ConBRepro
X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
EVENTO ON-LINE
02 a 04 de dezembro 2020

Estudo sobre a inovação, patentes concedidas polietilenos verdes no período de 1999 a 2017 e sua relação com a descarbonização do meio ambiente: o caso BRASKEM

Eliana L. Hellvig

Departamento de Engenharia Mecânica-PGMEC- UFPR

Thais H.S.Flores-Sahagun

Departamento de Engenharia Mecânica-PGMEC- UFPR

Resumo

Este trabalho apresenta uma avaliação com o uso da patentometria de como evoluíram as tecnologias de produção e uso de polietilenos (PEAD - polietileno de alta densidade e LLDPE - polietileno linear de baixa densidade) e polipropilenos verdes (PP) de 1999 a 2017. Com a identificação das empresas que investiram nessas tecnologias, foram avaliados os motivos da queda do investimento em P&D no período estudado e a Braskem foi selecionada para o estudo de caso pois é a única empresa que produz comercialmente polietilenos verdes no mundo com o uso do eteno verde derivado da desidratação do etanol da cana-de-açúcar. É mostrado como a Braskem obtém lucros extraordinários na Bolsa de Valores de São Paulo (B3) com os ativos verdes BRKM5 e créditos de carbono. Foram caracterizadas amostras dos pares PEAD verde e fóssil e PELBD verde e fóssil nominalmente iguais e foi verificado que o PEAD verde é um compósito natural e que o PELBD verde tem a sua estrutura química mais organizada apesar dos pares apresentarem o mesmo desempenho. Observa-se a falta de fiscalização rigorosa nos inventários de emissão de CO_2 na B3 e não há transparência na forma como os créditos de carbono foram obtidos.

Palavras-chaves: crédito de carbono; polietilenos verdes; Braskem; I'm green^{TM}; BRKM5

Abstract

This work presents an evaluation of how the technologies of production and use of polyethylene (HDPE - high density polyethylene and LLDPE - linear low density polyethylene) and green polypropylene (PP) evolved from 1999 to 2017. With the identification of the companies that invested in these technologies, the reasons for the fall in investment in R&D during the period studied were evaluated and Braskem was selected for the case study as it is the only company that commercially produces green polyethylene in the world using green ethylene derived from the dehydration of sugarcane ethanol. It shows how Braskem makes extraordinary profits on the São Paulo Stock Exchange (B3) with green assets BRKM5 and carbon credits. Samples of same performance pairs green and fossil HDPE and green and fossil PELBD were characterized and it was found that green HDPE is a natural composite while green PELBD has a more organized

chemical structure compared to the fossil polymer. There is a lack of rigorous inspection in the CO_2 emission inventories at B3 and there is no transparency in the way the carbon credits were obtained.

Keywords: carbon credits; green polyethylenes; Braskem; I'm green™; BRKM5

1. Introdução

Os plásticos verdes têm recebido atenção especial da indústria e de governos em todo o mundo, pois são produzidos a partir de matérias-primas de origem vegetal e podem contribuir para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e da poluição ambiental gerada pelo plástico, que causam graves danos aos ecossistemas e a qualidade de vida da população mundial. Nesse contexto, este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a Braskem, única empresa produtora de polietilenos verdes obtidos a partir da cana-de-açúcar no mundo (WATERS, 2017; BASTOS, 2007), com o objetivo de discutir questões relacionadas aos ganhos que as empresas obtêm ao investir em polímeros verdes e seus potenciais impactos na descarbonização do meio ambiente. A partir do eteno verde obtido através da desidratação do etanol produzido com o uso da cana-de-açucar a Braskem produz comercialmente vários grades de polietileno e em escala não comercial produz o polipropileno (PP) e o poli(etileno-co-acetato de vinila) – EVA. Para melhor entendimento dessas questões, serão abordados, a inovação e o desenvolvimento tecnológico da Braskem relativos a polietilenos (PEs) verdes e o papel dos créditos de carbono enquanto instrumentos financeiros para a descarbonização do meio ambiente.

Os Estados Unidos da América (EUA) e o Brasil são os principais produtores de etanol no mundo, sendo que o etanol produzido nos EUA é obtido a partir do milho e, no Brasil, da cana-de-açúcar (FUNDAÇÃO ECO, 2019; RODRIGUES, 2011). Embora o etanol produzido a partir do milho e da cana-de-açúcar - assim como de outras matérias-primas de origem vegetal, com a mandioca e a beterraba - sejam produtos iguais, considerando o ciclo total da produção, apenas o etanol da cana-de-açúcar retira CO_2 do meio ambiente. Dessa forma, a obtenção de eteno verde a partir da desidratação do etanol da cana-de-açúcar é valiosa, pois, além de abrir um grande leque de possibilidades para a produção de polímeros verdes e ambientalmente amigáveis, gera créditos de carbono (DIAS, 2015; GARCIA et. al, 2020).

O Protocolo de Kyoto, acordo internacional que estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam reduzir suas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), incentivou as indústrias a buscarem alternativas para a redução de emissões, a desenvolverem novas tecnologias que pudessem gerar créditos de carbono, ou a comprarem créditos de carbono de países menos desenvolvidos. A premissa que embasa o acordo é de que a química verde e o uso de tecnologias limpas contribuem para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado e minimizam o impacto ambiental causado pelo crescimento da população e de suas necessidades materiais e energéticas(AMAN. et. al, 2013).

