

# CANA-DE-AÇÚCAR BRASILEIRA COMO MATÉRIA-PRIMA PARA OBTENÇÃO DE POLIETILENO VERDE: BENEFÍCIOS SUSTENTÁVEIS NA SUBSTITUIÇÃO DE FONTES FÓSSEIS

Luana Nascimento Silva <sup>1</sup>  
Jade Spínola Ávila <sup>2</sup>  
Tamires dos Santos Pereira <sup>3</sup>

## RESUMO

O polietileno verde é um plástico produzido a partir do etanol de cana-de-açúcar, uma matéria-prima renovável, ao passo que os polietilenos tradicionais utilizam matérias-primas de fonte fóssil, como petróleo ou gás natural. Por esta razão, o polietileno verde captura e fixa gás carbônico da atmosfera durante a sua produção, colaborando para a redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa. Com as crescentes políticas e regulamentações ambientais, torna-se necessário o conhecimento da importância ambiental deste produto para uma substituição sustentável frente ao polietileno tradicional produzido a partir de fontes fósseis. Desta forma, este trabalho visa avaliar os benefícios sustentáveis do polietileno verde. O estudo foi realizado através de uma metodologia baseada numa pesquisa bibliográfica e descritiva, onde para a coleta de dados foram utilizadas as principais bases de dados nacionais e internacionais. Os resultados mostram que, por ser oriundo de uma matéria-prima renovável, a cana-de-açúcar captura e fixa CO<sub>2</sub> da atmosfera a cada ciclo de crescimento, que ocorre anualmente. Isso significa que a produção de polietileno verde colabora para a redução dos gases causadores do efeito estufa quando comparado ao polietileno convencional feito a partir de matérias-primas fósseis. Como resultado a pegada de carbono do polietileno verde é negativa.

**Palavras-chave:** Polietileno verde, Efeito estufa, Sustentabilidade, Fontes fósseis.

## INTRODUÇÃO

Os polímeros derivados do petróleo, cujo desenvolvimento tecnológico tem sido realizado nas últimas décadas, possuem um papel significativo na sociedade global. Evidencia-se cada vez mais a presença e a necessidade do plástico desde que ele se tornou

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande- PB, [luana.nascimento25@hotmail.com](mailto:luana.nascimento25@hotmail.com);

<sup>2</sup> Mestranda pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia - BA, [jade.engavila@gmail.com](mailto:jade.engavila@gmail.com);

<sup>3</sup> Doutoranda pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [tsantosp16@gmail.com](mailto:tsantosp16@gmail.com);

parte de quase tudo que é utilizado no cotidiano: computadores, celulares, embalagens, calçados, automóveis dentre outros.

Estima-se que a produção atual de termoplásticos no mundo seja da ordem de 180 milhões de ton/ano. Deste total, o polietileno (PE), principal polímero a ser avaliado neste estudo, representa a maioria, com aproximadamente 40% da produção. Grandes mercados emergentes como China, Índia e Brasil vem demandando cada vez mais e alavancam as projeções de crescimento do consumo nos próximos cinco anos para uma ordem de 5% a.a., no caso do PE (CMAI, 2010).

Os avanços nos estudos sobre os impactos ambientais, os incentivos a políticas de desenvolvimento sustentável, a limitação da disponibilidade de matéria-prima fóssil, as altas do preço do petróleo e a busca constante por melhoria na qualidade de vida, fazem aumentar de forma significativa a busca por modelos alternativos de produção. Neste contexto, são vistos avanços significativos para o desenvolvimento e produção dos chamados biopolímeros, denominação dada aos polímeros provenientes de fontes de matéria-prima renováveis e que possuem alguma vantagem sustentável frente ao seu antecessor tradicional.

O polietileno produzido a partir do etanol da cana-de-açúcar, denominado polietileno verde, é um biopolímero que tem como vantagem em relação ao polietileno obtido através do petróleo, a produção através uma matéria-prima renovável, a captura e fixação do gás carbônico durante a sua produção, colaborando assim para redução da emissão de gases causadores do efeito estufa.

## **METODOLOGIA**

A metodologia está baseada numa pesquisa bibliográfica e descritiva, com as seguintes etapas: determinação e delimitação do tema, listagem bibliográfica, seleção dos critérios de inclusão e exclusão de artigos, coleta de dados e síntese das informações selecionadas para análise e discussão. A pesquisa foi realizada nas principais bases de dados nacionais e internacionais disponíveis na internet e engloba trabalhos acadêmicos, livros, sites de entidades e empresas.

