento fiscal que os carros movidos a etanol, surgiu a oportunidade de lança-los no mercado brasileiro (MITSUTANI, 2010). A aceitação significativa desses veículos possibilitou uma mudança no cenário de produção do etanol, chegando a crescer 10% ao ano (JOSEPH JR, 2010).

Apesar do aspecto econômico, o ponto focal sobre a viabilidade dos biocombustíveis substituírem os combustíveis fósseis é a sustentabilidade, que engloba desde os potenciais benefícios socioeconômicos para a população rural, como geração de eletricidade e bombeio d'água em regiões menos favorecidas, até a potencial redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), considerando todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde o início do seu processo produtivo até seu uso final nos veículos (WALTER; LEAL, 2010).

Assim, os biocombustíveis ocupam o centro das atenções nacionais e internacionais, em parte, por conta do aumento excessivo do preço do petróleo e da discussão mundial sobre a diminuição das emissões de CO₂ pelo uso de energias renováveis (KOHLHEPP, 2010).

Biocombustíveis são produtos à base de plantas e dentre as matérias-primas do etanol, a cana-de-açúcar encontrou melhor adaptação à geografia brasileira e às políticas nacionais de incentivo. A partir do Próálcool e da expansão dos motores flexíveis, houve gradativamente uma expansão do setor canavieiro visando suprir o mercado consumidor. Assim, todas as etapas da cadeia de extração do etanol a partir da cana-de-açúcar

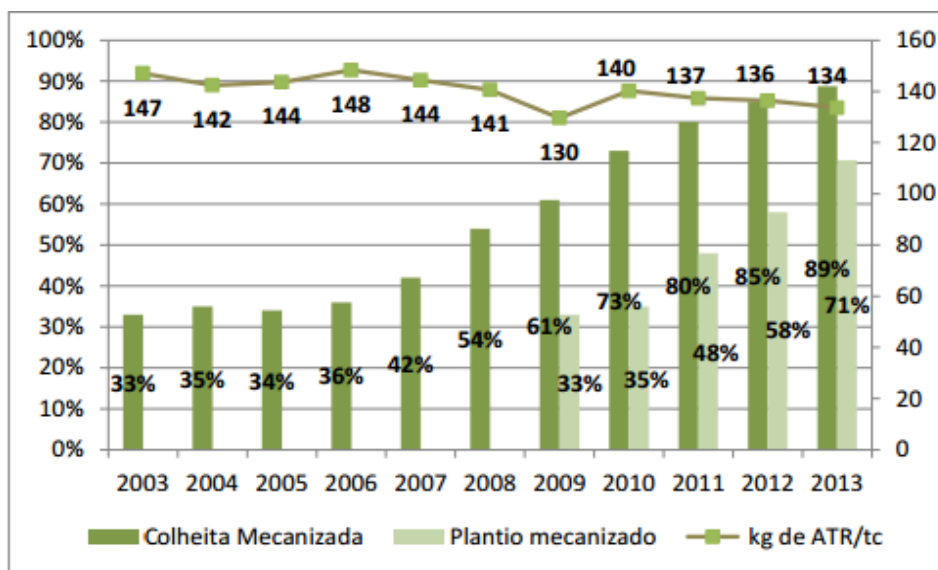
começaram a ser exaustivamente analisadas pelos especialistas com finalidade de torná-la sustentável ao ambiente (FRONZAGLIA; MARTINS, 2010).

O intenso desenvolvimento durante décadas resultou em lavouras de alta produtividade para a produção de etanol. O cultivo particular de diferentes espécies, que variam de acordo com os tipos de solos, épocas de plantio e ocorrência de chuvas, somado aos sucessivos avanços em todas as fases de produção permitiu que a indústria atingisse um elevado grau de eficiência, com o reaproveitamento de subprodutos da agricultura e da área industrial, sendo capaz de gerar uma produção em um ciclo fechado em que nada é desperdiçado. O clima propício da região Centro-Sul do Brasil, caracterizado por duas estações, uma quente e úmida, perfeita para o desenvolvimento da planta e outra mais fria e seca, excelente para a concentração da sacarose, contribuiu de forma decisiva para fazer do Estado de São Paulo a principal região produtora de cana do mundo (FESSEL, 2008).

O Estado é um exemplo de sustentabilidade, pois elaborou um plano de sucesso que previa o equacionamento em curto prazo abrangendo o uso do fogo controlado, ou seja, método antes utilizado para facilitar o corte da cana-de-açúcar na colheita, conforme estabelecido em 2007 pelo protocolo Agroambiental. Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) afirmam que apenas 47% da cana era colhida sem o uso do fogo no Estado de São Paulo em 2007, ano em que o acordo foi firmado. Em 2012 o número saltou para 73%, e a expectativa do Instituto para 2013 era de atingir 81% e 90% em 2014 (UNICA, 2013).

O gráfico 1, a seguir, mostra que não somente a expectativa de 2013 fora atingida, como a de 2014 já estava próxima ainda no ano anterior. Porém, apesar do cumprimento do acordo em reduzir o uso do fogo, a qualidade da cana se mostrava baixa, demonstrando que apesar do avanço mecanizado, alguns fatores como: preparação adequada do solo durante o plantio, alinhamento correto do canavial, qualificação apropriada dos operadores e a adaptação das variedades de cana para o corte mecânico se mostram como pontos de atenção. Os dados são apontados no relatório de 2013 da EPE – Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2013). A presente pesquisa retratará o cenário atual da colheita mecanizada.

Gráfico 1 - Colheita e Plantio mecanizados x Qualidade da cana na região Centro-Sul



Fonte: EPE, 2013.

