



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Rodrigo Belloli

**Polietileno Verde do Etanol da
Cana-de-açúcar Brasileira:
Biopolímero de classe mundial**

Porto Alegre

2010

Rodrigo Belloli

**Polietileno Verde do Etanol da
Cana-de-Açúcar Brasileira:
Biopolímero de classe mundial**

Trabalho de conclusão de curso submetido
à Universidade Federal do Rio Grande do
Sul como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Químico.

Orientadores: Prof. Dr. Nilson Romeu Marcilio e
Prof. Luiz Elody Lima Sobreiro

Porto Alegre

2010

Agradeço aos meus pais, em especial a minha mãe pelo apoio infinito ao longo destes anos;

À minha noiva pela paciência e motivação;

À Braskem por todo suporte e confiança depositados em mim.

RESUMO

A preocupação com os impactos ao meio ambiente causados pelo crescente consumo de matérias-primas fósseis, em especial o petróleo, vem motivando o desenvolvimento e demanda por produtos de fonte renovável. O uso dos biopolímeros como alternativa sustentável ao plástico convencional base fóssil tem mostrado grande potencial e vem sendo pesquisado por inúmeros países. O objetivo deste trabalho foi analisar o polietileno verde produzido pela Braskem através do etanol da cana-de-açúcar brasileira e avaliar como ele está posicionado neste cenário. Os resultados da análise apontam para uma grande vantagem competitiva do PE verde frente aos outros biopolímeros existentes, tanto no âmbito de custo quanto de sustentabilidade.

Palavras-chave: Polietileno verde, PE verde, biopolímero.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Alta dos preços do petróleo.....	08
Figura 2: Esgotamento das reservas fósseis.....	08
Figura 3: Objetivos de sustentabilidade P&G.....	09
Figura 4: Leis das sacolinhas plásticas.....	09
Figura 5: Representação genérica de processo para uma planta de eteno base etanol.....	12
Figura 6: Relações aproximadas do eteno verde.....	14
Figura 7: Geografia da cana-de-açúcar no Brasil.....	17
Figura 8: Matriz dos biopolímeros.....	19
Figura 9: Capacidade mundial instalada de biopolímeros e projeção de crescimento.....	21
Figura 10: Molécula de PLA.....	22
Figura 11: Limitações técnicas dos plásticos biodegradáveis.....	26
Figura 12: Pegada de carbono PLA – NatureWorks.....	28
Figura 13: Comparativo PE verde x PE fóssil.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Potencial técnico de substituição por PLA.....	23
Tabela 2: Principais aplicações do PLA.....	23
Tabela 3: Potencial técnico de substituição por biopolímeros base amido.....	24
Tabela 4: Principais aplicações dos biopolímeros base amido.....	24
Tabela 5: Tabela das principais capacidades mundiais de biopolímeros.....	25
Tabela 6: Tabela dos principais grupos atuais de biopolímeros.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
2 PRODUÇÃO DE ETENO VERDE.....	10
2.1 HISTÓRICO.....	10
2.2 DESIDRATAÇÃO DO ETANOL E PURIFICAÇÃO DO ETENO VERDE.....	11
2.2.1 DESIDRATAÇÃO DO ETANOL.....	12
2.2.2 PURIFICAÇÃO.....	13
2.3 RELAÇÕES IMPORTANTES.....	14
3 CANA-DE-AÇÚCAR BRASILEIRA COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE PLÁSTICO.....	15
3.1 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL: UMA HISTÓRIA DE SUCESSO.....	15
3.2 MITOS E FATOS DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.....	16
4 POLIETILENO VERDE E O MERCADO DE BIOPOLÍMEROS.....	19
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO PE VERDE.....	19
4.2 BIOPOLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS.....	21
4.2.1 PLA.....	22
4.2.2 BIOPOLÍMEROS BASE AMIDO.....	23
4.2.3 OUTROS BIOPOLÍMEROS.....	24
4.2.4 “BIODEGRADABILIDADE vs RECICLABILIDADE”.....	26
4.3 BENEFÍCIOS DO PE VERDE.....	27
4.3.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA.....	27
4.3.2 OUTROS BENEFÍCIOS.....	28
5 MERCADO.....	30
5.1 DINÂMICA DE MERCADO.....	30
5.2 VALOR DO BIOPOLÍMERO.....	31
6 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Os polímeros provenientes do petróleo, cujo desenvolvimento tecnológico tem sido realizado nas últimas décadas, possuem hoje um papel relevante na sociedade global. A presença do plástico é facilmente percebida na vida doméstica e profissional através de utensílios para o lar, brinquedos, embalagens para os mais diversos produtos, peças automotivas, tubulações, etc. 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).

A limitação crescente da disponibilidade de matéria-prima fóssil, as consecutivas altas dos preços do petróleo e o aumento da relevância da sustentabilidade como diretriz de negócios e norteador de políticas de desenvolvimento são razões que vêm motivando fortemente o desenvolvimento de polímeros provenientes de fontes renováveis. As figuras 1, 2, 3 e 4 ilustram melhor os motivos citados neste parágrafo.

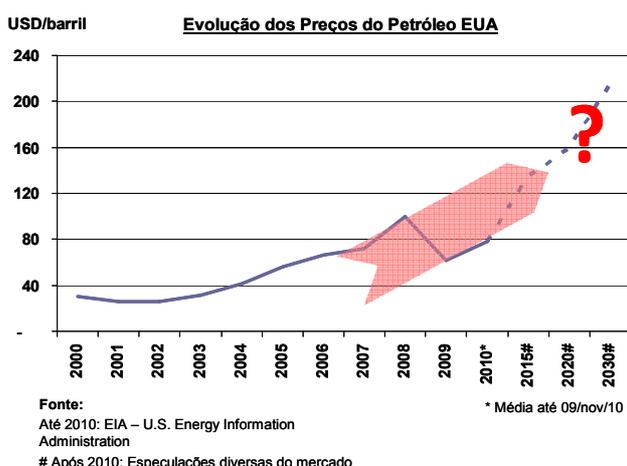


Figura 1: Alta dos preços do petróleo

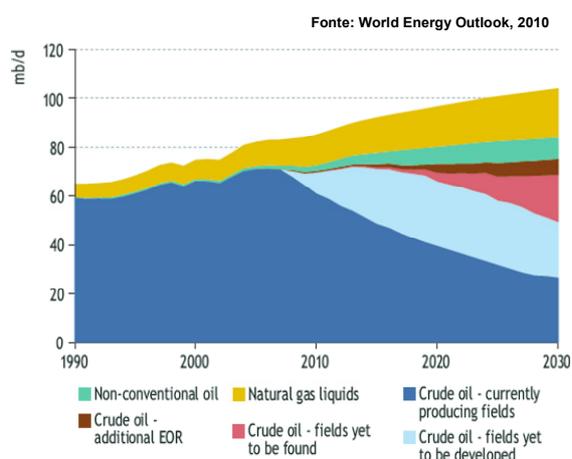


Figura 2: Esgotamento das reservas fósseis

P&G's 2020 sustainability goals include:

Category	2020 Goals
Products	
Replace petroleum-based materials with sustainably sourced renewable materials	25%*
Cold Water Washing	70% of total washing machine loads
Packaging Reduction	20% (per consumer use)*
Consumer Solid Waste	Pilot studies in both developed and developing markets to understand how to eliminate landfilled/dumped consumer solid waste
Operations	
Renewable Energy Powering our Plants	30%
Manufacturing waste	<0.5% (disposed)
Truck Transportation Reduction	20% (km/unit of volume)*

*Vs. 2010 baseline

Fonte: Visão de Sustentabilidade 2020, Procter & Gamble.

