

Redução de 20% da pegada de carbono em embalagens à base de poliolefinas usando amido de milho

Reduction of 20% of the carbon footprint in polyolefine-based packaging blended with maize starch

Laércio Kutianski José Romeiro^{a*}, Gil Anderi da Silva^b, Regiane Locatelli Silva^c

^aEscola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

^bEscola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

^cIngredion Brasil Ing. Ind. Ltda., Mogi-Guaçu, Brasil

*e-mail:lkjrconsult@gmail.com

Submetido em 31/05/2019; Versão revisada em 06/10/2019; Aceito em 22/10/2019

Resumo

Esse estudo visa avaliar uma linha de biopolímeros funcionais para aplicação em embalagens. A proposta consiste em substituir parte dos insumos de origem fóssil por recursos de origem renovável. O insumo de origem renovável é o amido modificado, obtido a partir do milho cultivado nos estados de São Paulo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e extraído por processos físico-químicos na unidade fabril do estado de São Paulo. A avaliação foi realizada em 2016 utilizando a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) baseada na norma ABNT NBR ISO 14040:2009. Dessa forma, podemos destacar que a produção de filmes a partir da blenda PEBD+ **AM** apresenta reduções de cerca de 20% da Pegada de Carbono e em relação ao PEBD 100% fóssil. Em relação a Depleção de Recursos Fósseis houve uma redução do consumo de recursos fósseis de 12,5 % devido a substituição de 15% em massa de poliolefinas por amido modificado.

Palavras Chaves: Biopolímero. Pegada de Carbono, Embalagens à base de amido.

Abstract

This study presented in this article aims to evaluate a line of functional biopolymers for application in packaging lines. The proposal is to replace part of the fossil-based raw material with resources of renewable origin. The renewable resource is a modified starch (MS) obtained from maize cultivated in the states of São Paulo, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul and extracted by physicochemical processes at the plant in the state of São Paulo. This study was carried out using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology in accordance with standard ABNT NBR ISO 14040: 2009. Thus, we can highlight that the production of films from the PEBD + MS blend shows reductions of about 20% of the Carbon Footprint and in relation to the 100% fossil LDPE. In relation to the Depletion of Fossil Resources there was a reduction in the consumption of fossil resources of 12.5% due to the replacement of 15% in mass of polyolefins by modified starch.

Keywords: Biopolymer, Carbon Footprint, Starch-based packaging

INTRODUÇÃO

A inclusão do tema “Sustentabilidade” na agenda da sociedade direcionou novos estudos visando alternativas de produção de produtos a partir de fontes renováveis em contrapartida às tradicionais, de fontes fósseis.

Em relação a vertente ambiental foram considerados os aspectos ambientais relativos ao consumo de recursos naturais e às emissões causadoras de efeito estufa. Dado o caráter sistêmico da sustentabilidade foi considerada a fronteira a montante, desde a obtenção das matérias-primas até a jusante no portão do fabricante.

Os aspectos ambientais mencionados são as interações que ocorrem com o meio ambiente ao longo do processo de produção e estão de acordo com a família ISO 14000 de normas ambientais.

A metodologia adotada para avaliar e quantificar o desempenho ambiental de produtos ao longo do ciclo de vida foi realizada por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV é a única ferramenta da gestão ambiental que permite quantificar todos os impactos ambientais associados a produtos e serviços e, como tal, tem se mostrado como uma eficiente técnica de gestão, para avaliar o desempenho ambiental de produtos e serviços.

Neste contexto, o fabricante de embalagens comprometido com a inovação sustentável, desenvolveu a plataforma de produtos de fonte renovável com base em **Amido Modificado (AM)** para a aplicação em plásticos flexíveis, rígidos e semirrígidos. Nesse caso os biopolímeros foram obtidos de matérias primas cultivadas nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso.

A partir do milho é obtido o amido, cujos grãos são processados em meio aquoso aquecido, que resulta em sua gelatinização. O processo de gelatinização, no entanto, não ocorre sem a presença de um plastificante. Produtos como glicóis ou açúcares podem atuar como plastificantes, que aumentam a ductibilidade do amido polimerizado. A incorporação

de **AM** em diferentes materiais plásticos, como polietileno de baixa e alta densidade (PEBD e PEAD), polipropileno (PP) e poliestireno (PS), podem reduzir a pegada de carbono de diversos produtos e torná-los mais sustentáveis ambientalmente.

Considerando esse contexto o objetivo desse estudo foi realizar a comparação da blenda de PEBD+ **AM com a mistura de resinas poliolefinicas 100% fóssil** nas categorias de impacto denominadas: (i) Mudança Climática e (ii) Depleção de Recursos Naturais (Recursos Fósseis).

Este estudo foi coordenado pelo Prof. Dr. Gil Anderi da Silva e participação dos pesquisadores Prof. MSc. Laércio Kutianski José Romeiro e MSc Ana Cristina Guimarães Donke do Grupo de Prevenção da Poluição (GP2) da Escola Politécnica da USP em parceria com o fabricante cujas etapas de extração do amido e preparação do filme ocorreram nas unidades de Mogi Guaçu e Conchal, respectivamente. A divulgação dos resultados foi feita para o público interno de acordo com o compromisso de desenvolver produtos com inovação sustentável.

METODOLOGIA

Avaliação do Ciclo de Vida

Um estudo de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) compreende, em termos metodológicos e estruturais, quatro fases operacionais: (1) Definição de objetivo e escopo; (2) Análise de Inventário; (3) Avaliação de Impacto; e (4) Interpretação. Segundo as diretrizes da norma ABNT NBR ISO 14040:2009 (ABNT, 2009a), cuja apresenta princípios e estrutura de estudos de ACV, tais etapas se relacionam entre si da forma como aparecem apresentadas na Figura 1.

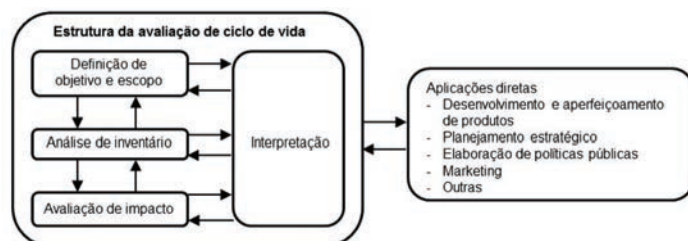


Figura 1. Fases de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida
Fonte: ABNT NBR ISO 14040:2009

Segundo a norma ABNT NBR ISO 14040:2009 (ABNT, 2009a), as etapas operacionais de um estudo de ACV têm caráter iterativo, ou seja, cada fase do estudo complementa a seguinte e permite alterar as anteriores. A norma ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009b), que discorre sobre os requisitos e orientações para a execução dos estudos, indica que, em alguns casos, o objetivo e escopo do estudo podem ser revisados devido a limitações não previstas, restrições ou como resultados de informações adicionais.

A função definida para essa embalagem é conter, proteger e viabilizar o transporte dos produtos da própria empresa fabricante de embalagens.

