UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

MAURÍCIO GUILHERME VALENTE MATURANA

DILEMAS ESTRATÉGICOS NA DIFUSÃO DE INOVAÇÕES EM BIOPRODUTOS

RIO DE JANEIRO

Março de 2019

MAURÍCIO GUILHERME VALENTE MATURANA

DILEMAS ESTRATÉGICOS NA ESCOLHA DE BIOPRODUTOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (MSc).

Orientadores:
José Vitor Bomtempo, D.Sc
Fabio de Almeida Oroski, D.Sc

Rio De Janeiro
Março de 2019

DILEMAS ESTRATÉGICOS NA DIFUSÃO DE INOVAÇÕES EM BIOPRODUTOS

Maurício Guilherme Valente Maturana

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (MSc).

Orientadores:

_____

Prof. José Vitor Bomtempo, D.Sc

_____

Fabio de Almeida Oroski, D.Sc

Aprovado por:

_____

Fabio de Almeida Oroski, D.Sc

_____

Flavia Chaves Alves, D.Sc

_____

Henrique Vasquez Féteira do Vale, D.Sc

CIP - Catalogação na Publicação

MM445d

Maturana, Maurício Guilherme Valente
Dilemas Estratégicos na Difusão de Inovações em Bioprodutos / Maurício Guilherme Valente Maturana. - Rio de Janeiro, 2019.
169 f.

Orientador: José Vitor Bomtempo.
Coorientador: Fabio de Almeida Oroski.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2019.

1. Bioeconomia. 2. Inovação. 3. Bioprodutos. 4. Dilemas. 5. Árvore de Decisão. I. Bomtempo, José Vitor, orient. II. Oroski, Fabio de Almeida, coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela minha vida, saúde e oportunidades recebidas.

Agradeço aos meus familiares, Sandra Maturana, Edilson Maturana, Marcelo Maturana, pelo apoio incondicional às minhas escolhas e por todo o incentivo fornecido.

Agradeço aos orientadores José Vitor Bomtempo e Fabio Oroski, pela dedicação, atenção e conhecimento transmitido ao longo do trabalho.

Agradeços aos colegas de faculdade, que me ajudaram no crescimento pessoal e profissional, presentes nos desafios e nas comemorações.

Agradeço aos amigos pessoais que me ajudaram a manter o foco para chegar até esse momento.

Agradeço à CAPES, pelo auxílio durante o curso.

Agradeço à UFRJ, pelo ensino de qualidade, e aos professores, que me proporcionaram o aprendizado.

RESUMO

A Bioeconomia surge como resultado de inovações no uso sustentável de recursos biológicos renováveis. Muitos fatores críticos devem ser considerados e analisados a fim de entender melhor a dinâmica da inovação nesse ambiente emergente. Os desafios e oportunidades da Bioeconomia podem ser agrupados em quatro dimensões principais: matéria-prima, tecnologia, produtos e modelo de negócios. Com uma vasta gama de possibilidades em termos de bioprodutos que podem ser obtidos, esta dimensão demanda atenção especial. Muitos atores vêm enfrentando problemas de competitividade com alternativas fósseis, desafios no desenvolvimento de mercado e diversos dilemas em sua inovação e difusão no mercado. Neste contexto, para que seja possível compreender os desafios para a difusão dos bioprodutos, as seguintes questões devem ser consideradas: *Drop-in* ou não *drop-in*? Finais ou intermediários? *Commodities* ou especialidades? Este trabalho tem o objetivo de entender os diferentes dilemas relacionados à inserção de bioprodutos no mercado, de forma a traçar um caminho para a compreensão das dificuldades e auxiliar a tomada de decisões sobre o *portfolio* de produtos e na difusão dessas inovações. Para isso, é utilizada a metodolodia de estudos de casos múltiplos para diferentes bioprodutos (biobutanol, bio-ácido succínico e PEF), que permitem a identificação destes dilemas em diferentes contextos. Os produtos escolhidos são bioprodutos conhecidamente promissores, em estágios distintos de desenvolvimento e tamanho de mercado potencial. Como resultado da análise das trajetórias dos projetos de desenvolvimento desses bioprodutos, foi possível identificar os dilemas mencionados e ampliar a compreensão acerca dos desafios que devem enfrentar para a difusão da inovação em bioprodutos. Conclui-se que a escolha das aplicações dos bioprodutos é o ponto determinante para a identificação dos dilemas e dificuldades para difusão dos bioprodutos. Assim, os desafios enfrentados na inovação em bioprodutos estão fortemente relacionados com o posicionamento de cada ator no mercado. De forma a se obter uma ferramenta prática para as empresas que desejam se inserir na Bioeconomia e também auxiliar os formuladores de políticas públicas, é proposta ainda uma árvore de decisão que apresenta os principais desafios enfrentados por um bioproduto inserido no mercado, de acordo com suas características.

ABSTRACT

Bioeconomy emerges as a result of innovations in the sustainable use of renewable biological resources. Many critical factors must be considered and analyzed in order to better understand the dynamics of innovation in this emerging environment. The challenges and opportunities of Bioeconomy can be grouped into four main dimensions: raw material, technology, products and business model. With a wide range of possibilities in terms of bioproducts that can be obtained, this dimension demands special attention. Many actors have faced problems of competitiveness with fossil alternatives, challenges in market development and various dilemmas in their innovation and diffusion in the market. In this context, the following issues should be taken into account in relation to bioproducts in order to understand the challenges for their diffusion: Drop-in or non-drop-in? Finals or intermediaries? Commodities or specialties? This work aims to understand the different dilemmas related to the insertion of bioproducts in the market, in order to chart a way to understand the difficulties and to help make decisions about the product portfolio and the diffusion of these innovations. For this, it is used the multiple case studies for different bioproducts (biobutanol, succinic bio-acid and PEF) are used, which allow the identification of these dilemmas in different contexts. The products chosen are known bioproducts at distinct stages of development and potential market size. As a result of the analysis of the trajectories of the development projects of these bioproducts, it was possible to identify the mentioned dilemmas and to broaden the understanding about the challenges that must be faced for the diffusion of innovation in bioproducts. It is concluded that the choice of the bioproduct application is the determinant factor in order to understand the dilemmas and difficulties for the diffusion of bioproducts. Thus, according to the positioning of each actor in the market, different are the challenges faced in the innovation in bioproducts. In order to obtain a practical tool for companies that wish to innovate in this field and also to help public policy makers, a decision tree is proposed that presents the main challenges faced by a bioproduct inserted in the market, according to its characteristics.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo do Processo de Decisão de uma Inovação. 8
Figura 2 - Categorização dos novos usuários com base na inovação. 9
Figura 3 - *Commodities* versus Especialidades.....21
Figura 4 - Estrutura da Dissertação.....25
Figura 5 - Fluxograma da estrutura dos estudos de caso. 28
Figura 6 - Isômeros do Butanol. 29
Figura 7 - Síntese de Reppe para produção de butanol.....31
Figura 8 - Rota de hidrogenação do crotonaldeído para produção de n-butanol. 31
Figura 9 - Processo oxo para produção de butanol.....32
Figura 10 - Via metabólica da fermentação ABE com *Clostridium acetobutylicum*. ..33
Figura 11 - Processos para obtenção de biobutanol. 34
Figura 12 - Mercados tradicionais do butanol no ano de 2010.....35
Figura 13 - Principais aplicações do biobutanol e seus derivados. 35
Figura 14 - Status do mercado do butanol. 39
Figura 15 - Produtos derivados do ácido succínico.....48
Figura 16 - Produção do ácido succínico pela rota química.....49
Figura 17 - Visão geral simplificada das rotas de produção do ácido Succínico.....52
Figura 18 - *Market Share* dos produtores de ácido succínico em 2011. 63
Figura 19 - Rotas de Produção do PET e do PEF.....77
Figura 20 - Processo Produtivo do PEF. 78
Figura 21 - Aplicações do FDCA.....80
Figura 22 - Relação entre a Difusão de uma inovação e os Dilemas dos Bioprodutos. 105
Figura 23 - Árvore de Decisão da Inserção de Bioprodutos no Mercado. 106
Figura 24 - Desafios em cada ramo de decisão na inserção de bioprodutos no mercado. 109
Figura 25 - Caminhos do Biobutanol e suas aplicações na Árvore de Decisão. 111
Figura 26 - Caminhos do biobutanol para o PET e para o *Jet Fuel* na Árvore de Decisão. 112
Figura 27 - Caminhos do Bio-Ácido Succínico e suas aplicações na Árvore de Decisão. 115
Figura 28 - Caminhos para o Anidrido Maleico, BDO e PBS.....117
Figura 29 - Caminhos do PEF e suas aplicações na Árvore de Decisão. 120

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Volume projetado de vendas dos derivados de ácido succínico para 2020. 53
Tabela 2 – Principais Plantas de Bio-ácido succínico existentes e em planejamento. 64
Tabela 3 – Principais desafios relacionados a cada característica de um bioproduto. 108

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensões analisadas na escolha dos bioprodutos. 26
Quadro 2 - Histórico da Butamax. 41
Quadro 3 - Histórico da Gevo. 43
Quadro 4 - Histórico da GBL. 46
Quadro 5 - Resumo das características das empresas de biobutanol. 47
Quadro 6 - Resumo das Aplicações do Bio-ácido Succínico. 62
Quadro 7 - Evolução Histórica da Succinity. 66
Quadro 8 - Evolução Histórica da Reverdia. 67
Quadro 9 - Evolução Histórica da BioAmber. 71
Quadro 10 - Evolução Histórica da Myriant / GC Innovation America. 74
Quadro 11 - Resumo das características das empresas de Ácido Succínico. 75
Quadro 12 - Atuação Histórica da Avantium e suas parceiras. 86
Quadro 13 - Resumo das características das empresas de PEF 87
Quadro 14 - Resumo das classificações das aplicações do BioButanol. 92
Quadro 15 - Focos de produção e características de produto das empresas de Biobutanol. 92
Quadro 16 - Classificação das aplicações do bio-ácido succínico quanto aos dilemas. 96
Quadro 17 - Focos de produção e características de produto das empresas de Bio-Ácido Succínico. 96
Quadro 18 - Classificação das aplicações do PEF quanto aos dilemas. 98
Quadro 19 - Focos de produção e características de produto das empresas de PEF. 98
Quadro 20 - Resumo dos desafios do biobutanol. 114
Quadro 21 - Resumo dos desafios do bio-ácido succínico. 119
Quadro 22 - Resumo dos desafios do PEF. 121

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....5
2.1. Difusão da Inovação de Produtos.....5
2.2. A Bioeconomia e os Bioprodutos.....10
2.3. Os Dilemas dos Bioprodutos.....16
2.3.1. Drop-in versus Não Drop-in.....17
2.3.2. Commodities versus Especialidades.....20
2.3.3. Finais versus Intermediários.....23
2.3.4. Resumo dos Dilemas de Bioprodutos.....24
3. METODOLOGIA.....25
4. ESTUDOS DE CASO.....29
4.1. Butanol.....29
4.1.1. Definição e Caracterização.....29
4.1.2. Rotas de Produção.....30
4.1.3. Mercado, produtos derivados e aplicações.....35
4.1.3.1. Mercados Tradicionais para o Biobutanol.....36
4.1.3.2. Novos Mercados para o Biobutanol.....36
4.1.4. Evolução Histórica da Produção e Atores Envolvidos.....37
4.1.5. Atuação Histórica dos Projetos.....40
4.1.5.1 Butamax.....41
4.1.5.2 Gevo.....42
4.1.5.3 Green Biologics.....45
4.1.5.4 Resumo das Características das Empresas.....47
4.2. Ácido Succínico.....47
4.2.1. Definição e Caracterização.....47
4.2.2. Rotas de Produção.....49
4.2.3. Mercados, produtos derivados e aplicações.....52
4.2.3.1. Novos Mercados para o Bio-Ácido Succínico.....53
4.2.3.1.1. Substiuição do Anidrido Maleico.....54
BDO (1,4-Butanediol).....54
PBS (Polibutileno Succinato).....56

4.2.3.1.2 Substiuição do Ácido Adípico.....56
Poliuretanos.....57
4.2.3.1.3 Substiuição do Anidrido Ftálico.....57
Plastificantes.....58
Resinas Alquídicas.....59
4.2.3.2. Mercados já existentes para o Bio-Ácido Succínico.....60
4.2.3.2.1 Utilização direta do Bio-Ácido Succínico.....60
Descongelantes.....60
Solventes e Lubrificantes.....60
Fármacos.....61
Alimentos.....61
Cosméticos.....62
4.2.3.1. Resumo das Aplicações do Bio-Ácido Succínico.....62
4.2.4. Evolução Histórica da Produção e Atores Envolvidos.....62
4.2.5. Atuação Histórica dos Projetos.....65
4.2.5.1. Succinity.....66
4.2.5.2. Reverdia.....67
4.2.5.3. BioAmber.....69
4.2.5.4. Myriant / GC Innovation.....73
4.2.5.5. Resumo do posicionamento das empresas.....*75*
4.3. PEF.....76
4.3.1. Definição e Caracterização.....76
4.3.2. Rotas de Produção.....*77*
4.3.3. Mercado, produtos derivados e aplicações.....*79*
4.3.4. Evolução Histórica da Produção e Atores Envolvidos.....*82*
4.3.5. Atuação Histórica dos Projetos.....84
4.3.5.1. Avantium.....85
4.3.5.2. Resumo do posicionamento das empresas.....87
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....88
5.1. Análise dos Dilemas.....88
5.1.1. Biobutanol.....88
5.1.2. Bio-ácido Succínico.....92
5.1.3. PEF.....97

5.1.4. Análise global dos dilemas 99
5.2. Árvore de Decisão..... 106
6. CONCLUSÕES 122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 125
APÊNDICE – Artigo para Submissão..... 135

1. INTRODUÇÃO

O conceito de bioeconomia engloba a substituição de matérias-primas fósseis pelas biológicas para a obtenção de energia e dos mais diversos tipos de produtos, abrangendo vários setores-chave, como agricultura, alimentos, produtos farmacêuticos, químicos, materiais e energia. No entanto, desafios tecnológicos ainda existem; muitas vezes, o sucesso da pesquisa não é acompanhado pela comercialização e o custo de produção ainda é alto na maioria dos casos.

Há diversas definições para o conceito da bioeconomia que podem apresentar diferentes recortes, tanto do ponto de vista das tecnologias utilizadas quanto dos produtos e setores envolvidos. Uma dessas definições entende a bioeconomia como o conjunto de atividades econômicas em que a biotecnologia contribui centralmente para a produção primária e para a indústria. Este é especialmente o caso em que as ciências da vida avançadas são aplicadas à conversão de biomassa em materiais, produtos químicos e combustíveis (OECD, 2018).

A transição para um regime de produção de energia e materiais baseado em recursos renováveis certamente enfrenta muitos obstáculos, tanto tecnológicos quantos políticos. E, assim como a transição para matérias-primas petroquímicas necessitou de quase meio século para acontecer, a transição para a Bioeconomia também levará tempo (PHILP, 2017).

A transição para a bioeconomia depende, em grande parte, do desenvolvimento das biorrefinarias. Apesar de ainda não haver um conceito fechado para o termo, uma biorefinaria pode ser definida como o processamento sustentável de biomassa em um espectro de produtos comercializáveis (alimentos, alimentação, materiais, produtos químicos) e energia (combustíveis, energia, calor) (OECD, 2018).

Para garantir a “sustentabilidade da biomassa”, em primeiro lugar, deve-se assegurar que a mesma seja produzida e usada de forma sustentável. Isso implica atuar dentro dos limites do que o planeta pode fornecer. Assim, a ideia é ir além da sustentabilidade ambiental, em um modelo em que a bioeconomia sustentável deve também criar empregos e riqueza, além de distribuir essa riqueza de maneira mais uniforme (OECD, 2018).

A Bioeconomia constitui um processo ainda em estruturação, de caráter emergente, com muitos pontos a serem estudados e avançados. Os desafios e oportunidades podem ser basicamente agrupados em quatro dimensões principais: matéria-prima, processos, produtos e modelos de negócios (ALVES E BOMTEMPO, 2014). Estes são os pontos-chave que requerem atenção no desenvolvimento das inovações baseadas em recursos biológicos.

Nesse contexto, a dimensão dos produtos demanda atenção especial. Muitas são as oportunidades em bioprodutos, e muitas projeções iniciais não se confirmaram, demonstrando desafios no processo de difusão desses materiais. Um exemplo é o caso dos bioplásticos, no qual o esforço de desenvolvimento tem sido crescente, com projeções que apontam taxas expressivas de crescimento nos próximos anos, mas cuja difusão tem encontrado dificuldades. Por exemplo, desde o começo dos anos 1990, identifica-se um contexto aparentemente favorável aos bioplásticos: instabilidade nos preços do petróleo e busca por soluções com menor impacto para o meio ambiente. Assim, tem crescido o interesse pelos bioplásticos, porém o preço da matéria-prima e a inadequação de algumas propriedades técnicas, em muitos casos, têm sido obstáculos para a criação de um contexto realmente favorável para os Bioprodutos (BOMTEMPO E OROSKI, 2018).

O processo de desenvolvimento das aplicações exige a construção de uma rede de complementadores. No caso dos produtos petroquímicos, no século XX, os esforços em catálise e engenharia química que se desenvolviam fortemente na época puderam ser aproveitados para tornar o processo de produção mais eficiente e com um menor custo. Os bioprodutos, por outro lado, se inserem em trajetórias tecnológicas ainda em construção (BOMTEMPO E OROSKI, 2018).

Assim, a difusão de um novo bioproduto se mostra como um processo demorado e complexo. Neste contexto, passa a ser fundamental entender: Quais fatores críticos devem ser considerados e como devem ser analisados em inovações de produtos na Bioeconomia? Além dos problemas relacionados à competitividade custo / preço versus alternativas fósseis, os inovadores têm desafios relacionados à identificação, ao desenvolvimento e à adoção no mercado de novos produtos de base biológica.

Muitas questões precisam ser consideradas em relação à adoção de novos produtos pelo mercado, envolvendo diversos atores, entre eles os utilizadores finais.

Incluem as ideias de drop-in ou não drop-in, produtos finais ou intermediários, commoditties ou especialidades, entre outras. Esses dilemas não são simples decisões entre sim ou não; em muitos casos, há zonas intermediárias entre eles que precisam ser melhor compreendidas. Além desses pontos, o desenvolvimento do mercado e a adoção pelos utilizadores finais são etapas críticas que precisam ser enfrentadas pelos inovadores inseridos na Bioeconomia.

Alguns desses pontos foram previamente analisados (BOZELL & PETERSEN (2010); OROSKI, BOMTEMPO E ALVES (2014); IFFLAND ET AL. (2015), por exemplo), mas não existe um arcabouço abrangente que reúna os fatores técnicos e estratégicos. Assim, as dificuldades presentes na inovação em bioprodutos são diversas e os dilemas que se apresentam para estes tipos de produtos precisam ser melhor compreendidos de forma que as empresas consigam se planejar, se estruturar e se preparar para terem sucesso neste mercado. Além das empresas, uma maior compreensão dos dilemas enfrentados pelos bioprodutos também contribui para ampliar a percepção dos formuladores de políticas públicas.

Quais seriam, então, os dilemas inerentes aos bioprodutos e como eles se colocam na trajetória de desenvolvimento desses materiais? Quais os desafios relacionados à difusão de inovações de produtos na Bioeconomia e como as empresas devem agir para superar essas barreiras?

O objetivo principal deste trabalho é discutir essas dimensões inter-relacionadas (*drop-in versus* não *drop-in, commoditties versus* especialidades, finais *versus* intermediários), avançando no campo das inovações de produtos na Bioeconomia e criando uma estrutura capaz de auxiliar empresas da área. Com base em pesquisas sobre a dinâmica da Bioeconomia e nas lições dos estudos de economia e gestão sobre adoção e difusão de inovação, é sugerida, então, uma estrutura analítica para explorar, de forma integrada, os fatores críticos envolvidos nas inovações de produtos de base biológica. Ao entender os dilemas e desafios existentes, com base em análises de casos reais, é proposta uma árvore de decisão, para enriquecer a percepção das empresas que desejam inovar em bioprodutos, de forma a entender todos os desafios que as esperam e ter a capacidade de se preparar e se estruturar para enfrentá-los.

Para obter os resultados propostos, o trabalho está estruturado em sete capítulos. O primeiro capítulo é a introdução do mesmo. O segundo contempla a

revisão bibliográfica, na qual se contextualiza sobre a literatura de difusão de inovação, sobre a Bioeconomia e sobre os dilemas em relação aos bioprodutos. O terceiro capítulo explica a metodologia utilizada no trabalho, que será baseada em estudos de casos múltiplos. O quarto capítulo apresenta três estudos de caso, analisando a situação de três bioprodutos no mercado, desde sua definição e produção, até o comportamento dos principais *players* no mercado. O quinto capítulo analisa todos os contextos apresentados nos estudos de caso, discutindo os dilemas que apareceram, de forma a entender os problemas de uma forma mais geral e apresentar uma estrutura que permita às empresas entender os desafios que as esperam dependendo das decisões que tomam em relação aos bioprodutos que desejam produzir. Por fim, o capítulo seis traz conclusões do trabalho, respondendo aos questionamentos feitos nesta introdução, de acordo com a metodologia utilizada, além de apresentar ideias para estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo abrange fontes importantes da literatura relacionadas ao tema do trabalho. Primeiramente, é discutido o conceito de difusão da inovação, de forma a compreender como se dá o processo de inovação de um produto e as características do mesmo. Em seguida, aborda-se a Bioeconomia e suas características, entendendo as dificuldades e desafios existentes, até chegar às questões da inovação dentro da mesma e os desafios impostos naturalmente às empresas que desenvolvem os bioprodutos.

2.1. Difusão da Inovação de Produtos

Enquanto uma descoberta é o resultado de uma atividade científica que gera conhecimento e uma invenção é o resultado de uma atividade tecnológica com objetivo de resolver problemas práticos, uma inovação é a exploração comercial de uma invenção, tecnologia, produto ou processo, tendo como pilar a motivação econômica. Enquanto a invenção está relacionada à concepção, a inovação está relacionada à comercialização de um produto. A difusão, por sua vez, é, então, a propagação da inovação (SCHUMPETER, 1934).

Entendendo a inovação como um processo e estando a par da grande variedade de fontes da mesma, a compreensão de como acontece a introdução de uma inovação na sociedade é fundamental. Hippel (1988) percebeu que as fontes funcionais de inovação diferem muito entre os diferentes tipos de produtos e processos, dependendo da indústria e dos produtos/processos analisados, algumas vezes conduzidas pelos fabricantes, outras vezes pelos usuários e outras pelos fornecedores. Seguindo esta ideia, Tidd e Bessant (2013) destacaram alguns dos principais fatores deflagradores para uma inovação, tais como: mudanças radicais no sistema/mundo; acidentes; aprendizado com os outros; inovação recombinante; mudanças na regulação; propaganda; inspiração; “empurrão” do conhecimento (a partir de pesquisa científica); inovação guiada pelo design; necessidade; usuários; e exploração de futuro alternativo. Independentemente de sua origem, as inovações podem ocasionar transições tecnológicas: grandes transformações tecnológicas em que necessidades sociais (como transporte, comunicação, etc.) são correspondidas

(GEELS, 2002). Assim, tais transições envolvem mudanças não só tecnológicas, mas também nos usuários, na regulação, nas redes industriais, na infraestrutura, entre diversos outros fatores. Entender, então, o contexto e a dinâmica do processo são questões fundamentais para o acompanhamento e estudo de uma inovação e o entendimento de sua difusão.

Assim, uma inovação depende de sua difusão para ter sucesso, já que a difusão será o meio pelo qual a inovação será traduzida em benefícios econômicos e sociais (TIDD, 2010). Entre as várias alternativas, apenas algumas inovações terão sucesso e diferentes fatores determinam a taxa de adoção de uma inovação pelos consumidores. A difusão de uma inovação, por sua vez, pode ser definida como o processo pelo qual uma inovação é comunicada através de certos canais com o tempo, entre os membros de um sistema social (ROGERS, 2003).