Figura 3: Objetivos de sustentabilidade P&G

LEI MUNICIPAL ORDINÁRIA Nº 7210/2008 DE JUNDIAÍ

EXIGE NOS ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS O USO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS.

LEI Nº 7627 de 12 de maio de 2008 DE FLORIANÓPOLIS

DISPÕE SOBRE A SUBSTITUIÇÃO DO USO DE SACOLAS E SACOS PLÁSTICOS NAS INSTITUIÇÕES QUE MENCIONA E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS

Lei 5502/09 | Lei Nº 5502, de 15 de julho de 2009 do Rio de Janeiro

DISPÕE SOBRE A SUBSTITUIÇÃO E RECOLHIMENTO DE SACOLAS PLÁSTICAS EM ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS LOCALIZADOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO COMO FORMA DE COLOCÁ-LAS À DISPOSIÇÃO DO CICLO DE RECICLAGEM E PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE FLUMINENSE E ACRESCENTA O ARTIGO 98-A À LEI Nº 3467/2000.

Figura 4: Leis das sacolinhas plásticas

Neste cenário são vistas movimentações significativas para a produção e desenvolvimento dos chamados biopolímeros, classificação dada para aqueles polímeros que possuem algum benefício sustentável frente ao seu sucedâneo convencional, por exemplo, PE Verde, polilactados (PLA), polímeros base amido e polihidroxicanoatos (PHA). Ainda assim, apesar dos importantes trabalhos realizados neste mercado até então, a sua representatividade atual no universo dos plásticos bem como o nível de entendimento deste negócio são pequenos frente ao forte potencial de crescimento percebido.

Este trabalho analisa, através de estudo de caso, o biopolímero de etanol da cana-de-açúcar brasileira, desenvolvido e produzido pela Braskem, chamado de polietileno verde. A abordagem se dá sobre os principais aspectos do produto, passando pela avaliação da matéria-prima sustentável utilizada, a cana-de-açúcar brasileira, a tecnologia empregada na produção do eteno verde, as vantagens sustentáveis frente ao PE convencional, as vantagens frente aos outros biopolímeros existentes, características mercadológicas e outros fatores relevantes para a análise.

2 PRODUÇÃO DE ETENO VERDE

O trabalho em questão visa analisar o polietileno verde da Braskem. Ainda assim, informações confidenciais e segredos industriais não permitem que detalhes do processo produtivo sejam abertos publicamente. Desta forma, será feita uma descrição generalizada da produção de eteno derivado do etanol considerando, quando possível, características técnicas adotadas pela empresa.

Neste momento cabe ressaltar que, apesar do estudo objetivar a análise sobre o PE verde, o processo produtivo avaliado neste trabalho será aquele da desidratação do etanol para a obtenção de eteno verde. Como a única diferença técnica existente entre o PE Verde e o PE fóssil é a sua matéria-prima, não se faz necessário a análise sobre a fabricação do PE Verde em si, já que esta etapa é idêntica a de um polietileno convencional base nafta. No capítulo sobre o polietileno verde, este assunto será abordado com mais detalhes.

2.1 HISTÓRICO

Antes do forte crescimento da indústria do petróleo após a Segunda Guerra Mundial, uma grande quantidade de rotas químicas era baseada em produtos agrícolas. O primeiro relato publicado na literatura sobre a desidratação catalítica de etanol para eteno data de 1797 (WINTER, 1976).

A primeira planta comercial a produzir eteno a partir de etanol foi construída e operada por Elektrochemische Werke GmbH em Bitterfeld, Alemanha, no ano de 1913. A escala produtiva era muito pequena para esta planta que usava alumina como catalisador em condições isotérmicas para produção de eteno, visando a obtenção de etano puro para uso em refrigeração. De 1930 até a Segunda Guerra, as plantas de desidratação de etanol eram a única fonte de eteno para a fabricação de gás mostarda na Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos.

O processo baseado em ácido fosfórico suportado foi a base das primeiras plantas a produzirem polietileno na Inglaterra até 1951. Apesar das várias desvantagens deste catalisador, como baixa produtividade e elevada corrosão, a sua escolha foi baseada no alto nível de pureza do eteno obtido, característica fundamental para a polimerização em alta pressão dos polietilenos. Durante a

década de 50, o eteno para produção de polietileno e outros químicos começou a ser fabricado a partir de plantas de craqueamento baseadas em petróleo.

Ainda assim até 1980, Halcon/Scientific Design, ICI, ABB Lummus, Petrobras, Solvay e Union Carbide projetaram e construíram plantas de eteno à base de etanol na Índia, Paquistão, Peru, Austrália e no Brasil. As capacidades dessas plantas eram, em geral, de 3.000 a 30.000 ton/ano, sendo a maior delas operada pela empresa Salgema (atual Braskem) no Brasil, com uma capacidade de 100.000 ton/ano usadas na produção de PVC durante 1980 e 1990. Quase todas estas plantas foram desativadas na década de 90, como resultado da queda nos preços do petróleo. Hoje apenas uma unidade comercial segue em funcionamento na Índia para produzir óxido de eteno, com exceção, é claro, da planta inaugurada em set/2010 pela Braskem em Triunfo-RS, com capacidade de 200.000 ton/ano de eteno verde (MORSCHBACKER, 2008).

2.2 DESIDRATAÇÃO DO ETANOL E PURIFICAÇÃO DO ETENO VERDE

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).

A Braskem, em sua atual planta, optou por trabalhar com etanol hidratado através de reatores adiabáticos de leito fixo, utilizando catalisador do tipo alumina. Vale salientar que, devido ao conhecimento público e amplo sobre o processo de obtenção de eteno a partir de etanol, a empresa não possui patentes registradas sobre este processo. Todavia, desenvolvimentos e melhorias internas foram realizados na fase de purificação e permitiram a produção de eteno com grau de pureza maior que 99,9% para posterior polimerização. Tais desenvolvimentos são segredos industriais da companhia e não serão mencionados neste estudo. Um processo genérico de uma planta eteno base etanol é ilustrado na figura 5.