## **DESENVOLVIMENTO**

O PE é um termoplástico da classe das poliolefinas, tendo um dos maiores volumes de produção no mundo, devido às suas inúmeras aplicações, seu baixo custo e o domínio de seu processamento. O PE é obtido a partir do gás etileno ( $C_2H_4$ ) via reação em cadeia (poliadição) e possui uma estrutura química que obedece a conformação zig-zag que pode ser representada genericamente pela fórmula –  $[CH_2CH_2]_n$ , onde n é o grau de polimerização. Em 1939 a Imperial Chemical Industries produziu comercialmente pela primeira vez o PE, através da polimerização do etileno sob pressão para aplicações em isolamento de cabos submersos (FELDMAN; BARBALATA, 1996).

Em condições normais, o PE é inerte à maioria dos produtos químicos comuns e não apresenta toxicidade, devido a sua origem parafínica, o que permite sua utilização em contato com produtos alimentícios e farmacêuticos e também favorece sua produção frente a outros 7 materiais (OLIVEIRA; COSTA, 2010).

Outra forma de obtenção do polietileno é a partir da desidratação do etanol, sendo o processo diferenciado até o momento da obtenção de eteno, com a etapa de polimerização idêntica ao do processo tradicional de obtenção partindo-se da nafta de petróleo. Particularmente, o etanol pode ser obtido da cana-de-açúcar, que é o foco desse trabalho, sendo assim, para a análise que se deseja, e necessária uma descrição dos processos vinculados a produção de eteno a partir do etanol.

### **Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar, originária do sudeste asiático, chegou ao Brasil no início do século XVI e, originalmente, possuía como principal função a produção de açúcar para o uso alimentício. Após a crise do petróleo de 1973, o governo lançou o programa Pró-Alcool, em 1975, para estimular a substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados do petróleo por álcool, derivado da cana-de-açúcar. Desde então, a produção de etanol no Brasil vem crescendo constantemente, tendo sido alavancada nos últimos cinco anos pela alta valorização dos combustíveis derivados de petróleo e a fabricação dos carros bicombustíveis (SILVA e FISCHETTI, 2008).

O processo canavieiro inicia-se com a limpeza do terreno, nivelamento do solo, estudo da qualidade do mesmo, aração e gradagem (Instituto agrônômico de Campinas, 1994).

Depois realiza-se o preparo do solo, constituído de uma série de atividades visando fornecer as melhores condições físico-químico-biológicas ao solo para a germinação de sementes (CASTRO, 1985).

Algumas técnicas de preparo do solo visam a sua conservação, tais como a incorporação de material orgânico, curvas de nível, terraços e a subsolagem, ou seja, a promoção de uma maior infiltração de água através da remoção de camadas compactas (FUJITA; PIRES, 2011).

O preparo é periódico, após o primeiro corte faz-se o preparo para a cana soca, repetindo-se por cinco cortes, encerrando o ciclo com o replantio (renovação do canavial). Além do método mecânico para a eliminação da soqueira, pode ser utilizado o método químico, como por exemplo, a aplicação de herbicidas em conjunto com as operações de preparo de solo (OMETTO, 2000).

O preparo de modo convencional, na renovação do canavial, é ordenado nas seguintes ações (FREITAS, 1987): Limpeza, peneiramento e queima da palha; Calagem, apenas nos casos de insuficiência de cálcio e magnésio ou altos teores de alumínio tóxico; Grade pesada para erradicação da soqueira; Operações de conservação; Gradagens; Sistematização; Subsolagem com aletas se necessário; Gradeação pesada; Gradagem leve de pré-plantio.

A cana-de-açúcar é uma cultura consolidada no Brasil, sendo plantada em diferentes épocas do ano para atender a demanda da indústria durante todo o período de safra. O plantio é classificado de acordo com o período do ano em que este é realizado, podendo ser sistema de ano-e-meio, de ano ou sistema de inverno.

Terminado o plantio, começa-se a etapa de tratamento de cultura, que tem por objetivo: a preservação ou restauração das propriedades físicas e químicas do solo; a eliminação ou redução da concorrência das plantas concorrentes; a conservação do sistema de controle de erosão; e o controle de pragas e doenças, quando necessário (CORBINI, 1987).

A etapa seguinte é a de colheita, realizada após os tratamentos culturais, que se inicia com a queima da palha seguida pelo corte, isso em 75% da área plantada no estado de São Paulo (MACEDO et. al., 2004).