Dentro de um ambiente com diversas possibilidades de seleção de inovações, aparecem inicialmente múltiplas alternativas de investimento. No entanto, ocorre um processo de seleção no qual a maioria das alternativas tende a ser abandonada e existe uma convergência sobre algumas alternativas que aparecem como vencedoras do mercado (ideia de seleção e reforço). Este processo é geralmente designado como a busca por um design dominante, definido por Abernathy e Utterback (1978), como um produto ou tecnologia, em um determinado mercado, que obtém a preferência do mercado. O modelo de dinâmica de inovação proposto por Abernathy e Utterback aponta que o surgimento do design dominante é uma etapa crítica na consolidação e disseminação de uma inovação tecnológica. Neste ponto, vários projetos estão em atividade em uma situação com alto nível de experimentação, constituindo a fase fluida da dinâmica de inovação. Após o surgimento do design dominante, os concorrentes se concentram no desenvolvimento de processos de produção mais eficientes. O desafio, então, é produzir eficientemente e em escala, configurando o que foi chamado de fase transitória (ABERNATHY & UTTERBACK, 1978).

Muitas vezes, outros fatores, que não necessariamente a tecnologia, são críticos para a definição de um design dominante, como regulamentações e iniciativas governamentais, a presença de ativos complementares, movimentos estratégicos das empresas e interações usuário-produtor, que estão diretamente ligadas aos modelos de negócio adotados (BOMTEMPO E ALVES, 2014). Os ativos

complementares referem-se aos recursos necessários, além do know-how tecnológico central, para comercializar com sucesso uma inovação. Acesso a canais de distribuição e comercialização, serviços pós-venda e técnicos, tecnologias complementares e marketing são os ativos complementares mais comuns (TEECE, 2007). O conhecimento externo combinado com recursos e capacidades internas impacta positivamente o desempenho de uma inovação, seja no tempo de desenvolvimento ou no potencial de comercialização. Recursos controlados pela organização podem constituir vantagens competitivas sustentáveis se forem valiosos, raros, não imitáveis e não substituíveis (BARNEY, 1991), e, assim, o acesso aos ativos complementares necessários pode garantir vantagem competitiva sustentável e a apropriação das rendas e vantagens das inovações (GUERRAZZI, SERRA & PINTO, 2017). O acesso do inovador aos ativos complementares é um fator essencial para a exploração de uma inovação, sendo tais ativos necessários para a exploração da inovação e relacionando-se com toda a cadeia de valor do negócio (TEECE, 2000). Assim, também após o surgimento de um *design* dominante, que muda a concorrência do mercado, os ativos complementares são ainda importantes para assegurar uma vantagem competitiva.

A difusão de uma inovação envolve um alto grau de incerteza e as chances de sucesso da difusão tecnológica, segundo Rogers (2003), dependem de alguns fatores como:

- Nível de conhecimento dos potenciais usuários em relação à inovação;
- Grau de persuasão, que mede o interesse do potencial usuário na busca e aquisição de mais informações sobre a inovação, como custos, disponibilidade, características técnicas, adoção por outros usuários;
- O processo de decisão em si, no qual o potencial usuário faz a escolha de adotá-la ou rejeitá-la, levando em consideração os prós e contras, definindo os *trade-offs*;
- A fase de implementação, que se caracteriza pela tarefa de integração da inovação em uso regular, geralmente lenta.

Seguindo esta linha de raciocínio, as características necessárias a uma inovação seriam, segundo Rogers (1995), basicamente:

- Vantagens relativas comparativas em relação às soluções existentes;

- Compatibilidade da inovação com os valores e crenças existentes e suas experiências anteriores;
- Nível de complexidade: a extensão com que a inovação pode ser compreendida e adaptada;
- “Grau de experimentação” (*trialability*): grau em que uma inovação pode ser testada, mostrando o nível de incerteza para os potenciais usuários e como ela permite o aprendizado;
- “Grau de observação”: o grau em que o resultado de uma inovação é visível para outros potenciais usuários. Quanto mais facilmente se percebe e se observa o progresso e o processo de adoção da tecnologia, maior será a velocidade de difusão.

Assim, uma inovação precisa de certas características para ter sucesso no mercado e alguns pontos são essenciais para o êxito de um novo produto, como: a adaptação da mesma na infraestrutura já existente, as qualidades superiores em relação aos concorrentes já existentes, a variedade e importância de suas aplicações e o impacto real no mercado, com um custo de mudança que seja válido para o consumidor.

Um modelo de cinco estágios, proposto por ROGERS (1995), relacionado ao processo de decisão de uma inovação, ilustra bem cada etapa que deve ser seguida até a decisão de confirmação da inovação no mercado, como mostra a Figura 1.

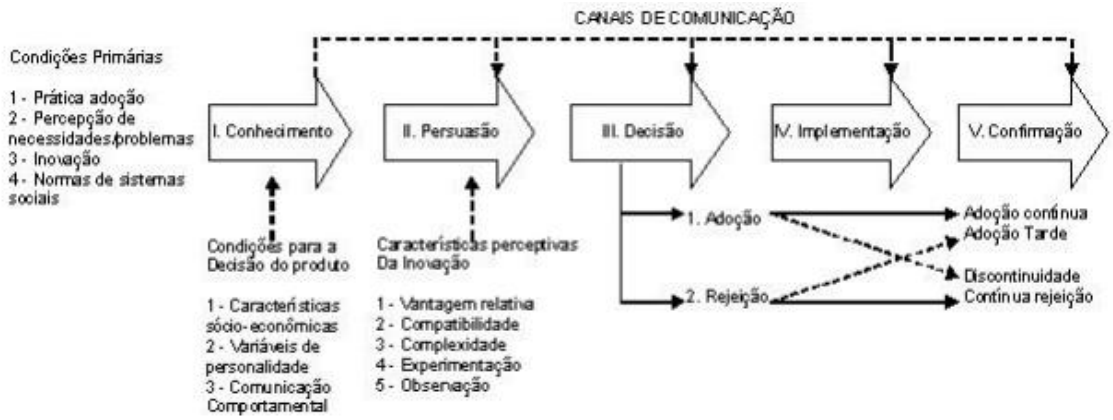

Figura 1 - Modelo do Processo de Decisão de uma Inovação.
Fonte: BRITO & CÂNDIDO (2003) com base em ROGERS (1995).

Percebe-se que é um processo complexo, de várias etapas, incluindo desde o conhecimento da inovação pelo usuário, passando pelo processo de persuasão pelo qual o usuário formará uma opinião sobre o produto e decidirá sobre utilizá-lo ou não, comparando com as alternativas existentes. A partir deste ponto, com a escolha feita, a inovação pode ter sua implementação e confirmação, perpetuando no mercado.

Neste processo de difusão, portanto, destaca-se o papel do sistema social, que se trata de um grupo de agentes engajados na solução de um problema em comum (ROGERS, 2003). Um sistema tem uma estrutura que dá estabilidade e regularidade ao comportamento individual. A estrutura social ou de comunicação de um sistema, com suas normas e padrões estabelecidos entre os membros do mesmo, pode ser um entrave ou um facilitador ao processo de difusão. A inovação é capaz de perturbar a estabilidade de um sistema, modificando as preferências dos usuários e o ambiente como um todo.

Neste contexto, destaca-se também o papel dos *Lead Users*, usuários que antecipam as necessidades dos outros usuários, servindo como laboratório ou instrumentos de pesquisa das firmas para suas futuras inovações (HIPPEL, 1988). A identificação e a aproximação com *lead users* é outro elemento-chave para o sucesso na difusão. Estes agentes atuam como *experts* e comunicadores reduzindo a percepção de risco e promovem melhorias que catalisam o processo de adoção pelos outros usuários, acelerando a difusão.

A difusão de uma inovação pode ser, então, representada por uma curva em "S", como na Figura 2, considerando a adoção da inovação pelos consumidores.

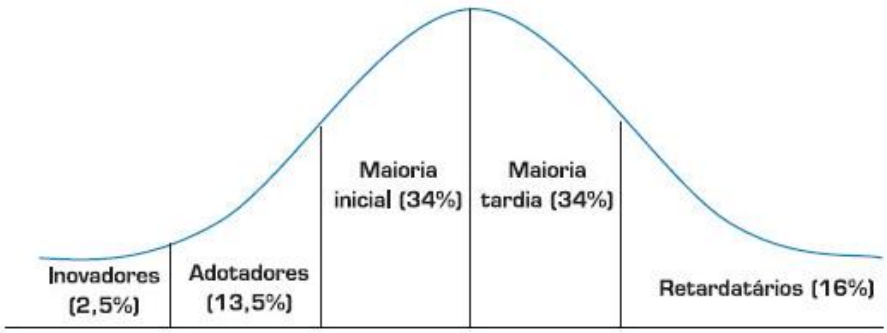

Figura 2 - Categorização dos novos usuários com base na inovação.
Fonte: SANTOS & JESUS (2005) com base em ROGERS (1995).

Os inovadores são os primeiros a estarem em contato com a inovação e assumirem os riscos de utilização. Após estes, aparecem os primeiros usuários (*Early Adopters*), indivíduos respeitados no sistema social por suas opiniões; os potenciais consumidores da inovação se apoiarão na experiência e no conhecimento gerado por essa categoria. Em seguida, a primeira maioria a adotar (*Early majority*) engloba as pessoas que adotam a ideia pouco antes da média do número de membros do sistema (a grande maioria); conversam entre si mas não tem uma posição de liderança. Os "céticos" (*Late Majority*) adotam a ideia somente após metade de adotantes do sistema social já terem adotado; possuem recursos escassos e, assim, precisam que todas as incertezas já tenham sido removidas, como uma maneira de adotar a inovação em segurança. Por fim, os retardatários (*Laggards*) são os tradicionais, que adotam a inovação quando todos os outros no sistema social já o fizeram (ROGERS, 1995).

Assim, entende-se como ocorre o processo de difusão em todas as suas etapas de evolução, deixando clara a complexidade para o sucesso de uma inovação. Diversos fatores interferem, desde as características dos produtos/processo, posicionamento e capacidades das empresas inovadoras no mercado, ativos complementares existentes, até o contexto em que a inovação é inserida, sendo um ambiente muito ou pouco competitivo, novo ou estabelecido. Dessa forma, as empresas inovadoras enfrentam muitos desafios para conseguir o sucesso no estabelecimento de um novo produto, entendendo onde seu produto conseguirá se encaixar, se ele terá propriedades superiores aos concorrentes existentes (que sejam suficientes para que os utilizadores aceitem os possíveis custos de mudança) e se suprirão as reais necessidades do mercado.

2.2. A Bioeconomia e os Bioprodutos

Os desafios e oportunidades existentes na Bioeconomia podem ser melhor compreendidos através de quatro dimensões principais: matéria-prima, processos, produtos e modelos de negócios (ALVES E BOMTEMPO, 2014). Estes são pontos-chave que demandam atenção no desenvolvimento das inovações baseadas em recursos biológicos.

A matéria-prima é um elemento que têm função essencial na estruturação da Bioeconomia. Na Bioeconomia, inúmeros são os tipos de matérias-primas, das mais variadas características (umidade, composição química, teor de energia, tamanho, etc.), com diversos desafios inerentes a serem enfrentados (BOMTEMPO, 2012).

Muitos parâmetros afetam o custo da biomassa, tais como o tipo de resíduo gerado, localização, umidade, tamanho, disponibilidade, teor de energia, método de colheita, distância de transporte, entre outros. Atenção especial, porém, deve ser tida com o processamento e o transporte da biomassa, de forma a minimizar os custos globais de logística. Além disso, a competição com outros usos cria dificuldades tanto éticas ("combustível *versus* alimento") quanto econômicas; a escala de produção, a sazonalidade e a influência dos ciclos climáticos geram incerteza para as indústrias (OECD, 2018). Portanto, muitas são as dificuldades, desde a escolha da matéria-prima até a utilização da mesma, devendo atender requisitos de tecnologia e logística. Muitas são as oportunidades, mas a estruturação de uma oferta articulada às correspondentes tecnologias de conversão, aos produtos e aos modelos de negócio é uma construção que desafia a capacidade inovadora da indústria. O estudo da cadeia produtiva é essencial, neste quesito.

Em relação aos processos e tecnologias existe uma ampla variedade de tecnologias relacionadas à produção de químicos a partir de matérias primas renováveis (ABDI, 2016). Uma das principais questões é entender a importância de englobar tecnologias relacionadas às três grandes etapas da cadeia produtiva: produção/desenvolvimento de matérias-primas, tratamento das matérias-primas e conversão a produtos químicos. A produção química de base biológica é desafiada pelas tecnologias de conversão e por uma superabundância de produtos possíveis. O desenvolvimento integrado de uma biorrefinaria ainda está em um estágio inicial e, assim, ainda não identificou um grupo central de produtos químicos primários e intermediários secundários análogos aos utilizados pela indústria petroquímica. A pesquisa em combustíveis, por exemplo, tende a investigar um grande número de tecnologias diferentes para produzir um único ou muito pequeno número de resultados, ou seja, a pesquisa de biocombustíveis é convergente. Se uma tecnologia para um processo de combustível não atinge as metas de custo, ela é descartada em favor de processos mais econômicos; para biocombustíveis, o foco na identificação do produto leva a escolha da tecnologia. Dessa forma, percebe-se a

importância das tecnologias na Bioeconomia, na qual processos de seleção racional para essas oportunidades e portfólios seriam uma ferramenta valiosa (BOZELL & PETERSEN, 2010).

Tecnologias emergentes voltadas para as culturas agrícolas buscam os ganhos de produtividade e eficiência, com melhoramento de novas variedades e desenvolvimento das técnicas agrícolas, para se tornarem economicamente atrativas. Além disso, pode-se dizer também que as tecnologias de tratamento constituem uma etapa fundamental para o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva de bioprodutos; a capacidade de gerar matérias primas com baixo custo e com as características necessárias para alimentar os processos de conversão se apresenta como um grande desafio tecnológico. Em relação às tecnologias de conversão, há tanto a possibilidade de produtos que se adaptem aos processos existentes quanto a geração de novos produtos. A tecnologia, tão importante quanto os outros aspectos, é determinante para a Bioeconomia, delimitando como será possível transformar dentro deste mercado, definindo, a partir das matérias primas (que serão buscadas de forma garantir a sustentabilidade), quais serão os produtos e suas funções. Com isso, pesquisa e desenvolvimento são determinantes neste quesito e no crescimento deste mercado.

A viabilização dos produtos renováveis, porém, tem diversos desafios a serem vencidos, considerando que estes projetos precisam estruturar modelos de negócio viáveis em um ambiente emergente com elevado nível de incerteza e, ao mesmo tempo, agregar um conjunto de competências complementares não detidas pelos inovadores às competências de origem. Os modelos de negócio refletem a lógica de atuação das organizações, representando como competem no mercado e como criam e entregam sua proposição de valor, devendo ainda responder às mudanças do ambiente. O conceito de modelo de negócio engloba a estrutura, o conteúdo e a governança das transações entre a empresa e seus parceiros (ZOTT & AMIT, 2007). Assim, configura-se como uma das dimensões críticas para o crescimento das empresas e no contexto da inovação, sendo fundamental para as *startups* na viabilização da transição de projetos e para as empresas estabelecidas na estruturação de novos negócios. Neste contexto, as parcerias constituem estratégias interessantes, tanto para firmas estabelecidas quanto para emergentes, sendo,

portanto, uma alternativa para a aquisição ou o desenvolvimento interno das competências necessárias.

Um modelo de negócio adequado é fundamental para que sejam reunidas as competências organizacionais e tecnológicas ligadas à estruturação do acesso à matéria-prima e do acesso às competências ligadas ao mercado, verificando as possibilidades tecnológicas da empresa, a natureza do produto e a captura de valor (OROSKI, 2013). Tem-se, hoje, um ambiente em formação, pautado pela diversidade e constante mudança. Além disso, fatores ambientais como legislação, transformações sociais, aumento dos incentivos governamentais, entre outros fatores de natureza externa às firmas, são muito relevantes na compreensão das iniciativas de inovação na Bioeconomia. Neste contexto, a flexibilidade do modelo de negócio, frente a um ambiente emergente e em constante mudança como este, é outra característica essencial para que as empresas consigam lidar com as dificuldades do mercado.

Por fim, a última dimensão ainda fundamental neste contexto é o produto em si, como as suas propriedades técnicas e vantagens comparativas em relação aos produtos concorrentes, além de seus custos de produção, buscando uma posição competitiva no mercado, para que seja possível o futuro da Bioeconomia. Os produtos têm importância muito significativa no desenvolvimento da Bioeconomia. A classificação e o entendimento dos mesmos são muito importantes, principalmente no processo de estruturação dessas oportunidades, visto que toda a cadeia produtiva será dependente dos produtos escolhidos.

Os bioprodutos, de uma forma geral, apresentam, além das dificuldades tecnológicas, barreiras de natureza não tecnológica para se inserir no mercado. Há barreiras relacionadas à matéria-prima, desafios financeiros, de percepção pública, necessidade de políticas governamentais, entre diversas outras. Como mostrado por Bomtempo, Alves e Oroski (2017), alguns fatores podem ser definidos como críticos na adoção de bioprodutos, como:

- Custo de mudança (adaptações necessárias);
- Preço relativo (na competição com produtos fósseis);
- Propriedades técnicas adequadas;
- Desenvolvimento de novas aplicações;
- Incentivos à sua adoção e políticas governamentais;

- Ganhos intangíveis (produto “verde”);
- Adoção por usuários-chave (*lead users*).

Os bioprodutos dependem de vários fatores para terem sucesso e sua característica “verde” é fundamental no mercado. Idealmente, um bioproduto ideal seria *biobased* (oriundo de fontes renováveis), biodegradável (se decompõe na natureza dentro de um tempo considerado viável) ou reutilizável (com um sistema adequado de reutilização e reciclagem), e com o mínimo consumo de utilidades possível. Outro ponto importante nesta discussão diz respeito aos coeficientes de conversão da biomassa no produto. CARUS et al (2015) define seu indicador como a porcentagem da biomassa inicial que termina no produto final com base na massa molar do reagente e no produto. A eficiência de utilização de biomassa (BUE) é um indicador simples e rápido para avaliar qual produto faz o melhor uso da complexidade da biomassa, estando ligada à eficiência da terra e sendo capaz de diferenciar entre novas vias biológicas, blocos de construção e soluções *drop-in*[1]. Em geral, blocos de construção de base biológica mostram maiores BUEs em comparação com soluções drop-in, principalmente porque a complexidade química da biomassa é transferida para o produto final em maior extensão. Rotas de bioprodutos com uma maior BUE precisam de áreas de cultivo menores para a mesma produção em comparação com as vias com uma BUE mais baixa, o que mostra que a BUE tem uma correlação direta com a eficiência no uso da terra e a quantidade de terra necessária para produzir determinado produto, tendo, assim, efeito sobre os custos de produção. Por exemplo, para produzir a mesma quantidade de PE e PLA da cana-de-açúcar, é necessário quase o dobro da área de cultivo para PE que PLA. O indicador mostra ainda se os esforços devem ser concentrados na seleção de uma combinação diferente de produtos de biomassa ou se a atenção deve ser focada na melhoria do processo (CARUS et al, 2015).

Relacionado ainda com as características sustentáveis de um bioproduto, outro ponto de fundamental importância na Bioeconomia trata da questão da redução, da reutilização e da reciclagem (os três Rs da Economia Circular). A economia circular é um conceito que se opõe ao processo produtivo linear, utilizando os resíduos como insumos para a produção de novos produtos. Esse conceito

[1] O conceito de “*drop in*” se refere a soluções produzidas por base biológica para criar uma molécula idêntica a uma já existente, se adequando as estruturas já criadas. O conceito será desenvolvido mais a frente, no próximo tópico.

também é chamado de “*cradle to cradle*” (do berço ao berço), no qual não existe a ideia de resíduo, e tudo é continuamente nutriente para um novo ciclo, sendo benéfico ao meio ambiente (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2018). Como princípios, a Economia Circular segue as ideias de preservar e aumentar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis, otimizar a produção de recursos (fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico) e fomentar a eficácia do sistema (revelando as externalidades negativas e excluindo-as dos projetos) (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019). Dessa forma, o conceito de economia circular pode afetar diretamente o processo de desenvolvimento dos bioprodutos, já que ambos convergem na ideia de sustentabilidade, estando os bioprodutos ligados principalmente aos Rs de reutilização e reciclagem.

A diversidade dos bioprodutos é imensa, havendo inúmeras possibilidades e, assim, os mais diversos desafios. A qualidade dos bioprodutos deve ser tal que a escolha pelos usuários possa ser feita de forma que eles apresentem vantagens em relação aos produtos petroquímicos. Porém, para essa inserção, é fundamental também que os custos do produto sejam competitivos e, assim, a produção tem esse desafio de ultrapassar barreiras e conseguir escala para competir com os produtos estabelecidos. Nesta situação, existe tanto a possibilidade de criação de processos de produção e distribuição mais baratos quanto a inserção de produtos que se adaptem aos processos já existentes, buscando uma inserção mais rápida e mais barata no mercado.

A segmentação e especificação dos bioprodutos na cadeia produtiva também é outro ponto essencial, de forma a entender a real necessidade dos clientes em cada caso e, assim, entender como produzir com foco em atender às demandas do mercado. Essa segmentação também está ligada à sua inserção no mercado, devendo entender se o bioproduto atenderá um mercado de massa ou nichos mais específicos, o que também interfere na forma de produção e nos investimentos a serem feitos.

Sendo uma dimensão fundamental para o sucesso da Bioeconomia, o entendimento desses desafios relacionados aos bioprodutos, então, é essencial para que os inovadores estejam preparados para introduzir seus bioprodutos no mercado

com sucesso. Entendendo esses dilemas e dificuldades presentes, este trabalho foca na dimensão dos bioprodutos de forma a aprofundar essas discussões e criar resultados úteis para as empresas que desejam investir na Bioeconomia.

2.3. Os Dilemas dos Bioprodutos

Como foi percebido, diversos dilemas envolvem as decisões das empresas relacionadas aos bioprodutos. Sendo assim, essa dimensão da Bioeconomia demanda atenção especial. Alguns fatores críticos devem ser considerados e analisados nas inovações de produtos para a Bioeconomia. Além da competitividade por preço/custo contra as alternativas fósseis, os inovadores enfrentam desafios relacionados à identificação, ao desenvolvimento e à adoção pelo mercado desses novos bioprodutos.

Como visto no tópico anterior, há algumas características determinantes para a difusão de uma inovação, como vantagens comparativas às soluções existentes e compatibilidade com os valores e crenças vigentes. Além disso, o nível de complexidade (dificuldade de compreensão e adaptação), a “testabilidade” (que diminui o nível de incerteza) e o nível de observação (visibilidade a outros) são outros pontos essenciais para a difusão de uma inovação. Quanto mais fácil é a percepção de um produto, mais rápida tende a ser sua difusão. No contexto dos bioprodutos, a adoção dos mesmos enfrenta diferentes barreiras. Além das tecnológicas, estes produtos enfrentam barreiras relacionadas às matérias-primas (preços, logística, etc.), investimentos e obstáculos financeiros, dificuldades na percepção e comunicação do público sobre os bioprodutos, ausência de incentivos ou políticas eficientes (E4TECH, RE-CORD & WUR, 2015). Assim, para que sua difusão seja bem sucedida, o utilizador deve entender as características de utilizar um produto *biobased*, compreendendo seu valor no mercado e percebendo vantagens em relação aos produtos fósseis, com facilidades que atraiam em relação à concorrência, para, assim, escolher pelo produto “verde” e fazer com que sua difusão tenha sucesso.

Dessa forma, muitas questões devem ser levadas em consideração em relação aos bioprodutos, com dilemas intrínsecos aos mesmos no mercado, principalmente em questões relacionadas à percepção de seu valor, sua adaptação

ao mercado estabelecido e seu posicionamento para penetrar no dia-a-dia dos utilizadores. Assim, surgem as ideias de *drop-in* ou não *drop-in*, finais ou intermediários, *commodities* ou especialidade. Essas ideias constituem dilemas para empresas na Bioeconomia (BOMTEMPO, 2013). Não são decisões bipolarizadas; em muitos casos, existem zonas intermediárias entre esses assuntos que ainda necessitam de um entendimento mais amplo. Diversas são as possibilidades de bioprodutos e a definição de investimento passa pela maior compreensão dos mesmos, que apresentarão desafios distintos para as empresas de acordo com suas características. A partir destes pontos, o desenvolvimento de mercado através de aplicações e a adoção final dos produtos são etapas críticas que devem ser enfrentadas pelos inovadores na Bioeconomia, após entender os desafios com as quais estão lidando e se prepararem para isso.