A Unidade Funcional (UF) definida foi a comparação de uma tonelada de material embalado utilizando como embalagem filmes produzidos a partir da blenda de PEBD+AM **comparando** uma tonelada de material embalado utilizando como embalagem filmes produzidos a partir de uma **mistura de resinas poliolefinicas do mercado**.

Tendo sido escolhida a UF, foi definido o Fluxo de Referência (FR), ou seja, a quantidade de produto necessária para desempenhar a função conforme especificado pela UF. O FR necessário para quantificar o exercício da função necessitou, em média, 33 sacos de 30 kg de produto embalado. Dessa forma, comparações entre sistemas foram feitas com a mesma base e função, quantificadas pela mesma UF, e na forma de seus respectivos FR.

Neste estudo de ACV com abordagem do tipo 'berço-ao-portão', a blenda de biopolímero tem a função determinada para o sistema é *'produzir blendas de biopolímero ou polímero na forma de filme'*. A Tabela 1 apresenta a composição dos produtos avaliados. Ílico e a capacidade de formação de micelas.

Tabela 1. Composição da blenda de biopolímero e dopolímero fóssil estudado

Composição (% massa)		
	Resina poliolefinica	A M
Biopolímero "Teste"	85	15
Poliolefina Fóssil	100	0

Fronteira do Sistema de Produto

O sistema de produto é definido como o conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, que modela o ciclo de vida de um produto. Dessa forma, a fronteira do sistema determina quais processos elementares devem ser incluídos na ACV.

O sistema de produto foi modelado de forma a representar a realidade da produção de filmes de blenda com PEBD comercial do mercado com o **AM** produzido na planta de Conchal e está apresentado no fluxograma da Figura 2.

Estruturalmente, este pode ser dividido nos seguintes subsistemas: produção de milho, produção de amido, produção de plastificante, produção de **AM**, produção de PEBD, produção de PEBD linear (PEBDL) e produção da blenda em filmes. As etapas de transporte estão representadas pela letra 'T' na Figura 2.

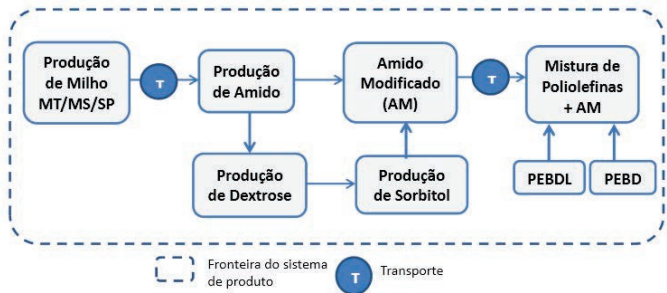


Figura 2. Sistema de Produto para a produção de Filmes de blenda de PEBD+ AM

O subsistema de produção de milho considerou as condições praticadas em três estados brasileiros, Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS) e São Paulo (SP). O milho produzido em SP abastece a planta de amido entre os meses janeiro e abril, enquanto o milho produzido em MT e MS abastece a planta de maio a dezembro. As produções de milho foram modeladas segundo dados primários fornecidos pela empresa fabricante de embalagens, complementados por dados secundários. As etapas de transporte, tanto dos insumos para a produção agrícola de milho, quanto do milho até a planta da empresa fabricante de embalagens em planta de Mogi Guaçu, foram consideradas. O subsistema de produção de amido ocorre na planta da empresa fabricante de embalagens em Mogi Guaçu, SP.

Os dados utilizados foram coletados *in loco* para a modelagem. Considerou-se que a planta é abastecida por eletricidade advinda da rede e gás natural originado da Bolívia através do Gasoduto Bolívia-Brasil (TBG).

A produção de plastificante consiste da produção do sorbitol a partir da dextrose, cujo processo também ocorre na mesma planta em Mogi Guaçu, SP. A produção do sorbitol tem início na transformação de amido em dextrose, seguida pela transformação de dextrose em sorbitol. Os dados considerados para a modelagem deste subsistema também tiveram origem primária, obtidos por coleta de dados *in loco*. O subsistema **AM ocorre** na planta de Conchal da empresa fabricante de embalagens em SP, e foi modelado a partir de dados primários. O **AM** é um biopolímero cuja produção consiste na mistura de amido regular de milho e aditivos, entre eles o plastificante sorbitol, seguido das etapas de extrusão e peletização.

O subsistema de produção mistura de resinas poliolefinicas foi modelado a partir de dados secundários obtidos no banco de dados *ecoinvent* para estudos de ACV. Os modelos selecionados visam representar as condições de produção de dois tipos de resinas obtidas no mercado, a resina de PEBD e de PEBDL.

Por fim, o subsistema de produção de filme de PEBD+ **AM** foi modelado a partir de dados primários e visou representar a realidade de produção de um cliente típico que utiliza o biopolímero **AM** para a produção de embalagens. Este subsistema consiste na mistura das resinas de PEBD (65% de PEBD e 35% de PEBDL) com o **AM**, na extrusão e peletização, sopro e rebobinamento, resultando em bobinas de blendas dos biopolímeros.

Requisitos de Qualidade dos Dados

Conforme indicado anteriormente, estabeleceu-se que os estudos de ACV deveriam refletir a realidade das produções de blendas com **AM** produzido pela empresa fabricante de embalagens em Conchal/ (SP).

Para tanto, foram utilizados dados primários para a modelagem dos subsistemas de produção de milho, produção de amido, produção de sorbitol, produção de AM e produção de filmes.

Fontes de Dados

Os dados de geração de energia elétrica no Brasil foram obtidos do Balanço Energético Nacional de 2013 (EPE, 2014). Os demais dados secundários foram obtidos da base de dados *ecoinvent* para estudos de ACV. Os dados considerados para o subsistema de produção de milho foram complementados com dados secundários para a determinação de alguns fluxos elementares, cujas referências estão explicitadas no capítulo de *Análise de Inventário*.

Cobertura Temporal

Os subsistemas produção de milho, produção de amido, produção de sorbitol, produção de AM e produção de filmes. utilizaram dados que refletem o ano de 2015 como cobertura temporal.

Por fim, o subsistema de produção de PEBD considera uma cobertura temporal de 1999 a 2014. Além destas, considerou-se como cobertura temporal para a produção de energia elétrica o ano de 2013 e da produção de gás natural os anos 2013 e 2014. Variações a estas coberturas se devem às especificidades de inventários dos bancos de dados.

Cobertura Geográfica

Como cobertura geográfica, o subsistema de produção de milho buscou representar os estados de São Paulo, através da região de Mogi Guaçu, o estado de Mato Grosso, através da região de Sorriso, e o estado do mato Grosso do Sul, através da região de Chapadão do Sul. As etapas industriais de produção de amido e sorbitol têm o município de Mogi Guaçu (SP) como cobertura geográfica, a produção de **AM**, o município de Conchal (SP) e a produção dos Filmes, o município de Santa Bárbara d'Oeste (SP). Considera o gás natural utilizado nos processos da empresa

fabricante de embalagens considera a cobertura geográfica de produção na Bolívia.