Neste trabalho será discutida a evolução das patentes relativas a PEs (polietileno de alta densidade – PEAD e polietileno linear de baixa densidade – PELBD) e PP verdes no período de 1999 a 2017 pertencentes ao banco de patentes United States Patent and Trademark Office – USPTO. Essas patentes serão avaliadas quanto à concentração de mercado, empresas que mais investiram nessas tecnologias, que tipos de produtos podem ser fabricados etc. Serão debatidas também as vantagens do uso dos polímeros verdes I'm Green ™ da Braskem por clientes empresariais e seus ganhos em relação a marketing e à imagem perante a sociedade. Será discutida a valorização dos ativos verdes BRKM5 da Braskem no período de 2007 a 2018 na bolsa de valores de São Paulo (B3) e os ganhos referentes aos ativos créditos de carbono.

2. Inovação e Desenvolvimento Tecnológico da Braskem para os PEs Verdes

O PE verde é produzido no polo petroquímico de Triunfo (RS) pela Braskem, com a capacidade de produção de 200 mil toneladas anuais, tendo sido investidos US$ 290 milhões de dólares na planta. A transformação do eteno verde em polietileno verde I'm Green™ é realizada na mesma planta em Triunfo, mas a polimerização é realizada em diferentes reatores. O etanol utilizado na produção do PE verde é fornecido em grande parte por contratos firmados com os principais produtores nacionais, cuja relação com a Braskem é regida pelo Código de Conduta para Fornecedores de Etanol (CCFE), de forma que boas práticas sejam implantadas (MENEGUETTI, 2019).

Segundo a Braskem (2018) o conteúdo renovável é um dos atributos mais importantes do polietileno verde e mede a quantidade de carbono de origem renovável expresso como um percentual da massa total de um material ou produto. A instituição belga Vinçotte fornece certificados internacionais do conteúdo renovável de polímeros verdes e a validação do percentual de conteúdo renovável pode ser realizada através do teste de datação do isótopo de carbono C ^{14} do produto. Neste trabalho foram caracterizados dois grades de polietilenos verdes, o PEAD e o PELBD com conteúdo renovável de 94% e 87% respectivamente, com polímeros fósseis nominalmente iguais, a fim de identificar sutis diferenças devido ao uso do eteno verde ou fóssil em suas sínteses (REIS, 2009; e RODRIGUES, 2011).

Em 2010 a Braskem lançou o selo I'm Green™ que hoje é estampado em mais de 50 produtos que utilizam os polietilenos verdes de 19 empresas (clientes) e 23 marcas tais como Sundown, Natura, Faber Castell, Tetra Pak, Neve e Electrolux. Apesar da Braskem divulgar que o selo I'm Green ajuda o consumidor a reconhecer a origem 100% renovável de seu plástico verde, mesmo que um produto seja produzido com uma mistura de até 49% do polímero fóssil, como possui 51% do polímero verde pode receber o selo verde, o que acarreta em ganhos de marketing e imagem da empresa perante os consumidores.

3. Créditos de Carbono como Instrumento Econômico de Descarbonização do Meio Ambiente

O marco regulatório para o mecanismo de desenvolvimento limpo é o protocolo de Kyoto, assinado em 11 de dezembro de 1997 no Japão. O Protocolo de Kyoto é um instrumento internacional, ratificado em 15 de março de 1998 e que entrou oficialmente em vigor em 16 de fevereiro de 2005. O protocolo representou um marco nos esforços internacionais para o enfrentamento das mudanças climáticas, estabelecendo um compromisso legal de redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa. O destaque para esse marco regulatório é que permitiu a precificação dos gases do efeito estufa e a transação de certificados de redução entre as partes signatárias, o que representa um incentivo para investimento em tecnologias alternativas e menos emissoras (LANCELLOTTI, 2020, GARCIA et.al, 2020).

Segundo a Bolsa de Valores de São Paulo (2018), os créditos de carbono são papéis negociados e precificados na bolsa de valores. Esses créditos podem ser vistos como "certificados" que empresas, pessoas ou países compram para permitir a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE), onde 01 Crédito de Carbono corresponde a uma tonelada de carbono. Os gases do efeito estufa são convertidos em unidade de dióxido de carbono equivalente **(**CO_2**e)** e que pode ser reduzida, evitada, ou sequestrada para compensar as emissões que ocorrem em outros lugares ou em outras atividades. Uma tonelada de CO_2e (gás carbônico equivalente) corresponde a 1 crédito de carbono. O potencial de dano do CO_2 é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global. O potencial de aquecimento do gás carbônico foi estipulado como 1, o gás metano, por outro lado, tem potencial de aquecimento 21, ou seja, uma tonelada de metano reduzida corresponde a 21 créditos de carbono. O óxido

nitroso tem potencial de aquecimento global de 310 e o hexafluoreto de enxofre, de 23.900 (BOVESPA, 2018 e 2019; APAK et.al, 2015; ALTINBALINK et.al, 2018).