Outro aspecto significativo é a cogeração de energia nas usinas de açúcar e álcool, em que utilizam o bagaço da cana – resíduo da produção de açúcar e álcool – como combustível nas caldeiras para produção de vapor. Este vapor, além de ser consumido no processo de fabricação do etanol, é também utilizado para a geração de energia elétrica, e o excedente de eletricidade gerado pode ser comercializado através das concessionárias, contribuindo para suprir crescentes necessidades de demanda. Além dos aspectos técnicos, são avaliados os aspectos econômicos, como investimentos e custos para geração de eletricidade (COELHO, 1992).

O modelo ideal de sustentabilidade não se restringe à produção primária de etanol, mas também possui um fundamental papel nos setores dependentes desta produção. O setor automobilístico e de veículos em geral é um dos principais focos da política nacional de incentivo sustentável, uma vez que estes têm considerável emissão de CO₂ (SOUSA; MACEDO, 2009). A adoção de motores *flex fuel* pelo setor de transportes auxiliou, significativamente, na redução da emissão de gases poluentes, uma vez que o etanol é o combustível de baixa toxidez e, diferentemente da gasolina, contém oxigênio em sua estrutura química, o que contribui para que sua combustão no motor ocorra de forma mais completa e resulte em menor emissão de poluentes (SZWARC, 2010).

A principal causa da liberação de poluentes atmosféricos nas aglomerações urbanas é a grande concentração de transportes de passageiros e de cargas que utilizam combustíveis fósseis. Com isso, as populações locais e regionais ficam expostas aos riscos e impactos negativos dessa poluição, tanto pela exposição direta à poluição quanto pela

dispersão dos poluentes, causadas por efeitos meteorológicos e topográficos e pela influência das edificações urbanas na ventilação local. Embora a intensificação do efeito estufa não seja considerada um problema propriamente urbano, tais fatores contribuem de forma significativa para a ocorrência deste fenômeno (SZWARC, 2010). Entretanto, a adoção do etanol em grandes cidades reduz a poluição atmosférica e os gastos públicos com problemas de saúde ligados à qualidade do ar (FESSEL, 2008).

Neste contexto, sugere-se, a partir do estudo dos dados coletados, a apresentação do etanol proveniente da cana-de-açúcar como alternativa sustentável aos combustíveis fósseis.

1.1 Objetivos

Este estudo tem por objetivo apresentar o etanol derivado da cana-de-açúcar como alternativa aos combustíveis fósseis, partindo de uma análise de práticas sustentáveis para sua produção e sua utilização. Para atender ao objetivo são oferecidos subsídios de modo a estimular a discussão do tema etanol e sustentabilidade, além da substituição do uso de combustíveis fósseis pelo uso de etanol, uma vez que muitos ainda não possuem a conscientização dos impactos ambientais causados pelas fontes de combustíveis não renováveis.

1.2 Justificativa

A justificativa deste trabalho se dá a partir da necessidade de incentivar o uso de combustíveis renováveis como alternativa sustentável para o funcionamento dos motores de veículos em geral, com foco no etanol proveniente da cana-de-açúcar por se tratar de uma fonte energética renovável, desde sua cadeia produtiva até sua queima no motor dos meios de transporte, mas que ainda possui impeditivos para se tornar o principal combustível utilizado como, por exemplo, o preço da gasolina que quando comparado ao do etanol apresenta certa vantagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Situação do setor energético brasileiro

Apesar de o Brasil ter conquistado um espaço significativo no setor energético mundial, quando se avalia a matriz energética brasileira, nota-se que o consumo de energia no Brasil ainda é baixo. Segundo dados da EPE – Empresa de Pesquisa Energética, em 2015 a oferta interna de energia disponibilizada no país atingiu 299,2 Mtep, apresentando uma redução de 2,1% quando comparada ao ano anterior. Parte desta queda se deve ao

comportamento da oferta de petróleo e derivados no Brasil, que registrou uma retração de 7,2% no período, devido ao superávit nos fluxos de importação e exportação destas fontes energéticas, além do enfraquecimento da atividade econômica no período, perceptível no número do PIB nacional que contraiu 3,8%, segundo dado divulgado pelo IBGE (EPE, 2016).

A tabela 1 apresenta dados que mostra que o Brasil possui a maior parcela de sua oferta energética concentrada em fontes não renováveis, ou seja, cerca de 58,8%, sendo 37,3% oriunda de petróleo e derivados. Apesar da oferta energética nacional apresentar a menor parcela de fontes renováveis (41,2%), o Brasil apresenta uma matriz significativamente limpa, em que 16,9% de energia é representada por derivados da cana-de-açúcar (EPE, 2016).

Tabela 1 – Oferta interna de energia 2015/2014

Fonte (Mtep)	2015	2014
RENOVÁVEIS	123,2	120,5
Energia hidráulica ¹	33,9	35,0
Biomassa da cana	50,6	48,2
Lenha e carvão vegetal	24,5	24,9
Lixívia e outras renováveis	14,2	12,4
NÃO RENOVÁVEIS	176,0	185,1
Petróleo e derivados	111,6	120,3
Gás natural	41,0	41,4
Carvão mineral	17,7	17,5
Urânio (U ₃ O ₈)	3,9	4,0
Outras não renováveis	1,8	1,8

Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

2.2 Situação atual do setor sucroalcooleiro no Brasil

Segundo FESSEL (2008), características climáticas, como o clima de duas estações, uma quente e úmida, perfeita para o desenvolvimento da planta e outra mais fria e seca, excelente para a concentração de sacarose contribuíram significativamente para fazer do Estado de São Paulo a principal região produtora de cana do mundo.