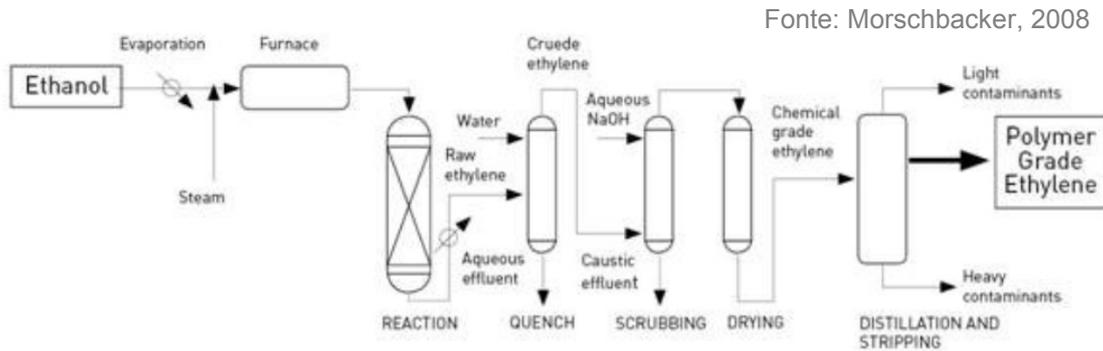


Figura 5: Representação genérica de processo para uma planta de eteno base etanol

2.2.1 DESIDRATAÇÃO DO ETANOL

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 compensa a sua escolha. Desta forma, parte-se para o processo de desidratação, onde 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. Tipicamente são usados três reatores de leito fixo em série, com fornalhas intermediárias para reaquecimento das correntes.

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 que 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, CO₂, etc (MORSCHBACKER, 2008).

2.2.2 PURIFICAÇÃO

Após a reação de desidratação, o eteno bruto é purificado em uma sequência de operações, começando com um resfriamento rápido da corrente de reação em uma torre de *quench* para remover a maior parte da água formada e as substâncias condensáveis polares, como o etanol não-reagido e pequenas quantidades de acetaldeído e ácido acético. A corrente de eteno que deixa o topo da torre de *quench*, contendo outros contaminantes menores, é então tratada de acordo com a pureza desejada para o produto final.

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 CO₂ 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).

2.3 RELAÇÕES IMPORTANTES

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. Na figura 6, são ilustradas algumas relações importantes do projeto de eteno verde da Braskem utilizando a cana-de-açúcar brasileira (MORSCHBACKER, 2008).

Fonte: Braskem S.A.

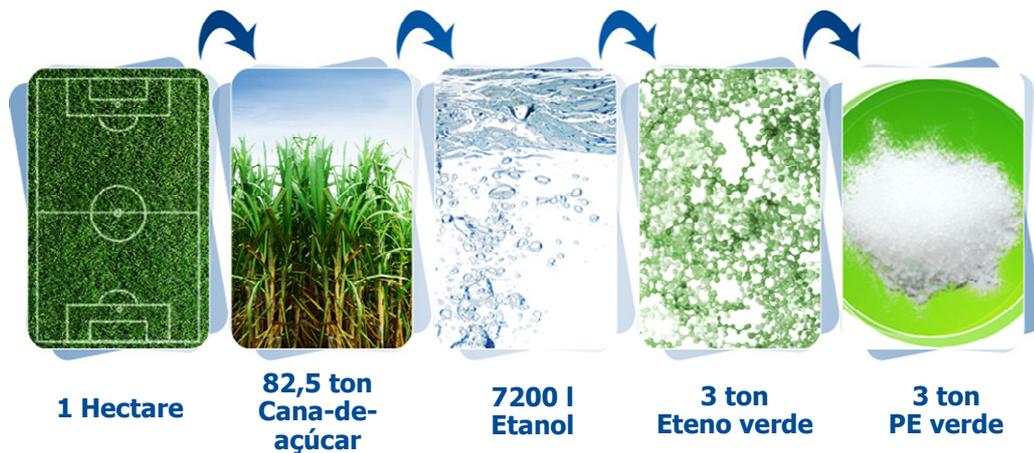


Figura 6: Relações aproximadas do eteno verde

3 CANA-DE-AÇÚCAR BRASILEIRA COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE PLÁSTICO

A seguir, são mostrados aspectos relevantes sobre a matéria-prima do polietileno verde e que ajudam a compreender melhor os benefícios sustentáveis deste biopolímero.

3.1 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL: UMA HISTÓRIA DE SUCESSO

Este estudo não visa uma análise detalhada do ciclo produtivo da cana-de-açúcar. Ainda assim, como o único diferencial técnico do polietileno verde frente ao de base fóssil é justamente a sua matéria-prima, sendo dela as principais vantagens de sustentabilidade, faz-se necessário uma avaliação geral sobre seus principais aspectos.

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).

Paralelo e ao mesmo tempo em série ao crescimento da produção acontece o desenvolvimento tecnológico e aprimoramento de todo o ciclo produtivo da cana-de-açúcar. O etanol brasileiro é hoje uma exceção positiva dentre as fontes de energias renováveis existentes, conciliando aspectos sustentáveis e de baixo custo, que, conseqüentemente, levam o Brasil e as empresas brasileiras a uma posição favorável de competitividade frente ao mercado mundial.

O reconhecimento internacional desta situação é verificado numa análise realizada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO sobre os biocombustíveis mundiais em 2008:

O recente crescimento na produção dos biocombustíveis aconteceu nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), predominantemente nos EUA e países da união Européia (EU). Uma exceção é o Brasil, que foi pioneiro no desenvolvimento de um setor competitivo nacional de biocombustíveis baseado majoritariamente na cana-de-açúcar. (*The State of Food and Agriculture*, FAO, 2008, p.6)

[...] No atual processo produtivo de etanol, a energia usada no processo é quase integralmente fornecida por combustíveis fósseis (com a exceção do etanol de cana-de-açúcar no Brasil, onde a maioria da energia para conversão é provida pelo bagaço da própria cana). (*The State of Food and Agriculture*, FAO, 2008, p.19)

3.2 MITOS E FATOS DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

A falta de conhecimento do ciclo produtivo de etanol no Brasil e as confusões causadas por comparações indevidas com outras matérias-primas renováveis, por exemplo, etanol de milho dos EUA, fizeram surgir alguns mitos sobre a cana-de-açúcar brasileira. Estas falsas afirmativas levam a desentendimentos e prejudicam o desenvolvimento do negócio, devendo ser combatidas e esclarecidas pelas instituições responsáveis de forma a mitigá-las.