Ainda de acordo com a BOVESPA (2018) o ativo de carbono é precificado através da bolsa de valores. A precificação de carbono significa determinar o preço do certificado de emissão de GEE dos poluidores do ar: indústrias, agroindústrias, refinarias de petróleo e outras com atividades carbono intensiva. As indústrias despejam gases na atmosfera e a conta que chega é repartida entre todos os cidadãos através dos serviços de saúde sobrecarregados, escassez de água e de comida, aumento dos prejuízos com os estragos provocados por inundações ou furacões etc; as chamadas externalidades negativas oriundas das emissões de gases de efeito estufa. A lógica funciona da seguinte maneira, se os poluidores arcarem com um valor, que seja correspondente ao volume de gases de efeito estufa que emitem, os custos sociais estariam interligados nos custos privados, ou em outras palavras, os produtos destas indústrias ficariam mais caros quanto maior fosse a sua pegada de carbono. E por outro lado, produtos mais limpos ficariam mais baratos. Esse é o processo que é denominado de descarbonização da economia. No entanto, em vez da real conscientização para tornar o meio ambiente mais limpo e sustentável, observa-se a criação de "derivativos" de créditos de carbono como uma forma de manobra das "gigantes poluidoras". Na prática, não há exigências para o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais para a produção de produtos e processos mais limpos e quando ocorre a descarbonização, é uma pequena parte do todo. A indústria está produzindo e poluindo cada vez mais e descarbonizando cada vez menos.

A bolsa de valores de São Paulo, também conhecida como B3, é responsável por desenvolver e implantar sistemas de serviços de negociações e pós-negociação (compensação e liquidação) de ações, derivativos de ações, produtos financeiros e mercadorias, títulos de renda fixa, títulos públicos federais, moedas à vista e commodities agropecuária, entre outros serviços. O principal papel da bolsa de valores é fomentar o mercado acionário nacional de forma transparente, seguindo as regras internacionais de boas práticas de governança no mercado financeiro (PEREIRA *et al,* 2014; PLATINIEKS et. al, 2020) .

4- Materiais e métodos

Este estudo utilizou a base de dados de patentes USPTO para coleta de dados, que ocorreu durante um período de 12 meses, de janeiro de 2017 a janeiro de 2018. Após a coleta, os dados foram organizados de acordo com os seguintes critérios: País de origem da patente x Quantidade, Aplicação x Quantidade e Tipo de polímero verde x Quantidade. Por fim, os dados foram organizados para avaliação e análise quantitativa.

Foram doadas pela Braskem amostras de PEAD e de PELBD, na forma de grânulos, já aditivadas, sendo que os pares verde/fóssil são polímeros nominalmente iguais. O PEAD fóssil, HC7260 e o verde, SHC7260, apresentam índice de fluidez (ASTMD1238) 7,2 g/10min e densidade (ASTMD792) de 0,959 g/cm^3. As propriedades mecânicas em ensaios de tração e impacto são idênticas. O PELBD fóssil, LL318 e o verde, SLL318 apresentam índice de fluidez de 2,7 g/10min, densidade de 0,918 g/cm^3 foram produzidos com o comonômero buteno de origem fóssil. As amostras de PEAD e PELBD verde apresentam teor mínimo de C^{14} (ASTMC6866) de 94% e 87%, respectivamente.

A caracterização dos pares PEAD e PELBD verde e fóssil foi feita através da caracterização térmica utilizando Análise Termogravimétrica (TGA/DTG) nas amostras de PEAD e PEBDL, fósseis e verdes. A estabilidade térmica das amostras foi avaliada por análise termogravimétrica (TGA) em um TGA 400 Perkin-Elmer, sob atmosfera de sintético entre as temperaturas de 30 ºC a 800 ºC em fluxo de gás de aquecimento de 50 mL.min^{-1} e incremento de temperatura de 10 °C. min^{-1} em panelinha de platina. A massa média das amostras iniciais foi de cerca de 21,00 mg para cada amostra. Esses ensaios

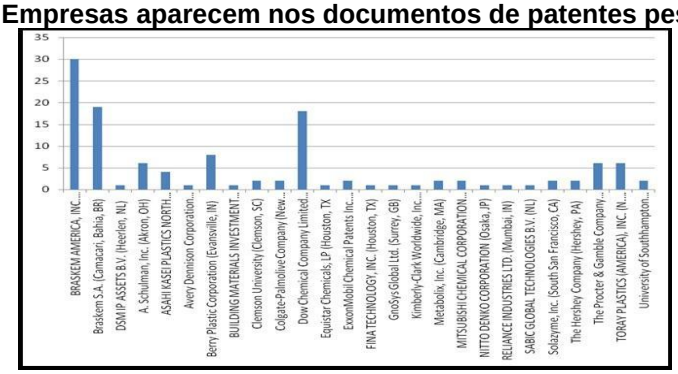
foram realizados na Central Analítica do Departamento de Engenharia Química/UFPR. A análise termogravimétrica foi repetida no equipamento TGA 60 da Shimadzu em atmosfera de ar sintético e em atmosfera de nitrogênio. As amostras extraídas com hexano foram também avaliadas em algumas análises.. Para gerar os gráficos foi usado o *software* Origin, o qual permite a inserção de um número grande de variáveis e *plot* os gráficos com maior precisão, uma vez que o mesmo na barra de *menus*, no ícone Analysis existe permissões de ajustes pré-montados onde os *Results log* mostram os coeficientes e também os erros referente aos ajustes. Os ensaios de difração de raios-X foram realizados no laboratório da Universidade de Guadalajara com o uso do difratômetro PAN analytical modelo Empyrean, com os seguintes parâmetros: Radiação de CuKα filtrada como fonte (λ = 1,54 Å); Tensão de 40 kV e corrente de 30 mA; Faixa de coleta de dados (2θ) de 5 a 60º, com passo de 0,026º e tempo de 30 s por passo. Os granulados foram moídos em moinho centrifugador Retsch modelo ZM 200 a 12.000 rpm. Os espectros de Ressonância Magnética Nuclear das amostras de PEAD e PELBD verde e fóssil foram obtidos em um espectrômetro JEOL ECA 600 NMR com 14 T de campo magnético através de um experimento clássico de solução 1H. Todas as amostras foram preparadas por meio de dissolução de 20 g de polímero em um tubo de 0,5cm de diâmetro interno, contendo 0,7 mL de $C_2Cl_4D_2$ a 70 °C. Essas análises foram feitas na Universidad de Guadalajara (UDG).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Evolução das Patentes de Polímeros Verdes no Banco de Patentes USPTO de 1999 a 2017