Cobertura Tecnológica

De uma forma geral, para a elaboração do modelo do sistema de produto em questão, foram consideradas tecnologias consolidadas e atualmente em operação comercial. O subsistema de produção de milho apresenta como cobertura tecnológica a produção em sistema de plantio direto, com características de cultura de 1ª safra para o milho produzido no estado de SP e características de cultura de 2ª safra para o milho dos estados de MT e MS, com alto grau de mecanização.

O subsistema de produção de amido segue a tecnologia de moagem úmida, contando com as etapas de moagem, separação e lavagem do amido. A tecnologia do subsistema de produção de sorbitol conta com as etapas de sacarificação e clarificação do amido, hidrogenação e filtração. A produção de glicerina foi considerada segundo a tecnologia Dedini/Ballestra de transesterificação metílica de gordura bovina. A produção de **AM** ocorre segundo tecnologia de extrusão e peletização. O subsistema de produção de filmes conta com tecnologia atual, que considera extrusão, sopro e embobinamento do filme.

Exclusão de Fluxos Elementares

A decisão acerca da exclusão de aspectos ambientais seguiu os ditames das normas e guias técnicos para condução de estudo de ACV e correlatos. Assim, para o caso em questão, foram definidos critérios de duas naturezas: contribuição cumulativa do aspecto em relação ao total de entradas ou saídas do processo elementar e relevância ambiental.

O primeiro critério prevê a exclusão de aspectos ambientais cujas contribuições cumulativas em termos mássicos e energéticos, forem inferiores a 1% do total de entradas ou saídas do processo elementar (ou subsistema) em que ocorre seu consumo ou geração. Observe-se que neste caso, as quantificações de

correntes de matéria e de energia devem ser realizadas separadamente.

A análise quantitativa da contribuição percentual do aspecto ambiental não é, porém, suficiente para excluí-lo do sistema de produto. As normas e procedimentos que tratam desse pormenor consideram que uma análise em termos de relevância ambiental deve ainda ser realizada para os aspectos ambientais que forem desconsideráveis pelo critério antes enunciado. O conceito de relevância ambiental se vincula a magnitude do impacto causado por certo aspecto ambiental para uma, ou mais, categorias de impacto.

Premissas

Foram adotadas como premissas para este estudo:

- Não foram considerados aspectos ambientais associados à construção, ao uso e desativação de bens de capital. Raciocínio análogo foi adotado quanto à aplicação de mão-de-obra;
- A geração de energia elétrica foi caracterizada por banco de dados do *ecoinvent* e adaptada para as condições brasileiras, de acordo com a matriz energética disponibilizada no Balanço Energético Nacional (EPE, 2014) para o ano de 2013. Tal condicionante introduz imprecisões, no entanto, a ausência de bancos de dados nacionais para tal modelagem configura esta alternativa como mais adequada do que a simples exclusão desse fluxo elementar tão relevante.
- Para a modelagem das etapas de transporte, os aspectos ambientais decorrentes da construção de pavimentos de rodagem ou dutos e da fabricação dos veículos, das manutenções e disposições finais, não foram considerados. Os aspectos ambientais decorrentes da operação (p.ex. consumo e emissões da queima de diesel, emissões decorrentes do desgaste de equipamento etc.), no entanto, foram considerados.

Método de Avaliação de Impacto

Este estudo propõe a comparação de desempenho em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE) baseado no método de avaliação de impacto *ReCiPe Midpoint (H) V.1.12/ World Recipe H* (Goedkoop, 2013). Este método foi criado a partir da revisão e união de outros dois métodos consagrados de AICV, o *CML* e o *Ecoindicator 99*, e pode ser considerado um dos mais atuais e utilizados atualmente.

O processo de seleção do método usado para avaliação de impactos baseou-se em informações de literatura colhidas no International Reference Life Cycle Data System Handbook (EC-JRC, 2011) e no artigo publicado por Hauschild et al (2013).

Para o cumprimento dos objetivos relacionados a análises e comparações em função de desempenho em termos de emissões de GEE, foi selecionada a categoria de Mudanças Climáticas do *ReCiPe*. Este método faz uso do modelo de base de 100 anos publicado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC. Atualmente, este modelo de caracterização é o que possui maior confiabilidade sob o aspecto científico, segundo estudo desenvolvido por Hauschild et. al (2013).

Devido ao fato de os objetos de estudo apresentarem matérias-primas de origem renovável e ciclos de vida relativamente longos (diferentes de produtos alimentícios ou com fins combustíveis, por exemplo), para o levantamento de GEE deste estudo, optou-se por incluir as quantificações de carbono removido da atmosfera e fixado durante o crescimento das matérias-primas vegetais, bem como as emissões de carbono de origem biogênica.

Dessa forma, a comunicação dos resultados para a categoria Mudanças Climáticas dos produtos foi baseada na Especificação Técnica ABNT ISO/TS 14067 (ABNT, 2015), que discorre sobre os requisitos e orientações sobre a quantificação e comunicação dos GEE e pegada de carbono de produtos.

Para o cumprimento do objetivo do trabalho referente à identificação de categorias de impacto relevantes para os produtos, utilizou-se a versão

Midpoint do **ReCiPe**, que proporciona a quantificação de impactos ambientais segundo dezoito categorias de impacto ambiental distintas. Os efeitos ambientais são modelados a partir de padrões físicos estabelecidos cientificamente (Goedkoop et al, 2013). Os modelos de caracterização e indicadores de impacto estão descritos em Goedkoop et al. (2013).

Análise de Inventário de Ciclo de Vida – ICV

Os diversos dados coletados durante a elaboração deste estudo, bem como considerações para a determinação dos inventários são descritos a seguir.

Produção de Milho

A cadeia de produção do **AM** tem início com o cultivo de milho, a principal matéria-prima para a produção do biopolímero. O subsistema, ou processo elementar, de produção de grãos de milho foi modelado a partir de dados primários, fornecidos pela empresa fabricante de embalagens, que representam a realidade do milho consumido no processo da planta de Mogi Guaçu, SP.

Dessa forma, a partir da aplicação de questionários, foram levantados os consumos em tipos e quantidades mais comuns nas regiões de Mogi Guaçu, no estado de São Paulo (SP); de Sorriso, no estado de Mato Grosso (MT); e de Chapadão do Sul, no Mato Grosso do Sul (MS). Foram selecionados os cultivos de milho como 2ª safra (ou safra de inverno, safrinha) para os estados de MT e MS e o cultivo de milho 1ª safra para o estado de SP.

Assim, a participação de cada região no fornecimento de milho para a planta da empresa fabricante de embalagens em planta de Mogi Guaçu ocorre da seguinte forma: o estado de SP fornece o milho de janeiro a abril, resultando em 33% do fornecimento total, e os estados de MT e MS fornecem o milho de maio a setembro, contribuindo com 33,5% do fornecimento cada. Para cada uma das regiões, foram levantados os consumos de calcário, sementes,

pesticidas, fertilizantes, diesel e lenha por hectare. Estes dados foram, então, divididos pelas produtividades específicas obtidas em cada região para gerar inventários de consumos por tonelada de milho produzido. As produtividades consideradas foram 9,9 t milho/ha para SP, 6,9 t milho/ha para MT e 8,3 t milho/ha para MS. Para todas as regiões consideradas, não foram observadas práticas de irrigação da cultura.