Como o etanol é a principal matéria-prima do PE Verde, a demanda extra por cana-de-açúcar que a sua produção traria tem sido questionada pelo mercado com relação aos potenciais impactos no meio ambiente. Dois mitos principais fazem-se importantes esclarecer neste estudo:

a) “O aumento do consumo de etanol para produzir o PE Verde faria com que houvesse desmatamento de áreas da Amazônia para plantação de cana-de-açúcar.” Três fatos principais invalidam completamente este mito (NEVES e CONEJERO, 2009):

- Leis nacionais e Zoneamento Agro ecológico da Cana-de-açúcar proíbem o plantio de cana em áreas com florestas nativas, como a Amazônia;
- O cultivo da cana exige períodos de clima seco e frio, para a fixação do açúcar na planta. Na Amazônia o tempo é úmido e quente o ano todo, impossibilitando tecnicamente o plantio da cana;
- As regiões de plantio da cana estão localizadas entre 2.000 a 2.500km de distância da Amazônia, o que restringe logisticamente qualquer impacto.

A figura 7 ajuda a entender melhor a geografia brasileira da cana-de-açúcar.

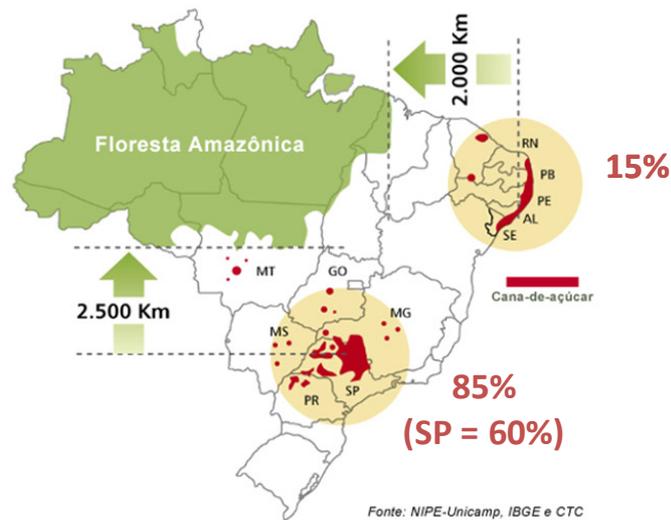


Figura 7: Geografia da cana-de-açúcar no Brasil

b) “O aumento do consumo de etanol para produzir o PE Verde teria impacto na produção de alimentos ao ponto de colaborar para a alta de preços percebida no mercado.”

Este é outro mito que possui fatos contrários (NEVES e CONEJERO, 2009):

- Atualmente o Brasil possui 340 MM de hectares de terras aráveis. Destas, apenas 1% é dedicada para produção do etanol. Como a maior parte do consumo de álcool é fornecida para o mercado de combustível, a parcela de terras aráveis ocupada para produção de etanol usado para fabricação de 200 mil ton/ano de PE Verde equivale a 0,02% ou 65 mil ha. Quantidade irrelevante para impactar na produção de alimentos no Brasil.
- A prática de se usar leguminosas para a nitrogação do solo durante a rotação da cultura, que ocorre em média a cada seis anos, faz com que em torno de 15% das áreas produtoras de cana sejam dedicadas para o cultivo de soja, feijão e amendoim, apoiando o abastecimento do mercado de alimentos.

Além disso, o reconhecimento internacional também foi realizado com relação a este aspecto da cana-de-açúcar, quando o *The World Bank* (2008) divulgou avaliação do impacto dos biocombustíveis sobre o aumento dos preços dos alimentos:

A produção do etanol brasileiro de cana-de-açúcar não contribuiu apreciavelmente para o recente aumento dos preços das *commodities* de alimentos, porque a produção de cana-de-açúcar brasileira cresceu rapidamente e as exportações de açúcar quase triplicaram desde 2000. (*A Note on Rising Food Prices, The World Bank, 2008, p.7*)

Em resumo, podemos afirmar que o cenário de matéria-prima para o polietileno verde é favorável e oferece interessante competitividade frente ao mercado externo. Além disso, com o constante desenvolvimento tecnológico da cana-de-açúcar no Brasil é provável que esta situação fique ainda mais positiva no futuro, potencializando a instalação de competidores internacionais no território brasileiro em busca destes benefícios.

4 POLIETILENO VERDE E O MERCADO DOS BIOPOLÍMEROS

Primeiramente faz-se necessário um alinhamento do conceito de biopolímero ou bioplástico. Para isso, será usada a definição da associação *European Bioplastics*, referência mundial no mercado de biopolímeros, e uma representação através da matriz da figura 8:

Bioplásticos são plásticos compostáveis certificados de acordo com a norma europeia EN13432 e baseados em fonte renovável ou não-renovável. Bioplásticos também são plásticos não-compostáveis que são produzidos com base em fonte renovável. (*FAQ European Bioplastics*, 2009, p.3)

		Biopolímero (Empresa Produtora)		
Biodegradável	Matéria-prima fóssil		Matéria-prima renovável	
		PBST (DuPont) PBAT (BASF)	PLA (NatureWorks) B. Amido (Novamont) PHA (Metabolix) B. Celulose (Innovia)	
Não biodegradável	PE PP PET PVC	Bio-PE (Braskem) Bio-PP (Braskem)		

Figura 8: Matriz dos biopolímeros

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO PE VERDE

O polietileno verde produzido pela 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. Vale apenas mencionar que a Braskem está

produzindo grades em PE verde de PEAD para aplicações diversas em processos de injeção, sopro e filme e também de PEBDL com co-monômeros de buteno e hexeno para aplicações diversas em processos de filmes flexíveis. Grades de PEBD verde não serão produzidos (BRASKEM).

O projeto da Braskem, já anteriormente comentado neste estudo, trouxe ao mercado uma capacidade nominal de 200.000 ton/ano de PE verde, através da inauguração da planta de eteno verde (C2V) em set/2010. Neste sentido, cabe ressaltar que o novo ativo lançado pela empresa refere-se apenas a planta de desidratação de etanol para a fabricação de eteno, onde um investimento em torno de US\$ 290 milhões foi realizado durante três anos de projeto.

As unidades de polimerização usadas para processar o C2V serão as mesmas já existentes no complexo petroquímico de Triunfo-RS. Mais precisamente, o C2V será enviado para duas plantas de polimerização já previamente interligadas a unidade de desidratação. Uma destas plantas possui tecnologia Hostalen/Basell com capacidade de 140.000 ton/ano e vocação para produção de PEAD bimodal. A outra planta usada para polimerização é de tecnologia fase gás Spherilene/Basell com capacidade de 150.000 ton/ano e vocação para produção de PEBDL, PEMD e PEAD com boas propriedades organolépticas e baixo índice de formação de géis. As duas plantas são identificadas pela empresa como PE5.