A pesquisa no banco de dados do USPTO foi feita e resultou em 8.226 patentes relacionadas, das quais 1.204 eram verdes, seu número e título. No entanto após uma leitura minuciosa dos documentos foi verificado que apenas 123 patentes eram de fato sobre o tema estudado. Desses 123 documento, os EUA tem o maior número, com 93 patentes, seguido do Brasil com 12 patentes e depois o Japão com 09 patentes. A Figura 1 mostra as empresas que foram encontradas nos documentos de patentes. Neste estudo, foi aplicado o IHH - Índice Herfindahl-Hirschmann para avaliar a participação dos países no banco de patentes, permitindo dessa forma que se avalie a concentração do mercado de patentes referentes a PEs e PP verdes. Aplicando o cálculo do IHH no estudo foi observado que o IHH dos EUA (0,5715) está mais próximo de 1, logo, o país apresenta alta concentração e domínio no mercado de patentes. Os demais países (Brasil, Japão, ìndia, Bélgica, Alemanha e China) apresentam IHH próximos de 0, ou seja, baixa concentração e domínio desse mercado (HELLVIG, 2019).

Figura 1: Empresas aparecem nos documentos de patentes pesquisados



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Em relação às 123 patentes concedidas, 54 são para processos e 69 são para produtos. Das 123 patentes selecionadas no USPTO é possível afirmar que os documentos de patentes apresentavam 19 patentes para filmes, 12 para embalagens e 12 para frascos, ou seja, indústrias do setor farmacêutico, alimentício e cosmético são as que

mais investem nesse mercado. O setor automotivo e produtos médicos aparecem com 3 documentos.

A Figura 2 mostra a quantidade de patentes ano a ano, do período estudado de 1999 a 2017. Esta figura relaciona a quantidade de patentes obtidas nos anos 1999 a 2017.

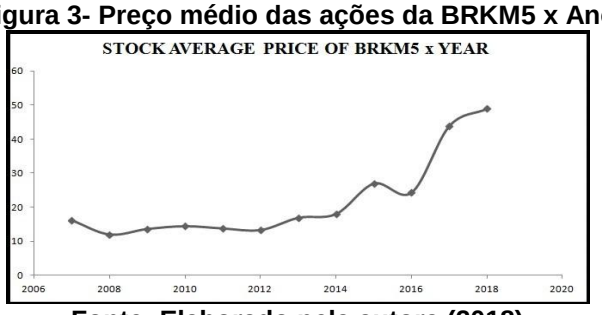
Figura 2- Quantidade de Patentes x Ano

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Pode ser observado que o período de maior número de patentes ocorre de 2010 a 2013 e, esse período coincide com iniciativas geradas pelo protocolo de Kyoto para a redução de GEE no período de 2008 a 2012. Outra informação que reforça esse dado é a Braskem, líder mundial na produção do PE verde, iniciar a sua produção de PE verde no Rio Grande do Sul em 2010.

Créditos de carbono obtidos na produção de eteno verde e ações de polímeros verdes que são vendidos na bolsa de valores são ativos verdes. A Braskem S/A possui três ativos financeiros, a BRKM5, BRKM3 e BRKM3, sendo que apenas o BRKM5 se refere a ativos verdes. A Figura 3 mostra o preço médio das ações da BRKM5 – Braskem verde por ano, no período de abertura do seu capital, ou seja, de 2007 até o momento.

Figura 3- Preço médio das ações da BRKM5 x Ano



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Como a BRKM5 é uma commodity negociada em balcão na B3 (open Market) e essa commodity também é negociada na bolsa de New York, trata-se de um ativo de efeito altamente especulativo, ou seja, qualquer informação positiva em relação aos ativos da empresa promove uma elevação dos seus preços médios por provocar um alvoroço nos investidores. Como os PEs verdes representam a maior fatia dos ativos da BRKM5, a Braskem é responsável pela precificação dos PEs verdes em nível mundial nas bolsas de valores mundiais nas quais participa.

Pode ser observado na Figura 3 que após a abertura do capital da empresa Braskem na B3, com o ativo BRKM5, os lucros em papéis só cresceram. É importante ressaltar que existe no mercado financeiro a especulação, e assim, embora a Braskem nunca tenha produzido em escala industrial o PP verde, ao anunciar em 2011 e também em 2016, a produção industrial de PP verde, ajudou a elevar os preços médios dos ativos da BRKM5. No ano de 2012, o preço médio das ações eram de R$13,27 e em 2018 os preços médios atingiram R$ 48,93 por ação, ou seja, um crescimento de R$ 35,66 no preço médio das ações da BRKM5 em 6 anos, representando um aumento de 268%.