Os dados primários coletados foram complementados por dados secundários para a determinação de distâncias de transportes dos insumos e de mudanças de uso da terra (MUT). No caso dos transportes, considerou-se genericamente a utilização de caminhões de capacidade maior do que 32 toneladas. Em relação ao transporte de diesel, como premissa, foi fixada a distância de 100 km entre o fornecedor do combustível e as fazendas. Para os transportes de fertilizantes, corretivos e pesticidas foram consideradas as origens levantadas por Sugawara (2012) e calculadas as distâncias até as regiões de cultivo, e estão apresentadas na Tabela 2. As distâncias de transporte do milho produzido nas regiões de SP, MT e MS até a planta da empresa fabricante de embalagens em Mogi Guaçu são, respectivamente, 150 km, 1916 km e 840 km.

Tabela 2. Origens e distâncias percorridas no transporte de insumos até as áreas de cultivo de milho (em km).

Produtos	SP - Mogi Guaçu		MT - Sorriso		MS - Chapadão do Sul	
	origem	distância	origem	distância	origem	d
Fertilizantes - N e P	Cubatão (SP)	225	Catalão (GO)	1394	Catalão (GO)	632
Fertilizantes K e pesticidas	Cubatão (SP)	225	Cubatão (SP)	1997	Cubatão (SP)	997
Corretivo de solo	Ribeirão Grande (SP)	298	Nobres (MT)	277	Nobres (MT)	753

Para a determinação de mudanças de uso da terra causadas pelo cultivo de milho, foram levantados dados de uso da terra para os estados de SP, MT e MS e, como premissa, considerou-se que as informações levantadas por estado são representativas para as regiões de interesse. O horizonte temporal considerado para MUT foi 20 anos. Dessa forma, foram levantadas as áreas usadas com culturas anuais, culturas perenes, cana-de-açúcar, pastagens

plantadas e silvicultura para o ano 1995 e para o ano de 2014, em bases de dados do IBGE (2016) e IBA (2015). A partir desses dados e das áreas ocupadas por milho 1ª safra em SP e milho 2ª safra em MT e MS, foram determinadas as MUT dos tipos de usos levantados para a produção de milho e calculadas as suas proporções por hectare (ha) de área plantada. Neste modelo, considerou-se que não há MUT para o milho produzido no estado de SP, que há MUT de culturas perenes e mata nativa (0,25% e 93% do crescimento de área plantada, respectivamente) para cultivo de milho no MT e há MUT de pastagens plantadas (86% do crescimento de área plantada) para cultivo de milho no MS. Por se tratarem de produções em 2ª safra, ou seja, a segunda cultura que ocupa a área em um mesmo ano agrícola, foi considerado que o milho cultivado no MT e no MS são responsabilizados por 50% das mudanças de uso da terra, já que a cultura cultivada em 1ª safra também é responsável por tais mudanças.

Após a determinação de MUT, foram levantadas as emissões de carbono decorrentes dessas mudanças. Para tanto, foram consideradas as diretrizes e parâmetros estabelecidos pela Comissão Europeia (2009; 2010). Da mesma forma, as culturas cultivadas em 2ª safra carregam 50% das cargas de emissões decorrentes de MUT.

Em relação às demais emissões associadas ao processo de produção de milho, foram selecionados como referências norteadoras para a escolha dos modelos de cálculos de emissões os guias específicos para inventários agrícolas do *ecoinvent* (Nemecek; Kägi, 2007; Nemecek; Schnetzer, 2011), IPCC (2006) e Canals (2003). Os parâmetros necessários para a aplicação dos modelos de emissões foram coletados e fornecidos pela empresa fabricante de embalagens, buscando sempre representar as condições mais fiéis possíveis das regiões estudadas. Em relação à remoção de carbono, considerou-se que cada kg de massa seca de milho é capaz de capturar 1,6 kg de CO₂ da atmosfera (Nemecek; Schnetzer, 2011). O inventário detalhado dos dados para os respectivos

estados de SP, MT e MS se encontra no Anexo1.

Produção de Amido Regular

O processo de obtenção de Amido Regular consiste da extração ácida do amido a partir dos grãos de milho. Neste item, serão descritas as etapas realizadas na planta de Mogi Guaçu da empresa fabricante de embalagens para este processo. Os dados considerados para a produção do inventário desta etapa foram coletados na planta pelo corpo técnico responsável pelo setor.

O processo tem início com a etapa de recebimento do milho seco, com umidade em torno de 15%, que é descarregado dos caminhões e segue para limpeza mecânica, a fim de se retirar impurezas que possam seguir com os grãos a serem armazenados em silos. O milho estocado é transferido para os tanques de maceração. Nestes tanques os grãos ficaram imersos a uma solução ácida de água e SO2 - obtido pela queima de enxofre - onde ocorrerá o processo maceração, ou seja, de amolecimento do grão para remoção parcial dos componentes solúveis. A duração desse processo é de aproximadamente 40 horas, mantido sob temperatura controlada e concentração da solução ácida de água e gás sulfuroso entre 2000 e 2200 ppm.

Após essa etapa química de absorção de água pelo grão, o processo seguinte consiste na moagem mecânica utilizando discos de aço para expor o germe presente nos grãos. Em uma segunda moagem ocorre a extração de todos os componentes do grão, possibilitando a sua separação entre germe, casca, amido e glúten. Nessa etapa ocorre a correção do pH e adição de insumos químicos para estabilização do amido em meio aquoso. Essa estabilização impede a aglutinação e gelificação do amido auxiliando no processo de separação. Após a retirada do germe, da casca e do glúten, é realizada a lavagem do amido para a remoção de proteínas residuais. A fase líquida contendo amido lavado segue para a etapa de centrifugação onde a relação entre água e amido é alterada de 60% água e 40% de amido, para 40% de

água e 60% de amido e, posteriormente, para uma relação de 12% e 78%, respectivamente. Por fim, através de centrífugas e ciclones, o amido é separado na forma de pó (com 12% de umidade) e ensacado. Nesta etapa, a energia elétrica é obtida do processo de cogeração a partir de gás natural da própria planta. As informações coletadas resultaram no inventário apresentado na Tabela 3

Tabela 3. Inventário da produção de 1 quilograma de amido regular de milho produzido na planta de Mogi Guaçu da Ingredion

ICV produção de amido regular	unidade	quantidade
Saídas conhecidas para a tecnosfera		
Amido Regular de milho	kg	1,00E+00
Coprodutos	kg	4,30 E-01
Recursos da tecnosfera		
Milho SP, MT, MS (transportado)	kg	1,49E+00
Água tratada (de rio)	kg	7,73-01
Enxofre	kg	8,06E-04
Gás Natural (Bolívia)	kg	2,93E-05
Emissões para a atmosfera kg		
SO2	kg	5,95E-06
Particulados (amido)	kg	5,39E-06

Os inventários selecionados para representar as produções de água tratada, enxofre e gás natural foram obtidas do banco de dados *ecoinvent* e sofreram adaptações de forma a aproximá-los das realidades que visam representar. Para água tratada e enxofre, foram utilizados os inventários “*Tap water, at user, tap water production and supply | Alloc Def, U*” e “*Sulfur {RoW} |petroleum refinery operation | Alloc Def, U*”, respectivamente, com adaptações em termos da matriz elétrica. Para gás natural, o inventário “*Natural gas, at production onshore/DE U*” foi utilizado como base, sofrendo diversas modificações em termos de matriz elétrica e etapas de transporte de forma a representar a origem e deslocamentos do gás natural consumido na planta da empresa fabricante de embalagens de Mogi Guaçu.