### **Produção de etanol**

Como explicado por Dias et al. (2010), a produção convencional de etanol de primeira geração (proveniente da cana-de-açúcar) segue os seguintes passos: recebimento e limpeza da cana-de-açúcar, extração dos açúcares, tratamento e concentração do caldo, fermentação, destilação, desidratação.

Após a colheita, transporte e recebimento, a cana deve ser limpa com água para remover a sujeira que provém da plantação.

A extração dos açúcares é feita em moendas, onde o caldo é separado do bagaço. O caldo da cana-de-açúcar contém água, sacarose e açúcares redutores, além de impurezas como minerais, sais, ácidos orgânicos, sujeira e partículas fibrosas que devem ser removidas antes da fermentação. Basicamente o caldo passa por diversos processos de separação, envolvendo filtração, aquecimento, dissolução química para a posterior alimentação nos fermentadores.

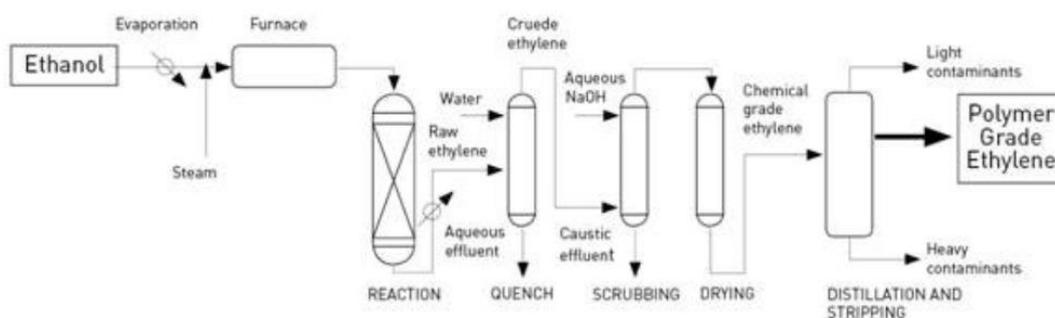
O processo de fermentação tem a alimentação contínua, e os açúcares (sacarose, glicose e frutose) são convertidos em etanol, dióxido de carbono e outros produtos (alcoóis e ácidos orgânicos). Por tratar-se de um processo exotérmico, os reservatórios contendo a mistura são resfriados de modo a atingir uma alta concentração de etanol no líquido fermentado, para que posteriormente seja centrifugado e purificado na destilação e em colunas de retificação. Etanol hidratado (93%) é formado e tratado em um processo de absorção, produzindo álcool anidro (99,33%) (DIAS et al, 2010).

### Produção de eteno a partir do etanol

A produção de eteno a partir do etanol é realizada pela desidratação catalítica do último com temperatura relativamente alta (acima de 150°C), resultando em eteno e água. Uma primeira consideração a se fazer neste momento é a opção pelo uso de etanol hidratado em vez de anidro. Este último possui custo muito elevado e não compensando a sua escolha.

Um processo genérico de uma planta eteno base etanol é ilustrado na figura 1

**Figura 1** - Representação genérica de processo para uma planta de eteno a base etanol



Fonte: Morschbacker, 2008

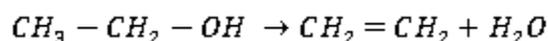
O etanol é misturado inicialmente com uma corrente pré-aquecida de vapor. Esta mistura passa através de uma fornalha, elevando sua temperatura a um nível desejado. Após, a corrente “etanol + vapor d’água” é inserida no reator onde ocorrerá a desidratação catalítica. Usualmente são utilizados três reatores de leito fixo em série, com fornalhas intermediárias para reaquecimento das correntes.

A desidratação do etanol é realizada em fase vapor por meio de reatores de leito fixo ou leito fluidizado, majoritariamente com catalisadores de alumina. Para reatores de leito fixo, a operação pode ser isotérmica ou adiabática, enquanto o reator de leito fluidizado opera normalmente em condições adiabáticas. A reação é endotérmica e absorve 390 cal/g de eteno formado, tendo como principais parâmetros influenciadores do processo o catalisador, a pressão, a temperatura, o tempo de residência e a diluição de etanol no vapor (KOCHAR, MERIMS e PADIA, 1981).