Atualmente, tanto a empresa Braskem como a B3 não dão transparência dos inventários de emissões de CO2 para o mercado de ativos e investidores. A B3 (Bolsa de Valores de São Paulo) está acordada a LOX, o que torna obrigatório dar transparência de

todas as atividades de empresas de capital aberto aos agentes econômicos. Ao oferecer a transparência ao mercado, a B3 oferece um sistema onde reduz as assimetrias de informações, atraindo dessa forma novos investidores e investimentos.

No QUADRO 1 são mostrados os resultados brutos do DRE (Demonstração do Resultado do Exercício) dos ganhos da empresa com ativos ao longo do período de 2007 a 2018.Os valores em dólares são referentes à cotação de dezembro de cada ano. É importante ressaltar quer os ganhos em créditos de carbono não são contabilizados no DRE, pois no DRE são totalizados as receitas e despesas monetárias e não em ativos. Os resultados do DRE de 2007 a 2018 mostram que os lucros da empresa com os ativos logo após a abertura do seu capital na B3 (BOVESPA, 2019) cresceram ano a ano. A entrada da empresa no mercado internacional e nas principais bolsas mundiais contribuiu para obtenção dos lucros e geração dos lucros extraordinários. Com isso, fica claro entender como a empresa pode aumentar os seus lucros em papéis sem precisar de grandes investimentos em pesquisa ou em investimentos para o aumento da produção do eteno verde, matéria-prima dos PES e PP verdes. A produção de eteno verde foi sempre a mesma, ou seja, de 200.000t/ano. Uma empresa que apresenta liquidez dos seus ativos é de alto interesse para o mercado financeiro e para os investidores, portanto, ao se consolidar no mercado financeiro com os investidores nacionais e internacionais, a empresa percebeu que não havia necessidade de manter altos investimentos para novas patentes, novos produtos como o PP verde e novas tecnologias, mas sim, tentar manter-se no mercado de ativos.

QUADRO 1 – Resultado bruto do DRE x ANO

ANO	DRE- RECEITAS E DESPESAS- BRASKEM S.A R$ MILHÕES	TAXA DE CÂMBIO NOMINAL US$	CONVERSÃO: REAL-DOLAR
2007	1.696,289	1,79	947.647,49
2008	1.842,84	2,39	771.061,09
2009	3.138,84	1,75	1.793.294,85
2010	3.491,53	1,69	2.065.995,85
2011	3.163,69	1,84	1.719.384,78
2012	2.445,58	2,08	1.175.757,69
2013	3.731,67	2,35	1.587.766,38
2014	4.444,241	2,64	1.683.424,62
2015	7.572,238	3,87	1.956.662,27
2016	9.734,48	3,35	2.905.815,52
2017	9.614,93	3,29	2.922.470,21
2018	9.618,24	3,98	2.146.641,95
RESULTADO	60.493,54		21.945.922,69

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

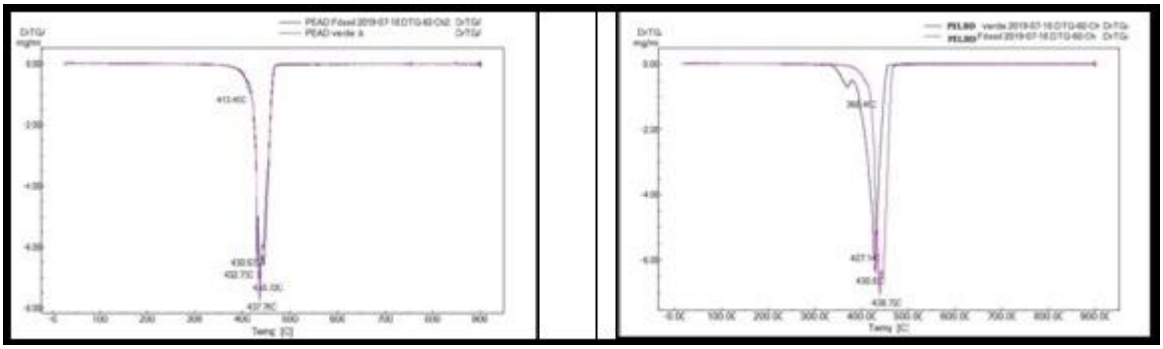
A Braskem produz 200.000 t de eteno verde por ano na planta de Triunfo-RS e a cada 03 t de eteno verde produzido, são necessárias 85,2 t de cana-de-açúcar, as quais retiram 3,5t CO_2 do meio ambiente. Considerando que o preço médio do ativo Crédito de Carbono na bolsa de valores do RJ (2018) foi de US$ 8,00 e multiplicando por 700.000t de CO_2 retirado do meio ambiente, o total para o ano de 2018 foi US$5.600.000,00. De 2010 a 2017 os ganhos da Braskem com créditos de carbono podem ser calculados sabendo-se o valor do fechamento do pregão para o ativo verde. Fica evidente portanto, que os ganhos com os créditos de carbono no período de 2007 a 2018 foram muito maiores do que os ganhos em DRE.