De acordo com dados do Procana, o setor sucroalcooleiro foi responsável por aproximadamente 2% do PIB nacional e por 31% do PIB da agricultura no Brasil em 2012, gerando cerca de 4,5 milhões de empregos. Dados do Ministério da Agricultura e Pecuária confirmam que o Brasil produziu próximo de 590 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, com destaque na região Centro-Sul que foi responsável por aproximadamente 90% desta

produção. A região é responsável por produzir em 2012 aproximadamente 90% do etanol no país e 87% de açúcar (BIOSEV, 2013). Na mesma região, a produção apresenta um aumento na safra seguinte (2013/2014), registrando uma produção de 597,06 milhões de toneladas processadas. Porém, em 2015 o setor é caracterizado por uma queda de produção, registrando 571,34 milhões de toneladas, ou seja, uma redução de 4,31% com relação à safra anterior (UNICA, 2015).

Além da contribuição direta para o PIB no setor sucroalcooleiro, a produção significativa de cana-de-açúcar representa parte da energia elétrica comercializada no país. Isto se dá pelo fato das usinas utilizarem a queima do bagaço da cana para cogeração de eletricidade para suprir a própria produção, porém muitas usinas geram excedentes dessa energia elétrica, comercializando-a. A capacidade instalada de cogeração a partir do bagaço da cana atingiu cerca de 10 mil Megawatt (MW) de potência, representando 7% da matriz energética brasileira, atrás apenas das fontes hídricas e gás natural (VALOR ECONÔMICO, 2015).

2.3 Sustentabilidade dos Biocombustíveis - Introdução ao Bioetanol

Considerando o ciclo de vida, ou seja, desde o início do processo produtivo até o uso final nos veículos, os biocombustíveis têm sido o ponto focal das discussões mais recentes sobre sua viabilidade enquanto substitutos dos combustíveis fósseis. Porém, há uma expectativa alta em função das razões apresentadas para a produção e utilização dos biocombustíveis em larga escala. Há três condições que precisam ser simultaneamente consideradas para que sejam aceitos como solução adequada:

- 1) Propiciar real contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa, a custos relativamente baixos;
- 2) Não causar danos ambientais significativos, de impacto local ou regional, ou seja, onde a produção e o consumo ocorrem, ou em regiões próximas;
- 3) Alcançar benefícios reais pelos segmentos sociais diretamente envolvidos com sua produção.

Há três pilares que mantêm o termo sustentabilidade: uma atividade econômica precisa ser economicamente viável, socialmente desejável e ambientalmente adequada (WALTER; LEAL, 2010).

Em relação aos biocombustíveis é preciso que sua produção seja economicamente viável em relação aos combustíveis tradicionais (isto é, gasolina e diesel) sem a necessidade de contínuos subsídios, mas que também os custos das emissões evitadas, expressos, por exemplo, em \$/tCO₂ evitado, sejam moderados em relação aos das demais alternativas de mitigação. Entre os biocombustíveis apenas o etanol produzido a partir da

cana-de-açúcar, no Brasil, tem custos de produção menores que os da gasolina, e uma vez que o balanço de emissões de GEE do etanol brasileiro é o mais favorável entre os biocombustíveis existentes, os custos das emissões evitadas também são menores. Tal fato é reconhecido internacionalmente e, conseqüentemente, a dimensão econômica da sustentabilidade da produção de etanol não tem sido questionada, diferentemente do etanol produzido a partir de milho e trigo, bem como em relação ao biodiesel (WALTER; LEAL, 2010).

Além das vantagens ambientais, a produção de etanol movimenta um número considerável de geração de empregos nas regiões de sua produção. Em março de 2016 foi promovida a abertura 3.807 postos de trabalhos formais, surpreendentemente 75% a mais que em março de 2015. O Estado de São Paulo é responsável por 70% das contratações do setor, impulsionando o número de empregados na região. As contratações formais ganharam força nos últimos anos, qualificando a mão-de-obra e diminuindo os riscos antes enfrentados pelos trabalhadores (FORÇA SINDICAL, 2016).

2.3 Tecnologias de produção do etanol

A cadeia produtiva do etanol é composta por uma série de etapas, entre elas: o plantio, a colheita e o transporte da cana-de-açúcar, a obtenção de substrato para fermentação, a fermentação e a destilação. Alguns países, como o Brasil, estão tomando medidas mitigadoras com relação à questão da poluição atmosférica e, como exemplo, tem-se o Estado de São Paulo, que criou em 2002 uma lei estadual que previa eliminar a queima de cana até 2021 nas áreas mecanizáveis e até 2031 naquelas não mecanizáveis. Porém, em 2013, o protocolo assinado pelo setor sucroalcooleiro com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Protocolo Agroambiental) reduziu o prazo de 2021 para 2014 e de 2031 para 2017, para lavouras mecanizáveis e para áreas em que as máquinas não entram, respectivamente, devido à preocupação com a poluição mundial. A nova regulamentação segue em acompanhamento pela secretaria e prevê a aplicação de multas para os que não a cumprirem (NOVACANA, 2013).