Como o processo é endotérmico, a utilização de vapor d’água como fluido inerte de aquecimento na proporção de 2:1 a 3:1 (vapor: etanol) para o transporte do etanol aumenta a massa de troca térmica da corrente e faz com que a diminuição de temperatura do reator seja mais bem controlada. Este controle é importante porque a formação de eteno é altamente favorecida acima de 360°C enquanto abaixo de 300°C observa-se elevada produção indesejada de éter etílico. Além disso, o uso de vapor d’água misturado à corrente de etanol faz com que haja redução na formação de coque sobre o catalisador, aumentando sua vida útil e seu rendimento (BARROCAS e LACERDA, 2006).

Outra variável crítica desta fase do processo, já brevemente comentada no parágrafo anterior, é a temperatura de reação. Observa-se conversão de etanol acima de 99% e seletividade molar de eteno entre 97 e 99% para temperaturas de entrada do reator entre 450 a 500°C. Níveis superiores a estes não oferecem grandes melhorias de conversão, porém baixas temperaturas (< 350°C) favorecem a formação de éter etílico, reduzindo significativamente o rendimento da reação desejada (KOCHAR, MERIMS e PADIA, 1981).

A reação principal objetivada na desidratação do etanol é a seguinte:



Porém, como normalmente percebido na grande maioria das reações, algumas reações paralelas acontecem gerando co-produtos durante o processo, que serão tratados e/ou reciclados posteriormente. Esta pequena parcela de co-produtos é formada em sua maioria por acetaldeído, hidrogênio, ácido acético, CO, CO<sub>2</sub>, etc (MORSCHBACKER, 2008).

Em um processo preferencial para obtenção de eteno grau polímero, a corrente segue o processo de purificação entrando numa torre de lavagem com NaOH para retirada de CO<sub>2</sub> e, após, passa por um leito dessecante para obtenção de eteno grau químico, com pureza acima de 99%. A última etapa de purificação consiste em fracionar esta corrente através de destilação criogênica, obtendo-se monômero grau polímero. Os efluentes gerados neste processo contêm principalmente acetaldeído, dietil éter e etanol não-reagido (MORSCHBACKER, 2008).

A fabricação de eteno através da desidratação do etanol é um processo que tem um investimento baixo por tonelada de produto, mesmo em pequena escala. A etapa de reação é o centro desta tecnologia. A maximização da conversão do etanol e da seletividade da reação tem um impacto direto sobre o rendimento e, conseqüentemente, sobre os custos do processo. Uma maior produtividade significa que a planta será capaz de gerar mais produto com o mesmo consumo de matéria-prima. Além disso, os custos para a purificação do eteno e para o tratamento dos efluentes também diminuiriam. (MORSCHBACKER, 2008).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O polietileno verde produzido no Brasil, pela empresa Braskem não é biodegradável e possui exatamente as mesmas características químicas, mecânicas e de processabilidade de um polietileno convencional. Desta forma, a mesma versatilidade de aplicações apresentadas pelo PE base fóssil é encontrada no PE verde, assim como a sua característica de ser 100% reciclável. Diante desta equivalência técnica entre o PE verde e o fóssil, não serão detalhadas as especificações de produto, já amplamente conhecidas no mercado e literatura (BRASKEM S.A).

### **Localização do cultivo**

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, responsável por 490 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano (safra 2011/2012)\*. Cerca de 90% da produção brasileira de cana-de-açúcar é colhida na região Centro-Sul, principalmente no Estado de São Paulo que é responsável por 60% (UNICA).

Para garantir que a cultura da cana-de-açúcar não ameace áreas de grande biodiversidade, que são protegidas pela legislação brasileira, novas áreas de plantio devem respeitar o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar vigente desde 2009. Este é o caso

da região da Amazônia que, além de possuir clima impróprio para o plantio da cana-de-açúcar, não está incluída no Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar. O mesmo ocorre com outros importantes biomas brasileiros, como o pantanal.

Assim, os moinhos não têm licença para operar e não atuam nessas regiões sendo que as grandes regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil estão a mais de 2.500km de distância da Amazônia (UNICA).

### **Disponibilidade de terras**

O Brasil tem condições especialmente favoráveis para a agricultura e para a produção de cana-de-açúcar. Além de possuir dimensão continental, conta com aproximadamente 330\* milhões de hectares de áreas aráveis, equivalente à 38,8%\* de sua área total. Em 2010, apenas 2,8% dessa área, ou seja, cerca de 9,5\* milhões de hectares, foram utilizados para a produção de cana-de-açúcar, sendo aproximadamente 50% deste total direcionados para a produção de etanol e outros 50% para a produção de açúcar. Para efeito de comparação, tem-se os seguintes dados em relação ao uso da terra no Brasil: o plantio de soja ocupa 24,2\* milhões de hectares, do milho 13,8\* milhões hectares e a pecuária 172\* milhões de hectares (IBGE, 2010).