5.2 CARACTERIZAÇÃO

5.2.1 TERMOGRAVIMETRIA (TGA, DTG)

As Figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, as curvas de termogravimetria e as suas derivadas (DTG) das amostras de PEAD fóssil e verde e as de PELBD fóssil e verde. Foram feitas análises em nitrogênio e em ar sintético, sendo que, como a queima não é completa em nitrogênio e não houve alterações nas curvas, não serão mostradas.

Figura 4: PEAD FÓSSIL/VERDE DTG e Figura 5: PELBD FÓSSIL/VERDE DTG



Fonte: Elaborada pela autora (2019)

Pode ser observado que o PEAD verde e o PEAD fóssil perdem massa de modos distintos com o aumento de temperatura em ar e que o PEAD verde possui aproximadamente 10% de resíduos enquanto o fóssil queima totalmente. Esse resíduo provavelmente é inorgânico e o PEAD verde pode ser considerado um compósito natural contendo 10% p/p de carga mineral. Portanto, a composição do PEAD verde é um pouco diferente da composição do PEAD fóssil. A queima das amostras de PELBD verde e fóssil não gerou resíduo e podem ser consideradas iguais.

5.2.2 Resultados e discussão para IC, TGA, dTG, DRX e DSC

A Tabela 1 mostra os resultados compilados para IC, TGA, dTG, DRX e DSC.

Tabela 1 : IC, TGA, Dtg, DRX e DSC dos polímeros PEAD verde e fóssil e PELBD verde e fóssil

POLÍMERO	IC(%)	TGA°C	dTG °C	DRX	DSC
PEAD FÓSSIL (ANTES)	60,8	370 – 570	405 – 459	21,5 23,9	129,4
PEAD FÓSSIL (APÓS)	59,9	360 – 460	- -------- 440	21,5 23,9	129,8
PEAD VERDE (ANTES)	60,1	380 – 570	- -------- 448	21,6 23,9	130,4
PEAD VERDE (APÓS)	59,8	360 - 470	428 – 457	21,6 24,0	129,3
PELBD FÓSSIL (ANTES)	36,9	355 – 520	- ------- 445	21,4 23,7	124,3
PELBD FÓSSIL (APÓS)	36,8	370 – 520	430 – 453	21,5 23,7	124,7
PELBD VERDE (ANTES)	-	370 – 520	- ------- 440	-	-
PELBD VERDE (APÓS)	37,2	370 – 550	407 - 460	21,3 23,6	124,3

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

O índice de cristalinidade do PEAD fóssil antes da extração com hexano é 60,8% e após a extração com hexano é de 59,9%. Esses dados mostram a diferença de 0,7% em um cálculo que utiliza as áreas amorfa e área total dos difratogramas. No entanto, como o PEAD verde é um compósito contendo 10% p/p de resíduo inorgânico enquanto o PEAD fóssil é um polímero mais puro, o material verde deveria ser menos cristalino, o que está coerente com os resultados encontrados (ARNANDHA,2016).

O índice de cristalinidade do PELBD fóssil antes da extração é de 36,9%, após a extração com hexano é de 36,8%. O índice de cristalinidade do PELBD verde após a extração com hexano é de 37,2%. Apesar de a diferença nos índices de cristalinidade dos materiais verde e fóssil ser de apenas 0,4%, há uma indicação de que o PELBD verde seja mais cristalino, resultado reforçado pela análise de RMN. Nos espectros de RMN das amostras de PEAD e PELBD (Figuras 5 e 6) há 3 sinais localizados a 1,58 ppm,

provavelmente CH_2 da cadeia principal, 1,22 ppm, provavelmente de CH/CH_2 de alguma ramificação e a 0,85 ppm, possivelmente referentes a CH_3 ou grupo etila de grupos pendentes à cadeia principal ou de finais de cadeias (CANAVEROLO, 2006; PAIVA, 2010; BRUICE, 2004). As amostras de PEAD verde e PEAD fóssil apresentaram o mesmo padrão de intensidade de sinais e também as mesmas posições. As análises das amostras de PELBD verde e fóssil mostram diferenças na intensidade do sinal localizado a 1,22 ppm, o que pode estar associado a diferenças no número de ramificações entre os polímeros. Muito provavelmente, a razão dos monômeros eteno/buteno incorporada aos copolímeros é diferente e os resultados indicam que a ramificação do PELBD verde deve ocorrer de forma mais organizada do que na amostra fóssil. Portanto, a estrutura química do PELBD verde é ligeiramente diferente da do PELBD fóssil (HELLVIG & FLORES-SAHAGUN, et.al, 2020b).