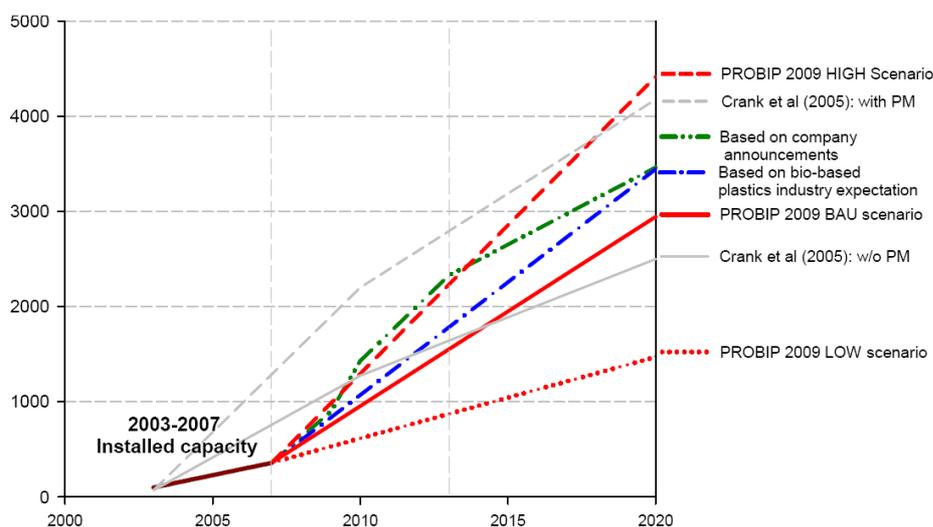
O benefício de usar as plantas de polimerização já existentes foi possível devido a otimizações de mix de produção que criaram mais espaço real livre em planta, desgargamentos de processo que aumentaram as capacidades e a substituição de exportações marginais pré-existentes.

Como a capacidade das duas plantas de polimerização é maior que a produção de C2V, será necessário alternar as produções entre PE verde e fóssil conforme disponibilidade de matéria-prima verde. O processo de transição das matérias-primas fóssil → verde → fóssil está sendo gerenciado pela empresa, porém, de qualquer forma, faz com que parte do eteno verde produzido seja contaminado pelo eteno fóssil, inviabilizando a sua comercialização como PE verde. A quantidade de C2V contaminada pelo fóssil não foi aberta pela Braskem, mas fará com que a real disponibilidade de C2V seja menor do que a capacidade nominal de 200.000 ton/ano.

4.2 BIOPOLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS

Conforme visto na figura 8, já é conhecida a existência de uma variedade de biopolímeros e empresas atuantes neste segmento. Ainda assim, o mercado de bioplásticos é relativamente novo, apesar de demonstrar grande potencial de crescimento, como ilustrado na figura 9. Estima-se que o *market-share* atual dos biopolímeros esteja em torno de 0,5%, com uma capacidade próxima de 1 milhão de ton/ano. Diante do ainda pouco conhecimento que se tem sobre os vetores e dinâmica deste mercado, é difícil se ter uma estimativa sobre o seu futuro. De qualquer forma, há um consenso de que o desenvolvimento de novas tecnologias e pressões ambientais farão a demanda e capacidade crescerem fortemente na próxima década. Neste sentido, o PLA e os biopolímeros base amido, assim como o PE verde, se destacam (PATEL, LI e HAUFE, 2009).

O objetivo do trabalho não é aprofundar-se nas questões dos bioplásticos, porém uma breve avaliação sobre os principais aspectos de mercado e os biopolímeros mais relevantes são necessários para um melhor entendimento do contexto em que o PE verde está inserido.



Fonte: PRO-BIP 2009, p.iii

Figura 9: Capacidade mundial instalada de biopolímeros e projeção de crescimento

4.2.1 PLA

Poli(ácido láctico) (PLA) é um poliéster produzido através da polimerização do ácido láctico obtido, principalmente, por fermentação bacteriana de glicose extraída do milho. As boas propriedades físicas e mecânicas apresentadas pelo PLA fazem dele um dos principais biopolímeros da categoria dos biodegradáveis, sendo usado principalmente para aplicações em embalagens e têxteis.

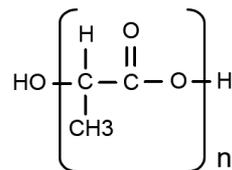


Figura 10: Molécula de PLA

Os primeiros trabalhos para produção de PLA datam de 1932, sendo que o polímero produzido era de baixo peso molecular e propriedades mecânicas não adequadas. Trabalhos posteriores da empresa DuPont resultaram num polímero com alto peso molecular, patenteado em 1954, porém sua instabilidade em condições úmidas levou a uma descontinuidade do trabalho nessa área. Aplicações na área médica surgiram como a produção de fios de sutura, porém somente no final da década de 80, início de 90 é que esforços foram feitos para se obter PLA em escala industrial pelas empresas DuPont, Coors Brewing (Chronopol) e Cargill (PATEL, LI e HAUFE, 2009).

O desenvolvimento de PLA para aplicações em grande escala iniciou-se em 1994 com a Cargill operando sua planta com capacidade de 6.000 ton/ano nos Estados Unidos. Em 1997, a Dow Chemical e a Cargill resolvem explorar o mercado potencial de PLA e em 2000 é criada a *joint venture* Cargill Dow LLC com o propósito de produzir PLA em escala comercial e desenvolver o mercado para produtos a base de PLA. Posteriormente a DOW deixa o negócio e a Cargill assume 100% do controle. Atualmente a empresa NatureWorks, pertencente a Cargill, é a maior produtora de PLA do mundo, com capacidade nominal de 140.000 ton/ano, seguida pela tailandesa PURAC com 75.000 ton/ano.

As tabelas 1 e 2 ilustram um pouco mais dos perfis técnico e de aplicação do PLA:

Tabela 1: Potencial técnico de substituição por PLA

++ substituição completa + substituição parcial - sem substituição Fonte: PRO-BIP 2009, p.68

	PVC	PE-HD	PE-LD	PP	GP-PS	PMMA	PA	PET	PBT	PC	POM	PUR	HI-PS	ABS	non-poly
NatureWorks	-	+	+	+	-	+/-	+	+	-	-	-	+/-	-	-	-
PURAC	+/-	+	+	+	+/-	+/-	+	+/-	-	+/-	-	+/-	+	+	+

GP-PS: Poliestireno para aplicações gerais; HI-PS: Poliestireno de alto impacto

Tabela 2: Principais aplicações do PLA

Setor	% da produção total 2007	% da produção total 2020	
	NatureWorks	NatureWorks	PURAC
Embalagens	70%	20%	10%
Construção			20%
Agricultura	1%		
Transporte		20%	20%
Móveis			
Eleto-eletrônico	1%	10%	10%
Utensílios domésticos			
Têxtil	28%	50%	40%
Outros			
Total	100%	100%	100%

Fonte: PRO-BIP 2009, p.69

4.2.2 BIOPOLÍMEROS BASE AMIDO

O amido é um polissacarídeo natural com uma estrutura linear de repetidas unidades de glicose. O comprimento da cadeia de carbono depende da fonte da planta da qual é obtido. Devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade, o amido tem sido bastante estudado no sentido de ser modificado ou misturado com outras substâncias químicas para melhoramento de sua processabilidade, formando uma família bastante versátil de bioplásticos. Muitas vezes, o amido é misturado com outros polímeros sintéticos ou de base biológica, tais como poli (álcool vinílico), poliolefinas e PLA.