Na análise dos bioprodutos, portanto, surgem esses dilemas principais, que precisam ser analisados para o melhor entendimento e desenvolvimento de um bioproduto. Seguindo esta ideia, três categorias foram pontuadas como os dilemas fundamentais na inserção de bioprodutos no mercado, discutidos nos tópicos a seguir.

2.3.1. Drop-in versus Não Drop-in

Uma das categorias mais importantes em que se é possível classificar os bioprodutos é a questão da adaptação do bioproduto ao mercado e às cadeias produtivas existentes. De forma simplificada, a categoria aponta o fato de a molécula analisada ser igual ou diferente de alguma existente no mercado obtida por fontes fósseis. Assim, moléculas idênticas a já existentes são chamadas de *drop-in*, enquanto moléculas novas são chamadas de não *drop-in.* Os materiais *drop-in* representam um menor risco para os utilizadores finais, pois não exigem ajustes de máquinas e ativos existentes, e ainda têm um menor impacto na reciclagem. Por estas razões, sua adoção parece mais fácil do que os materiais não *drop-in*. Mas o que seria mais importante: a biodegradabilidade ou a fonte renovável do material? Além disso, a avaliação do custo e do ciclo de vida (ACV - técnica de avaliação e quantificação de impactos ambientais possíveis associados a um produto ou

processo) também são fatores importantes para a análise. Portanto, esta mudança tecnológica não é simples nem rápida (OROSKI, ALVES E BOMTEMPO, 2014).

A adoção de novos materiais também depende da percepção do utilizador final em relação às vantagens técnicas do produto, o que favorece os produtos *drop-in*. Além disso, considerando a substituição para um produto não *drop-in*, há custos de mudança, que ocorrem por causa da falta de flexibilidade da troca de fornecedores, do investimento em ativos específicos de produção e distribuição, e do tempo de aprendizado. Produtos não *drop-in*, muitas vezes, vão necessitar de complementadores a jusante na cadeia produtiva, que constituem agentes com papel crítico na rede de valor, viabilizadores do negócio sendo vendedores/compradores de produtos/serviços/recursos complementares, como produtores de aditivos, transformadores[2], além de esforços de desenvolvimento de aplicações para adoção pelos utilizadores finais. Nesse caso, os ativos complementares existentes devem ser adaptados ou em alguns casos construídos para alcançar a utilização final do produto (BOMTEMPO, 2013). Por fim, ainda há o impacto sobre a reciclagem, que é maior para o produto não *drop-in,* visto que eles necessitam de toda uma infraestrutura de reciclagem diferente da existente, afetando também o investimento neste ponto. Portanto, percebe-se que os produtos não *drop-in* oferecem muito mais dificuldades de implantação, no entanto, eles podem trazer benefícios importantes para o meio ambiente, além de poder proporcionar a geração de novos produtos com propriedades e performances interessantes. Produtos não *drop-in* representam um novo produto que poderia aumentar o interesse do consumidor trazendo vantagens de desempenho em produtos de base biológica, e ainda poderiam validar o uso de biocombustíveis (já que os bioprodutos podem ser produzidos a partir de resíduos do processo de biocombustível ou nas mesmas instalações de produção destes) (BETO, 2018).

O impacto ambiental positivo de um bioproduto dependerá de como sua produção é feita, do consumo de utilidades, da eficiência na utilização da biomassa, da análise do ciclo de vida, entre outros fatores. É interessante notar que muitos atores estão envolvidos nesta mudança tecnológica de inserção de um bioproduto, o que é de grande importância para os utilizadores finais. É importante identificar esses atores e compreender o processo como um todo para priorizar estratégias e

[2] Empresas que transformam matéria-prima em um produto final ou intermediário para outra indústria de transformação.

ações importantes a favor da sociedade e do meio ambiente. Ainda é necessário entender melhor como os produtos não *drop-in* serão capazes de superar os obstáculos e entrar no mercado.

Existem vários exemplos de bioprodutos *drop-in*. Um deles é o Polietileno Verde (PE), lançado pela Braskem em 2011, que possui as mesmas propriedades do polietileno petroquímico, mas é feito a partir de fontes renováveis. Desta forma, as propriedades técnicas e de processamento do PE Verde já eram conhecidas (já que eram iguais às do polietileno petroquímico), aproveitando desde a acumulação de habilidades técnicas até investimentos menores em ativos específicos baseados no lado da oferta e sem impacto na reciclagem (OROSKI, ALVES & BOMTEMPO, 2014).

Por outro lado, um exemplo de produto não *drop-in* é o ácido poliláctico (PLA), que requer esforços para melhorar o processo (redução de custos) e o produto (melhoria de propriedades de materiais), precisa de maiores investimentos em ativos especializados nos lados da oferta e demanda e tem maior impacto na reciclagem por não se adequar aos sistemas existentes (OROSKI, ALVES & BOMTEMPO, 2014).

Porém, indo além da molécula em si, essa classificação pode ser mais abrangente, de acordo com os ativos complementares existentes e a adequação dos mesmos aos bioprodutos. Ou seja, existem bioprodutos que constituem moléculas novas (não *drop-in*), mas que se encaixam quase perfeitamente na infraestrutura já existente para algum produto do mercado, devido às suas especificações, como o PEF, que apresente propriedades similares ao PET e será estudado mais adiante. Ou seja, apesar de novos, podem se beneficiar de ativos complementares já existentes para outros produtos, seja na produção, na distribuição ou em seu uso, e até mesmo na reciclagem, sem investimentos adicionais relevantes. Por esse motivo, este trabalho entende que essa classificação não deve ser restrita apenas para uma análise da molécula, mas ampliada também em relação à infraestrutura ou aos ativos complementares existentes. Assim, um bioproduto pode ser *drop-in* ou não *drop-in* em relação à molécula e *drop-in* ou não *drop-in* em relação aos ativos complementares existentes.

CARUS et al (2017) apresentam alguns conceitos semelhantes aos mostrados neste trabalho. Os autores definem os conceitos de "*biobased drop-in*"

(que seriam os bioprodutos totalmente drop-in - versões de petroquímicos produzidos por base biológica, quimicamente idênticos), "*smart drop-in"* (um subgrupo especial de drop-in, quimicamente idênticos aos produtos fósseis, mas com vias biológicas que apresentam vantagens em comparação às vias convencionais) e "*dedicated chemicals*" (produtos químicos produzidos através de um caminho dedicado, sem um correspondente fóssil).

De uma forma geral, é possível dizer que os produtos *drop-in* têm uma adoção menos complexa, com ativos complementares já existentes e espera-se que os atores petroquímicos sejam candidatos naturais para o desenvolvimento desta categoria de produto. No entanto, a volatilidade no preço do petróleo, a falta de vantagens técnicas comparativas para os produtos petroquímicos, a dependência de mercados e aplicações estabelecidas, a concorrência contra os produtos fósseis (com escalas maiores) e a baixa eficiência do uso da biomassa podem ser algumas ameaças à sua adoção. Por outro lado, os não *drop-in* podem ser usados em mercados novos ou existentes, em nichos ou grandes mercados, com novas funcionalidades, menos exposição aos preços do petróleo e podem, dependendo do produto, não ficar presos à lógica de escala (OROSKI, ALVES & BOMTEMPO, 2014). O risco de adoção, o lento desenvolvimento das aplicações, a estruturação de novas cadeias de valor e a forte dependência do sucesso de novos atores (e aderência dos incumbentes) podem ser algumas desvantagens desse tipo de produto. No caso de produtos não *drop-in* que tenham condições de ser *drop-in* em relação aos ativos complementares, eles se aproximarão mais das facilidades encontradas pelos produtos *drop-in*, dependendo do grau de adequação à infraestrutura existente.

2.3.2. Commodities versus Especialidades

Os produtos químicos tradicionais podem ser caracterizados em quatro categorias de acordo com seu grau de diferenciação e volume de produção: *commodities* verdadeiras, especialidades químicas, químicos finos e pseudo-*commodities* (KLINE, 1976).

Commodities verdadeiras são produtos de alto volume, vendidos para especificações geralmente aceitas em mercados maduros. O principal critério de

compra é o baixo preço, sendo o ambiente competitivo caracterizado pela eficiência. Esta classificação corresponde principalmente aos produtos de base e aos intermediários primários, sendo vendidos a outros segmentos da indústria química como matérias primas para a elaboração de intermediários mais complexos ou de produtos químicos finais (BOMTEMPO, 1994).

Produtos químicos especializados (especialidades químicas), do outro lado, são sintetizados em pequenas quantidades de acordo com as características específicas dos consumidores. As especialidades são produtos químicos especificados pelo desempenho. Pelos volumes demandados e pela natureza das aplicações desejadas, o fornecedor de especialidades deve ter competências na utilização de seu produto. A transferência dessa competência aos utilizadores na forma de serviços técnicos é parte do segmento das especialidades, sendo importante para a competitividade das empresas (BOMTEMPO, 1994).

Produtos de química fina e pseudo-*commodities* ficam entre essas duas classificações. Os químicos finos são tipicamente não diferenciados, com pequeno volume vendido às especificações padronizadas. São especificados por suas características químicas, com quantidades demandadas pouco expressivas (menos de 10 000 t/ano), e preços unitários elevados (acima de 5 dólares por quilo) e a utilização totalmente específica. Em geral, esse produto é submetido a outras transformações químicas ou a formulações para a obtenção do produto final. As pseudo-*commodities*, por sua vez, são vendidas de acordo com suas especificações de desempenho (diferenciadas), mas são produzidas em grandes quantidades (BOMTEMPO, 1994). A Figura 3 mostra como essas categorias se colocam em função do volume e grau de diferenciação.

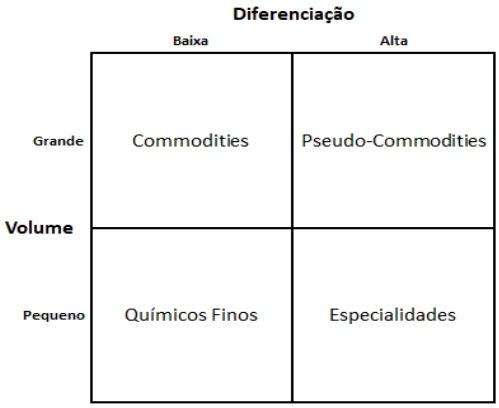

Figura 3 - *Commodities* versus Especialidades.
Fonte: Elaboração própria baseada em KLINE (1976).

Uma especialidade pode adquirir características de uma *pseudo-commodity* quando encontra aplicações de grande volume e o número de produtores cresce rapidamente. A consequência disso é, geralmente, uma queda de preços. A fonte de competitividade do produtor passa então do serviço à produção, focando na otimização de processos. Por outro lado, uma especialidade pode adquirir características mais próximas de um produto de química fina se, com a aprendizagem, o cliente chegasse a um nível de conhecimento elevado do produto capaz de responder às suas necessidades, podendo, assim, especificar de forma tão precisa o produto desejado que a dimensão serviços se torna limitada, restando ao fornecedor somente a realização da síntese do mesmo (BOMTEMPO, 1994).

Em geral, *commodities* enfrentam um mercado altamente competitivo com alta volatilidade de preços, e controle de mercado por volume. Especialidades são menos sensíveis a essa volatilidade, controlando o mercado pelo melhor produto.

Em relação aos bioprodutos, pode-se destacar que biocombustíveis terão uma vantagem competitiva a preço baixo, produção e distribuição, mas terão uma maior volatilidade de preços e incertezas em termos de lucratividade. No caso de bioquímicos finos e especializados, uma vantagem competitiva terá sido ganha pelo fornecimento de um ambiente produtor flexível, capaz de atender às necessidades dos consumidores e serviços customizados relacionados a P&D. Por fim, biomateriais e seus derivados podem ser usados, por suas propriedades, como materiais e, na cadeia de produção geral, biomateriais são tipicamente vendidos próximos ao consumidor final, com alto potencial de diferenciação (DANSEREAU et al, 2014). É importante notar que, muitas vezes, os bioprodutos (como o PE verde e os produtos drop-in em geral) têm como fator de diferenciação apenas o aspecto renovável e redução de emissões, não havendo sempre os ganhos de performance ou características de uso.

Neste trabalho, haverá um enfoque na diferenciação do produto, adotando apenas as classificações mais comuns (*commodities* ou especialidades), por serem os extremos da dimensão e a princípio mais importantes para a análise feita. Ou seja, se o produto não é diferenciado, ele será definido como *commodity*, se for diferenciado, ele será classificado como uma especialidade.

2.3.3. Finais versus Intermediários

O último dilema proposto na classificação de bioprodutos é em relação à transformação química dos mesmos. Se um produto é utilizado diretamente, sem mais sofrer transformações químicas, ele pode ser classificado como um produto final, dependendo apenas de formulações ou transformações mecânicas, como, por exemplo, a produção de embalagens ou outros artefatos. Por outro lado, se ele ainda passará por transformações químicas que o modifiquem antes do uso, ele é classificado como um produto intermediário.

Nesta classificação, é importante notar que é vista a cadeia como um todo e não a perspectiva da empresa. Por exemplo, uma empresa que produz uma molécula que passará por transformações químicas em outras etapas da cadeia produtiva está produzindo um intermediário químico na cadeia como um todo, mesmo que, para a empresa, o produto seja, individualmente, um produto final (por ela não tratar das próximas etapas de transformação).

Esta categoria depende muito da definição de mercado e perspectiva da empresa e, por isso, o entendimento dos desafios de cada escolha é fundamental. Um produto final deve ter características que atendam diretamente ao seu comprador, sendo mais focado na necessidade de seus consumidores, sejam eles os consumidores finais do produto ou empresas que ainda modificarão o produto de alguma forma (que não química) para comercialização. Um produto intermediário, por sua vez, costuma ser comercializado com outras empresas (que produzirão os produtos finais). Além disso, há casos de produtos intermediários que podem ser utilizados para a obtenção de diversos produtos finais, possibilitando à empresa abranger seus mercados ao negociar com diversos segmentos, caso seja adequado e esteja preparada para os desafios impostos por essa escolha. Este é o caso dos chamados químicos plataforma, que possuem propriedades que os tornam capazes de dar origem a uma árvore de aplicações finais diferentes, podendo mobilizar estratégias específicas de introdução e adoção (BOMTEMPO, 2015; BOMTEMPO, ALVES & OROSKI, 2017). Assim, o mercado consumidor e as estratégias a serem seguidas são completamente diferentes para um produto final e um intermediário.

Para ser considerado um químico plataforma, um produto deve ter uma estrutura química flexível, uma larga gama de derivados potenciais a custo

competitivo, devem ser intermediários na cadeia de valor, estruturados em ecossistemas de inovação[3], regulados por uma governança e gerar valor através de economias de escopo e escala. Desta forma, para que sejam efetivadas comercialmente, os químicos-plataforma precisam responder a certos dilemas que apontam desafios a serem enfrentados pelas empresas focais, como o grau de abertura *versus* a apropriação de valor (a capacidade de gerar valor sem que este seja capturado por agentes externos), a inovação/colaboração *versus* competição (ter relações de colaboração com atenção a oportunistas) e o desenvolvimento do mercado, beneficiamento com economia de escala e escopo e a atração dos colaboradores (o líder da plataforma deve saber lidar com esse problema do tipo "ovo-galinha", no qual para o desenvolvimento de economias de escala e escopo é necessária a garantia de demanda, que só surge com vantagens de custo fruto desses mecanismos produtivos e com a colaboração de agentes externos, que só entram no negócio com a garantia de avanço com aumento de escala – ou seja, há um dilema sobre o que vem primeiro: a oferta da molécula intermediária ou a demanda dos derivados) (ARAÚJO, 2015; BOMTEMPO, ALVES & OROSKI, 2017).

2.3.4. Resumo dos Dilemas de Bioprodutos

Entre as mais variadas possibilidades de bioprodutos, percebe-se que dilemas emergem em torno das decisões e desafios de investimento. Este trabalho percebe as questões da "dropinidade", commodity/especialidade e final/intermediário como alguns dos principais a serem analisados. Sendo dilemas intrínsecos a este mercado, o objetivo das análises dos estudos de caso é percebê-los e entender suas influências ao observar os movimentos do mercado. A ideia é entender os desafios presentes, relacionados a esses dilemas, e, com isso, ter uma maior clareza nas atitudes e investimentos a serem feitos. A partir disso, o desenvolvimento de mercado através de aplicações e a adoção final dos produtos são etapas críticas para os inovadores na Bioeconomia, que necessitam do entendimento dos desafios que estão lidando para se prepararem para isso.

[3] Ambiente onde estão presentes empresas, empreendedores e agentes que podem atuar de forma harmônica e colaborativa (SEBRAE, 2018).

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de entender a difusão da inovação de bioprodutos no mercado e os principais dilemas enfrentados pelas empresas envolvidas nesta inserção, esta dissertação, após ter apresentado uma revisão bibliográfica contemplando fontes relevantes sobre a difusão de inovação de produtos, Bioeconomia e os dilemas dos bioprodutos, segue com uma estrutura de estudos de casos e posterior análise e discussão. O esquema da Figura 4 resume a estrutura da dissertação.

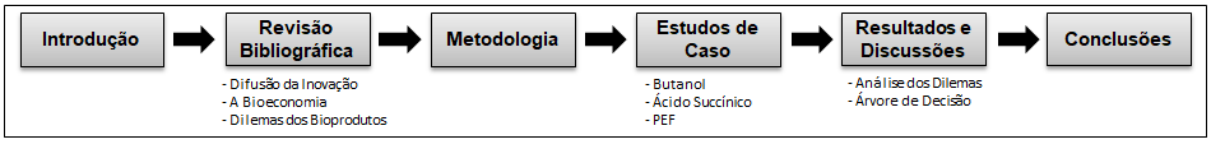

Figura 4 - Estrutura da Dissertação.

A metodologia utilizada é baseada em estudos de casos múltiplos (YIN, 2001), que permite teorizar de acordo com o processo de observação de casos, de acordo com a pouca literatura existente, podendo perceber os dilemas em casos reais e, assim, entender como a situação ocorre. Segundo Yin (2001), o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, não estando claramente definidos os limites entre o fenômeno e o contexto. Os resultados obtidos podem possibilitar a disseminação do conhecimento, por meio de possíveis generalizações ou proposições teóricas que podem surgir do estudo (YIN, 2001).

Tratando-se de um tema ainda pouco aprofundado, não é possível estabelecer claramente uma relação de causa e efeito entre as variáveis que influenciam cada processo. Portanto, considera-se que o estudo ainda se encontra no estágio de investigação empírica e, assim, a escolha do método do estudo de caso se faz apropriado.

Os estudos de casos desta dissertação utilizam dados provenientes de artigos científicos, documentos e relatórios de empresas relacionadas, notícias e websites relacionados (como biofuelsdigest.com, websites das empresas, entre outros).

Em relação às limitações do método, há questionamentos relacionados à falta de rigor científico, com pouca base para generalização estatística. Porém, assim como os experimentos, os estudos de caso são generalizáveis a proposições

teóricas, não representando uma ‘amostragem’, tendo como objetivo expandir e generalizar teorias (generalização analítica) e não enumerar frequências (generalização estatística) (YIN, 2001). Sendo assim, com definições claras da pesquisa e documentos confiáveis para análise, o estudo de casos múltiplos se mostra adequado ao trabalho.

Sendo assim, o Capítulo 4 é estruturado em três estudos de caso de bioprodutos em diferentes fases de desenvolvimento, para entender como tem se dado a inserção dos mesmos no mercado, os principais desafios enfrentados e os posicionamentos dos principais atores. Os casos buscam analisar toda a trajetória destes Bioprodutos, desde a criação dos projetos ou empresas envolvidas. Dessa forma, foram escolhidos três bioprodutos: o Biobutanol, o Bio-ácido Succínico e o PEF. A escolha dos mesmos foi feita de acordo com as diferentes características entre si, tanto em termos de aplicações e atores envolvidos, quanto em termos de fase de desenvolvimento de produto (escala piloto, demonstração ou comercial). Assim, espera-se uma amostragem abrangente e característica para entender os principais desafios em torno da inserção de bioprodutos no mercado.

O Quadro 1 mostra as principais dimensões analisadas para a escolha dos produtos, mostrando que cada um deles representa diferentes posicionamentos nas dimensões para análise. O primeiro critério diz respeito à relevância do produto no cenário internacional, de acordo com referências em publicações como a lista das moléculas promissoras do DOE (2004), sua revisitação por BOZELL & PETERSEN (2010) e o relatório “*From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals*” (E4TECH, RE-CORD & WUR, 2015); o segundo critério avalia a diversidade de natureza e desenvolvimento do produto em relação ao tipo de produção (fóssil ou biológica); o terceiro indica a variedade de atores envolvidos, entre estabelecidos e start-ups; o quarto e último analisa a variedade de aplicações do bioproduto.

Quadro 1 - Dimensões analisadas na escolha dos bioprodutos.

Bioproduto	Futuro Promissor?	Situação de Mercado	Atores Envolvidos	Aplicações do Bioproduto
Biobutanol	✓	Produção Petroquímica: Grande escala comercial. Produção *Biobased*: Escala comercial.	Start-ups e Joint-Ventures entre empresas estabelecidas	Aplicações já existentes e viabilização de novas aplicações (inviáveis com o produto fóssil)

Bioproduto	Futuro Promissor?	Situação de Mercado	Atores Envolvidos	Aplicações do Bioproduto
Bio-ácido Succínico	✓	Produção Petroquímica: Escala comercial com limitações de processo. Produção *Biobased*: Início de escala comercial.	Start-ups e Empresas estabelecidas, em JV ou aquisições	Aplicações já existentes e viabilização de novas aplicações (inviáveis com o produto fóssil)
PEF	✓	Produção Petroquímica: Inexistente. Produção *Biobased*: Escala piloto.	JV entre startup e empresa estabelecida	Aplicações já existentes (substituição do PET)

Em resumo, as três moléculas (ou seus precursores) aparecem em pelo menos um dos trabalhos citados como produtos a serem estudados e com um futuro promissor, sendo classificadas como interessantes para o estudo no primeiro critério. O segundo critério mostra seus diferentes desenvolvimentos de mercado, pela rota petroquímica e pela rota renovável: o biobutanol seria um produto com grande escala comercial petroquímica, mas também já produzido pela rota biológica, o ácido succínico é um produto com limitações de processo para aumento da produção pela rota petroquímica e com produção biológica já em início de escala comercial; e o PEF, por fim, é um produto novo, produzido apenas de forma *biobased*. O terceiro critério mostra que todos os produtos envolvem tanto empresas estabelecidas quanto start-ups, mas com diferentes participações entre eles. E, por fim, o último critério indica a variedade de aplicações dos produtos; o biobutanol e o bio ácido succínico podem ser utilizados nas aplicações tradicionais dos produtos originados petroquimicamente, mas também conseguem viabilizar novas aplicações pela rota biológica, enquanto o PEF seria principalmente um substituto para o PET, sendo utilizado para as aplicações existentes para o produto de base petroquímica.

Cada estudo de caso segue estruturado em cinco subdivisões. A primeira define e caracteriza o produto em questão. A segunda explica as principais rotas de produção; nessa, serão mostradas todas as principais rotas de produção, considerando aquelas com uso de biomassa e as petroquímicas, se aplicável. A terceira subdivisão mostra o mercado explorado pelo produto, considerando os seus possíveis derivados e aplicações no mercado. A quarta mostra a evolução histórica geral da produção daquele produto, considerando os principais *players* envolvidos. Por fim, a quinta subdivisão se aprofunda na atuação histórica de cada projeto especificamente, de forma a entender os posicionamentos e esforços individuais de

cada empresa na evolução do produto e desenvolvimento do mercado. Entender e analisar o histórico das empresas é importante à medida que se faz possível o entendimento dos posicionamentos, desafios enfrentados e o densenvolvimento do produto e aplicações, conseguindo detectar e compreender os dilemas presentes. O fluxograma da Figura 5 ilustra essas cinco subdivisões da estrutura de cada caso.