Figura 5: RMN PEAD fóssil e verde

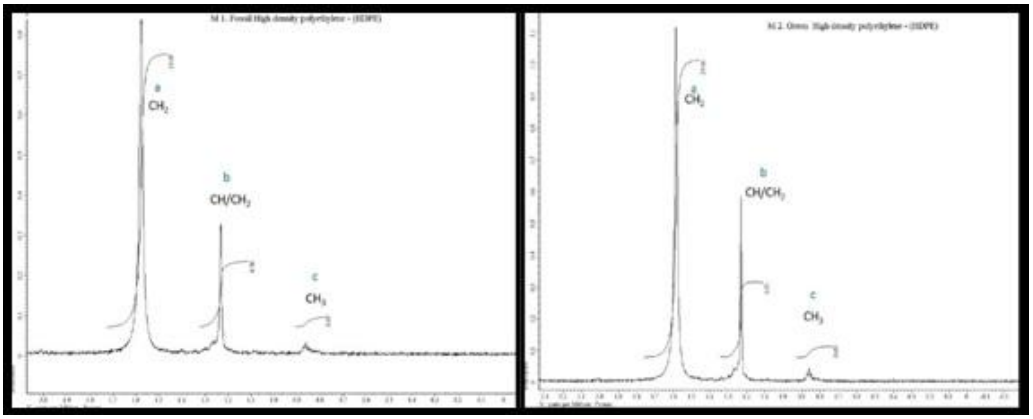
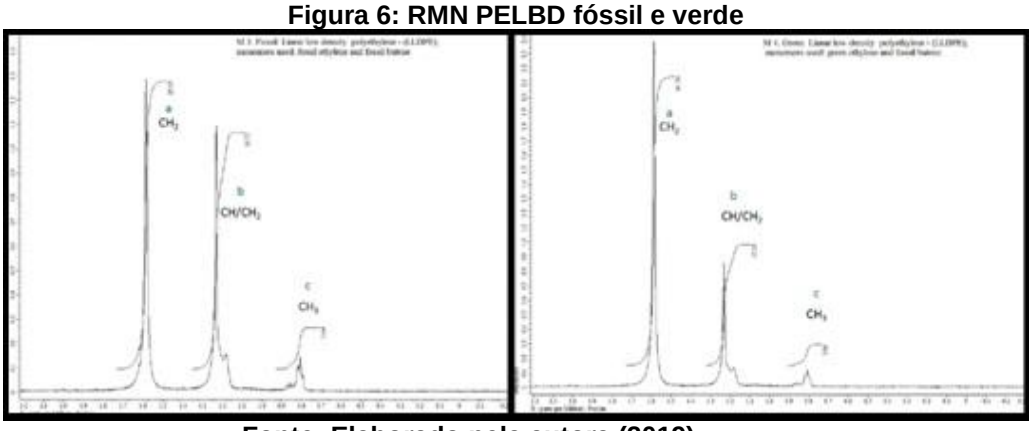


Figura 6: RMN PELBD fóssil e verde



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Apesar das sutis diferenças encontradas nos pares PEAD verde e fóssil e PELBD verde e fóssil, o desempenho dos materiais nominalmente iguais é o mesmo. Assim, não se justifica a utilização de misturas com até 49% de polímero fóssil devido a motivos técnicos. Como os polímeros verdes são mais caros do que os fósseis, as misturas são feitas para maximizar o volume de material que pode usufruir das vantagens do uso do selo I'm Green ^{TM}.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao olhar para a curva de crescimento do número de PEs verdes e patentes de PP ao longo do período investigado, que foi de 2007 a 2018, nota-se que o número de patentes concedidas diminuiu desde 2013.

Outro ponto interessante é que a aplicação dessas patentes no mercado é observado principalmente no setor de embalagens, em filmes e em garrafas. No entanto, olhando os dados financeiros da empresa, foi possível entender que os investimentos em títulos no mercado financeiro brasileiro (BRKM5 e créditos de carbono) são muito mais atraentes do que o investimento em novas patentes, pois geram ganhos maiores e não requerem grandes investimentos em P & D.

Além disso, mesmo que o polímero verde seja misturado com o fóssil, o material será considerado verde, e poderá usar o selo “I'm green ^{TM}”, desde que o teor de polímero verde seja de pelo menos 49%.

Embora a Braskem não seja a empresa com maior número de patentes entre 1999 e 2017, é a única no mundo a produzir eteno a partir da cana-de-açúcar, ou seja, a única que gera créditos de carbono com a produção de eteno verde.

Pode ser dito que o PEAD verde difere da composição do PEAD fóssil pois é um compósito natural contendo aproximadamente 10% p/p de carga inorgânica, o que provavelmente o tornou mais resistente à queima.

Quanto às amostras de PELBD fóssil e verde, o TGA mostrou que os materiais queimam de forma muito semelhantes. No entanto, o DRX mostrou que o PELBD verde é ligeiramente mais cristalino e o RMN sugere que o polímero verde é mais organizado do que o par fóssil.

Pode ser concluído que os pares PEAD fóssil e verde e PELBD fóssil e verde estudados apresentam sutis diferenças em suas estruturas ou em suas composições químicas que, no entanto, não são refletidas em suas propriedades listadas nos respectivos *data sheets* e, assim, podem ser considerados materiais nominalmente iguais. Dessa forma, as misturas de polietilenos verdes com polietilenos fósseis não feitas para ajuste de desempenho mas sim para tornar o material com menor custo, já que o polímero verde é mais caro do que o fóssil.

Embora a BRASKEM tenha ganhos de capital com créditos de carbono muito maiores do que o seu DRE, não existe transparência das atividades de negociação do ativo BRKM5. Os investimentos da empresa BRASKEM no que concerne a polímeros verdes são especulativos, e favorecem o crescimento dos lucros na B3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAK, S., & ATAY, E. **Global competitiveness in the EU through green innovation technologies and knowledge production**. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 181*, 207-217. https://doi. org/10.1016/j.sbspro.2015.04.882, 2015.