Produção de AM

A produção de **AM** ocorre na planta da empresa fabricante de embalagens localizada em Conchal (SP). No processo de coleta de dados, foram levantadas as informações necessárias para a criação do inventário desta etapa com o auxílio de especialistas técnicos

responsáveis pelo setor na planta. Neste processo, o amido regular é misturado a aditivos que garantem maleabilidade e estabilidade ao produto, possibilitando seu uso em sistemas convencionais de extrusão, injeção ou sopro quando sofrem ação de temperatura e cisalhamento, mantendo as propriedades termoplásticas.

Neste processo, o amido regular e um plastificante (Sorbitol) são adicionados a um misturador, em uma proporção mássica aproximada de 70% de amido e 30% de plastificante. Junto a eles, são adicionados aditivos, como anidrido maleio e estearato de cálcio, que facilitam a interação entre as moléculas de plastificante com as cadeias de polissacarídeos constituintes do amido.

Após o processo de mistura por batelada, o material é enviado a uma extrusora onde ocorre um processo de mistura mecânica com ação de cisalhamento sob elevada temperatura. Ao final da extrusão o material é resfriado, seco e peletizado na fórmula de grânulos e em seguida é ensacado. A eletricidade consumida na planta de Conchal é comprada da rede (*grid* BR). O inventário que representa a produção de **AM** utilizando Sorbitol, está na Tabela 4.

Tabela 4. Inventário da produção de 1 quilograma de AM produzido com adição de Sorbitol na planta de Conchal da empresa fabricante de embalagens

ICV produção de AM com Sorbitol	unidade	quantidade
Saídas conhecidas para a tecnosfera		
AM	kg	1,00E+00
Recursos da tecnosfera		
Amido Regular de milho	kg	6,92E-01
Água tratada (de rio)	kg	4,21+00
Sorbitol	kg	2,77E-01
Anidrido Maleico	kg	1,64E-02
Estearato de Cálcio	kg	9,98 E-04
PEBD (para embalagem)	kg	8,00E-03
Eletricidade (grid BR)	kWh	1,30 E-01
Emissões para a atmosfera		
CO2 biogênico	kg	2,65 E-03
Vapor	kg	7,50 E-03

Os inventários selecionados para representar as produções de água tratada, anidrido maleico e estearato de cálcio foram obtidas do banco de dados *ecoinvent* e sofreram adaptações de forma a aproximá-los das realidades que visam representar. Foram utilizados, respectivamente, os inventários “*Tap water {CH} | tap water production, conventional*

treatment | Alloc Def, U”, “*Maleic Anhydride {RoW} | production by direct oxidation of n-butane | Alloc Def, U*” e “*Kaolin {RoW} | production | Alloc Def, U*”, com adaptações em termos da matriz elétrica.

Produção de Sorbitol

O processo de obtenção de Sorbitol ocorre na planta de Mogi Guaçu da empresa fabricante de embalagens. Os dados referentes ao processo aqui descrito foram coletados com o auxílio de especialistas técnicos do respectivo setor na planta. O processo de produção de Sorbitol se inicia com a modificação enzimática do amido regular em suspensão. O amido regular é enviado aos reatores onde é preparado para o processo de sacarificação, em que ocorre a quebra das moléculas de amido em moléculas menores, seguida de clarificação. O resultado é um polissacarídeo denominado Dextrose. A Dextrose apresenta maior solubilidade em água fria que o amido comum e forma soluções menos viscosas e géis mais duros em temperaturas mais baixas.

Em uma segunda etapa, a Dextrose é enviada para um evaporador para reduzir a concentração de água. Com uma concentração de 50% de água, a Dextrose sofre uma hidrogenação seguida de filtração, onde se obtém o Sorbitol 70% de Sólidos Suspensos. A energia elétrica consumida em ambos os processos é produzida na própria planta, por sistema de cogeração com queima de gás natural.

Os inventários que representam a produção de Dextrose e a produção de Sorbitol na planta de Mogi Guaçu estão apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5. Inventário da produção de 1 quilograma de Dextrose produzido na planta de Mogi Guaçu da Ingredion

ICV produção de Dextrose	unidade	quantidade
Saídas conhecidas para a tecnosfera		
Dextrose	kg	1,00E+00
Recursos da natureza		
Água de rio	L	6,50E+00
Recursos da tecnosfera		
Amido Regular de milho	kg	7,00 E-01
Soda barrilha	kg	1,80 E-02
Cloreto de Cálcio	kg	3,20E-04
Metabissulfito de Sódio	kg	6,20E-04
Ácido Clorídrico	kg	5,90E-03
Gás Natural	m³	1,46E-05
Vapor	kg	6,50E-01
Emissões para a atmosfera		
Vapor	kg	6,50E-01
Emissões para a água		
DQO, Demanda Química de Oxigênio	kg	1,20E-02

Dentre os inventários do banco de dados *ecoinvent* foram selecionados para representar as produções dos insumos os seguintes inventários: para representar a soda barrilha, utilizou-se o inventário “*Sodium chloride, production mix, at plant, dissolved RER*”; para cloreto de cálcio “*Calcium chloride, CaCl₂, at regional storage*”; para metabissulfito de sódio “*Sodium sulfite {RER} | production | AllocDef, U*”; para ácido clorídrico “*Hydrochloric acid, from the reaction of hydrogen with chlorine, at plant/RER U*”; para vapor “*Steam, in chemical industry {GLO} | markt for | Alloc Def, U*”. Para o gás natural, foi considerado o mesmo inventário e mesmas adaptações apresentadas no item 3.2.

Tabela 6. Inventário da produção de 1 quilograma de Sorbitol produzido na planta de Mogi Guaçu da Ingredion

ICV produção de Sorbitol	unidade	quantidade
Saídas conhecidas para a tecnosfera		
Sorbitol	kg	1,00E+00
Recursos da natureza		
Água de rio	L	1,60E+00
Recursos da tecnosfera		
Dextrose	kg	1,00 E+00
Soda cáustica	kg	2,30 E-02
Ácido Clorídrico	kg	2,00E-03
Hidróxido de Magnésio	kg	1,80 E-04
Hidrogênio	kg	1,27E-01
Gás Natural	m ³	4,01E-04
Vapor	kg	4,33E-01
Emissões para a atmosfera		
Hidrogênio	kg	1,80E-03
Vapor	kg	4,33E-01
Emissões para a água		
DQO, Demanda Química de Oxigênio	kg	4,80E-03

Da mesma forma, foram selecionados os seguintes inventários do *ecoinvent* para representar as produções dos insumos: para representar a soda cáustica, utilizou-se o inventário “*Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {CA-QC} | chlor-alkali electrolysis, membrane CELL | Alloc Def, S*”; para hidróxido de magnésio “*Magnesium sulfate {RoW} | markt for | Alloc Def, U*” (considerando equivalente ao produto representado); para hidrogênio “*Hydrongen, liquid {RoW} | markt for | Alloc Def, U*”; para vapor “*Steam, in chemical industry {GLO} | markt for | Alloc Def, U*”. Para o gás natural, foi considerado o mesmo inventário e mesmas adaptações apresentadas no item 3.2.