Quanto maior o teor de amido, maior a biodegradabilidade destes polímeros. A biodegradabilidade dos polímeros de amido é definida pelas fracas ligações que são suscetíveis ao ataque biológico. Isso permite que a matriz polimérica seja desintegrada e, conseqüentemente, biodegradada.

Em termos de propriedades, os biopolímeros base amido são inferiores ao PLA e outros polímeros convencionais. Características como baixa barreira a vapor d'água, alta sensibilidade em contato com gorduras e água e vulnerabilidade a

degradação, estreitam bastante as aplicações deste bioplástico. Isto faz com que os polímeros base amido sejam muito dependentes de misturas com outros copolímeros para melhoria de suas propriedades, o que, muitas vezes, pode comprometer a sua característica de biodegradabilidade.

Os principais fabricantes atualmente de biopolímeros base amido são Biotec (Alemanha), Novamont (Itália) e Rodenburg (Holanda), com capacidades de 120.000 ton/ano, 60.000 ton/ano e 40.000 ton/ano, respectivamente. As tabelas 3 e 4 ilustram um pouco mais dos perfis técnico e de aplicação dos biopolímeros base amido (PATEL, LI e HAUFÉ, 2009).

Tabela 3: Potencial técnico de substituição por biopolímeros base amido

++ substituição completa + substituição parcial - sem substituição Fonte: PRO-BIP 2009, p.36

	PVC	PE-HD	PE-LD	PP	PS	PM-MA	PA	PET	PBT	PC	POM	PUR	ABS	Other
Novamont	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	
Biotec	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	

Tabela 4: Principais aplicações dos biopolímeros base amido

Setor	% da produção total da Novamont 2003
Embalagens	75%
Construção	
Agricultura	25%
Têxtil	
Transporte	
Móveis	
Eletro-eletrônico	
Utensílios domésticos	
Outros	
Total	100%

Fonte: PRO-BIP 2009, p.38

4.2.3 OUTROS BIOPOLÍMEROS

Após uma rápida visão nos sub-capítulos anteriores sobre os principais biopolímeros relevantes para análise do polietileno verde, o PLA e o base amido, que servirão como referências iniciais pela Braskem para o entendimento do mercado, vale registrar de uma forma geral a existência dos outros tipos de

biopolímeros e as principais empresas envolvidas. As tabelas 5 e 6 ilustram o cenário atual das principais capacidades e tipos de biopolímeros existentes.

Tabela 5: Tabela das principais capacidades mundiais de biopolímeros

Biopolímero	Empresa	País	Biodegradável	Fonte Renovável	Capacidade em kta - 2009
Bio-PE	Braskem	Brasil		X	200
PLA	NatureWorks	EUA	X	X	140
	PURAC	Tailândia	X	X	75
	HiSun	China	X	X	5
PLA			X	X	220
Base Amido	Biotec	Alemanha	X	X	120
	Novamont	Itália	X	X	60
	Livan	China	X	X	60
	Rodenburg	Holanda	X	X	40
	Cereplast	EUA	X	X	23
	Limagrain	França	X	X	10
	BIOF	Alemanha	X	X	5
	Plantic	Áustria	X	X	5
Base Amido			X	X	323
PHA	Telles	EUA	X	X	50
	Tianan	China	X	X	10
	Tanjin Green	China	X	X	10
PHA			X	X	70
Base Celulose	Innovia	Inglaterra	X	X	5
	Celanese	Inglaterra	X	X	5
Base Celulose			X	X	10
PBAT	BASF	Alemanha		X	14
PTT (1,3 PDO)	DuPont	EUA		X	10
PA	Arkema	EUA		X	5
Outros				X	29
Total					852

Fonte: PRO-BIP 2009, p.16-23

Tabela 6: Tabela dos principais grupos atuais de biopolímeros

No	BIOPLÁSTICO	TIPO DE POLÍMERO	ESTRUTURA/MÉTODO DE PRODUÇÃO
1	Polímeros de amido	Polissacarídeo	Polímero natural modificado
2	Polímeros celulósicos	Polissacarídeo	Ésteres celulósicos orgânicos ou celulose regenerada
3	Polilactatos (PLA)	Poliéster	Ácido láctico produzido por fermentação seguido de polimerização
4	Poli-hidroxicarboxilatos (PHAs)	Poliéster	Produzido por fermentação direta de fonte de carbono por microrganismos ou em vegetais geneticamente modificados
5	Poliésteres Alifáticos – Aromáticos (PAA)	Poliéster	1-3 propanodiol produzido por fermentação seguido de copolimerização com AT (ou DMT)
	Politrimetilenotereftalato (PTT)		1-4 butanodiol produzido por fermentação seguido de copolimerização com AT
	Polibutilenotereftalato (PBT)		1-4 butanodiol copolimerizado com ácido succínico, ambos produzidos por fermentação
	Polibutilenosuccinato (PBS)		
6	Poliétileno (PE)	Polioléfina	Eteno obtido a partir do etanol da cana-de-açúcar
7	Policloreto de vinila (PVC)	Polivinílico	Monômero cloreto de vinila pode ser obtido do eteno verde (base etanol)
8	Poliuretanas (PURs)	Poliuretano	Polimerização de poliois obtidos por fermentação ou purificação química com isocianatos petroquímico
9	Poliâmidas (PA)	Poliamida	Caprolactama produzida por fermentação
	PA 6		Ácido adípico produzido por fermentação
	PA 66		Monômero obtido por transformação química do ácido oléico
	PA 69		

Fonte: PRO-BIP 2009, p.14-15

4.2.4 “BIODEGRADABILIDADE vs RECICLABILIDADE”

Conforme visto na tabela 5, os principais biopolímeros existentes no mercado atualmente são biodegradáveis, característica não apresentada pelo PE verde. Diante desta situação, é importante salientar que esta não é uma desvantagem do PE verde. Como o polietileno é um material de alto valor agregado, a reciclabilidade é uma característica muito importante, pois viabiliza a reutilização do material por inúmeras vezes. Esta durabilidade também é necessária em diversas aplicações como, por exemplo, automotivo, bombonas, caixas e brinquedos. Além disso, o fato do PE verde não se biodegradar faz com que o CO₂ capturado durante o cultivo da cana-de-açúcar permaneça fixado por todo o período de vida do plástico.

Ademais, os plásticos biodegradáveis apresentam uma série de limitações técnicas que podem dificultar o uso em diversas aplicações, como visto na figura 11.