A expansão das áreas de plantio de cana-de-açúcar deverá seguir o Zoneamento Agroecológico para a Cana-de-Açúcar e está prevista para acontecer principalmente na região Centro-Sul do Brasil, que já concentra cerca de 60% da produção e onde ainda se verifica a existência de áreas degradadas e pastagem de baixa produtividade (CONAB, 2010).

### **Profissionalização do setor**

O setor sucroalcooleiro no Brasil emprega cerca de 800 mil trabalhadores. A modernização na agricultura teve efeitos importantes também para os trabalhadores, estabelecendo novos parâmetros para a atividade que conta com leis trabalhistas rígidas, que combatem o trabalho infantil e condições de trabalho análogas à escravidão. Em 2009, Governo, líderes da indústria e sindicato de trabalhadores firmaram o Compromisso Nacional para Aperfeiçoar as Condições de Trabalho na Atividade Canavieira, um conjunto de 30 melhores práticas de trabalho, que norteia as relações trabalhistas no setor e visa garantir novos direitos e melhor qualidade de vida aos trabalhadores (BRASKEM S.A).

Essas práticas incluem a contratação de trabalhadores sem intermediários; mais transparência nos cálculos de remuneração; apoio a migrantes temporários; melhoria das condições existentes relacionadas à saúde e segurança do trabalho, ao transporte e alimentação do trabalhador; valorização da atividade sindical e da negociação coletiva e a responsabilidade empresarial na comunidade. Por iniciativa própria, a indústria também está investindo em programas de qualificação técnica dos trabalhadores, como o Programa de Requalificação de Trabalhadores da Cana-de-Açúcar (RenovAção), que treina e requalifica 7 mil trabalhadores e integrantes das comunidades por ano. Ele é voltado principalmente para os cortadores de cana, cuja atividade está sendo substituída por processos mecanizados de plantio e colheita de cana-de-açúcar. (BRASKEM S.A).

### **Consumo de água**

A cana-de-açúcar no Brasil praticamente não é irrigada, pois as necessidades de água na fase agrícola são supridas naturalmente pela chuva nas principais regiões produtoras. A utilização da água está concentrada na fase industrial, principalmente na produção de açúcar, porém em escala reduzida. Em muitas usinas se adota o sistema de fertirrigação em que a vinhaça, que é um subproduto da produção de etanol rico em nutrientes orgânicos e água, é levada de volta ao canavial. Essa fertilização orgânica reduz a necessidade de uso de adubos químicos e, por isso, contribui para a redução da emissão de gases do efeito estufa nesta fase do processo (BRASKEM S.A).

### **Energia a partir do bagaço**

Grande parte das usinas brasileiras é autossuficiente em energia devido à utilização do bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima na produção de energia limpa. O bagaço de cana-de-açúcar é o subproduto da moagem, processo através do qual é separado do caldo de cana, rico em açúcares. O bagaço é utilizado para abastecer as caldeiras, que geram vapor e acionam turbinas geradoras de energia. Esta energia abastece a própria usina e, quando excedente, é enviada ao grid de energia local e comercializada para o abastecimento de cidades.

A produção crescente desta bioeletricidade proveniente do bagaço combinada com a ampla utilização de etanol faz da cana-de-açúcar a segunda maior fonte da matriz energética

brasileira, considerada a mais limpa do mundo. Isto confere ao Brasil um papel de liderança na busca de baixo carbono em soluções para as mudanças climáticas(BRASKEM S.A).