Produção de PEBD

O polietileno de baixa densidade é um produto utilizado em todos os produtos analisados nas comparações deste estudo. Para modelar este sistema, por falta da disponibilidade de dados primários específicos, foram utilizados dados secundários do banco de dados *ecoinvent*, na forma do inventário denominado “*Polyethylene, low density, granulate {RoW} | production | Alloc Def, U*”.

Produção do filme a partir da mistura de Poliolefinas com adição de AM

O filme de Poliolefinas é obtido a partir de uma composição de 85% em peso de poliolefinas 100% fóssil (PEBD + LPEBD) com 15% de **AM**. Conforme descrito anteriormente, o **AM** pode ser utilizado na composição de blendas de polímeros para fabricação de diversos produtos, como por exemplo, filmes destinados à produção de embalagens por tecnologia de sopro. Este foi o produto escolhido para as comparações que este trabalho objetiva. Sua modelagem foi baseada no levantamento de dados primários na planta de uma empresa cliente da empresa fabricante de embalagens, localizada na cidade de Santa Bárbara d'Oeste, SP.

A preparação do filme com **AM** ocorreu na planta do cliente. Foram preparados utilizando um misturador de uma extrusora, onde são adicionados o PEBD, o PEBDL e o **AM** (produzido com sorbitol), seguindo a proporção mássica de 55%, 30% e 15%, respectivamente. Após etapa de pré-mistura os materiais são cisalhados e misturados ao longo do canhão da extrusora e, em seguida, são resfriados e peletizados. Os pellets passam então por secagem e são enviados para uma sopradora para produção de filmes. Por fim, os filmes são embobinados sob um tubo de papel kraft e estão prontos para serem comercializados. A energia elétrica consumida no processo é adquirida da rede (*grid* BR). O inventário que representa esta etapa do sistema de produto está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Inventário da produção de 1 quilograma filme de poliolefinas + AM produzido na planta cliente em Santa Bárbara d'Oeste, SP

ICV produção de Filme com AM 15%, em bobinas	unidade	quantidade
Saídas conhecidas para a tecnosfera		
Filme com AM 15%, em bobinas	kg	1,00E+00
Recursos da tecnosfera		
AM S-4180 (com Sorbitol)	kg	1,51E-01
Polietileno de baixa densidade (PEBD)	kg	5,60E-01
Polietileno de baixa densidade linear (LPEBD)	99E-01	2,
Papel Kraft	kg	1,00E-01
Eletricidade (grid BR)	kWh	1,34E-01
Resíduos e emissões para tratamento		
Disposição de polietileno em aterro sanitário	00E-01kg	6,

Foram selecionados os seguintes inventários do *ecoinvent* para representar as produções dos insumos: para representar o PEBD, utilizou-se o inventário “*Polyethylene, low density, granulate {RoW} | production | Alloc Def, U*”; para LPEBD “*Polyethylene, linear low density, granulate {GLO} | market for | Alloc Def, U*”; para papel kraft “*Kraft paper, unbleached {RER} | production | Alloc Def, U*”, que foi adaptado para a realidade brasileira em termos de matriz elétrica.

Procedimentos de alocação

Quando, a partir de um determinado processo elementar, gera-se mais do que um coproduto e pelo menos um origina-se do sistema do produto em questão, faz-se necessária a aplicação do procedimento de alocação das cargas ambientais. Para este caso, decidiu-se que todas as possíveis alocações ao longo do sistema de produto seriam realizadas a partir do critério mássico, que, conforme preconiza a norma, reflete uma relação física e quantitativa entre os coprodutos avaliados.

O subsistema de produção de amido, etapa em que ocorre o recebimento, maceração e separação dos grãos de milho, resulta em diferentes produtos, por exemplo: amido, gérmen, casca e glúten. Dessa forma, e sendo o amido o produto de interesse, foi considerado o critério mássico para alocação entre amido e demais coprodutos, resultando nos seguintes fatores de alocação.

- Amido – 70%
- Coprodutos – 30%

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perfil Ambiental e Interpretação

A avaliação do impacto de ciclo de vida (AICV) corresponde à terceira fase da ACV. Seu objetivo é determinar a magnitude e a significância dos impactos ambientais potenciais a partir dos resultados do ICV. Para isso, os dados de inventário são associados a categorias de impacto específicas e convertidos nos resultados dos indicadores de categoria. Dessa forma, esta etapa oferece informações adicionais para subsidiar a avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto. A interpretação, por sua vez, inclui a identificação das questões significativas do estudo com base nos resultados das fases de ICV e AICV do estudo e será apresentada juntamente com os perfis ambientais obtidos.

Comparação entre Polímero Teste (Mistura de Poliolefinas + AM /Sorbitol) versus PEBD 100% Fóssil em relação às emissões de GEE

Seguindo o cumprimento dos objetivos do trabalho e a aplicação dos métodos de avaliação de impacto para a categoria Mudanças Climática ao modelo realizou-se a comparação entre as emissões de GEE entre 1 t de filme bobinado das blendas de PEBD+ **AM** (com sorbitol) e 1 t de filme bobinado de PEBD de origem 100% fóssil.

A Tabela 8 apresenta os resultados para a categoria, bem como discretiza os resultados em tipos de emissões/remoções de carbono com base na classificação proposta em ABNT TS 14067 (ABNT, 2015).

Tabela 8. Emissões de GEE das produções de 1 t da Mistura de Poliolefinas + AM e 1 t de PEBD fóssil, em filme e bobinadas

	“Polímero Teste” PEBD+ AM	PEBD Fóssil	Variação
	kg CO ₂ eq / t blenda	kg CO ₂ eq / t	(%)
CO₂ biogênico	247	243	
CO₂ MUT	74,9	19	
Outros GEE	1947	2219	
C removido	(-) 622	(-) 392	
TOTAL	1647	2089	(-21)

Dentre as emissões de carbono (C) biogênico, as contribuições mais expressivas se dão pela etapa de produção do tubo de papel kraft utilizado na etapa de bobina para os dois produtos analisados, contribuindo com 203 kg CO₂ eq em ambos os casos. Na sequência, a produção da energia elétrica consumida nos processos contribuiu com 27 kg CO₂ eq para a produção de PEBD+ **AM**, devido à participação da geração de eletricidade por queima de biomassa de cana-de-açúcar na matriz elétrica brasileira.