Os plásticos biodegradáveis enfrentam várias limitações inerentes de propriedade...	...que impedem a utilização desses plásticos em várias aplicações importantes, onde o PE verde atende a todas os requisitos
<p>PLA</p> <ul style="list-style-type: none"> – Baixo ponto de fusão – Baixa resistência a impacto e força estrutural – Baixa barreira de gás – Falta de compatibilidade com a infraestrutura de reciclagem 	<p>1) Recipientes de alimentos (p.ex., copos, garrafas) requerem tolerância ao frio e ao calor</p> <ul style="list-style-type: none"> – Refeições prontas para forno e microondas – Laticínios e outros produtos pasteurizados – Produtos viscosos com conteúdo quente
<p>Base Amido</p> <ul style="list-style-type: none"> – Opaco – Baixa resistência a umidade de bactérias – Baixa resistência a óleo e solventes – Alta permeabilidade de vapor de água 	<p>2) Embalagens de alimentos para evitar estrago</p> <ul style="list-style-type: none"> – Recipientes de alimentos para produtos com ciclo de vida moderado – Filmes e invólucros para embalagens de alimentos – Embalagens que podem ser alongadas
<p>PHA</p> <ul style="list-style-type: none"> – Baixa força, rigidez – Baixa resistência a abrasão – Baixa temperatura de decomposição – Claridade moderada 	<p>3) Bebidas gaseificadas</p>
<p>PBAT</p> <ul style="list-style-type: none"> – Baixa barreira de vapor de água – Baixa rigidez 	<p>4) Caixas de sucos e outros recipientes tipo Tetrapak</p> <p>5) Produtos que requerem alta força, dureza e fidelidade estrutural</p> <ul style="list-style-type: none"> – Embalagens rígidas – Placas para transporte – Engradados, bandejas, cubas – Produtos de cozinha, brinquedos e bens de consumo relacionados – Peças automotivas

Fonte: Braskem

Figura 11: Limitações técnicas dos plásticos biodegradáveis

4.3 BENEFÍCIOS DO PE VERDE

De forma geral, a busca pela sustentabilidade sempre enfrentou e enfrentará uma dura batalha com relação ao custo/benefício das ações vislumbradas. O carro elétrico, descoberta relativamente antiga, ainda não conseguiu evoluir para uma escala industrial devido a problemas de viabilidade econômica. A energia solar, da mesma forma. Isso sem falar na dificuldade de firmar comprometimentos internacionais entre países com relação a objetivos ambientais. A questão financeira sempre está presente ponderando a tomada de decisão. Neste cenário, o PE verde se mostra uma solução sustentável diferenciada, mesclando importantes benefícios ao meio-ambiente com características técnicas favoráveis e já dominadas no mercado, o que reduz significativamente o custo de adoção deste biopolímero. Este conjunto de qualidades facilita a utilização pelas empresas e acelera o consumo de produtos sustentáveis.

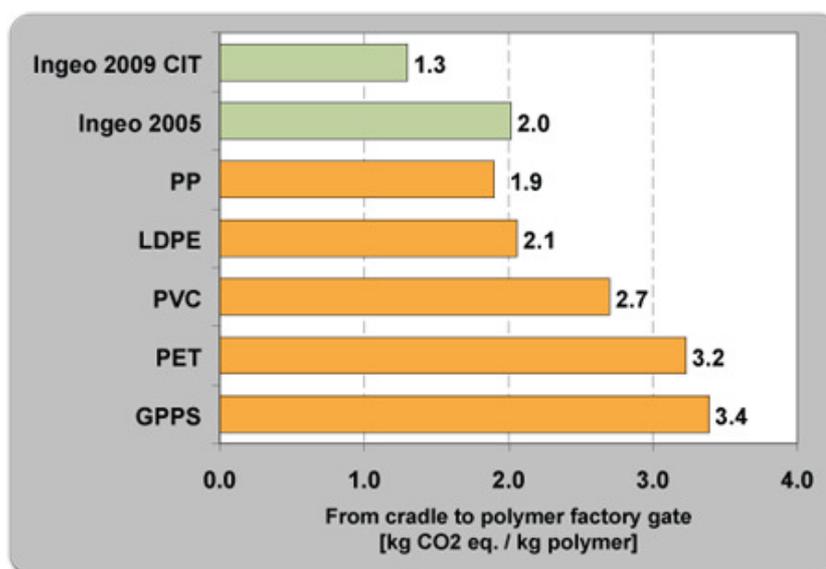
4.3.1 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

A análise do ciclo de vida de um produto consiste em avaliar os aspectos ambientais envolvidos desde a extração da matéria-prima da natureza até a sua disposição final. Um dos principais indicadores gerados pelo LCA (sigla em inglês para *Life Cycle Assessment*) é a pegada de carbono resultante do ciclo de vida do produto (FUNDAÇÃO ESPAÇO ECO).

No caso do PE verde, o resultado de pegada de carbono obtido através da análise do ciclo de vida desde o cultivo da cana-de-açúcar até a produção do polietileno foi de 2,5 kg de CO₂ absorvidos e fixados da atmosfera por kg de polímero produzido. Números divulgados pela instituição *Plastics Europe* sobre a pegada de carbono de um PE base fóssil mostram valor oposto de 2,5 kg de CO₂ emitidos por kg de polímero produzido. Desta forma, ao substituir um PE fóssil na Europa pelo PE verde da Braskem, deixa-se de emitir ao meio ambiente 5 kg de CO₂ por kg de polímero, benefício significativo frente aos problemas de efeito estufa enfrentados atualmente (BRASKEM e PLASTICS EUROPE).

Quando comparado ao PLA, o PE verde também se mostra mais eficiente em termos de pegada de carbono. Conforme dados divulgados pela própria NatureWorks (ver figura 12), o PLA produzido por eles, com o nome de *Ingeo*,

apresentou resultado no LCA de 1,3 kg de CO₂ emitidos por kg de polímero. Esta diferença de pegada de carbono está associada diretamente a matéria-prima utilizada, no caso do PLA, açúcar do milho nos EUA.



Fonte: NatureWorks

Figura 12: Pegada de carbono PLA – NatureWorks

Da mesma forma para o PE verde, o resultado positivo de pegada de carbono observado no LCA se origina principalmente da utilização de cana-de-açúcar como matéria-prima.

4.3.2 OUTROS BENEFÍCIOS

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:

- 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.

5 MERCADO

O mercado de biopolímeros é recente e ainda pouco conhecido, quando comparado ao amadurecimento percebido pelo negócio dos polímeros convencionais. Neste sentido, a seguir são mostrados aspectos relevantes referentes aos bioplásticos e seu desenvolvimento.