ALTINBALIK, T.; EKSI, O.; KARABEYOGLU S.: CABBAR, E. **Thermoforming of biopolymer-green polyethylene sheets**. Int. J. of Modern Manufacturing Technologies, v.10(2), p. 2067-3604, 2018.

AMAN, E.; BAER, W.; COES, D.V. **Energy bio fuels and Development - Comparing Brazil and The United States.** Routledge Studies in Development Economics, 334 pages, ISBN 97780415746359, 2013.

BACEN. **Banco Central do Brasil**. In: Access October 2, 2019.

BASTOS, V. D. **Biopolímeros e polímeros de matérias-primas renováveis alternativos aos petroquímicos**. Revista do BNDES, 14(28), 201-234, 2007.

BASTOS, Valéria D. **“Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias”**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 25, p. 5-38, mar. 2007.

BOVESPA- B3: **Índice de Sustentabilidade**. In< www.b3.com.br/pt_br/market-data-eindices/indices/indices-de-sustentabilidade/> Access July 13, 2019.

BRASKEM: **Polietileno verde**. Rio Grande do Sul. In Access July 13, 2019.

BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO- B3**: Índice de Sustentabilidade**. São Paulo. In: Access June 9, 2020.

DIAS, M.O.S.; FILHO MACIEL, R.; MANTELATTO, P.E.; CAVALETTI, O.; ROSSELL, C.E.V.; BONOMI, A.; LEAL, M.R.L.V. **Sugarcane processing for etanol and sugar and Brazil.**Environmental Development, v. 15, p. 35-41, 2015.

FALCONE, B. M. D. **Panorama Setorial e Perspectivas na Área de Polímeros Biodegradáveis.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.17, n. 1, p. 5-9, 2007.

FUNDAÇÃO ESPAÇO ECO (FEE). **Eco-efficiency comparison of the ethylene production process as of the petrochemical and ethanol-chemical routes. 2007**. Recuperado de: www.iccwbo.org. Acessado em 10 de janeiro 2019.

GARCÍA, C. A; FUENTE, A.; RENNECKE, A; RIEGELHAUPT, E.; MANZINI, F. and MASERA, **O. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balance of sugarcane ethanol production in Mexico**. In Access 11 June 2020.

HELLVIG, F. L. **Eliana. Estudo sobre a inovação, patentes concedidas de polipropileno e polietilenos verdes no período de 1999 a 2017 e sua relação com a descarbonização do meio ambiente: o caso BRASKEM**. Tese de Doutorado - UFPR, 2019.

HELLVIG, E.L; FLORES-SAHAGUN, T.H.S. **Desenvolvimento Sustentável para empresas brasileiras: a nova proposta da Economia Hipocarbônica como estratégia de obtenção de lucros através dos créditos de carbono**. Revista Brazilian Journal of Development, v. 6 (5), p. 25456-25472, 2020a.

HELLVIG, E.L; FLORES-SAHAGUN, T.H.S.; CARVALHO FILHO, M.A.S.; GONZALES, R.M.; TANOBE, V. O. A; SANTAMARIA, L.C; RAMIREZ, M.G.L. **Estudo do uso de eteno verde ou fóssil na síntese de PEAD e PELBD nominalmente iguais: há diferença efetiva entre esses materiais?.**Revista Brazilian Journal of Development v. 6 (5), p. 25473-25487, 2020b.

LANCELLOTTI, A. **Bioplastics in Brazil: Beyond the Green Speech**. Frost & Sullivan. São Paulo, Recuperado de:frost.com. Acessado em maio de 2020.

MENEGUETTI, N.A. **A Reconstrução Produtiva do Setor Sucroalcooleiro no Brasil de 1975 a 1999.** Dissertação de mestrado, UEM, 2019.

MOHANTY, A.; MISRA, M.; DRZAL, L. **Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world.** Journal of polymers and the Environment, v. 10, n.1-2, p. 19-26, 2002.

PEREIRA, A. F.A; STOCKER, F; MASCENA, K.M.C; BOAVENTURA. J.M.G. **Desempenho social e desempenho financeiro em empresas brasileiras: Análise da influência do Disclousure.**BRR- <Article%20Text-1779-1-10-20200727.pdf>Access July, 2020.

PLATNIEKS, O.; BARKÃNE, A.; IJUDINA, N.; GAIDUKOVA, G.; THAKUR, V.K.; GAIDUKOVA, S. **Sustainable tetra pak recycled cellulose/poly (butylene succinate) based woody-like composites for a circular economy.** JCLP, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122321, 2020.

REIS, G. G. etal. **Inovação no Desenvolvimento de Plásticos "Verdes" e com menores Carbon Footprints: O caso do Polietileno de álccol de cana de açúcar da Braskem**. ANPAD - Estudos em Estratégia IV Encontro, 2009.

RODRIGUES, R. A.J. Do Engenho à Biorrefinaria. **A Usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis.** Química Nova, v. 34, n. 7, p. 1242-1254, 2011.

USPTO: **Structure e formulae** - UNITED STATES PATENT AND TRADEMARKOFFICE. USA. In:< www.uspto.gov>, Acess June 15, 2018.

WATERS, N.; VALVO, N. **Synthesis of green polyethilene from sugarcane-based ethanol.** Access June 10, 2018. WIPO- World Intellectual Property Organization. USA: Autor. In:< dehttp://www.wipo.int/pct/pt.> Access Jun 10, 2018.