Da mesma forma, para a produção de PEBD+ **AM**, a etapa de produção de milho – matéria-prima primordial do sorbitol – contribui com 5,3 kg CO₂ eq emitidos.

A produção de PEBD+ **AM** apresentou emissões de 74,9 kg CO₂ eq, com a etapa de produção de milho do MT como principal contribuinte, emitindo 40,3 kg CO₂ eq.

Das demais emissões de C, podem ser destacadas as de CO₂ fóssil e CH₄ fóssil que ocorrem na etapa de produção de PEBD fóssil – material que compõe 85% dos produtos analisados –, com emissões de 1383 kg CO₂ eq na forma de CO₂ fóssil e 332 kg CO₂ eq na forma de CH₄ fóssil, para ambos os produtos. Desta forma, o PEBD pode ser destacado como a etapa de maior contribuição nas emissões de carbono.

Em relação ao C removido, observamos a participação da etapa de produção de tubos de papel kraft nos resultados dos dois produtos estudados, com remoções de 348 kg CO₂ eq por t de produto. Além desta, foi identificada a remoção de C na etapa de produção de milho, em quantidade de 226 kg CO₂ eq para PEBD+ **AM**.

Quando se utiliza o **AM** na blenda, apenas 163 kg CO₂ eq é de sua responsabilidade. Neste caso, 59% das emissões se devem à produção de amido e 31% à produção de sorbitol, produto derivado do amido.

Conforme apresentado e descrito anteriormente para as blends de PEBD + **AM**, as emissões de GEE para o produto a partir de PEBD fóssil também pode

ser discretizado por tipo de emissão, como pode ser visto na Figura 03. Em relação ao CO₂ biogênico, as mesmas emissões são observadas nas etapas de produção do tubo de papel kraft e de energia elétrica consumida da matriz elétrica brasileira, 203 e 25 kg CO₂ eq, respectivamente. Além destas, a etapa de produção de PEBD foi responsável pela emissão potencial de 14 kg CO₂ eq. Em relação CO₂ MUT, o PEBD de origem 100% fóssil apresenta emissões inferiores, de apenas 19 kg CO₂ eq. Tais emissões ocorrem pelo consumo de eletricidade, devido às emissões deste tipo que ocorrem principalmente nas gerações por hidrelétricas e termelétricas movidas à biomassa.

Sobre as demais emissões de GEE não especificadas, os valores mais expressivos ocorrem na forma de CO₂ fóssil e CH₄ fóssil, que também foram observados nos demais produtos analisados. Na produção de PEBD fóssil, no entanto, esses valores são mais expressivos, já que a quantidade de PEBD utilizada é maior, resultando em emissões de 1680 e 407 kg CO₂ eq para CO₂ fóssil e CH₄ fóssil, respectivamente, derivados da produção do polímero fóssil.

Para o PEBD fóssil, o C removido da atmosfera está associado às etapas de produção do tubo de papel kraft, com 348 kg CO₂ eq, e ao consumo de energia elétrica, com 38 kg CO₂ eq, devido à participação do bagaço de cana-de-açúcar nas termelétricas que compõem a matriz elétrica brasileira. Comparativamente aos produtos que consideraram a inclusão do biopolímero **AM** em sua formulação, o PEBD fóssil apresentou a menor taxa de remoção de C, já que as remoções estão associadas aos produtos de origem vegetal renovável. No entanto, ainda que o produto tenha origem fóssil, apenas pelo fato de consumir eletricidade do grid brasileiro, uma pequena remoção de C pôde ser contabilizada. Por outro lado, em relação às emissões de GEE, a maior parte das emissões para os produtos tiveram a produção de PEBD fóssil como origem, porém com quantias diferentes, já que utilizam volumes diferentes do

material fóssil consumido. As emissões de CO₂ fóssil para PEBD 100% fóssil são maiores do que para a blenda justamente por utilizar apenas PEBD na composição do produto final. Apesar disso, os demais 15% de material utilizado para compor as blends de PEBD + AM foram suficientes para determinar tanto um resultado melhor quanto um pior do que a alternativa fóssil. Quando complementado com AM, a blenda apresentou emissões de GEE 21% menores do que o produto de origem 100% fóssil, já que comparativamente, apresenta maiores remoções e menores emissões de carbono.

Dessa forma, podemos destacar que a produção de filmes a partir da blenda PEBD + AM o apresenta emissões menores de GEE em comparação com filmes de PEBD, desde que seja produzida com AM. Esta alternativa pode ocasionar reduções de cerca de 20% nas emissões de GEE.

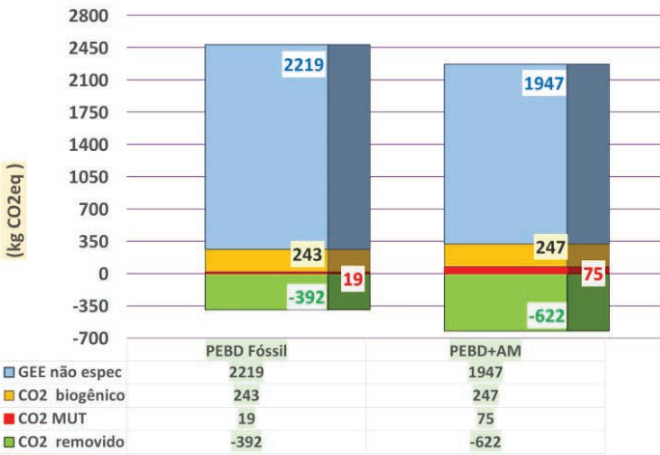


Figura 3. Fluxos de CO₂ biogênico e carbono removido.

Comparação entre polímero teste (PEBD + AM/Sorbitol) versus PEBD 100% fóssil em relação à depleção de recursos fósseis.

O outro objetivo deste estudo se refere a outra categoria de impacto relevante: Depleção de Recursos Fósseis. Cabe ressaltar que as categorias de impacto tratam de efeitos ambientais distintos e não podem ser comparadas entre si. As categorias de impacto poderiam ser hierarquizadas, determinando-se quais categorias detêm prioridades para a situação em estudo, com base em escolha de valores. No entanto, o

uso de valores e escolhas subjetivas podem variar, já que diferentes indivíduos, organizações e sociedades podem ter preferências diferentes (ABNT, 2009).

Dessa forma, a norma indica a hierarquização como elemento não obrigatório de estudos de ACV. Para o cumprimento do objetivo deste trabalho, optou-se, portanto, por aplicar o modelo de avaliação de impacto ReCiPe midpoint (H) e realizar o levantamento das categorias de impacto em que os produtos estudados demonstraram relevância, tanto positiva quanto negativamente, em relação ao produto correlato de origem fóssil.

A Tabela 9 apresenta a contribuição para a categoria de Depleção de Recursos Fósseis, analisando o efeito da mistura de PEBD com AM Sorbitol em relação ao PEBD 100% Fóssil.