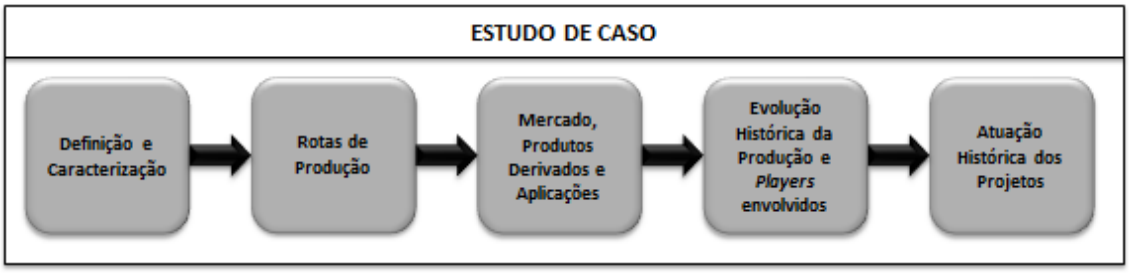

Figura 5 - Fluxograma da estrutura dos estudos de caso.

Após esses estudos de casos, o Capítulo 5 se insere especificamente na análise e identificação dos dilemas da inserção destes bioprodutos no mercado, após a análise de cada caso. Assim, o capítulo é subdivido na análise dos dilemas individualmente em cada caso, seguida por uma posterior análise global que busca entender os dilemas de uma maneira geral, e suas interseções entre si, de forma a perceber os principais desafios da difusão da inovação para qualquer bioproduto no mercado, mostrando os impactos de cada decisão e característica de produto no enfrentamento dos desafios de desenvolvimento de mercado. Nessa parte, são mostrados ainda os resumos das aplicações dos bioprodutos, relacionando-as com os dilemas mencionados e classificando-as quanto ao grau de novidade (ligado à existência ou não daquele produto/aplicação nos mercados atuais) e ao peso sobre a demanda futura (de acordo com o tamanho potencial dos mercados atingidos, qualitativamente). A segunda parte deste capítulo, então, após o entendimento de todos os dilemas, é a proposição de uma árvore de decisão, na perspectiva das empresas, que permite identificar os principais desafios a serem enfrentados na inserção de um bioproduto no mercado, de acordo com as suas características.

Por fim, com os estudos de diferentes casos, análise e entendimentos dos dilemas e desafios presentes na tarefa de difusão de inovação de bioprodutos, e a construção de uma árvore de decisão para as empresas, a dissertação é finalizada com as conclusões gerais do projeto e ideias para pesquisas e debates futuros.

4. ESTUDOS DE CASO

De forma a analisar os dilemas dos bioprodutos, foram escolhidos três casos para aprofundamento, o butanol, o ácido succínico e o PEF, que serão analisados nos tópicos a seguir. A estrutura de cada um dos tópicos começa com a definição e caracterização de cada produto para identificar as suas principais características. Em seguida, são apresentadas as suas rotas de produção, definindo todas as possíveis formas de obtenção dos produtos. A partir disto, são apresentados o mercado, os produtos derivados e as aplicações, definindo as características em relação aos dilemas de inserção no mercado. Em seguida, é contextualizada toda a história em relação a cada produto e, por fim, a atuação histórica de cada ator individualmente é analisada de forma a entender a evolução do mercado e as principais preocupações e definições dos players em relação aos produtos.

4.1. Butanol

4.1.1. Definição e Caracterização

O butanol, também chamado de álcool butílico, é um álcool com quatro átomos de carbono em sua cadeia molecular, representada por C_4H_9OH. Apresenta quatro isômeros, de acordo com a posição de seu radical hidroxila ou da disposição de seus átomos de carbono: n-butanol, sec-butanol, iso-butanol e terc-butanol, como apresenta a Figura 6.

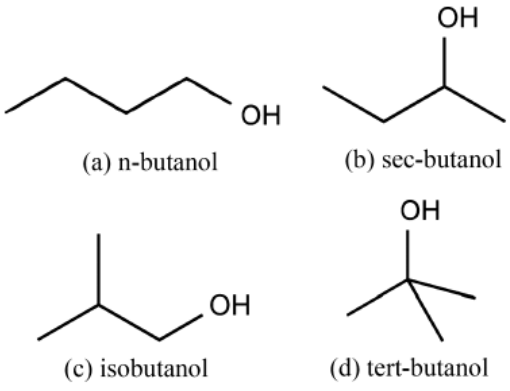

Figura 6 - Isômeros do Butanol.
Fonte: MACK et al (2016)

Dos isômeros apresentados, os de maior relevância comercial são o n-butanol e o isobutanol. Muitas vezes, quando se trata do butanol obtido a partir de matéria-prima renovável, ambos os isômeros do butanol (n-butanol e isobutanol) são chamados de biobutanol, o que muitas vezes causa confusão sobre qual isômero é realmente pretendido. Existem, no entanto, algumas diferenças nas propriedades, aplicações e métodos de produção dos dois isômeros (PAULIEN et al, 2014).

O n-butanol é um importante bloco de construção químico, principalmente para a fabricação de acetato de butila, tendo usos como solvente em tintas e revestimentos para produtos de madeira, mas também como aromatizante de alimentos. A maioria das iniciativas industriais no campo do n-butanol, no entanto, é voltada para o mercado de biocombustíveis (substituindo a gasolina fóssil) devido às melhores propriedades de combustível do n-butanol comparado ao etanol, como resultado do maior conteúdo de energia, menor miscibilidade da água e propriedades menos corrosivas. O isobutanol, por sua vez, é um líquido incolor e inflamável. No setor petroquímico, é fabricado pela carbonilação de propileno, com amplas aplicações, principalmente como solvente. Sua fabricação via fermentação de açúcares permitirá a substituição direta do isobutanol derivado do petróleo como uma molécula drop-in (E4TECH, RE-CORD & WUR, 2015).

4.1.2. Rotas de Produção

O butanol pode ser produzido tanto pela rota petroquímica, principalmente na síntese via processo oxo, quanto pela rota biológica, que tem como base principal a fermentação ABE.

A rota petroquímica (baseada em matérias-primas de origem fóssil) tem sido a principal rota para produção de butanol. Dentre os processos industriais, destacam-se a síntese de Reppe, a hidrogenação de crotonaldeído e a síntese oxo (mais relevante) (LEE et al, 2008).

A rota baseada na síntese de Reppe, desenvolvida em 1942, não vingou devido ao custo elevado de sua tecnologia quando comparada ao custo do processo oxo. A rota Reppe trabalhava a temperaturas e pressões amenas, consistindo na reação do propeno com água e monóxido de carbono na presença de um catalisador, formando 1-butanol e 2-metil-1-propanol, conforme a Figura 7, com

liberação de gás carbônico durante a reação (um aspecto desfavorável do ponto de vista ambiental) (UYTTEBROEK ET AL, 2013).

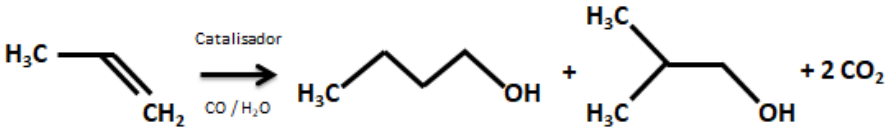

Figura 7 - Síntese de Reppe para produção de butanol.
Fonte: Elaboração própria com base em UYTTEBROEK (2013).

A rota baseada na hidrogenação de crotonaldeído (mais usual até o desenvolvimento do processo oxo) consistia primeiramente na condensação aldólica do acetaldeído, na presença de catalisadores alcalinos, seguida pela desidratação do composto formado pela acidificação do meio e posterior destilação. Por fim, o crotonaldeído sofre uma reação de hidrogenação com o uso de catalisadores de cobre para a formação do n-butanol, conforme mostrado na Figura 8 (UYTTEBROEK ET AL, 2013).

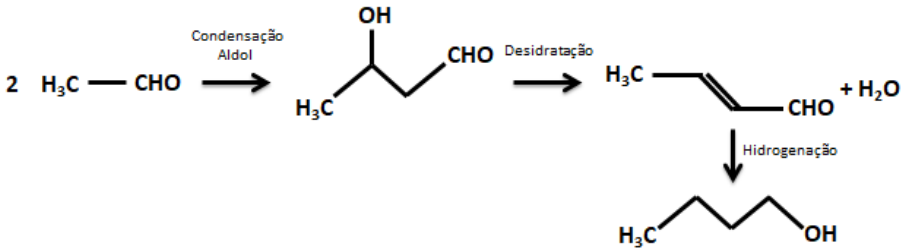

Figura 8 - Rota de hidrogenação do crotonaldeído para produção de n-butanol.
Fonte: Elaboração própria com base em UYTTEBROEK (2013).

A rota mais utilizada nos dias atuais é, por fim, o processo oxo (ou hidroformilação). Neste caso, a matéria-prima principal é um hidrocarboneto insaturado (em geral o propeno), que primeiramente é hidroformulado a uma mistura de butiraldeído na presença de um catalisador metálico homogêneo baseado em ródio. O butiraldeído é, então, hidrogenado, produzindo o n-butanol, como mostrado na Figura 9 (YUAN, 2012).

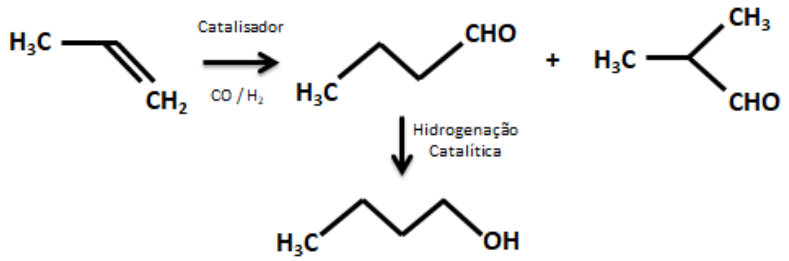

Figura 9 - Processo oxo para produção de butanol.
Fonte: Elaboração própria com base em UYTTEBROEK (2013).

Devido à volatilidade dos preços do petróleo e ao aspecto ambiental, a atenção tem se voltado para a geração de biobutanol, baseada em melhorias no processo fermentativo ou de rotas alternativas com a utilização de matérias-primas renováveis. O n-butanol é co-produzido com acetona e etanol, por fermentação, sendo conhecido como o processo acetona-butanol-etanol (ABE). A produção de n-butanol de base biológica é um processo existente desde o início do século XX, que cessou nos anos 80 devido ao baixo custo do petróleo bruto e às rotas petroquímicas concorrentes, mas o aumento dos preços do petróleo, a evolução tecnológica e a demanda por combustíveis e produtos químicos renováveis renovaram o interesse pela mesma (DE JONG ET AL, 2012).

A fermentação ABE se baseia na fermentação de açúcares, com o uso de bactérias anaeróbicas *Clostridium acetobutylicum*, para a produção de butanol e dos subprodutos acetona e etanol. Tradicionalmente, utilizam-se bactérias do gênero *Clostridium*, porém, outras espécies foram identificadas como capazes de produzir butanol com rendimentos maiores, como a *C. beijerincikii*, *C. saccaroperbutylacetonicum* e *C. saccharoacetobutylicum.* Nos últimos anos, houve ainda uma expansão das espécies de organismos utilizados incluindo variedades de Clostridia, variedades geneticamente modificadas de bactérias como *Escherichia coli*, *Pseudomonas sp*., *Bacillus subtilis* e leveduras como a *Saccharomyces sp.* A escolha do microrganismo depende do substrato selecionado, dos nutrientes requeridos, da tolerância ao butanol, do rendimento e da concentração obtidos e da resistência a antibióticos e bacteriofagia (BHARATHIRAJA et al, 2017).

Na rota ABE, o substrato constituído de carboidratos é hidrolisado a glicose, sendo inicialmente metabolizada a piruvato pela via metabólica de Embden–Meyerhof, gerando ATP (trifosfato de adenosina) e NADH (dinucleótido de nicotinamida e adenina reduzido). O piruvato é, então, convertido a gás carbônico e

acetil-CoA, que é convertido em outros produtos intermediários que se transformam até chegar aos produtos finais principais (butanol, acetona e etanol), conforme mostrado na Figura 10 (NDABA, CHIYANZU & MARX, 2015).

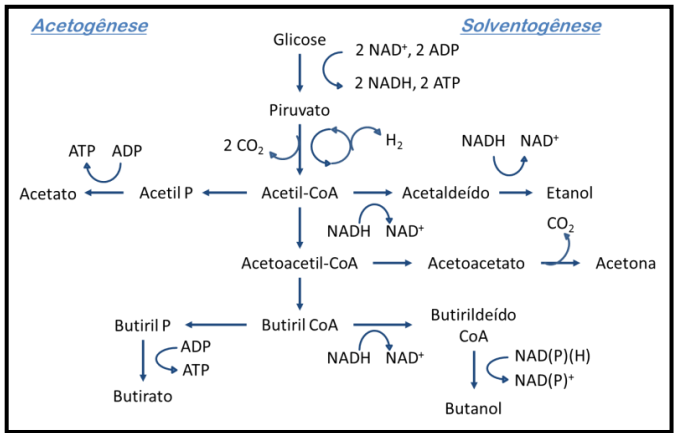

Figura 10 - Via metabólica da fermentação ABE com *Clostridium acetobutylicum*.
Fonte: ALMEIDA (2017) adaptado de JANSSENS (2011).

Atualmente, o biobutanol ainda é produzido principalmente a partir de açúcares mais simples de seis carbonos, que podem ser obtidos tanto diretamente da sacarose quanto indiretamente através da hidrólise ácida ou enzimática do amido. Este tipo de biomassa produz o chamado biobutanol de primeira geração e requer poucos processos de pré-tratamento, uma vez que a glicose é acessível por processos simples. O biobutanol de segunda geração, por sua vez, é derivado de biomassa de resíduos da agricultura, apresentando a vantagem de não competir com a indústria alimentícia. Essa biomassa lignocelulósica, em geral, também gera menores emissões de gases estufa, sendo apontada com grande potencial para produção de biocombustíveis. Por fim, ainda existe o biobutanol de terceira geração, oriundo de algas (NDABA, CHIYANZU & MARX, 2015; ALMEIDA, 2017). O biobutanol de segunda e terceira geração, porém, ainda apresentam quantidades reduzidas de produção quando comparados ao de primeira geração, ainda evoluindo em termos de pesquisas, projetos e escala. A segunda geração ainda está em nível de ajustes, enquanto a de terceira geração ainda em fase bastante prematura (MAHAPATRA & KUMAR, 2017).

Com base em KUMAR (2012) e NATALENSE (2013), porém, a fermentação ABE ainda enfrenta alguns gargalos importantes, relacionados principalmente aos seguintes aspectos:

- Baixa viabilidade econômica pela dificuldade de obtenção de grandes quantidades de matéria-prima a custo competitivo;

- Baixo rendimento, pela toxicidade do butanol ao microrganismo;

- Processos ineficientes de recuperação do produto e de alto custo.

Essas dificuldades impulsionam a corrida tecnológica para o aprimoramento da rota fermentativa e de rotas alternativas na produção de biobutanol.

O principal atrativo da rota fermentativa é a matéria-prima de origem renovável, capaz de desvincular o butanol da volatilidade dos preços do petróleo e de seus efeitos negativos no meio ambiente. Porém, apesar da aparente abundância e disponibilidade da biomassa, muitas vezes há uma competição direta com a produção de alimentos, parâmetro importante em relação à viabilidade do processo. Assim, cada vez mais se tem investigado a possibilidade do uso de outras fontes matérias-primas (de segunda ou terceira geração, como mencionado), de forma a eliminar este gargalo típico da bioindústria como um todo (ALMEIDA, 2017).

É válido ainda ressaltar que existem outras técnicas de produção de biobutanol além da fermentação ABE, como o processo alcoolquímico (baseado na reação de Guerbet, capaz de converter quimicamente o bioetanol em butanol) e via processo termoquímico de pirólise e gaseificação (que visa converter biomassa celulósica em gás de síntese para então convertê-lo em biobutanol com o auxílio de catalisadores) (NATALENSE, 2013; JANSSENS, 2011). Um resumo das rotas possíveis para obtenção de butanol tendo como base matérias-primas renováveis pode ser observado na Figura 11.

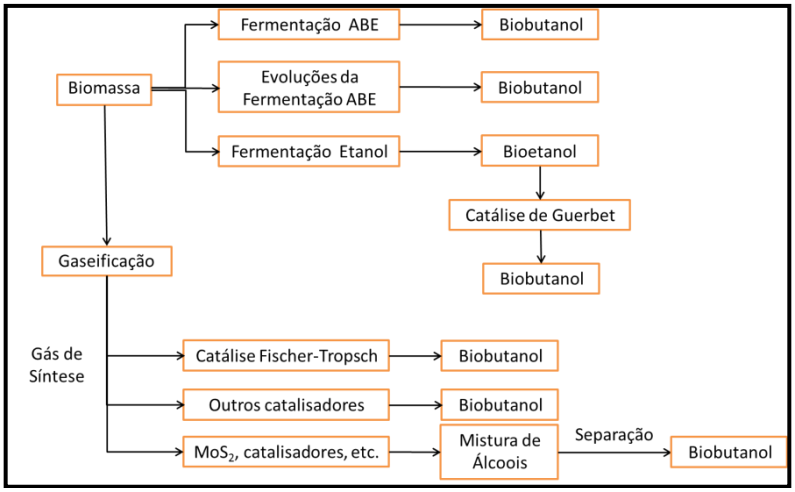

Figura 11 - Processos para obtenção de biobutanol.
Fonte: ALMEIDA (2017) adaptado de NATALENSE (2013).

4.1.3. Mercado, produtos derivados e aplicações

O Biobutanol pode ser tanto aplicado a mercados tradicionais do butanol quanto em novos mercados. A distribuição do uso industrial do butanol tradicional em 2010 pode ser observada na Figura 12.

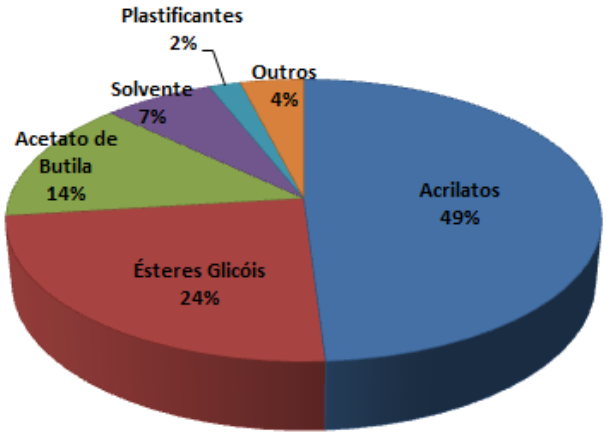

Figura 12 - Mercados tradicionais do butanol no ano de 2010.
Fonte: Elaboração própria com base em HARVEY & MEYLEMANS (2011).

Além das aplicações tradicionais do butanol, o biobutanol pode abrir novas oportunidades de mercado. A Figura 13 exemplifica essas utilizações do biobutanol.

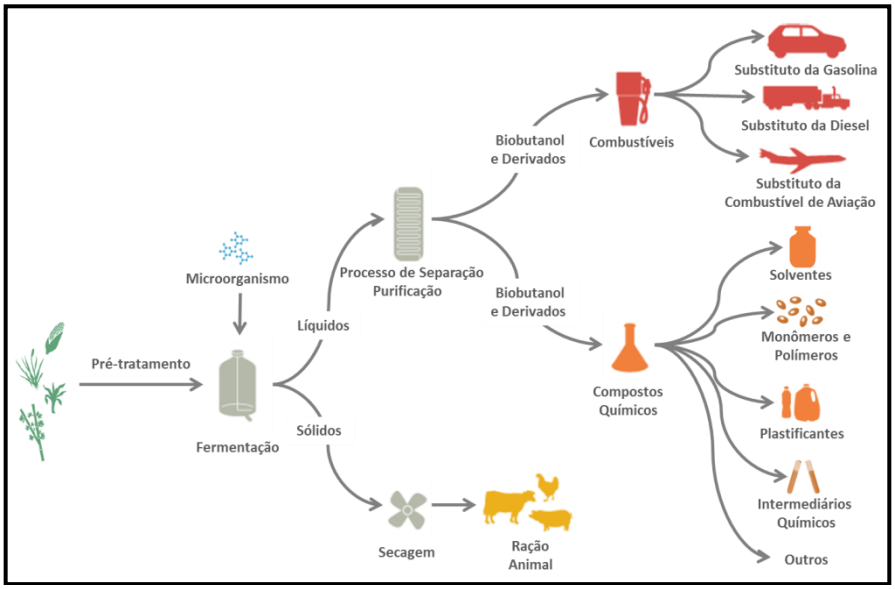

Figura 13 - Principais aplicações do biobutanol e seus derivados.
Fonte: ALMEIDA (2017) adaptado de JANSSENS (2011) e MASCAL (2012).

Os tópicos a seguir diferenciam os mercados tradicionais dos novos atingidos pelo biobutanol.

4.1.3.1. Mercados Tradicionais para o BioButanol

O mercado tradicional do butanol tem diversas aplicações que incluem o seu uso direto como solvente para tintas e vernizes, além da sua conversão industrial a outros derivados como éteres, acrilatos e acetato de butila, utilizados em várias outras aplicações além de solventes. Podem-se destacar a produção de monômeros como o acrilato de n-butila (importante para a produção de polímeros e emulsões utilizados em adesivos, tintas de látex, revestimentos e acabamentos) e a produção de plastificantes (usados em fórmulas de cloreto e acetato de polivinila), além de aplicações no mercado de embalagens alimentícias e nas indústrias farmacêutica e de cosméticos. Outras aplicações envolvem ainda a produção de butilparabeno, agente antifúngico para cosméticos, aminas utilizadas em pesticidas e a produção de outros intermediários químicos (MASCAL, 2012).

4.1.3.2. Novos Mercados para o BioButanol

Um dos principais atrativos do butanol de origem renovável é a sua promissora entrada no mercado de combustíveis, no qual sua aplicação mais direta seria como substituto da gasolina, assumindo concorrência direta com o etanol, seja puro ou na mistura com o combustível fóssil. Resíduos sólidos provenientes do processo fermentativo podem ainda ser utilizados para produção de ração animal, o que inclusive já é proposto por algumas empresas como a Celtic Renewables. Além disso, há pesquisas voltadas para a produção do polietileno de baixa densidade, tendo o biobutanol como matéria-prima para o co-monômero 1-buteno (HARVEY & MEYLEMANS, 2011).

O mercado mais proeminente do biobutanol não é o mercado tradicional do butanol, mas a oportunidade deste surgir como a nova geração de biocombustível, superando o etanol e equilibrando o desenvolvimento econômico com questões ambientais. O biobutanol possui propriedades químicas e físicas que lhe dão

vantagens significativas em relação ao etanol e que o aproxima mais da gasolina. O bioproduto possui um conteúdo energético superior ao etanol, o que pode resultar em uma maior economia. Além disso, é compatível com os motores e sistemas de distribuição existentes para gasolina atuando como *drop-in*, tendo menor poder corrosivo e menor hidrofilicidade, o que protege misturas com a gasolina de problemas de separação de fases vindas de contaminações com água. Por fim, o butanol garante processos de manuseio e estocagem mais seguros (pelo seu ponto de fulgor mais alto e menor pressão de vapor), é completamente miscível à gasolina e ao diesel (não necessitando de co-solventes em misturas de combustíveis), e possui efeito sinérgico na biodegradação de combustíveis em solo e água (GHOLIZADEH, 2009; NATALENSE, 2013). Apesar de não apresentar uma eficiência tão grande quanto a gasolina, tendo um consumo um pouco maior por quilometro rodado, o biobutanol se destaca pela grande redução de emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e NO_x, o que significa um grande impacto ambiental positivo (GHOLIZADEH, 2009).

Especificamente em relação aos isômeros, o iso-butanol pode ser usado como um aditivo de combustível para oxigenação e aumento de octanas, enquanto o n-butanol é usado como solvente e intermediário em tintas, revestimentos, tintas de impressão, adesivos, selantes, tecidos e plásticos. Além disso, o iso-butanol pode ser transformado em para-xileno, o precursor do ácido tereftálico, que é utilizado para a produção de PET (CAVANI ET AL, 2016).