A preocupação em acabar com as queimadas gerou a necessidade do desenvolvimento de tecnologias, desde o plantio e colheita da cana, que se adequassem às novas políticas de cultivo (WINTER et al., 2010). O desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias vêm ganhando força no setor, como pulverizadores na versão canavieira e colhedoras que trazem o Controle Integrado da Altura do Corte de Base (CICB), um sistema inteligente capaz de controlar eletronicamente a pressão de apoio dos divisores de linha flutuantes, devido a irregularidades do solo. Apesar dos avanços tecnológicos na indústria canavieira, ainda há defasagem na oferta de mão-de-obra qualificada para operar os

equipamentos, porém, simuladores vêm sendo desenvolvidos para mitigar os riscos oferecidos aos operadores. Graças a esse progresso, o trabalho no campo pode ser monitorado, garantindo que os dados cheguem aos escritórios diariamente (NOVACANA, 2014).

2.5 Cogeração de energia

As necessidades energéticas de destilarias autônomas, relacionadas às demandas de calor, eletricidade e energia mecânica, são atendidas pelo processo de cogeração de energia, em que a biomassa residual gerada no processo é consumida. O bagaço da cana de açúcar, atualmente utilizado como combustível em todas as usinas de cana no país, é consumido em sistemas a vapor, permitindo a redução do consumo de combustível fóssil com aumento da geração de excedentes de eletricidade.

Investimentos em novas tecnologias para o melhoramento das etapas da produção do etanol são também encontrados na cogeração de energia como, por exemplo, a substituição de antigas turbinas de simples estágio por turbinas multiestágio, de maior eficiência, possibilitando o aumento da geração de excedentes de eletricidade no sistema de cogeração, permitindo, inclusive, a comercialização de excedentes (NOVACANA, 2015).

2.6 Aspectos ambientais da utilização do etanol

Lucon (2008 apud COELHO et al., 2010) declara que com a necessidade de redução das emissões globais de carbono e, por consequência, a redução do uso de combustíveis fósseis, os biocombustíveis ganharam destaque no cenário internacional, em especial, o etanol brasileiro para uso veicular, que possui balanço energético favorável. Os impactos ambientais da indústria sucroalcooleira consideram desde aspectos da cultura da cana, passando pelo processo industrial, até o uso final pelos veículos e, entre eles destacam-se os efeitos na qualidade do ar e no clima global, no uso do solo e biodiversidade, na conservação do solo, nos recursos hídricos e o uso de defensivos e fertilizantes. Sob a perspectiva da análise de ciclo de vida, a bioenergia contribui significativamente para o desenvolvimento sustentável, a partir do pressuposto que possui menores impactos ambientais que as energias de origem fóssil, além de propiciar segurança no fornecimento local de energia no longo prazo, induzir novas tecnologias, gerar empregos e renda. O autor defende ainda, o etanol de cana como uma das melhores opções para amenizar as emissões de gases de efeito estufa, pois seu balanço energético (unidade de energia renovável extraída por unidade de energia fóssil inserida) é extremamente favorável, atingindo, 8,9:1, com emissões evitadas de 2,86 e 2,16 t CO₂eq./m³, para o etanol anidro e hidratado, respectivamente.

Apesar da produção de etanol apresentar baixa emissão de poluentes quando comparado aos combustíveis fósseis, há projetos que visam reduzir ainda mais os níveis de emissão através da captação do dióxido de carbono produzido nas dornas de fermentação. O projeto RCCS – *Renewable CO₂ capture and storage from sugar fermentation industry in São Paulo state* realizou diversos estudos ambientais, políticos, técnicos e geológicos sobre a viabilidade da captura e o armazenamento de dióxido de carbono. A tecnologia do CCS (*Carbon Capture and Storage*) possui diferentes sistemas de captura, sendo estes: pós-combustão, pré-combustão e gás fluente, que se combinam com tecnologias capazes de realizar a separação de CO₂ da fonte emissora. O método exige uma instalação capaz de suportar altas pressões e baixas temperaturas, exigindo materiais mais robustos (muitas vezes equipamentos já existentes nas usinas que necessitam apenas de incrementos) que permitam a armazenagem do dióxido de carbono no subsolo ou em locais estratégicos (PAPP et al., 2013).

3 METODOLOGIA

Para atingir ao objetivo proposto por esse trabalho foi apresentado, inicialmente, o cenário que possibilitou o início de produção de etanol no Brasil, a partir da crise mundial do petróleo na década de 70.

A seguir, foi explorado o histórico do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), implantado em 1975, a fim de apresentar a trajetória do etanol no Brasil, descrevendo as transições deste período, passando pela implementação dos veículos *flex fuel*, em 2003, também chamados de bicomcombustíveis. O foco consiste na apresentação das vantagens de utilizar o bioetanol proveniente da cana-de-açúcar, como o principal combustível da frota de veículos de grandes centros urbanos.

Após mencionar o etanol brasileiro, foi realizado um levantamento de dados sobre sua produção, enfatizando desde aspectos socioeconômicos, como estratégias e políticas públicas de incentivo, até os aspectos de produção e utilização pela sociedade.

Cada setor que envolve a introdução do etanol foi explorado, como a apresentação do setor energético, setor sucroalcooleiro, a sustentabilidade dos biocombustíveis, até os aspectos ambientais que envolvem a produção e consumo do etanol, utilizando como base autores que evidenciam o etanol da cana-de-açúcar como o combustível sustentável, procurando estabelecer uma relação harmônica com o ambiente.

A pesquisa trata-se de uma análise qualitativa de artigos científicos e de livros técnicos, servindo como base para a defesa do objetivo central da pesquisa: apresentar o bioetanol de cana-de-açúcar como um combustível exemplo de sustentabilidade.