### **Vantagens do PE verde**

Ao longo do estudo, direta e indiretamente os benefícios do PE verde foram citados. Ainda assim, vale ressaltar as seguintes qualidades que colocam o PE verde como uma opção sustentável diferenciada entre os biopolímeros (BELLOLI, 2010):

- Etanol da cana-de-açúcar como matéria-prima 100% renovável, reconhecida internacionalmente por seus benefícios sustentáveis na substituição de fontes fósseis. O conteúdo “verde” do polietileno verde é validado através de teste de datação de carbono que verifica a quantidade de C14 renovável presente no material. Esta análise é padronizada pela norma ASTM D6866;
- Mesmas características técnicas e de aparência que um polietileno convencional. Isto significa que não é necessário investimento em equipamentos e/ou readequação de processos para o seu uso, resultando em menos custo e maior velocidade de adoção pelas empresas;
- 100% reciclável, podendo ser processado normalmente nos processos atuais de reciclagem. A durabilidade é característica exigida em grande parte das aplicações e permite fixar o CO2 capturado por muito mais tempo.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os diversos problemas ambientais existentes no mundo atualmente, as projeções desanimadoras em relação a uma melhora significativa deste cenário e um perfil de consumidores mais conscientes ambientalmente, que levam em conta na hora de escolher produtos, o meio ambiente, a saúde humana e animal, as relações justas de trabalho e o equilíbrio entre o consumo e a sustentabilidade, maximizando assim as consequências positivas e minimizando os impactos negativos do seu consumo, gera uma busca por alternativas sustentáveis. Neste cenário o polietileno verde recebe um importante destaque, originado a partir de uma fonte renovável, se apresenta como um destaque na categoria de

biopolímeros, pois sua matéria-prima oferece benefícios ambientais reconhecidos internacionalmente, principalmente com relação a diminuição das emissões de gases propulsores do efeito estufa, competitividade de custos e por possuir as mesmas características de um polietileno de fonte fóssil.

## REFERÊNCIAS

BARROCAS, H. V.; LACERDA, A. I. **Processo para produção de eteno a partir de álcool etílico**. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Patente PI 0601803-3. Maio, 2006.

BRASKEM S.A.- Website do polietileno verde. Disponível em < <http://plasticoverde.braskem.com.br/site.aspx/plasticoverde> > Acesso em 22 de Outubro de 2019.

BELLOLI, R. **Polietileno verde do etanol da cana-de-açúcar brasileira: Biopolímero de classe mundial**. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010.

CASTRO, O. M. **Aspectos de manejo do solo**. Fundação Cargill. 1985. 67pg

CMAI – Chemical Market Associates, INC.

CONAB – Companhia Nacional do Abastecimento.

CORBINI, J. L. (1987). **Operações agrícolas em tratamentos culturais**. In: Paranhos, S. B., coord. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. 1.ed. Campinas, Fundação Cargill. 1987. 67pg.

DIAS, M. O. S., ENSINAS, A. V., NEBRA, S. A., MACIEL FILHO, R., ROSSELL, C. E. V., MACIEL, M. R. W., 2009. **Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: integration to conventional bioethanol production process**. Chemical Engineering Research and Design 87, p. 1206–1216, 2009.  
FELDMAN, D., BARBALATA, A.; **Synthetic Polymers – Technology, Properties, Applications**. Londres. 1ª Edição, Editora Chapman & Hall. 1996.

FREITAS, G. R.: Preparo do solo. In: Paranhos, S. B., coord. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. 1.ed. Campinas, Fundação Cargill. 1987. 56pp.

FUJITA, I. T. B.; PIRES, S. C. **Análise do ciclo de vida do polietileno obtido a partir da cana-de-açúcar**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

IAC – Instituto Agrônomo de Campinas. **Estudo de caso: Destilarias de álcool e usinas de açúcar**. Campinas, Documentos técnicos. IAC, n.49. 1994.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <  
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra> >  
Acesso em 22 de Outubro de 2019.

KOCHAR, N. K.; MERIMS R.; PADIA. A. S. **Ethylene from Ethanol**. Chemical Engineering Progress, AIChE, 1981, 6, 66–70, 77.

MORSCHBACKER, A **Bio-Ethanol Based Ethylene**. Centro de Tecnologia e Inovação. Braskem S.A. Porto Alegre, 2008.

MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. **Balanço das Emissões de Gases do Efeito Estufa na Produção e no Uso do Etanol no Brasil**. São Paulo: Secretaria Estadual de Meio Ambiente, 2004.

OLIVEIRA G.L., COSTA M.F. **Optimization of process conditions, characterization and mechanical properties of silane crosslinked high- density polyethylene**. Materials Science and Engineering. Vol. 527, pp. 4593–4599. 2010.

OMETTO, A. R. (2000). **Discussão sobre fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SILVA, O.; FISCHETTI, D. **Etanol: a revolução verde e amarela**. 1. ed. São Paulo: Bizz Comunicação e Produções, 2008.

UNICA. União da Indústria de Cana de Açúcar; 2007. Disponível em:<  
<https://www.unica.com.br> >