Por fim, existem ainda outras aplicações para o biobutanol na área de combustíveis além do seu uso direto como substituto da gasolina, como sua mistura ao diesel (devido à sua boa miscibilidade), a possibilidade de participar da cadeia produtiva do biodiesel (sendo um substituto do metanol) e o uso para produção de combustíveis de hidrocarbonetos saturados, cujas propriedades o tornam candidato a combustíveis de aviação (HARVEY & MEYLEMANS, 2011).

4.1.4. Evolução Histórica da Produção e Atores Envolvidos

O primeiro processo de obtenção do biobutanol (a fermentação ABE) foi descoberto em 1861, por Louis Pasteur, que reportou a fermentação de glicose a butanol utilizando bactérias gram-positivas da classe Clostridia. A produção

industrial, porém, só se iniciou por volta de 1912, com as pesquisas de Strange e Chaim Weizmann, fortemente impulsionada pela Primeira Guerra Mundial e o consequente aumento da demanda por acetona, muito utilizada na Inglaterra para a produção de explosivos. Com o fim da guerra e a descoberta da aplicação do butanol como solvente na produção de vernizes para a indústria automobilística, a fermentação ABE passou a ter o butanol como objetivo de produto principal (SINGH & MISHRA, 1995; NDABA, CHIYANZU, & MARX, 2015).

A primeira planta comercial de fermentação ABE foi construída em Terra Haute, Indiana (EUA), em 1918, pela Commercial Solvents Corporation. Este empreendimento forneceu butanol para a produção de acetato de butila, principal componente das lacas de tinta. Com a expiração da patente Weizmann para o processo ABE em 1936, as plantas da ABE foram construídas nos Estados Unidos, e em outros países como Grã-Bretanha, Canadá, França, Japão, Índia, China, Austrália, África do Sul, Taiwan, Egito, Brasil e na antiga União Soviética, tornando o processo ABE um processo de fermentação industrial importante e reconhecido (SNYDER, 2016).

Alguns anos depois, com o desenvolvimento da síntese oxo baseada na rota petroquímica (que se tornou extremamente competitiva com os baixos preços do petróleo) e a existência de diversos fatores negativos na rota biológica (como o aumento do preço e fornecimento inconsistente da matéria-prima, alto custo de processamento, baixa produtividade volumétrica e baixo rendimento) fizeram com que a fermentação ABE deixasse de ser economicamente atrativa e entrasse em declínio (NDABA, CHIYANZU & MARX, 2015; ALMEIDA, 2017; MAITI ET AL, 2016).

Assim, o interesse em produzir butanol via rota biológica só voltou a crescer quando os preços do petróleo aumentaram, fazendo novas unidades surgirem, principalmente a partir de 2005, quando foi demonstrada a capacidade da utilização do butanol como biocombustível (ALMEIDA, 2017). Os esforços globais de pesquisa e desenvolvimento para o desenvolvimento de microrganismos superiores produtores de butanol, juntamente com tecnologias de processo avançadas, continuaram por parte das empresas e instituições de pesquisa envolvidas com o bioproduto, principalmente devido ao aumento dos preços do petróleo e às preocupações ambientais, como as emissões de gases de efeito estufa (SNYDER, 2016).

O mercado de produtos químicos para o butanol é de aproximadamente 3 milhões de toneladas por ano, que é usado ainda para a produção de uma ampla gama de polímeros, plásticos, solventes para tintas e estabilizadores químicos. Como mencionado anteriormente, novas aplicações podem surgir para o butanol, sendo este reconhecido por suas características de *drop-in*, podendo ser adicionado à gasolina, diesel, biodiesel e etanol. Além disso, o butanol também pode ser cataliticamente aprimorado para o combustível de aviação (SNYDER, 2016).

O mercado tradicional do butanol é bem amplo, abrangendo principalmente a área de solventes e de intermediários químicos para diversas aplicações, na qual se destaca a produção de acrilatos como a de maior importância econômica, com projeção de alcançar um valor de 3,9 bilhões de dólares em 2020. Atualmente, as empresas que dominam o mercado do butanol ainda são baseadas no processo oxo e fontes fósseis. Neste contexto, a BASF se destaca como a maior produtora mundial de n-butanol, seguida pela Dow (YUAN & HUI-FENG, 2012). A Figura 14 mostra a divisão aproximada do mercado de butanol pelos principais produtores.

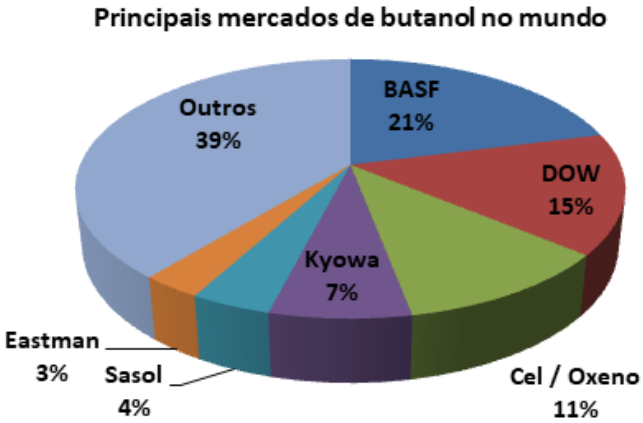

Figura 14 - Status do mercado do butanol.
Fonte: ALMEIDA (2017) adaptado de BHARATHIRAJA et al (2017).

O mercado de biocombustíveis tem sido apontado como uma grande oportunidade para o biobutanol, fugindo da competição direta dos gigantes de mercado como a BASF e a Dow. Nesse contexto, existe uma grande expectativa do mercado atual de biocombustíveis se expandir nos próximos anos. Apesar do etanol seguir como o maior segmento deste ramo, a entrada do biobutanol poderá ter números significativos no setor (ALMEIDA, 2017; LAWRENCE & ADAMSON, 2013).

Mundialmente, a China possui papel importante na recomercialização do biobutanol via fermentação ABE. Em 2010, a empresa chinesa Cathay Industrial Biotech foi identificada como a maior produtora mundial de biobutanol, produzindo 21 milhões de galões por ano a partir do amido de milho, mas, devido ao crescente aumento de preço desta matéria-prima, a Cathay interrompeu sua produção (ALMEIDA, 2017).

Outras empresas, porém, têm se voltado para este mercado, das quais podem-se destacar a Butamax (*joint-venture* da British Petroleum com a DuPont), a Gevo e a Green Biologics, que estão entre as principais do ramo, considerando o andamento dos projetos e publicações sobre inovações no âmbito da biotecnologia e sobre *start-ups* com foco em biocombustíveis, buscando o desenvolvimento do biobutanol (ALMEIDA, 2017; COUTINHO & BOMTEMPO, 2011; BIOFUELS DIGEST, 2018).

Um grande incentivo à produção de biocombustíveis surge também de fontes regulatórias, que determinam percentuais mínimos de combustíveis renováveis a serem gradativamente adotados. Estados Unidos e Brasil se destacam nesses tipos de políticas. O atrativo da matéria-prima e a força do mercado local de biocombustíveis contribuíram para o investimento de algumas empresas no Brasil. Entre elas, se destacaram a SGBio (*joint venture* da Rhodia com a GranBio, que comprou em 2014 os ativos da Cobalt Technologies, com centro empresarial em São Paulo) e a Butamax (que possui um laboratório em Paulínia no qual estuda o uso da cana-de-açúcar para produção de butanol) (ALMEIDA, 2017). Estes projetos, porém, não avançaram muito, não tendo mais investimentos ou resultados significativos ao longo dos anos.

4.1.5. Atuação Histórica dos Projetos

Considerando Butamax, Gevo e Green Biologics os principais projetos relacionados ao biobutanol, neste tópico cada um destes será analisado individualmente, em uma perspectiva histórica de forma a identificar os principais focos de pesquisa, desenvolvimento e produção, e entender os principais mercados abordados.

4.1.5.1. Butamax

A Butamax é uma empresa de biocombustíveis que fornece a tecnologia para produzir bio-isobutanol. A empresa acredita que o desenvolvimento de tecnologia da empresa e sua estratégia de comercialização garantem um posicionamento competitivo no setor de combustíveis automotivos e em outros setores. A tecnologia da Butamax é projetada para converter os açúcares de várias matérias-primas de biomassa, como milho e cana-de-açúcar, em bio-isobutanol, usando instalações existentes de produção de biocombustível. A empresa vem desenvolvendo um pacote de licenciamento que fornecerá às atuais operações de etanol novas tecnologias que permitam a produção de bio-isobutanol. Juntamente com a Highwater Ethanol (empresa de bioenergia), desenvolveram o projeto de retrofit de uma planta de etanol para bio-isobutanol. Além disso, vem desenvolvendo clientes de refino para o bio-isobutanol e buscando mercado para o seu produto (BUTAMAX, 2018).

Além das parcerias do setor, a Butamax aproveita as capacidades de seus acionistas BP e DuPont, duas empresas de classe mundial. A empresa é uma *joint-venture* entre essas duas gigantes, com foco em biocombustível. Em 2017, a Dupont se juntou com a Dow, formando a DowDuPont, mas ambas ainda seguem alguns projetos separadamente, como é o caso do biobutanol, que é um projeto da parceria BP-Dupont (Butamax).

O Quadro 2 mostra a evolução histórica dos principais movimentos da Butamax.

Quadro 2 - Histórico da Butamax.

Ano	Principais movimentos
2004	• DuPont e BP selecionam o biobutanol como produto alvo para sua colaboração em biocombustíveis.
2006	• BP e DuPont se unem para ajudar a introduzir um processo de produção de biobutanol.
2007	• Cientistas da BP informam sobre sucesso de compatibilidade em testes de combustível em veículos com a gasolina misturada com butanol
2008	• DuPont e da BP anunciam implementação da tecnologia de bio-isobutanol a custo competitivo. É tomada a decisão de comercializar a tecnologia.

Ano	Principais movimentos
2009	• BP e DuPont se unem e criam a Butamax® Advanced Biofuels, joint-venture com a missão de comercializar o bioisobutanol como combustível de transporte.
2010	• Butamax constrói planta de demonstração para testar processos e componentes da tecnologia no Reino Unido. • No Brasil, a Butamax estabelece um laboratório de fermentação para apoio a uma futura fabricação de bioisobutanol a partir da cana-de-açúcar.
2011	• Butamax anuncia formação do Early Adopters Group (EAG), esforço colaborativo entre as principais instalações de produção de biocombustível para introduzir o bioisobutanol no mercado. • A Highwater Ethanol é nomeada o membro fundador do EAG, que consiste de sete empresas representando 10 instalações e cerca de 750 milhões de litros por ano em volume de produção.
2012	• Além do Centro de Demonstração no Reino Unido, a Butamax conta com mais de 150 pessoas dedicadas pelo mundo, instalações de biotecnologia e combustíveis nos EUA, no Reino Unido, na Alemanha e na Índia. Também há equipes de negócios nos EUA, na Europa e no Japão.
2013	• Pesquisa conjunta entre a Butamax e a UL (Underwriters Laboratories) confirma que misturas de até 16% de bioisobutanol podem ser usadas em equipamentos de armazenamento e distribuição de combustível. • Em parceria com os membros do Early Adopters Group, a Butamax lança a produção comercial de bioisobutanol nos Estados Unidos. A Butamax começa a fase 1 de um retrofit da fábrica da Highwater Ethanol em Lamberton, Minnesota, para a produção de bioisobutanol. Após a operação bem-sucedida da primeira instalação, a Butamax começará a modernizar várias instalações simultaneamente para atender a demanda de produção.
2015	• Butamax e Gevo firmam contratos globais de licença cruzada e acordos para acelerar o desenvolvimento de mercados para o isobutanol de base biológica.
2017	• Butamax anuncia o próximo passo na comercialização de bio-isobutanol, com a aquisição de instalação de etanol no Kansas.

Fonte: Elaboração própria com base em BUTAMAX (2018).

4.1.5.2. Gevo

A Gevo foi fundada em 2005, com base em tecnologia inicialmente desenvolvida pelo California Institute of Technology. Seus produtos são utilizados para produzir combustível para jatos, gasolina, poliéster, produtos de borracha, bem como especialidades químicas, produtos químicos finos e ingredientes para aromas e fragrâncias (GEVO, 2018).

A empresa possui duas tecnologias que se combinam para possibilitar a transformação de usinas de etanol existentes para produzir isobutanol. A Gevo

desenvolveu um biocatalisador de levedura em escala industrial para produzir isobutanol sem subprodutos típicos, operando em parâmetros equivalentes aos produtores comerciais de etanol. A segunda tecnologia é uma unidade de separação que opera continuamente e remove o isobutanol durante a fermentação. Isso ajuda a reduzir os requisitos de destilação, minimizando assim o consumo de energia do processo (GEVO, 2018).

A Gevo tem uma colaboração exclusiva com a ICM, a principal empresa de serviços de engenharia na indústria do etanol, para a reforma de usinas de etanol na América do Norte. A Gevo também possui uma aliança exclusiva de tecnologia com a empresa do agronegócio Cargill para desenvolver um biocatalisador para o isobutanol celulósico (GEVO, 2018).

A empresa produz etanol e isobutanol. Este último pode ser desidratado para isobutileno, um hidrocarboneto C4. O isobutanol tem 30% mais conteúdo energético que o etanol e pode ser misturado à gasolina sem modificar os motores dos automóveis. O isobutanol pode ser considerado um biocombustível avançado a partir do milho se atingir 50% de redução de GEE. O isobutanol também tem um mercado como solvente químico. A oportunidade para o isobutileno abrange mercados C4 em combustível para jatos, paraxileno, PET e outras aplicações em combustíveis, borracha sintética, produtos químicos e plásticos (GEVO, 2018).

A empresa possui uma planta em Luvern, EUA, com capacidade anual de aproximadamente 55 mil toneladas de isobutanol e 66 mil toneladas de etanol, e possui planos de instalação de uma segunda planta (de produção de isobutanol) nos EUA, com capacidade projetada de 117 mil toneladas por ano, através de uma *joint-venture* com a Redfield, que cederia uma planta de etanol para o *retrofit* (GEVO, 2018).

O Quadro 3 mostra a evolução histórica dos principais movimentos da Gevo. Apesar da fundação da empresa ter se dado em 2005, só foram encontradas notícias relevantes ao tema a partir de 2012.

Quadro 3 - Histórico da Gevo.

Ano	Principais movimentos
2012	• Com seu parceiro de engenharia exclusivo, a ICM, a Gevo completou sua primeira reforma comercial de uma fábrica de etanol de milho em Luverne, MN, e começou a produzir isobutanol no início de 2012.

Ano	Principais movimentos
2013	• Gevo é forçada a voltar do isobutanol para a produção de etanol, por baixos rendimentos devido a contaminação bacteriana em seus fermentadores, pausando temporariamente a produção de isobutanol.
2014	• Gevo atinge sua meta de produção de isobutanol em sua fábrica em Luverne, Minnesota. • O Comando Naval de Sistemas Aéreos da Marinha dos EUA anuncia seu primeiro voo supersônico, abastecido pelo isobutanol renovável da Gevo. • Gevo confirma vendas de isobutanol renovável para a Brenntag Canada Inc para distribuição nos mercados de solventes, petróleo e gás, mineração e especialidades químicas. • Gevo anuncia que a Highlands EnviroFuels assinou uma carta de intenção para se tornar uma licenciada da Gevo para produzir isobutanol renovável. • Gevo estabelece cooperação com a Coca-Cola para criar o bioPX a partir do isobutanol em um esforço para acelerar o desenvolvimento da segunda geração de embalagens PlantBottle™ da Coca-Cola feitas com 100% de materiais à base de plantas. • Gevo assina acordo com a Argentina Porta Hnos, que será licenciador exclusivo da tecnologia patenteada pela Gevo na Argentina. • Fruto de sua parceria com a Coca-Cola e a Toray, e tendo a South Hampton Resources como operadora sob contrato, a empresa possui duas plantas de demonstração no Texas, que utilizam seu isobutanol como insumo para produção de para-xileno. A primeira tem capacidade de produção de 364 toneladas por ano e a segunda produz cerca de 87 toneladas por ano de uma mistura de octanos.
2015	• Gevo anuncia sua entrada em contratos de licenças cruzadas e acordos com a Butamax, encerrando uma disputa de patente relacionada a tecnologias para a produção de isobutanol de base biológica. O acordo encerra todas as ações judiciais e cria um novo relacionamento entre as empresas, com o objetivo de alavancar as forças umas das outras e acelerar o desenvolvimento do fornecimento competitivo de isobutanol de base biológica. A Butamax assume o papel principal no desenvolvimento do mercado de isobutanol como uma mistura de gasolina para o mercado rodoviário, enquanto a Gevo lidera o desenvolvimento do mercado de combustíveis para aviação. • Gevo anuncia cartas de intenções para fornecimento de isobutanol à Total, para a gasolina; à United Airlines, para biojet; à Lanxess, para borracha butílica; e às indústrias Toray para o p-xileno.
2016	• Volume de produção de isobutanol foi de aproximadamente 440.000 galões, abaixo da estimativa anteriormente anunciada de aproximadamente 500.000 galões. A empresa declarou que superou as metas de custo de produção, demonstrando custos variáveis de produção de menos de US $ 3,00 a 3,5 por galão. • Gevo entra em um acordo com a Lufthansa para fornecer o combustível da Gevo a partir de sua primeira instalação de hidrocarboneto comercial, em Luverne, MN. Os termos do acordo prevêem que a Lufthansa compre até 8 milhões de galões por ano de ATJ da Gevo, ou até 40 milhões de galões ao longo dos 5 anos de vida do acordo de compra. • Gevo anuncia conclusão da produção do primeiro combustível de jato celulósico renovável do mundo especificado para voos comerciais. O ATJ celulósico foi produzido em conjunto com a Northwest Advanced Renewables Alliance (“NARA”). A Gevo produziu o isobutanol renovável celulósico em St. Joseph, Missouri. O isobutanol renovável celulósico foi então transportado para a instalação de biorrefinaria da Gevo em Silsbee, Texas, onde o isobutanol renovável celulósico foi convertido em ATJ.

Ano	Principais movimentos
2017	• Gevo é selecionada para colaborar com pesquisadores do Departamento de Energia dos EUA (DOE) como parte do programa para pequenos negócios do DOE. Especificamente, o Laboratório Nacional de Argonne e o Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) receberam financiamento para trabalhar com a Gevo no desenvolvimento de um modelo preditivo de mistura de octano para isobutanol e misturas de mistura de gasolina para mistura oxigenada (BOBs).
2018	• Gevo assina contrato de fornecimento de bio *jet fuel* com Avfuel • Virgin Australia completa 195 voos com bio *jet fuel* da Gevo

Fonte: Elaboração própria com base em GEVO (2018).

4.1.5.3. Green Biologics

A Green Biologics Ltd (GBL) foi fundada em Oxford, Inglaterra, em 2003, para desenvolver e comercializar tecnologia microbiana avançada para a produção de produtos químicos renováveis e biocombustíveis. A empresa fabrica especialidades químicas renováveis e produtos usados pelos fabricantes nos setores de bens de consumo e para produtos de alto desempenho a partir de fontes renováveis. A tecnologia 100% renovável de n-butanol e acetona é usada em uma variedade de aplicações e mercados baseados no desempenho, incluindo revestimentos especiais, cuidados pessoais, alimentos, produtos farmacêuticos, combustíveis para consumidores e plásticos (GREEN BIOLOGICS, 2018).

O n-butanol renovável da Green Biologics é um álcool n-butílico de alta pureza e 100% biológico produzido a partir da fermentação de açúcares pelos biocatalisadores microbianos Clostridium. A molécula é idêntica ao n-butanol petroquímico, permitindo o uso direto para aplicações e formulações existentes. Em resumo, a empresa argumenta que este produto teria preços menos voláteis em comparação aos produtos petroquímicos, apresenta maior pureza com melhores eficiências e substituição imediata que não requer custos de mudança (*drop-in*) (GREEN BIOLOGICS, 2018).

A empresa está procurando parceiros nos EUA, Europa, América do Sul e Ásia para explorar possibilidades de expansões. Segundo Beacham (2016), a empresa tem priorizado acordos de *joint-venture*, mais naturalmente com fornecedores de matérias-primas do que com clientes *downstream*. Os principais mercados da empresa incluem tintas e revestimentos, adesivos, cuidados pessoais,

cosméticos e fragrâncias. A GBL está atualmente buscando clientes para suas instalações comerciais (FLETCHER, 2016).

Embora o n-butanol e a acetona sejam exemplos típicos de produtos químicos básicos, vendidos em volume e preço (*commodities*), a GBL está tentando vender suas versões dos produtos como especialidades, visando mercados especializados e aplicações nas quais o desempenho e valor de sustentabilidade diferenciam seus produtos (como tintas, cosméticos, entre outras). Assim, a empresa diz não competir com BASF ou Dow, por exemplo, considerando que estes se concentram no volume, preço e cadeias de suprimentos e a GBL em um setor diferente, no qual o desempenho e o valor *downstream* são mais importantes (RAVENSCROFT, 2016).

O Quadro 4 apresenta os principais movimentos da GBL.

Quadro 4 - Histórico da GBL.

Ano	Evento
2012	• A GBL produz n-butanol renovável através de uma colaboração na China desde 2012, com espigas de milho e palha de milho como matéria-prima.
2014	• Planta de demonstração em funcionamento desde agosto. • O total de recursos arrecadados em 2013-2014 foi de US $ 100 milhões, e a maior parte desse montante foi gasto com a compra do ativo Central Minnesota Renewables (Little Falls). Uma quantidade significativa foi investida no desenvolvimento de tecnologia na planta de demonstração. • A GBL adquire usina de etanol da Central MN Ethanol Co-op LLC, em Little Falls, Minnesota renomeando-a para Central MN Renewables LLC. Embora esta seja a primeira fábrica comercial da empresa nos EUA, a GBL tem uma planta de demonstração em Emmetsburg, Iowa, e uma planta piloto em Gahanna, Ohio, perto de Columbus.
2015	• A empresa estabeleceu planos para reformar a instalação de etanol de 21 milhões de litros em Little Falls, Minnesota, para a produção de n-butanol e acetona de alta pureza.
2016	• A fábrica de Little Falls, que estava produzindo etanol a partir do milho até março de 2016, passa agora a buscar fazer butanol a partir do milho. • Acordo com a distribuidora norte-americana Nexeo Solutions para fornecer n-butanol e acetona a clientes dos revestimentos, adesivos, selantes e elastômeros, produtos de limpeza domésticos, industriais e institucionais, intermediários de cuidados pessoais e produtos químicos de energia. • Início do processo de identificação de uma segunda fábrica nos EUA.
2017	• Início da produção em Little Falls, MN.
2018	• Acordo com a Kreussler Chemicals para futura produção de bio-solventes. • A GBL anuncia lançamento do primeiro bio-removedor de acetona.

Fonte: Elaboração própria com base em GREEN BIOLOGICS (2018).

4.1.5.4. Resumo das Características das Empresas de Biobutanol

Considerando o histórico de cada um destes projetos, a Quadro 5 resume a atuação das empresas, de acordo com sua origem, estágio atual e foco de produção.

Quadro 5 - Resumo das características das empresas de biobutanol.

	Butamax	Gevo	Green Biologics
Origem	Joint-venture entre DuPont e BP	Startup desenvolvida pelo California Institute of Technology	Startup fundada em Oxford, Inglaterra
Fase de Desenvolvimento	Início de produção em 2013. Atualmente, em escala comercial.	Início de produção em 2016. Atualmente, em escala comercial.	Início de produção em 2017. Atualmente, em escala comercial.
Foco	Combustíveis para veículos	Combustíveis de Aviação	Derivados químicos (tintas, alimentos, limpeza, lubrificantes, adesivos, elastômeros, revestimentos, selantes, cuidados pessoais)
Parcerias principais	Early Adopters Group (EAG), Underwriters Laboratories	ICM, Cargill, Coca-Cola, Lufthansa, Toray, Total, United Airlines, Lanxess	Nexeo Solutions

4.2. Ácido Succínico

4.2.1. Definição e Caracterização

No século XIX, cientistas descobriram uma substância ácida presente em um fóssil de resina de árvores: o âmbar. Imaginava-se que a resina possuía entre 3% a 8% de ácido, e este teria sido produzido durante a fermentação da celulose por microrganismos. Por causa disso, o ácido recebeu o nome de ácido succínico, derivado da palavra "*succinum*" do Latim, que significa âmbar. Embora os cientistas já soubessem da presença do ácido succínico nos tecidos animais e vegetais, o seu processo de obtenção era realizado através da destilação do âmbar. Na época, era utilizado externamente para tratar dores e reumatismo (PUBLISBQ, 2018).