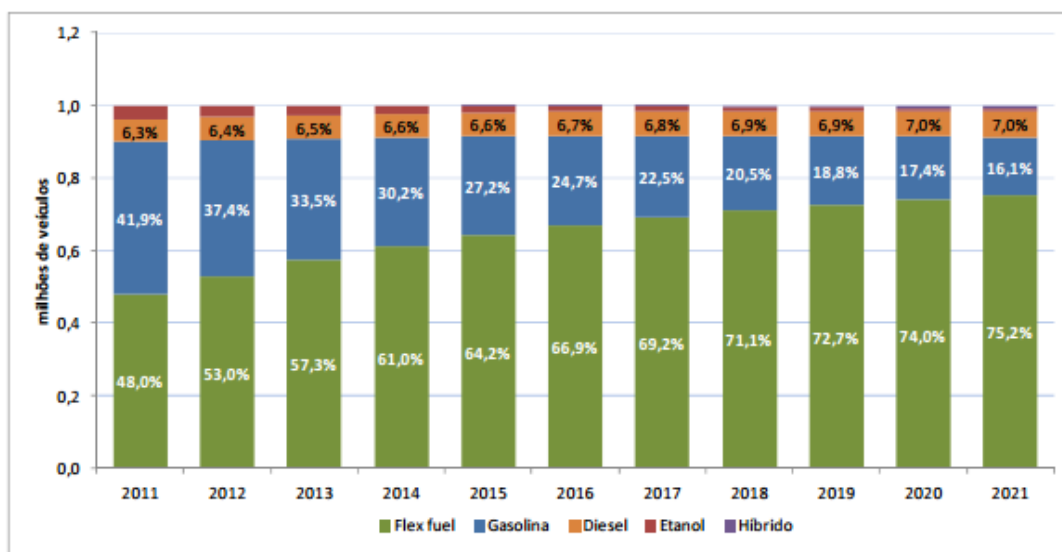
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização de pesquisa em diferentes fontes científicas de trabalhos acadêmicos, livros técnicos, artigos e teses, é possível apresentar os resultados obtidos neste trabalho.

Uma série de fatores internos e externos contribui para que o Brasil ocupe o 2º lugar no *ranking* mundial de produção de bioetanol e o 1º lugar na produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar. Fatores como clima adequado para o cultivo da cana evidenciam essa posição, dando foco ao Estado de São Paulo que detém 2/3 desta significativa produção nacional. Mas o clima não foi o único impulsionador deste cenário, políticas de incentivo como o Próálcool, em 1975, e a crise energética mundial na década de 70 alavancaram a produção do biocombustível no país.

Além desses fatores, a introdução e, posteriormente, a aceitação dos veículos *flex fuel* no mercado contribuíram de forma significativa para fomentar a produção do bioetanol. De acordo com as informações do gráfico 2, desde que os veículos *flex fuel* foram introduzidos no mercado, apresentam participação significativa na frota de veículos leves. Um grande impulsionador deste cenário é o fato do motorista poder escolher o combustível a ser utilizado de acordo com sua percepção da economia. Dados divulgados pelo relatório de 2013 da EPE – Empresa de Pesquisa Energética -, em 2004 a opção *flex fuel* representava 22% das vendas de veículos leves no Brasil, e a partir de projeções da EPE, a participação de veículos biocombustíveis deverá saltar de 48% registrado em 2011, para aproximadamente 75% da frota total circulante de veículos leves em 2021 (EPE, 2013).

Gráfico 2: Frota de veículos leves por tipo de combustível

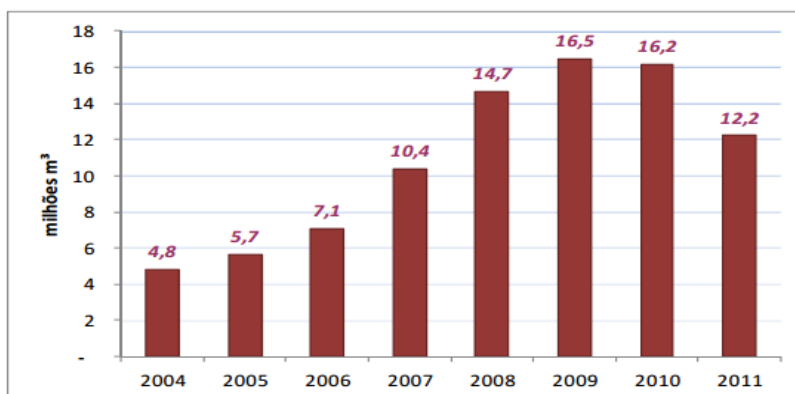


Fonte: EPE, 2013.

A grande aceitação desses veículos e a vantagem competitiva com relação ao preço frente à gasolina impulsionou a produção brasileira de etanol, revertendo um quadro de declínio para uma ascensão até 2009. Porém, essa realidade não é mais a mesma, pois o mesmo fator que impulsionou a venda de etanol a desestimulou também. O preço do barril do petróleo, que antes era vantajoso para a produção de etanol, passou a ser uma ameaça, desfavorecendo o mercado de etanol no Brasil, pois caiu de 150 para 50 dólares. Já o preço do etanol, por seguir leis de oferta e demanda, possui oscilações em função da cultura da cana, que depende das mudanças sazonais (MITSUTANI, 2010). O valor do barril do petróleo a 46 dólares continua desfavorecendo a adesão do etanol, pois garante baixa variação no preço da gasolina nos postos (DOLARHOJE, 2016).

A queda no valor do barril somada a fatores climáticos contribuem para a desaceleração na demanda por etanol hidratado, como ilustra o gráfico 3.