5.1 DINÂMICA DE MERCADO

O PE verde, apesar de idêntico ao polietileno base fóssil em termos de características técnicas e aparência, apresenta uma dinâmica de mercado muito diferente (ver figura 13). Os biopolímeros em geral são classificados como um nicho de mercado, com características construídas em torno das questões sustentáveis e dos benefícios que trazem ao meio ambiente. Enquanto isso, o polietileno convencional apresenta-se como uma *commodity*, material de grande consumo global e vasto número de produtores, clientes e tipos de produto.

PE convencional		PE Verde
Vendido na grande maioria para transformadores de plástico		Vendido na maioria para empresas de contato direto com o consumidor final
Comprado por empresas em busca de um produto padrão (disponível também de outros concorrentes)	VS	Comprado por empresas que buscam diferenciação
Grande número de clientes de diversos tamanhos		Número limitado de clientes que possuem diretrizes de sustentabilidade
Demanda influenciada por tendências macro-econômicas, como o crescimento chinês		Demanda influenciada por iniciativas próprias e/ou regulamentações específicas
Vasta quantidade de produtores e fornecedores		Baixa disponibilidade e apenas uma empresa produtora no mundo

Fonte: Braskem

Figura 13: Comparativo PE verde x PE fóssil

Outro fator específico aos biopolímeros com relação a sua dinâmica de mercado é o nível de maturidade tecnológica. Enquanto os polietilenos convencionais estão em um patamar avançado de desenvolvimento, sem grandes revoluções tecnológicas previstas, os biopolímeros apresentam uma recente evolução do ponto de vista da tecnologia. Muitos processos antigos estão sendo revisitados, como a própria desidratação do etanol a eteno verde. Inúmeras plantas com processos produtivos inéditos foram inauguradas e otimizações estão em andamento. As capacidades existentes são muito pequenas quando comparadas a escala petroquímica. Conseqüentemente, pode-se dizer que os biopolímeros estão apenas no começo da curva de aprendizado e apresentam forte potencial de desenvolvimento para os próximos anos.

5.2 VALOR DO BIOPOLÍMERO

É consenso no mercado atualmente que a característica sustentável apresentada pelos biopolímeros é um diferencial agregador de valor ao produto. Entretanto, mensurar esse valor não é uma tarefa fácil. Esta análise vem sendo realizada exaustivamente pelas empresas envolvidas neste negócio e é ponto crucial para o seu sucesso. A viabilidade econômica faz parte de qualquer projeto empresarial e não seria diferente para o caso dos biopolímeros.

Conforme informações da Braskem, os biopolímeros de forma geral apresentam preços mais altos que os polímeros convencionais. Esta situação, apesar de capturar valor dos biopolímeros, acaba, muitas vezes, limitando a sua demanda. Neste contexto o PE verde se mostra em grande vantagem, já que possui competitividade em termos de custo, por ser baseado no etanol da cana-de-açúcar brasileira, e não oferece custos extras ao comprador para a adaptação de equipamentos e processos, como já mencionado anteriormente com relação as vantagens do PE verde. Todavia, a Braskem possui o grande desafio de conseguir capturar o máximo do valor percebido do PE verde e ao mesmo tempo não retraindo a demanda em função dos altos preços.

6 CONCLUSÃO

Os problemas ambientais enfrentados pelo mundo atualmente e as projeções pessimistas com relação a uma melhora deste cenário vem motivando cada vez mais investimentos e demanda por ações de cunho ambiental. Neste contexto, os biopolímeros apresentam-se como uma alternativa sustentável no universo dos plásticos. De fonte renovável ou biodegradável, ou com estas duas características combinadas, os bioplásticos parecem ter voltado para ficar e apresentam significativo potencial de crescimento.

O número de biopolímeros disponíveis no mercado vem aumentando constantemente, assim como sua capacidade instalada e empresas produtoras. Um grande destaque recente neste negócio é o polietileno verde. Feito a partir do etanol da cana-de-açúcar, o PE verde da Braskem, que começou a ser produzido neste ano, se apresenta como uma das melhores soluções em biopolímeros no mundo. Sua matéria-prima oferece competitividade de custos e é reconhecida internacionalmente pelos seus benefícios ao meio ambiente, principalmente com relação a diminuição das emissões dos gases do efeito estufa. Além disso, o fato de apresentar as mesmas características de um polietileno convencional faz do PE verde um grande facilitador das empresas no acesso a este mercado.

Muitos desafios ainda existem para que os biopolímeros se tornem um mercado de escala global relevante e, conseqüentemente, tenha seus efeitos ambientais positivos potencializados. Dentre eles, fatores envolvendo a evolução tecnológica dos processos e produtos serão chaves no desenvolvimento deste mercado. Além disso, uma valoração correta deste novo produto deverá gerar atratividade a todos os elos da cadeia e será fundamental para viabilizar novos investimentos e alavancar a demanda.

REFERÊNCIAS

Association of Plastics Manufacturers in Europe – Relatório de ecoeficiência do PEAD de Março/2005

lca.plasticseurope.org/hdpe4.htm Acessado em 19/Nov/2010

Braskem S.A. – Website do polietileno verde

www.braskem.com.br/plasticoverde/_HOME.html Acessado em 13/Nov/2010

EIA – U.S. Energy Information Administration – Preços de petróleo

www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm Acessado em 13/Nov/2010

European Bioplastics – Frequently Asked Questions FAQ, atualizado em jan/2009

www.european-bioplastics.org/index.php?id=191 Acessado em 13/Nov/2010

Fundação Espaço ECO – Análise de Ecoeficiência

www.espacoeco.org/default.asp?id=3515 Acessado em 14/Nov/2010

NatureWorks LLC – Resultados das análises de LCA do PLA Ingeo

www.natureworkslc.com/the-ingeo-journey/eco-profile-and-lca/eco-profile.aspx#ghg

Acessado em 14/Nov/2010

Procter & Gamble – Visão de longo prazo e metas de sustentabilidade 2020

www.pg.com/en_US/news_views/blog_posts/2010/sep/grow_business.shtml

Acessado em 14/Nov/2010

World Energy Outlook 2010

www.worldenergyoutlook.org/2010.asp

World Petrochemical Conference 2010

CMAI – Chemical Market Associates, INC.

ASTMD6866–08. “Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis.”

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

Communication Division. **The State of Food and Agriculture.** Biofuels: prospects, risks and opportunities, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008.

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

MITCHELL, Donald. **A Note on Rising Food Prices.** Policy Research Working Paper 4682. The World Bank, Development Prospects Group, 2008.

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

NEVES, Marcos Fava; CONEJERO, Marco Antonio. **Estratégias para a cana no Brasil: Um Negócio Classe Mundial.** 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

PATEL, Martin K.; LI, Shen; HAUFE, Juliane. **PRO-BIP 2009.** Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. Holanda: Utrecht University - STS, 2009.

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

WINTER, O., Eng, M-T. **Make ethylene from ethanol.** Hydrocarbon Processing, November, 1976.