O ácido succínico (AS), ou ácido butanodióico, é um composto de fórmula $C_4H_6O_4$ (Massa Molar de 118,09 g/mol), que consiste de uma substância sólida em condições ambientes (Ponto de Fusão em torno de 187°C), formando cristais

incolores e inodoros. Trata-se de um ácido orgânico dicarboxílico, com uma cadeia de quatro carbonos, que participa do metabolismo energético em todas as células animais e vegetais como um intermediário do ciclo do ácido cítrico (ciclo de Krebs). É ainda utilizado em uma série de aplicações da indústria, possuindo uma estrutura semelhante ao ácido fumárico e ao ácido maleico, com a diferença de o ácido succínico ter uma cadeia carbônica saturada (BQV, 2018).

O ácido succínico é um precursor versátil na produção de outros diferentes ácidos carboxílicos e ésteres, assim como de inúmeros produtos. Entre as suas principais aplicações, destacam-se a preparação de solventes, vernizes, perfumes, fabricação de tintas e corantes, plastificantes e poliésteres. Na indústria alimentícia, o ácido é utilizado na produção de bebidas como refrigerantes e cervejas, além de servir como aromatizante, neutralizante e suplemento nutricional. Já na indústria de medicamentos, é empregado na preparação de agentes que combatem a úlcera e de protetores contra a radiação. Alguns estudos confirmam ainda que o ácido succínico também ajuda o sistema imune e neural, e especula-se que possa contribuir para aumento de concentração, consciência e reflexos (PUBLISBQ, 2018).

A Figura 15 mostra algumas das aplicações que podem ser originadas a partir do ácido succínico e seus derivados.

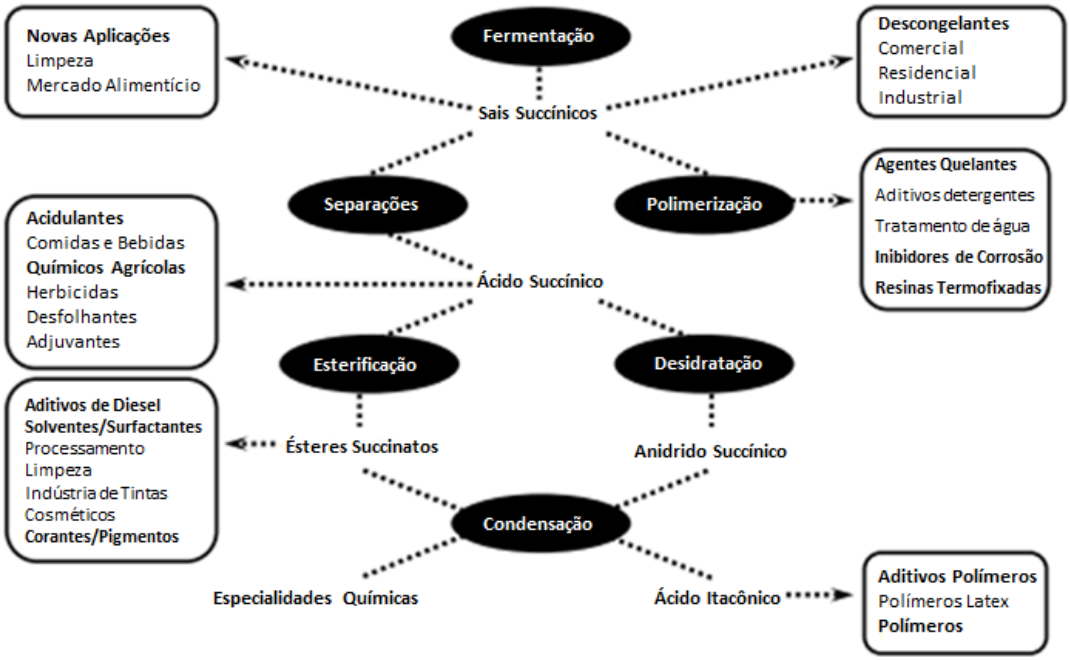

Figura 15 - Produtos derivados do ácido succínico.
Fonte: Elaboração própria, baseado em ANDERSSON (2007).

O ácido succínico vem emergindo como um dos químicos de base renovável mais competitivos, tendo sido incluído na lista dos 12 químicos de base renovável mais promissores do mundo pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, em 2004, e na lista revisitada em 2010 por Bozell e Petersen (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2004; BOZELL & PETERSEN, 2010). Seu mercado mostra grande potencial de crescimento e a produção global aumenta cerca de 10% ao ano (PUBLISBQ, 2018). Ou seja, trata-se de um produto que apresenta um interesse crescente e produção considerável, com as mais diversas aplicações potenciais no mercado. Recentemente, porém, os principais projetos sofreram alguns reveses. Ou seja, apesar de toda essa potencialidade, o produto ainda não conseguiu progredir na maneira esperada.

4.2.2. Rotas de Produção

A rota química de produção do ácido succínico se dá por um processo que envolve a hidrólise de derivados do petróleo. Rotas de produção industrial comuns incluem hidrogenação parcial do ácido maleico, oxidação do 1,4-butanediol e carbonilação do etilenoglicol. Mas o succinato também pode ser produzido a partir do petróleo, utilizando o butano via anidrido maleico, como mostrado na Figura 16.

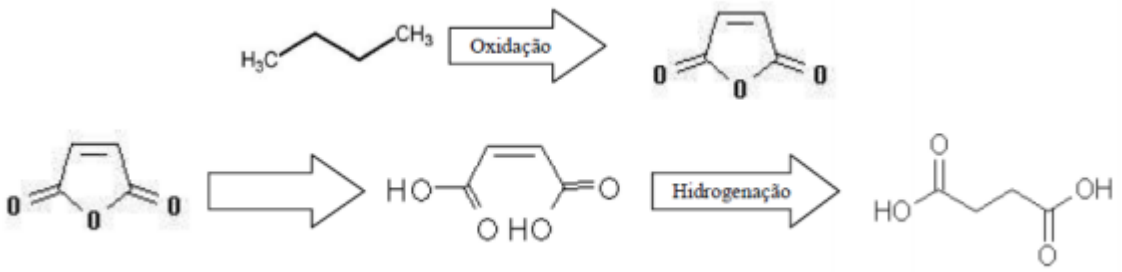

Figura 16 - Produção do ácido succínico pela rota química.
Fonte: BORGES (2011).

Este processo é majoritariamente feito através da oxidação do butano até o anidrido maleico, com a emissão de CO_2, seguida de uma hidrólise a ácido maleico e, por fim, uma hidrogenação para se obter o ácido succínico (ZEIKUS et al, 1999; BORGES, 2011). Industrialmente, começaria com extração do petróleo, seguida pelo craqueamento, oxidação do butano e, então, a conversão química mostrada, até chegar ao ácido succínico.

O processo produtivo do ácido succínico, considerando principalmente a conversão do anidrido maleico, apresenta um custo bastante elevado (OLIVEIRA, 2014). Este fato não permitiu o grande desenvolvimento desta rota. Dessa forma, a rota renovável se mostra atrativa à medida que é mais eficiente e permite o desenvolvimento de uma árvore de aplicações que não é viável pela rota petroquímica. Busca-se, então, no caso do ácido succínico, essa mudança da produção petroquímica pela renovável, visando, além de reduzir a quantidade de poluentes ligados à produção não-renovável, otimizar seu processo e diminuir seu custo, viabilizando aplicações potenciais que a molécula possui por suas características.

Dessa forma, a produção do mesmo por microrganismos anaeróbios ou anaeróbios facultativos se torna uma alternativa ao impacto econômico e ambiental da síntese química. A engenharia genética de microrganismos, como *Escherichia coli* ou *Saccharomyces cerevisiae*, permitiu recentemente a produção comercial do produto a partir da fermentação da glicose. Hoje, sabe-se que bactérias anaeróbicas como *Anaerobiospirillum succiniciproducens* e *Actinobacillus succinogenes*, por exemplo, tem como principal produto de sua fermentação o ácido succínico (PUBLISBQ, 2018).

Há uma série de vantagens ligadas à obtenção biotecnológica do ácido succínico, destacando-se a possibilidade de planejamento de produções alternativas, sequenciais ou conjuntas com outros produtos de interesse no mercado como o ácido cítrico, o ácido láctico, o ácido acético, o propiônico e/ou etanol, cujas produções se dão com o emprego de matéria-prima renovável, particularmente os resíduos agrícolas e agroindustriais. Além disso, o emprego de matéria-prima renovável, substituindo as matérias-primas tradicionais (derivadas de fontes fósseis), pode ser uma grande vantagem em termos de sustentabilidade, o que deve ser confirmado por análises do ciclo de vida e outras métricas. O desafio, no caso, gira em torno da redução do custo global da matéria-prima e do processo de fermentação de forma a competir com os produtos petroquímicos (OLIVEIRA, 2014).

Em um estudo de ACV (Análise de Ciclo de Vida) sobre o processo da Myriant (um dos principais atores no desenvolvimento do bio-ácido succínico), obteve-se que o uso de glicose como matéria-prima teve resultados muito melhores em relação aos potenciais de aquecimento global e à demanda de energia

cumulativa fóssil não-renovável do que a fabricação de ácido succínico pela via petroquímica, utilizando anidrido maleico como matéria-prima (NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN, 2017). Além disso, estudos de sustentabilidade foram feitos em relação a processos da Myriant e Reverdia (dois atores importantes no ramo), indicando melhores índices de eficiência de materiais para o ácido succínico baseado em cereais em comparação com os calculados para o ácido succínico à base petroquímica. O custo de produção calculado em todos os casos de ácido succínico fabricado por processo biológico foi significativamente menor do que o custo calculado para o ácido succínico à base petroquímica. Mesmo no pior dos casos, o custo de produção do bio-ácido succínico era apenas 41% do custo de produção de ácido succínico à base petroquímica (US$ 1,17/kg *versus* US$ 2,86/kg). Os resultados dos estudos acima mencionados indicaram as vantagens do bio-ácido succínico em relação ao obtido pela rota petroquímica (NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN, 2017).

Os custos de produção do bio-ácido succínico, em comparação com o ácido succínico derivado do petróleo, tornaram-se iguais a partir de 2013. Atualmente, o ácido succínico petroquímico vem sendo usado principalmente em nichos de mercado, devido aos custos de produção elevados. A BioAmber (um dos principais produtores do bio-ácido succníco) acredita que pode produzir competitivamente a substância de base biológica a um preço de petróleo bruto acima de US$35/barril e preços de milho de US$6,50/alqueire. Espera-se, portanto, que uma produção de ácido succínico de base biológica, sendo menos dispendiosa, leve a uma competitividade mais forte e a uma maior demanda do mercado (E4TECH, RE-CORD & WUR, 2015).

Ainda em relação aos estudos de sustentabilidade, a Succinity (outro ator importante do cenário mundial do produto, formada pela BASF) relatou 75% de redução de gases de efeito estufa (GEE) em comparação com o ácido succínico petroquímico, enquanto a BioAmber relatou mais de 100% de economia. Em um estudo de pegada de carbono, pesquisadores mostraram que uma rota a partir de levedura de baixo pH para o bio-ácido succínico tem o menor impacto ambiental em termos de uso de energia e emissões de carbono - esta é a rota que a Reverdia, outro importante *player*, está usando. Os dois maiores fatores que afetam a economia de GEE são a produção de matéria-prima e a intensidade de carbono da

rede elétrica na qual a usina está localizada. As propriedades físicas do bio-ácido succínico (densidade, viscosidade, volume molar e tensão superficial) são idênticas às do ácido succínico petroquímico e o produto químico é, portanto, considerado um *drop-in* sem investimento adicional necessário em novos equipamentos (o que mudaria caso a demanda aumente, já que seria necessário produzir muito mais AS do que se faz atualmente). As principais proposições de valor oferecidas pelo ácido succínico de base biológica são, portanto, a competitividade de preços, menor impacto ambiental e facilidade de produção para as aplicações tradicionais (E4TECH, RE-CORD & WUR, 2015).

A Figura 17 mostra um diagrama da produção do ácido succínico, pelas diferentes rotas, do petróleo ou da biomassa, explorando os mercados atingidos, desde intermediários químicos até produtos finais.

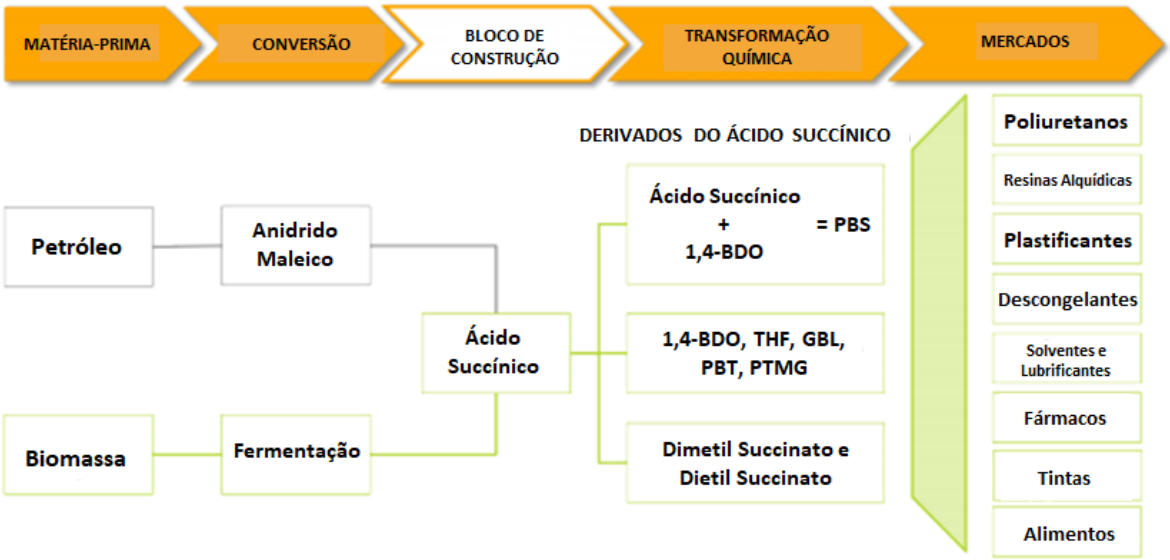

Figura 17 - Visão geral simplificada das rotas de produção do ácido Succínico.
Fonte: Elaboração Própria com base em WEASTRA (2013).

4.2.3. Mercados, produtos derivados e aplicações

Aplicações tradicionais do ácido succínico incluem coberturas e pigmentos, aplicações na indústria metalúrgica, fármacos (como aditivos na formulação e produção de medicamentos), indústria alimentícia (como agente adoçante ou flavorizante), indústria fotográfica e na agricultura. Porém, o bio-ácido succínico é o precursor de vários biopolímeros derivados da biomassa. Além disso, com um menor

custo de produção quando em comparação com o petroquímico, outras aplicações passam a ser viáveis para o material. Dessa forma, existem diversas novas possibilidades de aplicações para o produto de origem biológica. Enquanto espera-se que as aplicações tradicionais continuem a ter um crescimento moderado, no longo prazo, a maioria da produção adicional de ácido succínico deve ser direcionada aos “novos” mercados, como o BDO, o PBS e poliuretanos (NEXANT, 2012).

Considerando as principais aplicações, a Tabela 1 apresenta o volume projetado de vendas de cada um deles para o ano de 2020.

Tabela 1 - Volume projetado de vendas dos derivados de ácido succínico para 2020.

Aplicações do Ácido Succínico	Volume de Mercado (x1000 toneladas)	Market Share (%)
BDO	316	52,7
PBS	82	13,7
Polióis de Poliéster	51	8,5
Plastificantes	37	6,2
Alimentos	26	4,3
Fármacos	21	3,5
Resinas Alquídicas	21	3,5
Resinas, revestimentos	12	2,0
Cosméticos	12	2,0
Solventes & Lubrificantes	6	1,0
Descongelantes	3	0,5
Outros	13	2,2

Fonte: NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN (2017).

Os sub-tópicos a seguir, então, analisam cada um dos principais derivados do ácido succínico e sua importância mercadológica, diferenciando os novos mercados dos já existentes, considerando a possibilidade de atingir o mercado de fato, com os baixos custos da produção de base renovável.

4.2.3.1. Novos mercados para o Bio-Ácido Succínico

Entre os novos mercados a serem atingidos pelo bio-ácido succínico, destacam-se aqueles em que o mesmo pode ser capaz de substituir o Anidrido

Maleico, o Ácido Adípico e o Anidrido Ftálico, a partir dos quais serão criados importantes produtos para o mercado, que serão analisados nos tópicos a seguir.

4.2.3.1.1. Substituição do Anidrido Maleico

O ácido succínico é produzido em processos químicos existentes que usam o anidrido maleico (MAN) como insumo. Devido ao fato de o ácido succínico ter uma estrutura química semelhante ao anidrido maleico, ele poderia servir como um substituto para o mesmo, mas necessitando de adaptações significativas no processo, como será explicado a seguir (WEASTRA, 2013; NEXANT, 2012).

Neste sentido, um mercado importante para o ácido succínico de base biológica, utilizado como substituto direto do MAN, é a produção de BDO e seus derivados, como a gama-butirolactona (GBL), o tetrahidrofurano (THF) e o polibutileno tereftalato (PBT) (WEASTRA, 2013).

- *BDO (1,4-Butanediol)*

Por esterificação e hidrogenólise, o ácido succínico pode ser utilizado substituindo o anidrido maleico na produção de BDO, como feito pela Davy Process Technology, BASF e Mitsubishi Chemical Corporation, por exemplo (NEXANT, 2012).

O BDO é um intermediário químico usado em resinas, fibras, revestimentos e outros produtos químicos. Estima-se que cerca de metade da produção de BDO global é utilizada como intermediário na produção de THF, que é um intermediário na produção de fibras elastoméricas, além de solvente em produtos farmacêuticos. O segundo maior mercado para BDO é a produção de gama-butirolactona (GBL), que representa 25% do consumo total. O GBL é utilizado em produtos de limpeza industrial e na produção de metilpirrolidona (NMP) e 2-pirrolidona. O plástico PBT representa 20% do consumo total de BDO e é usado em componentes elétricos e automotivos (WEASTRA, 2013).

O mercado de BDO é o mais relevante e interessante para o bio-ácido succínico, com o derivado podendo ser produzido através de vários processos: o processo Reppe, o processo Davy, o processo de óxido de propileno e o processo

Mitsubishi. BDO é usado principalmente na fabricação de plásticos de engenharia e na aplicação de poliuretano na indústria de couro. Em certas aplicações, também pode ser usado na fabricação de adesivos. Os maiores produtores desta substância (no caso, pelo método de produção tradicional) são BASF, Invista, ISP, Dairen Chemical, LyondellBasell e China National BlueStar (WEASTRA, 2013).

Os investimentos necessários para que plantas de BDO possam consumir o ácido succínico em vez de anidrido maleico podem ser consideráveis e talvez seja inclusive mais barata a construção de uma nova planta de BDO. Assim, o uso do bio-ácido succínico (imaginando que seja mais viável que o petroquímico, pelos altos preços do petróleo) poderia depreciar as plantas de BDO existentes (NEXANT, 2012).

Além dos custos de adaptação das plantas para a utilização do bio-ácido succínico em vez do anidrido maleico, duas outras possíveis dificuldades para o mesmo neste caso seriam a possibilidade de desenvolvimento de um processo de obtenção direta de BDO que não necessitasse do ácido como intermediário (como pesquisado por algumas empresas, como BASF e Genomatica) e a necessidade de altíssima pureza para certas aplicações (NEXANT, 2012; E4TECH, RE-CORD & WUR, 2015).

A Genomatica, uma empresa de bioengenharia de tecnologias de processo de base biológica sediada na Califórnia, desenvolveu um processo que usa um microrganismo especialmente projetado para a produção de BDO diretamente via fermentação de açúcares. Várias empresas têm utilizado esta tecnologia para produção de BDO diretamente da dextrose, bem como na produção de PBT, com base na tecnologia da Genomatica. A BASF já produziu com sucesso volumes em escala comercial de BDO a partir de fermentação direta, a DSM aprovou o uso da tecnologia em suas linhas de produtos de poliéster, além de outras ações de atores como a empresa química Novamont, a empresa de engenharia bioquímica Biochemtex, a japonesa Toray, entre outras (E4TECH, RE-CORD & WUR, 2015). Assim, essa importante aplicação pode não necessariamente precisar do ácido succínico para ser desenvolvida, o que traz uma competição adicional na produção do BDO, mas produtores de ácido succínico se interessam na aplicação pelo potencial de mercado da mesma.

- *PBS (Polibutileno succinato)*

O polibutileno de succinato (PBS) é um bioplástico produzido através do ácido succínico, sendo um produto biodegradável e de grande resistência química e térmica, com propriedades similares às poliolefinas. Esse biopolímero tem aplicações em filmes compostáveis, bolsas de plástico, copos descartáveis, ente outras que ainda estão sendo estudadas (BIOREFINERIES BLOG, 2016).

O PBS costumava ser produzido pela combinação do ácido succínico petroquímico e do 1,4-BDO, derivado do anidrido maleico. Espera-se que o mercado do PBS venha a crescer, o que dependerá da disponibilidade e menor custo de bio-ácido succínico, comparado com as alternativas petroquímicas (SUCCINITY, 2018).

O PBS possui excelentes propriedades mecânicas e pode ser aplicado a uma variedade de aplicações finais por meio de técnicas convencionais de processamento de fusão. É importante na produção de aplicações que incluem filmes de cobertura biodegradável e de sacolas compostáveis. O PBS pode ser utilizado em embalagens (alimentos), tecidos, fibras ou têxteis, bens de consumo, eletrônicos, interiores automotivos, entre outras aplicações. Além disso, copos, tigelas, pratos, utensílios de plástico, filmes de cobertura agrícola e fraldas também podem ser feitos com o uso de PBS (WEASTRA, 2013).

4.2.3.1.2. Substituição do Ácido Adípico

Outro mercado que pode ter a entrada do bio-ácido succínico é o do ácido adípico. O ácido adípico é uma matéria-prima utilizada na produção dos plastificantes, polióis de poliésteres e outras aplicações de polímeros. Como matéria-prima para a produção de ácido adípico, normalmente são usados benzeno e ciclohexano. Em 2016, as fibras de nylon 66 e resinas de engenharia representaram o maior mercado deste ácido, com aproximadamente 57% do consumo total de ácido adípico, enquanto plastificantes representaram cerca de 10-12%, poliuretanos 8-12%, aditivos alimentares 5-10% e outras aplicações 5-8%, como aditivos, cosméticos, lubrificantes e outros intermediários químicos (IHS, 2017).

Produtores de bio-ácido succínico não estão se concentrando no mercado de nylon 66 pelo melhor desempenho do ácido adípico nesta área, mas existem oportunidades para o ácido succínico de base biológica substituir o ácido adípico em aplicações como poliuretanos e plastificantes (WEASTRA, 2013). Enquanto Invista, BASF, Rhodia, entre outras, são importantes produtores de ácido adípico petroquímico, existem também empresas trabalhando no desenvolvimento de ácido adípico de base biológica, como a DSM, a Myriant, a Verdezyne, a BioAmber, a Rennovia e a Genomatica, que competiria com o bio-ácido succínico (WEASTRA, 2013; GLOBAL MARKET INSIGHTS, 2016).

Quando comparados a polióis de poliésteres, a substituição do ácido adípico em plastificantes por ácido succínico de base biológica é de foco secundário e, por isso, essa aplicação é analisada no tópico referente ao anidrido ftálico.