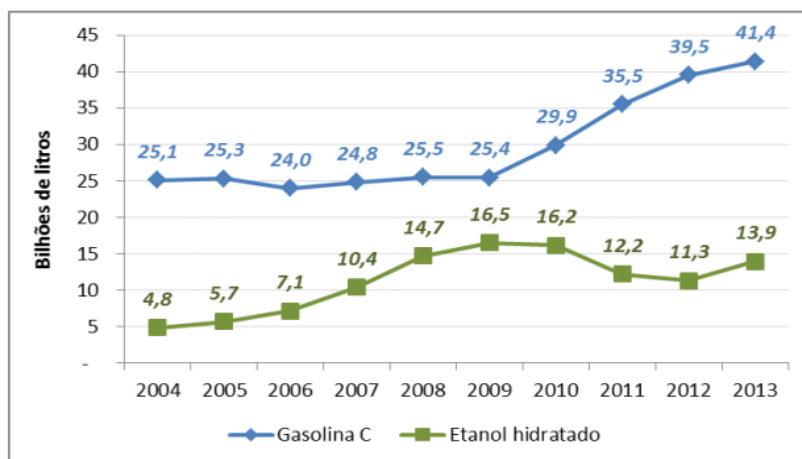
Gráfico 3: Demanda de etanol hidratado



Fonte: EPE, 2013.

O gráfico 4, a seguir, apresenta o cenário descrito acima, a partir da demanda, em bilhões de litros, por gasolina C e etanol hidratado.

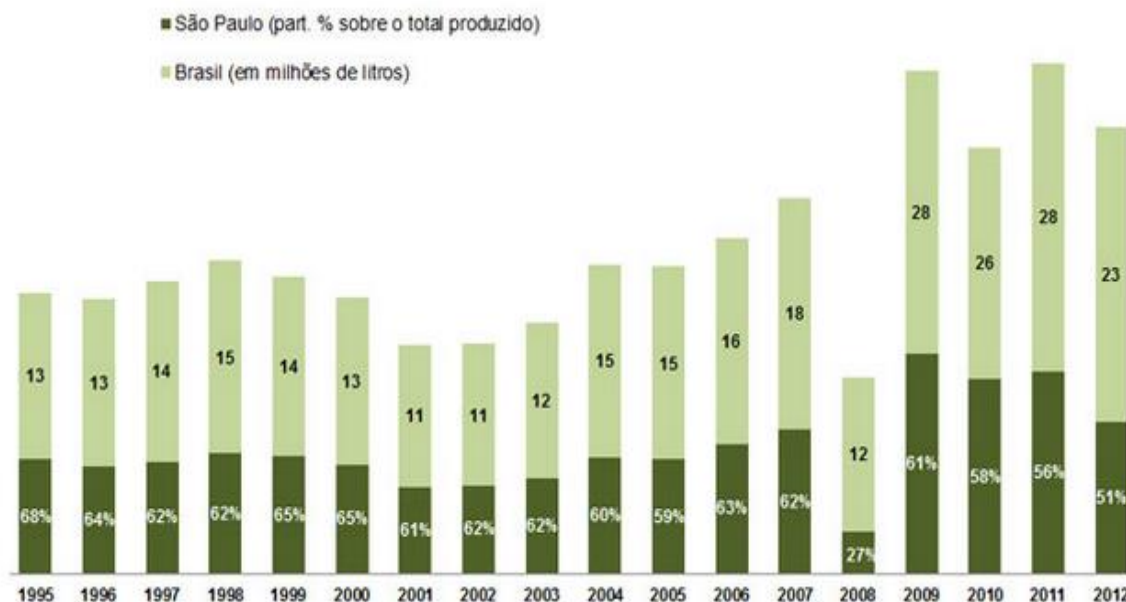
Gráfico 4: Demanda anual de etanol hidratado e gasolina C.



Fonte: EPE, 2013.

O Estado de São Paulo merece foco quando o tema é sustentabilidade. Detentor de um amplo volume de cultivo da cana (Gráfico 5), contribui de forma significativa para o cenário sustentado do etanol, desde o desenvolvimento de tecnologias de produção como, por exemplo, as colhedeiras automatizadas, em que não é mais necessária a queima da palha, diminuindo assim a poluição nesse processo, até na contribuição para o crescimento de emprego de mão-de-obra especializada, gerando capacitação e melhores condições de trabalho para os antigos “boias-frias”. Esse compromisso de sustentabilidade do etanol é reforçado pelo Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro que, desde 2007 visa à substituição da queima da palha pela colheita mecanizada. Na safra de 2012, a colheita limpa atingiu a marca de 70%, a intenção era de que fosse completamente extinta em 2017 nas áreas mecanizadas (INVESTESP, 2013). Um estudo realizado pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) constatou que 84,8% da colheita de toda a cana-de-açúcar plantada em São Paulo na safra de 2013/2014 foi mecanizada. Apesar do estudo não identificar se são áreas mecanizáveis ou não, acredita-se que os 15,2% restantes sejam de áreas não mecanizadas, o que pode levar estes produtores a mudarem suas culturas (IEA, 2015).

Gráfico 5: Representação da participação do Estado de São Paulo na produção de etanol no Brasil.



Fonte: (INVESTESP, 2013)

Outro assunto discutido quando o foco é a produção de etanol é o risco que pode representar para a segurança alimentar. De acordo com estudos da Organização das Nações Unidas (ONU), o etanol brasileiro está isento deste risco, além de apresentar a

maior produtividade em litros por hectare quando comparado às demais alternativas. O Brasil utiliza 2% de suas terras cultiváveis para a produção de etanol, além de não apresentar nenhum risco à floresta amazônica, pois as principais áreas de produção de cana-de-açúcar ficam a, pelo menos, 2,5 mil quilômetros de distância (INVESTESP, 2013).