Tabela 9. Depleção de Recursos Fósseis da produção de 1 t da Mistura de Poliolefinas + AM e 1 t de PEBD fóssil, em filme e bobinadas

	“Polímero Teste” PEBD+ AM	PEBD Fóssil	Teste/Fóssil
	kg oil eq	kg oil eq	(%)
Depleção Recursos Fósseis	1409,42	1610,47	(-) 12,5

Para a produção de 1 t de PEBD+ AM Sorbitol são consumidos 1409 kg oil eq, dos quais 1348 kg oil eq são devido à etapa de produção das poliolefinas e 29,3 kg oil eq são devido à etapa de produção do amido regular modificado com a Sorbitol. Comparando a mistura de PEBD com AMSorbitol em relação ao PEBD 100% Fóssil houve uma redução do consumo de recursos fósseis de 12,5 % devido à substituição de 15% em massa de poliolefinas por amido modificado com Sorbitol. Os principais produtos são petróleo e gás natural.

Análise de Sensibilidade

Conforme indica a norma ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), sempre que mais do que uma alternativa de procedimento de alocação sejam aplicáveis, uma análise de sensibilidade deve ser conduzida para explicitar as consequências

da escolha da abordagem selecionada. Dessa forma, conduziu-se uma análise de sensibilidade a fim de se verificar os efeitos gerados pela substituição dos fatores de alocação por critério mássico pelos de critério econômico, que estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Fatores de alocação por critério mássico e critério econômico aplicados nas situações de multifuncionalidade

Etapa do processo	Produtos	Fator de alocação mássica	Fator de alocação econômica ¹
Produção de amido	amido	70%	18%
	coprodutos	30%	82%

¹Os dados para alocação econômica foram obtidos a partir de preços de exportação dos produtos (Brasil, 2016).

Os resultados de tal variação estão apresentados na Tabela 11 para 1 t de blenda da blenda PEBD + **AM**.

Tabela 11. Perfil Ambiental de 1 t de blenda PEBD + AM para critério de alocação mássico e econômico, segundo ReCiPe midpoint H

		PEBD + AM		
		Aloc. Mássica	Aloc. Econômica	
Categoria de Impacto	Unidade	Total	Total	Var.
Mudanças Climáticas	kg CO2 eq	1647	1719	4%
Depleção de Rec. Fósseis	kg oil eq	1409	1403	0,5%

A substituição do critério de alocação influenciou negativamente o desempenho ambiental da blenda PEBD+ **AM** quando os fatores de alocação econômica são considerados.

A categoria de Mudanças Climáticas não apresentou aumento significativo das emissões quando o critério econômico é utilizado. A justificativa deste fato se encontra na alocação não apenas das emissões de carbono, como também das remoções de carbono da atmosfera. Neste caso, o produto passou a apresentar um balanço próximo do que quando se utilizou o critério mássico para alocação.

A categoria Depleção Recursos Fósseis

apresentou uma variação não significativa.

CONCLUSÃO

Esse estudo foi baseado em um inventário de um conjunto de dados limitado a incertezas metodológicas (regras de alocação, fronteiras do sistema, absorção e emissão de carbono biogênico, etc.). Podemos concluir que a substituição parcial de uma das matérias-primas por Amido Modificado (AM) determina um desempenho ambiental superior em relação à matéria-prima tradicional, para essa categoria de impacto.

Em relação ao objetivo (i) Mudança Climática o estudo mostrou que as emissões de CO₂ fóssil para PEBD 100% fóssil são maiores do que para a blenda justamente por utilizar apenas PEBD na composição do produto final. Portanto, a blenda apresentou emissões de GEE 21% menores do que o produto de origem 100% fóssil, já que comparativamente, apresenta maiores remoções e menores emissões de carbono.

Em relação ao objetivo (ii) Depleção de Recursos Naturais (Recursos Fósseis) o estudo mostrou que a mistura de PEBD com Amido Modificado (AM) em relação ao PEBD 100% fóssil apresenta uma redução do consumo de recursos fósseis de 12,5 % devido a substituição de 15% em massa de poliolefinas por amido modificado.

Podemos concluir que a substituição parcial de uma das matérias-primas por Amido Modificado (AM) determina um desempenho ambiental superior em relação à matéria-prima tradicional para ambas categorias de impacto.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a contribuição efetiva nesse estudo durante a etapa de preparação e levantamento de dados da pesquisadora MSc Ana Cristina G. Donke.

REFERÊNCIAS

- _____. ABNT NBR ISO ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: **ABNT**, 2009a.
- _____. ABNT NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação de ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: **ABNT**, 2009b.
- _____. ABNT ISO/TS 14067: Gases de efeito estufa – Pegada de carbono de produtos - Requisitos e orientações sobre quantificação e comunicação. Rio de Janeiro: **ABNT**, 2015.
- (BRASIL) Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **AliceWEB**. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acessado em: jan.2016.
- CANALS, L. M. i. Contributions to LCA methodology for agricultural systems. Site dependency and soil degradation impact assessment. 2003. 250 p. **Tesis (Doutorat en Ciències Ambientals)** – Unitat de Química Física, Departament de Química, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 2003.
- COMISSÃO EUROPEIA. Decisão da Comissão de 10 de junho de 2010 relativa a directrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos para efeitos do anexo V da Directiva 2009/28/CE. **Jornal Oficial da União Europeia**, L151/19 de 17 jun. 2010.
- COMISSÃO EUROPEIA. Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE, **Jornal Oficial da União Europeia**, L140/16 de 5 jun. 2009.
- EC-JCR – EUROPEAN COMMISSION – JOINT RESEARCH CENTRE - INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) **Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context**. First edition November 2011. EUR 24571 EN. Luxemburg. Publications Office of the European Union; 2011.
- ECOINVENT CENTRE – Swiss Centre for Life Cycle Inventories. **The Ecoinvent Database**. Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/databãse/>. Acesso em: 21 de Novembro de 2013.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2014**: Ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE: 2014. 288 p.
- Franklin Associates. Life Cycle Inventory of three single-serving soft drink containers. Prepared for PET Resin Association. **Prairie Village**, KS: August, 2009.
- GARCILASSO, V. P. Análise entre processos e matérias-primas para a produção de biodiesel. 2014. 373 p. **Tese (Doutorado)** – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- GOEDKOOPE M.J. et al. ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation, 1ª edição (revisada), may.2013. Disponível em: <<http://www.lcia-recipe.net/publications>>.
- Hauschild, M. Z. et al. 2013. Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. **Journal of Life Cycle Assessment**, 18, pp.683-697.
- IBA (2015). Relatório Iba 2015. Disponível em iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes. Acesso em 2015.
- IBGE (2016). Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em 2016.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGES (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Hayana, Japan: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>.
- Ma, X.F., Yu, J.G., Wang, N. Fly ash reinforced thermoplastic starch composites. **Carbohydrate Polymers**, 67, pp. 32-39., 200788
- NEMECEK, T.; KÄGI, T. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. **Ecoinvent Report v.2.0**, n.15. Zürich and Dübendorf: Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007.
- NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Data v.3.0. Zürich: Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, ago.2011.
- SUGAWARA, E. T. Comparação dos desempenhos ambientais do B5 etílico de soja e do óleo diesel, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). 2012. 240 p. **9**, Universidade de Sa o Paulo, São Paulo, 2012