- *Poliuretanos*

O mercado de poliuretanos vem se apresentando como uma das principais aplicações do ácido succínico, ao lado do BDO e do PBS. O processo de produção de poliuretanos tradicional inclui o ácido adípico e os fornecedores de polióis de poliéster vêm procurando substitutos de base biológica e custo efetivo para este insumo, de forma melhorar o perfil ambiental e reduzir o custo de seus produtos. Nesta ideia, o bio-ácido succínico ganha destaque. Os polióis de poliéster feitos do bio-ácido succínico podem funcionar como substitutos diretos de polióis de ácido adípico em poliuretanos, com aplicabilidade em espumas, elastômeros, revestimentos, adesivos e TPUs. O bio-ácido succínico teria as mesmas propriedades químicas do ácido adípico e pode, muitas vezes, ser usado sem alterações no processo de fabricação, de acordo com a Myriant (2018).

4.2.3.1.3. Substituição do Anidrido Ftálico

O anidrido ftálico, geralmente fabricado a partir de o-xileno, é um importante intermediário químico usado como matéria-prima para produzir plastificantes, revestimentos e resinas poliméricas. Os plastificantes formam o maior mercado de anidrido ftálico, responsável por 55% do consumo total, utilizados principalmente na

produção de plásticos, especialmente cloreto de polivinila (PVC) e adicionados para melhorar as propriedades dos plásticos. As resinas de poliéster insaturadas formam o segundo maior mercado, com 20% do consumo total de anidrido ftálico, enquanto as resinas alquídicas respondem por 15% do consumo total de anidrido ftálico. O mercado minoritário com 5% do consumo total de anidrido ftálico são polióis de poliéster (WEASTRA, 2013).

BASF, ExxonMobil, UPC Group, Nan Ya, Thirumalai Chemicals Ltd., Nanjing Huafeier Chemical Co. e Aekyung Petrochemical são as principais empresas produtoras de anidrido ftálico. Devido à crescente proibição de ftalatos, a demanda de fabricantes por produtos químicos isentos de ftalatos também cresceu. Há oportunidades para o ácido succínico de base biológica substituir o anidrido ftálico em plastificantes, porque os ésteres de ácido succínico têm características de desempenho semelhantes (WEASTRA, 2013).

Não foram encontradas fontes que indicassem o nível de investimento para a adaptação das estruturas do anidrido ftálico em relação ao ácido succínico. Dessa forma, assim como no caso do anidrido maleico, acredita-se que os investimentos também seriam significativos nessa substituição, sendo talvez mais interessante construir novas plantas de produção do que buscar adaptar as existentes. Referências, por exemplo, sugerem que ainda que essa rota possa ser promissora, uma produção de um anidrido ftálico renovável talvez fosse preferível (MAHMOUD, WATSON &. LOBO, 2014).

- *Plastificantes*

Os plastificantes são ésteres orgânicos usados principalmente para dar características importantes de uso em certos mercados de resinas, como o cloreto de polivinila (PVC), amplamente utilizado pelo seu baixo custo, durabilidade e versatilidade. Ésteres de bio-ácido succínico podem ser usados como substitutos de alguns dos principais plastificantes à base de ftalato, que respondem pela maioria significativa da demanda mundial. De toda a produção de plastificantes, 85% são plastificantes de ftalato e apenas 15% são não ftalatos, como adipatos, entre outros. A União Europeia, porém, proibiu permanentemente o uso de alguns ftalatos em artigos infantis, pela sua toxicidade. Assim, várias substâncias foram identificadas

como plastificantes alternativos aos ftalatos e estão sendo introduzidas em produtos que tradicionalmente usam ftalatos (como brinquedos, artigos de puericultura e dispositivos médicos). Neste sentido, aspectos como economia (preço e disponibilidade), desempenho (capacidade de processo, compatibilidade de longo prazo e outros) devem ser levados em consideração. A demanda por plastificantes não-ftalatos aumentará significativamente em todo o mundo e já existem várias empresas envolvidas na produção de plastificantes isentos de ftalatos, principalmente a partir de ácido cítrico, ácido levulínico, óleo de soja ou óleo de mamona (WEASTRA, 2013). Alguns dos principais atores no mercado são a Eastman Corporation (EUA), a BASF (Alemanha), a Exxon Mobil Corporation (EUA), a UPC Technology Corporation (Taiwan), a Evonik Industries AG (Alemanha), a LG Chem Ltd. (Coreia do Sul). Nan Ya Plastics Corporation (Taiwan) e a Oxea Corporation (EUA). O mercado é impulsionado pela indústria de construção civil e a crescente adoção dos plastificantes não-ftalatos em várias aplicações em diversos setores em todo o mundo. As regulamentações ambientais rigorosas relativas ao uso de plastificantes de ftalato devem continuar a apoiar o crescimento do mercado (MARKETS AND MARKETS, 2017)

O bio-ácido succínico tem potencial para substituir tanto o anidrido ftálico quanto o ácido adípico em plastificantes. Os potenciais clientes veem o principal potencial do ácido succínico de base biológica para encontrar o seu lugar neste segmento em produtos de vida curta já que o mercado de produtos de longa vida útil é bastante conservador e a pressão por um produto de base biológica não é forte o suficiente para suportar os riscos. O preço do bio-ácido succínico, no entanto, será fundamental (WEASTRA, 2013).

- *Resinas Alquídicas*

As resinas alquídicas são utilizadas principalmente para uso em tintas. Apesar desse produto ser considerado sustentável pelo uso de ácidos graxos e glicerol em sua produção, existe crescente pressão para melhorar a pegada sustentável do mesmo. Neste sentido, existe a oportunidade de aumentar o teor de carbono de base renovável das formulações alquídicas, pela substituição de anidridos e diácidos aromáticos por ácidos orgânicos de origem biológica. Neste contexto, o bio-ácido

succínico se mostra como uma possibilidade de aplicação mais sustentável (SONNATI 2014).

4.2.3.2. Mercados já existentes para o Ácido Succínico

Os mercados já existentes para o bio-ácido succínico seriam aqueles em que o ácido succínico petroquímico já atua, nos quais o produto de base biológica substituiria o petroquímico diretamente, com aplicações que serão analisadas nos tópicos a seguir.

4.2.3.2.1. Utilização direta do Bio-Ácido Succínico

- *Descongelantes*

Os cloretos são o agente descongelante mais utilizado nas estradas. Os sais de potássio são típicos descongelantes não clorídricos usados em estradas, pistas de aeroportos e outras superfícies. As soluções de descongelamento à base de ácido succínico são significativamente menos corrosivas que o acetato de potássio e o formato de potássio e a salmoura de cloreto de sódio. Soluções de descongelamento feitas de bio-ácido succínico estão competindo com descongelantes feitos de ácido fórmico. Entretanto, o degelo do ácido fórmico tem um custo menor, mas as soluções de descongelamento, que contêm ácido succínico, mostraram ter melhores propriedades, especialmente na área de corrosão (WEASTRA, 2013; BIOAMBER, 2010).

- *Solventes e Lubrificantes*

Solventes e lubrificantes são usados em muitas aplicações industriais. O bio-ácido succínico usado em lubrificantes é uma solução ecologicamente favorável como óleos básicos e aditivos em lubrificantes industriais. O bio- ácido succínico melhora a capacidade de fluxo em temperaturas frias e oferece melhor prevenção de oxidação e corrosão. Em solventes, o bio-ácido succínico tem potencial naqueles à base de resina de etanol, não à base de resina de metanol, especialmente por causa

de propriedades ruins do ácido succínico e produção cara. Uma vantagem é que o ácido succínico usado em solventes não precisa ter pureza muito alta como, por exemplo, o ácido succínico usado em BDO e poliésteres. Os solventes não estão no foco principal dos atuais players de ácido succínico (WEASTRA, 2013; NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN, 2017).

Um derivado importante é o dimetil-succinato (DMS). Trata-se de uma solvente verde, miscível em álcoois, cetonas e na maior parte dos hidrocarbonetos. É usado como agente coalescente para emulsões de pinturas com baixos conteúdos de compostos orgânico voláteis (BIOREFINERIES BLOG, 2016).

- *Fármacos*

O ácido succínico tem muitos usos na indústria farmacêutica. Pode ser usado como material de partida para ingredientes farmacêuticos ativos, incluindo N-metil pirrolidinona, 2-pirrolidinona, como um aditivo na formulação e como um agente insulinotrópico, na preparação de vitamina A (WEASTRA, 2013). Pode ainda ser utilizado na produção de antibióticos, aminoácidos, vitaminas, sedativos, medicamentos anticoncepcionais e medicinais combatendo inflamações, espasmos, artrites e até mesmo o câncer (OLIVEIRA, 2014). Neste sentido, o bio-ácido succínico substituiria o petroquímico diretamente.

- *Alimentos*

Na indústria de alimentos, o ácido succínico é usado como modificador de pH e como agente antimicrobiano. Seus sais podem ser utilizados para acentuar o sabor dos alimentos, como aditivos no cultivo de plantas e na alimentação animal, atuando como precursor de proteínas, fontes de energia e estimulantes de crescimento (OLIVEIRA, 2014). Da mesma forma, a utilização do bio-ácido succínico seria direta no de origem petroquímico.

- *Cosméticos*

O ácido succínico também é usado em cosméticos e produtos para cuidados pessoais. Existe potencial para o ácido succínico de base biológica e seus derivados, que podem ser usados como emolientes e surfactantes. Os emolientes são usados em loções, sabonetes líquidos e limpadores para melhorar e hidratar a pele, enquanto os surfactantes são usados em sabonetes, sabonetes líquidos e xampus para facilitar a propagação (WEASTRA, 2013).

4.2.3.3. Resumo das aplicações do Bio-Ácido Succínico

O Quadro 6 foi criada para resumir as aplicações do bioproduto.

Quadro 6 - Resumo das Aplicações do Bio-ácido Succínico.

Mercados	Função do Bio-AS	Aplicações	Características
Novos Mercados	Substituição do Anidrido Maleico	BDO, PBS	Mercado mais relevante, mas com custos de adaptação.
	Substiuição do Ácido Adípico	Poliuretanos	Adaptação relativamente fácil aos sistemas.
	Substiuição do Anidrido Ftálico	Plastificantes, Resinas Alquídicas	Investimentos significativos para adaptação, mas podendo representar o segundo maior mercado.
Mercados Tradicionais	Substiuição do Ácido Succínico Tradicional	Descongelantes, Solventes e Lubrificantes, Fármacos, Alimentos, Cosméticos	Adaptação ao mercado tradicional, com aplicações em diversas áreas.

4.2.4. Evolução Histórica da Produção e Atores Envolvidos

A rota de produção petroquímica do ácido succínico foi a primeira a ser feita industrialmente e, como mencionado, em 2011, o mercado global de 40.000 toneladas do produto era de 97% proveniente do petróleo. Entre os principais produtores, destacavam-se DSM, Gadiv Petrochemical Industries, Mitsubishi Chemical, Kawasaki Kasel Chemical, Nippon Shokubai, Anqing Hexing Chemical, Lixing Chemical e Anhui Sunsing Chemicals. Estes atores produziam várias das aplicações mencionadas anteriormente como os mercados já existentes para o produto e tinham dificuldades nas aplicações que apresentavam alto custo pela rota petroquímica.

Considerando todos os atores envolvidos, a Figura 18 mostra como era a distribuição do mercado em 2011, considerando que a maior parte da produção ainda era petroquímica.

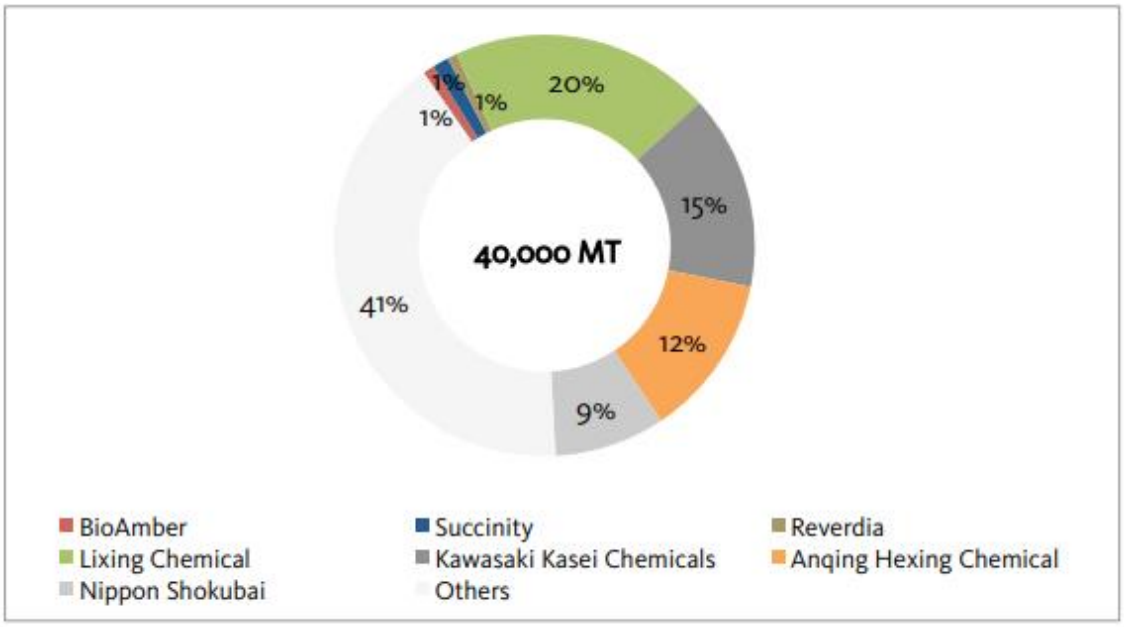

Figura 18 - *Market Share* dos produtores de ácido succínico em 2011.
Fonte: WEASTRA (2013).

Com a rota fermentativa, percebe-se que o ácido succínico pode ser produzido com vantagens na rota bioquímica em relação à rota petroquímica, com o uso eficiente da biomassa (BUE_H = 90%, segundo CARUS et al (2015)) e o consumo de CO_2 no processo (fornecendo uma alternativa interessante para o problema de sequestro de carbono), tornando possível, por exemplo, a entrada em novos mercados antes não atingidos pelo alto custo de produção. O produto de base renovável parece ter condições de desempenho e custo para construir uma plataforma de aplicações e atingir um mercado muito maior que o atingido pelo petroquímico. A ideia é que se atinjam mercados mais amplos a partir da síntese de polímeros e solventes biodegradáveis. Os produtos químicos que podem ser potencialmente substituídos por ácido succínico de base biológica, como mencionado, incluem anidrido maleico (na produção de BDO), ácido adípico (em plastificantes e polióis de poliéster) e anidrido ftálico (em plastificantes e resinas alquídicas).

Em 2011, 97% do mercado global de ácido succínico era proveniente do petróleo (WEASTRA, 2013). Em 2014, este mercado foi estimado em 47.500 toneladas (GRAND VIEW RESEARCH, 2016) e estima-se que deva crescer a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de cerca de 27,4%, para atingir US $ 1,8 bilhão (768.000 toneladas) em 2025 (NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN, 2017). É importante destacar que tais crescimentos projetados para o ácido succínico dependem do desenvolvimento da rota biológica, visto que o produto de origem petroquímica tem limitações com o custo elevado da produção. Entre os principais produtores, destacam-se DSM, Gadiv Petrochemical Industries, Mitsubishi Chemical, Kawasaki Kasel Chemical, Nippon Shokubai, e alguns produtores chineses como Anqing Hexing Chemical, Lixing Chemical e Anhui Sunsing Chemicals, além de alguns produtores localizados na India (WEASTRA, 2013).

Por esse motivo, o produto tem despertado o interesse de empresas estabelecidas, como BASF, Corbion, DSM e Roquette, e de *start-ups* como a Bioamber e a Myriant / GC Innovation America. Essas empresas estão estruturadas em torno de quatro projetos:

1) Succinity (BASF/Corbion)
2) Reverdia (DSM/Roquette)
3) Bioamber
4) Myriant / GC Innovation America

Esses projetos vêm evoluindo e um destaque individual na história de cada um deles é dado no próximo tópico. A Tabela 2 mostra os principais locais de produção do bio-ácido succínico existentes e esperados no mundo, na qual pode-se perceber a predominância da Europa e América do Norte, além de se ter uma visão sobre as quantidades atualmente possíveis de serem produzidas.

Tabela 2 – Principais Plantas de Bio-ácido succínico existentes e em planejamento.

Empresa	Local	Capacidade (toneladas)	Início de Operação	Parcerias
Reverdia	Lestrem, França	500 (demonstração)	2010	-
Myriant / GC	Leuna, Alemanha	5 mil	2012	Uhde
Reverdia	Cassano Spinola, Itália	10 mil	2012	-

Empresa	Local	Capacidade (toneladas)	Início de Operação	Parcerias
Myriant / GC	Lake Providence, EUA	13,6 mil	2013	-
Succinity	Barcelona, Espanha	10 mil	2014	-
BioAmber	Sarnia, Canadá	30 mil	2015	Mitsui, Lanxess
BioAmber	América do Norte	100 mil de BDO/THF 70 mil de AS	Indefinido	-
BioAmber	Rayong, Tailândia	65 mil de AS 50 mil de BDO	Indefinido	Mitsui, PTT, MItsubishi
Myriant / GC	Nanjing, China	100 mil	Indefinido	China National BlueStar

Fontes: WEASTRA (2013), REVERDIA (2018), BIOAMBER (2018), MYRIANT (2018) e GREEN CHEMICALS BLOG (2014).

Essas empresas se encontram passando à produção em escala comercial, o que pode ser visto na Tabela 2. Resta, entretanto, a resolução da questão de como desenvolver a complexa rede de cadeias produtivas que levariam à introdução dos derivados do ácido succínico em mercados tão diversos (cosméticos, alimentos, farmacêuticos, automobilísticos, embalagens e outros). Neste aspecto, diversos são os dilemas decisórios dos produtores, o que exige a imersão na atuação dos mesmos ao longo da cadeia para o melhor entendimento da evolução do mercado, como será feito no tópico seguinte.

4.2.5. Atuação Histórica dos Projetos

Neste tópico, cada projeto será analisado individualmente, em uma perspectiva histórica de forma a identificar os principais focos de pesquisa, desenvolvimento e produção, e entender os principais mercados abordados.

4.2.5.1. Succinity

A Succinity, uma *joint-venture* entre a BASF e a Corbion (antiga Purac), dedica-se à produção e comercialização de ácido succínico (Succinity®) com base em recursos renováveis, usando a *Basfia succiniciproducens*. A BASF tem

participação, direta ou indiretamente, em diversos setores, como embalagens, agricultura, construção, automotivo, entre outros. Os produtos químicos representam uma das seis divisões da empresa. O portfólio de produtos da empresa inclui o ácido succínico e seus derivados - BDO, THF, PBS, entre outros. Já a Corbion atua nos mercados de ingredientes alimentícios, bioplásticos, materiais de base biológica, cuidados domésticos e pessoais, médicos e farmacêuticos.

A BASF e a Corbion realizam pesquisas sobre ácido succínico de base biológica sob um acordo de desenvolvimento conjunto desde 2009, até registrar a Succinity GmbH em agosto de 2013. Tal cooperação combina o *know-how* da BASF, a maior e uma das mais experientes produtoras globais de intermediários químicos, e a Corbion, fornecedora líder de ingredientes alimentares e bioquímicos de base biológica. A empresa está sediada em Düsseldorf, na Alemanha, e sua produção está localizada em Montmélo, Espanha. Além do bio-ácido succínico, a empresa também tem como produto-alvo o PBS, um dos seus derivados que pode ser até 100% de base renovável (SUCCINITY, 2018).

A Succinity operou com sucesso uma planta de demonstração de 500 toneladas por ano em Barcelona, na Espanha. A produção comercial de ácido succínico começou em 2014 em uma planta de 10.000 toneladas por ano em Montmeló, também na Espanha. Além desta planta, o planejamento de uma segunda planta de produção foi relatado pela empresa, sem informações sobre escala ou localização (NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN, 2017).

Alguns dos principais acontecimentos envolvendo esses atores se encontram no Quadro 7. Não foram encontrados movimentos significativos após 2015.

Quadro 7 - Evolução Histórica da Succinity.

Ano	Principais movimentos
2009	• BASF assina acordo com a CSM (subsidiária da Corbion) para a produção e desenvolvimento de bio-ácido succínico para escala comercial em 2010.
2011	• BASF planeja joint-venture com CSM para construção de planta de bio-AS, com 25 mil toneladas de capacidade, na Espanha. A ideia é começar a operar em 2013 e, no futuro, aumentar a capacidade para 50 mil toneladas.
2012	• BASF, Cargill e Novozymes assinam acordo para desenvolver tecnologias para produzir ácido acrílico de matérias-primas renováveis.
2014	• Início da produção em Montmeló, na Espanha, com capacidade de 10 mil toneladas por ano.

Ano	Principais movimentos
2015	• Construção de segunda planta em avaliação.

Fontes: WEASTRA (2013), GREEN CHEMICALS BLOG (2014) e BIO (2015).

4.2.5.2. Reverdia

A Reverdia é uma *joint-venture* entre a empresa química holandesa DSM (que tem atividades agrupadas em várias entidades de negócios - Nutrição, Farmacêutica, Materiais de Performance, Intermediários de Polímeros e Áreas de Negócios Emergentes com foco em produtos de base biológica, materiais biomédicos e superfícies avançadas) e o produtor francês de derivados de amido Roquette Frères S.A (que oferece produtos derivados de amido, em diferentes setores - nutrição humana, papel, alimentos para animais, produtos farmacêuticos, cosméticos e produtos químicos/bioindústria) (REVERDIA, 2018).

A Reverdia operou com sucesso uma planta de demonstração com capacidade anual de 500 toneladas em Lestrem, França, de 2010 a 2012. Em dezembro de 2012, a produção comercial de ácido succínico começou na planta de 10.000 toneladas por ano em Cassano Spinola, na Itália. O processo de fermentação é baseado em uma espécie recombinante de *S. cerevisiae* desenvolvida pela DSM (NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN, 2017). A Reverdia tem como principais alvos a produção de Biosuccinium™ (seu bio-ácido succínico) e aplicações como o 1,4-butanodiol (BDO), resinas de poliuretano e succinato de polibutileno (REVERDIA, 2018).

O Quadro 8 mostra a evolução histórica da empresa.

Quadro 8 - Evolução Histórica da Reverdia.