A grande concentração de transportes de passageiros e de cargas que utilizam combustíveis fósseis é a principal causa da liberação de poluentes atmosféricos nas aglomerações urbanas. Com isso, as populações locais e regionais ficam expostas aos riscos e impactos negativos dessa poluição. A primeira pela exposição direta à poluição e a segunda exposta pela dispersão dos poluentes, causadas por efeitos meteorológicos e topográficos e pela influência das edificações urbanas na ventilação local. Desta forma, o etanol se apresenta como alternativa na redução de poluentes, pois apresenta baixa toxidez e, diferentemente da gasolina, contém oxigênio em sua estrutura química, o que contribui para que sua combustão no motor ocorra de forma mais completa e resulte em menor emissão de poluentes (SZWARC, 2010).

Essa eficiência pode ser constatada pelo projeto BEST – Bioetanol para o transporte sustentável – coordenado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), que trabalhou uma comparação do desempenho de ônibus movidos à etanol com ônibus movidos exclusivamente a diesel, visando à redução da poluição atmosférica nos grandes centros urbanos e, conseqüentemente, minimização do aquecimento global. Os resultados dos testes realizados em São Paulo foram positivos e demonstraram uma redução significativa de poluentes, diminuindo a ocorrência de doenças cardiorrespiratórias (VELÁZQUEZ et al., 2010).

Outra importante utilização do etanol é como combustível aeronáutico, substituindo a gasolina de aviação. Desde 2005, a Empresa Aeronáutica Brasileira (Embraer) tem produzido um avião agrícola especificamente preparado e regularmente homologado para utilizar etanol hidratado, e essa utilização apresenta uma vantajosa economia operativa, pois reduz em mais de 40% o custo do quilômetro voado e incrementa em 5% a potência útil do motor, além da redução de poluentes devido à substituição da gasolina pelo etanol (BNDES, 2008).

5 CONCLUSÃO

A pesquisa, com o objetivo de apresentar o porquê de o etanol proveniente da cana-de-açúcar ser um exemplo de sustentabilidade, mostrou a partir dos dados analisados, que o etanol possui, de fato, uma produção mais sustentável quando comparada à dos

combustíveis fósseis, pois todo o ciclo produtivo do etanol visa estabelecer uma relação harmônica com o ambiente, ou seja, tudo aquilo que permeia a sua produção: a matéria-prima e sua forma de cultivo, a mão-de-obra cada vez mais especializada e com melhores condições de trabalho, os ciclos produtivos com reaproveitamento do excedente gerado, como o bagaço, por exemplo, capaz de cogerar energia elétrica para o próprio processo de produção e ainda a comercializar a energia extra gerada.

Além disso, fica evidenciada a participação significativa do Estado de São Paulo na produção de etanol no Brasil, sendo o precursor e exemplo de práticas sustentáveis que buscam através de acordos, minimizar o impacto ambiental, que vão desde o cultivo e colheita da cana-de-açúcar até a queima do biocombustível no motor dos veículos. Além do aspecto ambiental, é possível notar o significativo avanço tecnológico e melhora na vida dos trabalhadores.

Porém, o etanol ainda enfrenta barreiras de aceitação perante à substituição de combustíveis fósseis na frota veicular. Tais barreiras são ligadas ao preço, por exemplo, que sem incentivos fiscais não tem força suficiente para competir com a gasolina, por exemplo, que não depende de mudanças sazonais e consegue manter os preços nos postos de abastecimento sem muita oscilação. Além da dependência dos produtores optarem por produzir açúcar quando o preço está favorável, reduzindo a oferta de etanol.

Com isso, por meio deste trabalho, pode-se perceber a relação harmônica que a produção e utilização do etanol da cana-de-açúcar desempenha com o meio-ambiente e, apesar das barreiras ainda enfrentadas no cenário nacional, as perspectivas de utilização do etanol no Brasil são sempre positivas, devido ao know how de cultivo da cana, produção do etanol e geração da bioeletricidade.

6 REFERÊNCIAS

BIOSEV. **Setor Sucroalcooleiro.** 2013. Disponível em <http://ri.biosev.com/biosev/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=30884> Acesso em: 29 de junho 2015.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Bioetanol de cana-de-açúcar – Energia para o desenvolvimento sustentável.** Organização BNDES e CGEE. Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: <<http://www.bioetanoldecana.org/>> Acesso em: 21 de abril de 2013.

COELHO, S. T. **Avaliação da cogeração de energia elétrica a partir de bagaço de cana em sistemas de gaseificador/turbina a gás.** São Paulo: USP, 1992. 212 f. Tese (Mestrado em Energia) – Programa interunidades de Pós-Graduação em Energia, EP, FEA, IEE, IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

DOLARHOJE. **Valor do barril do petróleo.** 2016. Disponível em: <<http://www.dolarhoje.com.br/valor-do-barril-de-petroleo/>> Acesso em: 06 de agosto de 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional.** Ano de referência 2012. Brasília. 2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese.** Ano base 2015. Rio de Janeiro. 2016.

FESSEL, T. (Org.). **Imagens do Etanol Brasileiro.** São Paulo: União da Indústria de Cana-de-açúcar, 2008.

FORÇA SINDICAL. **Fabricação de etanol impulsiona geração de empregos no setor químico em março.** São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://www.fsindical.org.br/artigos/fabricacao-de-etanol-impulsiona-geracao-de-empregos-no-setor-quimico-em-marco>> Acesso em: 15 de junho de 2016.

FRONZAGLIA, T.; MARTINS, R. **Governança do Etanol Brasileiro: Implicações para a sustentabilidade.** In: CORTEZ, Luis Augusto B. (org.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade. São Paulo: Editora Blucher, 2010. P. 217-239.

GOLDEMBERG, J. **Programa de Bioenergia do Estado de São Paulo.** In: COSTA, F. (org.). Bioenergia: Conferência nacional realizada de 26 a 28 de setembro de 2007. São Paulo: Editora USP, 2008. P. 23-33.

IEA – Instituto de Economia Agrícola. **Mecanização na Colheita da Cana-de-açúcar Atinge 84,8% na Safra Agrícola 2013/14.** Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=13601>> Acesso em: 07 de agosto de 2016.

INVESTESP. **Cana-de-Açúcar.** Disponível em: <http://www.investe.sp.gov.br/uploads/midias/documentos/cana_de_acucar_saopaulo.pdf> Acesso em: 15 de junho de 2015.

JOSEPH JR, H. **Questões relativas ao uso final do Etanol (combustível e química): O motor a álcool – passado, presente e futuro.** In: CORTEZ, L. A. B. (org.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade. São Paulo: Editora Blucher, 2010. P. 829-840.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68. 2010. P. 223-253.

LEITE, R. C. C. **A Estratégia Brasileira para o Etanol.** In: CORTEZ, L. A. B. (org.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade. São Paulo: Editora Blucher, 2010. P. 17-19.

LUCON, O. S., Aspectos ambientais da cadeia do etanol de cana-de-açúcar – Termo de referência, 2008. In: COELHO, S. T.; LORA, B. A.; GUARDABASSI, P. M. **Aspectos ambientais da cadeia do etanol de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.** Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade. In: CORTEZ, Luis Augusto B. (org.). São Paulo: Editora Blucher, 2010. P. 241-253.

MITSUTANI, C. **A logística do etanol de cana-de-açúcar no Brasil: Condicionantes e perspectivas.** São Paulo: USP, 2010. 104 f. Tese (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, EP, FEA, IEE, IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NOVACANA. **Protocolo trouxe a antecipação do fim das queimadas em canaviais.** 2013. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/meio-ambiente/protocolo-trouxe-a-antecipacao-do-fim-das-queimadas-em-canaviais/>> Acesso em: 16 de junho de 2016.

NOVACANA. **O desenvolvimento tecnológico na mecanização da colheita da cana-de-açúcar.** 2014. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/maquina-agricola/tecnologia-mecanizacao-colheita-cana-210814/>> Acesso em: 15 de junho de 2016.

NOVACANA. **Cogeração: Como funciona a produção de energia elétrica numa usina sucroalcooleira.** 2015. Disponível em <<http://www.novacana.com/usina/cogerao-como-funciona-producao-energia-eletrica/>>. Acesso em: 21 de julho 2015.

PAPP, G. H.; MOHR, G.; NALI, P. R.; MORA, P. C. **Captura e armazenamento de dióxido de carbono em usinas de cana-de-açúcar.** Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo. 2013.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como matéria prima para a produção de biocombustíveis: Impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação.** Juiz de Fora: UFJF, 2010. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Especialização em Análise Ambiental, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

SOUSA, E. L., MACEDO, I. C. **Etanol e Bioeletricidade: A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética.** São Paulo: União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2009.

SZWARC, A.. **O Impacto do uso do Etanol na qualidade do ar das grandes cidades.** Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade. In: CORTEZ, L. A. B. (org.). São Paulo: Editora Blucher, 2010. P. 185-193.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Setor Sucroenergético mostra avanço da colheita mecanizada em São Paulo.** 2013. Disponível em <<http://www.unica.com.br/na-midia/5573206920329114090/setor-sucroenergetico-mostra-avanco-da-colheita-mecanizada-em-sao-paulo/>> Acesso em: 30 de novembro de 2015.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Números finais da safra 2014/2015 e iniciais da nova safra 2015/2016.** São Paulo. 2015. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticia/27460993920325965467/numeros-finais-da-safra-2014-por-cento2F2015-e-iniciais-da-nova-safra-2015-por-cento2F2016/> Acesso em: 30 de novembro de 2015.

VALOR ECONÔMICO. **Capacidade instalada de cogeração com biomassa atinge 10 mil MW.** São Paulo. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/agro/4065758/capacidade-instalada-de-cogerao-com-biomassa-atinge-10-mil-mw>> Acesso em: 28 de novembro de 2015.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; MOREIRA, J. R. APOLINARIO, S. M. **O Projeto BEST – Bioetanol para o transporte sustentável – E as políticas públicas de incentivo ao uso do etanol.** In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. 8 a 10 de setembro de 2010. São Paulo, 2010.

WALTER, A.; LEAL, M. R. L. V. **Introdução: Sustentabilidade da produção e do consumo de biocombustíveis.** Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade. In: CORTEZ, Luis Augusto B. (org.). São Paulo: Editora Blucher, 2010. P. 173-183.

WINTER, E.; LIMA, A. A.; MENDES, Cristina d'Urso de S. **Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do etanol proveniente da cana-de-açúcar sob enfoque dos pedidos de patentes: Cenário Brasileiro.** Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade. In: CORTEZ, Luis Augusto B. (org.). São Paulo: Editora Blucher, 2010. P.87-99.

Contatos: gisele.corbanezi@hotmail.com e silviamaria.velazquez@mackenzie.br