Ano	Principais movimentos
2008	• DSM e ROQUETTE desenvolvem conjuntamente ácido succínico de base biológica para materiais de desempenho “verdes”.
2009	• A planta de demonstração de ácido succínico de base biológica em Lestrem (França) prevista para entrar em operação até o final de 2009.
2010	• Contrato de joint venture para a produção, comercialização e desenvolvimento de mercado de bio-ácido succínico. Foco em aplicações como o BDO, resinas de poliuretano e biopolímeros tais como o PBS em

Ano	Principais movimentos
	aplicações entre outros em tintas e revestimentos, automotivos e têxteis. • Planta de demonstração com capacidade anual de 500 toneladas em Lestrem (França) em operação.
2011	• Anúncio de construção de planta de escala comercial para a produção de ácido succínico de base biológica com uma capacidade de cerca de 10 mil toneladas por ano. Previsão é entrar em operação em 2012 e será construída nas instalações da Roquette em Cassano Spinola (Itália).
2012	• Previsão de que o Biosuccinium™ seja capaz de competir com o ácido succínico de base petroquímica e com o ácido adípico de base petroquímica. Além da competitividade econômica, o perfil exclusivo de sustentabilidade do produto possibilitará aplicações como: polióis de poliéster para poliuretanos, succinato de polibutileno (PBS), plastificantes, 1,4 butanodiol, resinas compostas e de revestimento, atendendo a diversos mercados. • Colaboração entre Proviron e Reverdia para introdução do Provichem® 2511 Eco, um Di-Metil-Succinato (DMS), à base de Biosuccinium™, que pode ser usado como solvente e matéria-prima para produtos químicos finos como pigmentos e estabilizadores de UV. • Reverdia inicia as operações na primeira fábrica de grande escala do mundo para o ácido succínico de base biológica. Aplicações chave para Biosuccinium™ incluem o PBS, poliéster polióis para poliuretanos, revestimentos e resinas compostas, plastificantes isentos de ftalatos e BDO.
2014	• Biosuccinium™ usado para a produção de resinas, revestimentos, adesivos e selantes com maior conteúdo de base biológica e menor pegada ambiental. Este ácido succínico 100% bio-based oferece uma alternativa mais sustentável às matérias-primas convencionais, como ácido succínico à base de fóssil, ácido adípico ou ácido tereftálico.
2015	• Reverdia adere ao consórcio ADMIT BioSuccInnovate, que explorará com a CIMV (empresa responsável por biorefinarias), o uso de matéria-prima lignocelulósica localmente disponível para produzir embalagens plásticas biodegradáveis de base biológica (através do PBS produzido com o bio-ácido succínico). • Covestro (antiga Bayer MaterialScience) e Reverdia desenvolvem TPUs (poliuretanos termoplásticos) a base biológica. A Covestro empregará o Biosuccinium ™ da Reverdia para a produção de sua marca TPU Desmopan® para uso em uma variedade de aplicações, como calçados e eletrônicos.
2016	• Tintas lançadas pela Mäder com base no Biosuccinium® da Reverdia. • Reverdia e Wageningen UR lançam o desenvolvimento de compostos duráveis de Bio-PBS. • Reverdia e Dezhou Xinhuarun Technology assinam acordo para desenvolver espumas de poliuretano microcelular à base de Biosuccinium™, para calçados e outras aplicações. • Reverdia anuncia parceria estratégica com a Hangzhou Xinfu Science & Technology Co., Ltd. (Xinfu) para a adoção do Biosuccinium® em polímeros e copolímeros de base biológica para o setor de embalagens.
2017	• Bonderalia Italia anuncia o lançamento do ECOBOND PKW, um emulsificante natural e multifuncional derivado do Biosuccinium® S. da Reverdia. • Reverdia se junta aos principais fabricantes de poliuretanos (PU) para

Ano	Principais movimentos
	exibir uma variedade de biomateriais na PSE Europe 2017 em Munique, Alemanha. Estes inovadores poliuretanos à base de Biosuccinium® têm uma parcela significativa de conteúdo de base biológica, pegada de carbono reduzida e permitirão produtos mais sustentáveis. • Biosuccinium® da Reverdia foi utilizado na produção de materiais de base biológica para a nova linha Skarvan da VAUDE, oferecendo aos consumidores uma escolha sustentável com o uso do poliuretano termoplástico de base biológica (TPU) nos calçados.
2019	• A *joint-venture* Reverdia é dissolvida e os parceiros transferem os direitos e obrigações relacionados à fábrica de Cassano para a Roquette, que irá operar a fábrica e continuar atendendo os clientes da Biosuccinium.

Fontes: REVERDIA (2018), BIOFUELS DIGEST (2019), GREEN CHEMICALS BLOG (2019).

4.2.5.3. BioAmber

A ACC foi a primeira empresa formada para comercializar bio-ácido succínico utilizando *E. coli* e o processo de fermentação desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA. A ACC tornou-se a *Diversified Natural Products (DNP) Green Technology*, que posteriormente formou uma colaboração com a *Agro-Industrie Recherches et Développements* (ARD), com sede na França, para desenvolver e comercializar o bio-ácido succínico. Foi inicialmente construída e operada na França uma planta de demonstração, no *site* da biorrefinaria Pomacle-Bazancourt, numa espécie de simbiose industrial[4] com vários atores. Em 2010, a DNP *Green Technology* adquiriu 100% da joint-venture da ARD e mudou seu nome corporativo para a BioAmber, Inc. Dadas algumas limitações relacionadas ao uso de E. coli, em 2010 a BioAmber entrou em um acordo com a empresa do agronegócio Cargill para se tornar um licenciado exclusivo de sua plataforma de levedura. De 2010 a 2014, a BioAmber conduziu a produção comercial usando a tecnologia licenciada pelo DOE e a ampliação e validação da tecnologia de levedura, que foi implementada na fábrica de Sarnia, no Canadá. A instalação de Sarnia foi construída como parte de uma *joint venture* com a empresa química Mitsui, que construiu e opera a usina, além de auxiliar a BioAmber na comercialização de produtos (ICIS, 2018).

A BioAmber (e seus antecessores) desenvolveu tecnologia de ácido succínico com base na *E. coli* licenciado pelo Departamento de Energia dos EUA e colaborou com a Cargill para desenvolver leveduras para produção de ácido succínico. A

[4] A simbiose industrial é o processo pelo qual os resíduos ou subprodutos de uma indústria ou processo industrial tornam-se matérias-primas para outra indústria (EUROPEAN COMISSION, 2019).

BioAmber também colaborou com a Mitsui para construir a planta de produção de ácido succínico de 30.000 toneladas por ano em Sarnia (Ontário, Canadá), que está em operação. Além da planta de Sarnia, a BioAmber planeja construir uma segunda planta na América do Norte, que produzirá 1,4-butanodiol (BDO), tetrahidrofurano (THF) e ácido succínico, com capacidade esperada de 100.000 toneladas de BDO/THF e 70.000 toneladas de ácido succínico por ano (BIOAMBER, 2018). Uma terceira planta de ácido succínico está sendo ainda planejada na Tailândia em parceria com a PTT-MCC Biochem, que é uma *joint-venture* entre a PTT PLC e a Mitsubishi Chemical, cujo ácido succínico produzido será destinado exclusivamente para a produção de PBS para a PTT-MCC Biochem (NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN, 2017).

A BioAmber tem avaliado e desenvolvido tecnologias para derivados do ácido succínico, incluindo o PBS, o BDO e seus derivados, como o THF e o GBL (gama butirolactona, usado como solvente, por exemplo). Para algumas dessas oportunidades, a empresa decidiu alavancar *know-how* tecnológico específico de alguns parceiros para construir a cadeia de valor do ácido succínico, por exemplo, tornando-se um licenciado dos catalisadores DuPont para a conversão de ácido succínico em BDO e THF, e em parceria com a Mitsubishi Chemicals, detentora de importantes patentes da PBS, a BioAmber tornou-se um fornecedor de ácido succínico usado na produção de PBS. Embora a BioAmber não tenha se estabelecido como produtora da PBS, a empresa planeja aproveitar essa oportunidade comprando PBS e fazendo compósitos PBS / PLA modificados, visando inicialmente as aplicações de alimentos. Isso será realizado por meio de uma *joint venture* com a NatureWorks, um dos atores mais importantes do PLA, um plástico biodegradável derivado do ácido láctico (BIOAMBER, 2015).

A BioAmber também viu uma oportunidade como produtor do ácido adípico, outro ácido dicarboxílico. A tecnologia principal foi licenciada em 2010 pela Celexion e também engloba os derivados do ácido adípico, como HMD, caprolactama (ambos aplicados na produção de nylon) e hexanodiol (usado na produção de poliésteres e poliuretanos). Uma das motivações reivindicadas pela BioAmber na busca da oportunidade do ácido adípico é a similaridade química com o ácido succínico, que permitiria à empresa aplicar seu know-how na purificação e transformação de produtos em derivados (BIOAMBER, 2015).

Segundo a empresa, a BioAmber Inc. pode transformar seu ácido succínico de base biológica em 1,4-butanodiol (BDO) e tetraidrofurano (THF) em uma única etapa catalítica. O BDO e o THF são usados para fabricar plásticos de engenharia, poliuretanos, poliésteres biodegradáveis e outros produtos químicos especializados. Além disso, a BioAmber produz o succinato dissódico de base biológica, que é um pó anidro com baixo tamanho de partícula, o que o torna ideal para a mistura em condimentos secos (BIOAMBER, 2018).

Alguns dos principais acontecimentos envolvendo esse *player* se encontram no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9 - Evolução Histórica da BioAmber.

Ano	Principais movimentos
2008	• Depois de assinar uma carta de intenção em dezembro de 2006, a ARD e a DNP Green Technology lançaram oficialmente a joint venture Bio-Amber. • Início da construção da primeira unidade de produção mundial de ácido succínico de base biológica. A planta de ácido succínico terá uma capacidade de produção anual de 2.000 toneladas e será integrada a uma biorrefinaria existente em Pomacle, França. • BioAmber Inc. e Basic Solutions anunciam descongelantes de decolagem baseados na biomassa da próxima geração. A BioAmber Inc. dedicará à Basic Solutions uma parte da capacidade de sua planta de bio-ácido succínico.
2009	• BioAmber Inc. e Sinoven Biopolymers Inc. assinam contrato de fornecimento de ácido succínico de base biológica, no qual a BioAmber Inc. será a fornecedora exclusiva da Sinoven (empresa de biopolímeros), permitindo a produção de PBS renovável.
2010	• BioAmber Inc. e ARD anunciam início da primeira planta de ácido succínico de base biológica do mundo. Desde dezembro de 2009, a planta produz ácido succínico renovável a partir da glicose derivada do trigo. • DNP Green Technology e GreenField Ethanol anunciam parceria para construir uma refinaria de ácido succínico de base biológica de US$ 50 milhões que produzirá uma nova geração de soluções de descongelantes ecologicamente corretos. A tecnologia de ácido succínico será licenciada pela BioAmber Inc. • BioAmber Inc. e Mitsui & Co. Ltd assinam acordo que concede à Mitsui direitos exclusivos de distribuição na Ásia para o ácido succínico de base biológica da BioAmber Inc. • Bioamber Inc. e DuPont Applied BioSciences anunciam acordo de licenciamento no campo dos derivados de base biológica do ácido succínico. • DNP Green Technology adquire 100% da Bioamber JV.
2011	• BioAmber Inc. anuncia que está desenvolvendo microrganismo de nova geração para produzir bio-ácido succínico sob licença exclusiva da Cargill. • BioAmber Inc., firma contrato de licenciamento exclusivo com a CELEXION LLC para tecnologia relacionada à produção de ácido adípico. • BioAmber Inc. une forças com Mitsubishi Chemical Corporation, em um

Ano	Principais movimentos
	acordo que torna a BioAmber e a Mitsui & Co. os fornecedores exclusivos de ácido succínico de base biológica para a Mitsubishi Chemical. As empresas também realizam estudo de viabilidade para construir instalação de produção de ácido succínico junto à fábrica da Mitsubishi na Tailândia. • BioAmber Inc., levanta US $ 45 milhões em financiamento que acelerará a comercialização de ácido succínico e PBS modificado. • BioAmber Inc. anuncia a Planta de Ácido Succinico de Base Biológica em Ontário, Canadá. A planta de Sarnia terá uma capacidade inicial de 17.000 toneladas e será inaugurada em 2013. • A PTTMCC Biochem (PTTMCC), uma joint venture entre a PTT PLC e a Mitsubishi Chemical, selecionou a BioAmber Inc. como parceira de uma planta de succinato de polibutileno (PBS) que começará a ser construída na Tailândia em 2012. A BioAmber irá abastecer a PTTMCC com ácido succínico de base biológica de forma exclusiva. • A LANXESS, líder global em plastificantes isentos de ftalatos, e a BioAmber Inc., formam parceria para desenvolver plastificantes à base de ácido succínico que sejam renováveis e livres de ftalatos. • BioAmber Inc. e Mitsui & Co. formam parceria para construir e operar a fábrica anteriormente anunciada em Sarnia, Ontário, Canadá. Produção comercial em 2013. Pretensão é expandir a capacidade e produzir 35.000 toneladas de ácido succínico e 23.000 toneladas BDO. BioAmber Inc. e Mitsui também pretendem construir duas instalações adicionais que, juntamente com a Sarnia, terão uma capacidade total acumulada de 165.000 toneladas de ácido succínico e 123.000 toneladas de BDO.
2012	• NatureWorks, líder do mercado de bio-plásticos com sua linha comercial de biopolímeros Ingeo ™, e BioAmber Inc. anunciam criação da AmberWorks, joint venture para novas composições de polímeros de base biológica. • BioAmber Inc. amplia tecnologia de catalisadores de hidrogenação sob licença da DuPont e converte toneladas de ácido bio-succínico em 1,4-butanodiol (1,4-BDO), tetraidrofurano (THF) e gama-butirolactona (GBL). • A Linha de Negócios de Catalisadores da Evonik Industries concorda com a BioAmber Inc. para o desenvolvimento de catalisadores para fabricação de BDO (1,4- butanodiol), THF (tetrahidrofurano) e GBL (gama-butirolactona) de ácido succínico de base biológica. • A Inolex, da indústria de cosméticos, lança emolientes usando o bio-ácido succínico da BioAmber Inc. • BioAmber será o fornecedor de bio-ácido succínico para uma parceria Faurecia-Mitsubishi Chemical para a produção de plásticos automotivos.
2013	• Várias parcerias são estabelecidas para criar cadeia de suprimentos totalmente integrada para PBS para a indústria automotiva, incluindo a PTT, a Mitsubishi Chemical, a Mitsui & Co. e a BioAmber Inc.
2014	• BioAmber Inc. e Vinmar International Ltd. assinam contrato para a compra de 100% do BDO produzido em uma planta de capacidade de 100.000 toneladas por ano. BioAmber Inc. planeja construir na América do Norte. • Ecoat e BioAmber Inc. iniciam estudo sobre a substituição parcial de anidrido ftálico (PA) de base petroquímica pelo bio-ácido succínico da BioAmber Inc. em resinas alquídicas de pentaeritritol. • BioAmber Inc. anuncia contrato de fornecimento exclusivo para o bio-ácido succínico com a Oleon. A BioAmber Sarnia, fornecerá à Oleon bio-ácido succínico para o desenvolvimento e produção de lubrificantes succinatos.
2015	• BioAmber Inc. anuncia que entrou em uma licença de tecnologia com a Johnson Matthey Davy Technologies (JM Davy), o que permitirá que a BioAmber Inc. construa e opere uma usina de capacidade de 100.000

Ano	Principais movimentos
	toneladas por ano que usa ácido biossuccínico como matéria-prima para produzir 70.000 toneladas BDO e 30.000 toneladas de THF. • BioAmber Inc. foi escolhida pela Bayer MaterialScience como fornecedora de ácido bio-succínico usado para produzir uma nova linha de poliuretanos inovadores de base biológica para aplicações têxteis. • Tecido exclusivo de couro sintético tem 70% de conteúdo biológico, graças ao novo poliol produzido com Bio-SA™ da BioAmber Inc. e Susterra® da DuPont Tate & Lyle Bio Products (1,3-propanodiol de base biológica). • BioAmber Inc. anuncia a abertura da maior fábrica de ácido succínico do mundo em Sarnia.
2017	• BioAmber Inc. oferece substituto *drop-in* para o ácido Isoftálico.
2018	• A BioAmber Inc. anuncia concordata em 4 de maio. • A LCY Biotechnology Inc., uma divisão da LCY Chemical Corp., com sede em Taiwan, compra os ativos da BioAmber Inc.

Fontes: Bioamber (2018); BIOMASS MAGAZINE (2018).

4.2.5.4. Myriant / GC Innovation

A Myriant é outra produtora de bio-ácido succínico com base nos Estados Unidos. A empresa inicialmente licenciou a *E. coli* desenvolvida na Universidade da Flórida e, em seguida, continuou seu desenvolvimento para obter *E. coli* capazes de utilizar açúcares derivados de matérias-primas lignocelulósicas para produção de ácido succínico. A empresa está, atualmente, operando uma planta de produção de ácido succínico de 13.600 toneladas em Lake Providence, Louisiana. As matérias-primas pretendidas para utilização nesta planta incluem glicose de cereais e açúcares derivados de biomassa lignocelulósica. Uma segunda planta de produção de ácido succínico com produção anual inicial de 500 toneladas e plano de expansão para 5.000 toneladas está localizada em Leuna, na Alemanha, e é operada pela parceira Myriant ThyssenKrupp Uhde. Houve ainda relatos de potencial parceria com a *China National BlueStar* (empresa do ramo químico chinesa) para construir uma terceira planta de produção de ácido succínico em Nanjing, na China, com produção anual de 100 mil toneladas. O ácido succínico produzido nesta planta seria destinado a ser matéria-prima para a produção de BDO (NGHIEM, KLEFF & SCHWEGMANN, 2017).

A Myriant busca oferecer um portfólio de bioquímicos que inclui ácido succínico, ácido acrílico, ácido lático, ácido mucônico e ácido fumárico para serem usados em diferentes mercados finais, incluindo plásticos biodegradáveis,

intermediários e solventes químicos, alimentos, cosméticos e cuidados pessoais, tintas e pigmentos, metalurgia e fotografia. Os biocatalisadores da Myriant são matérias-primas flexíveis e podem consumir açúcares da cana-de-açúcar, açúcares celulósicos da biomassa residual e glicerol. Destaque também é dado para o uso do bio-AS na substituição do anidrido ftálico e do anidrido maleico (MYRIANT, 2018).

Em 2018, a Myriant foi renomeada para GC Innovation America, sendo uma subsidiária da PTT Global Chemical Public Company Limited, empresa líder em produtos químicos tailandeses, com vendas globais de mais de US$ 15 bilhões, sediada em Woburn, Massachusetts. Anteriormente incorporada em 2009 como BioEnergy International LLC, posteriormente renomeada Myriant Corporation em 2011 e, a partir de 2018 como GC Innovation America, a empresa segue no desenvolvimento de ácidos orgânicos que são usados como blocos de construção químicos (GC INNOVATION AMERICA, 2018).

O Quadro 10 detalha o histórico. Não foram encontradas novidades pertinentes à operação após 2014, além da mudança nominal da empresa.

Quadro 10 - Evolução Histórica da Myriant / GC Innovation America.

Ano	Principais movimentos
2009	• Myriant Technologies LLC (Myriant) anuncia pilotagem do processo de bio-ácido succínico, com base em matérias-primas renováveis. • Myriant Technologies LLC (Myriant) e Uhde Corporation of America, um dos principais empreiteiros de engenharia do mundo, anunciam aliança para a engenharia, aquisição e construção de plantas de bio ácido succínico da Myriant com base em matérias-primas renováveis.
2010	• Myriant Technologies LLC anuncia concessão do Departamento de Energia de US$ 50 milhões para sua instalação de bio-AS em Lake Providence, Louisiana. Construção em setembro de 2010.
2011	• Myriant e Davy Process Technology (Davy), empresa da Johnson Matthey, anunciam que assinaram um memorando cobrindo o uso de ácido succínico como matéria-prima bio-derivada para a produção de butanodiol, tetrahidrofurano e gama butirolactona. • Myriant anuncia desenvolvimento bem-sucedido de seu processo patenteado para a produção de produtos químicos de base biológica, incluindo o ácido succínico e o ácido láctico L (+) e D (-).
2012	• Showa Denko K.K (SDK) anuncia Myriant como seu fornecedor global de ácido biosuccínico para a produção de PBS. • Myriant anuncia que seu bio-ácido succínico de alto desempenho foi selecionado como o principal componente químico renovável em um adesivo de rótulo "*biobased*", anunciado pela DaniMer Scientific, para eliminar problemas associados à reciclagem de contêineres de PET. • Piedmont Chemical anuncia nova oferta de polióis de poliéster renováveis e sustentáveis - intermediários químicos usados na

Ano	Principais movimentos
	produção de espumas de uretano, revestimentos, adesivos e selantes. O Piemonte combina o propanodiol Susterra® da DuPont Tate & Lyle Bio Products (DTL) com o bio-AS da Myriant para produzir polióis 100% biológicos de alta pureza funcionalmente iguais e competitivos em custo.
2014	• Myriant fornece quantidades comerciais de bio-AS à Oxea, para uso na produção de plastificantes de base biológica e isentos de ftalatos.
2018	• Myrant é renomeada para GC Innovation America. A mudança reflete a inovação da PTT Global Chemicals na América do Norte, buscando fornecer o mesmo desempenho em Bioquímicos e Bioplásticos, mas expandir o escopo de atividades, como P&D em biocatalisadores e novas tecnologias.

Fontes: MYRIANT (2018); WEASTRA (2013).

4.2.5.5. Resumo do posicionamento das empresas

Considerando o histórico de cada um destes projetos, o Quadro 11 resume a atuação das empresas, de acordo com origem, estágio atual e foco de produção.

Quadro 11 - Resumo das características das empresas de Ácido Succínico.

	Succinity	**Reverdia**	**BioAmber**	**Myriant / GC Innovation America**
Origem	*Joint-venture* BASF/Purac	*Joint-venture* DMS/Roquette	Start-up adquirida pela DNP	Start-up fundada em Massachussetts como BioEnergy International, LLC; renomeada para Myriant e depois para GC Innovation America
Fase de Desenvolvimento	Escala Comercial de Produção.	Escala Comercial de Produção.	Chegou a Escala Comercial de Produção, mas entrou em concordata.	Escala Comercial de Produção.
Foco da produção de Bio-AS	Produção do próprio bio-AS, produção de BDO e derivados e PBS.	Produção do próprio bio-AS, produção de BDO, PBS e resinas de poliuretano.	Produção de bio-AS, BDO e derivados, planejamento para PBS e substituição do ácido adípico (poliuretanos).	Produção de bio-AS, substituição do anidrido ftálico (plastificantes, resinas) e do anidrido maleico (para BDO e PBS).
Parcerias principais	Cargill, Novozymes	Proviron, CIMV, Covestro, Wageningen, Dezhou Xinhuarun, Xinfu	Basic Solutions, Sinoven, GreenField, Mitsui, DuPont, Oleon, Celexion LLC, PTTMCC, Lanxess, NatureWorks, Evonik, PTT, Vinmar, Ecoat	Uhde, Davy, SDK

4.3. PEF

4.3.1. Definição e Caracterização

O PEF (polietileno-furanoato) é um poliéster aromático, existente na literatura desde 1951. É um análogo químico do polietileno tereftalato (PET) e do polietileno naftalato (PEN) e ganhou destaque desde que o Departamento de Energia dos EUA (DoE) proclamou o FDCA (bloco de construção do PEF) como um potencial substituto de base biológica para o ácido tereftálico purificado (PTA), em 2004 (BIOPLASTIC NEWS, 2018; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2004).

Dessa forma, o PEF constitui uma alternativa 100% *biobased* ao PET petroquímico. O produto oferece propriedades térmicas superiores, o que o torna ideal para uma ampla gama de aplicações, como na indústria de embalagens para bebidas alcoólicas e não alcoólicas (BIOPLASTIC NEWS, 2018). Em comparação com os plásticos convencionais, o PEF se caracteriza também por possuir propriedades de barreira aprimoradas para gases como dióxido de carbono e oxigênio, o que pode resultar em uma vida útil prolongada dos produtos embalados. Além disso, devido à sua resistência mecânica superior, é possível produzir embalagens de PEF mais finas, permitindo reduzir a quantidade de material. Assim, o PEF se mostra apropriado para a produção de embalagens para alimentos e bebidas, como filmes e garrafas plásticas, apresentando estabilidade térmica até 320°C e podendo ser reciclado após uso (IIPRD, 2015; KASMI et al, 2017).

Dados de avaliação do ciclo de vida mostraram ainda que a substituição de PTA na produção de PET por FDCA de base biológica para a produção de PEF tem um potencial para reduções significativas nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e no uso de energia não renovável (NREU) (BIOPLASTIC NEWS, 2018).

Oferecendo uma solução renovável e reciclável, o produto pode ser considerado ainda um avanço dos bioplásticos em direção à economia circular, principalmente em relação à reutilização e à reciclagem, consistindo de matérias-primas 100% renováveis, como da silvicultura e resíduos agrícolas, e podendo ainda ser incinerado sem emissão adicional de CO_2 (OMNEXUS, 2018).

Embora exiba todas essas vantagens, incluindo até melhores características em comparação com o PET, o PEF apresenta alguns obstáculos que constituem

dificuldades para suas aplicações. Dificuldades na rota de produção relacionadas a custos, indesejável descoloração do polímero, além da produção de alto peso molecular que impactará as propriedades mecânicas e desempenho do PEF, são alguns dos problemas ainda enfrentados pelo produto (KASMI et al, 2017).

4.3.2. Rotas de Produção

O PEF é produzido objetivando principalmente a substituição do PET (polietileno tereftalato). Dessa forma, é interessante comparar a produção destes polímeros. Basicamente, o PET é produzido industrialmente por esterificação direta do ácido tereftálico purificado (PTA) com monoetileno glicol (MEG) (ABIPET, 2018). Tradicionalmente, ambos são derivados do petróleo. O MEG, porém, pode ser obtido de base biológica, a partir do açúcar. Por ter um caminho químico mais difícil, este se apresenta mais caro que o MEG petroquímico. Um caminho direto dos açúcares para o MEG poderia reduzir sensivelmente a diferença de preço[5] (BIOBASED PRESS, 2016).

O PEF, então, surge como uma alternativa ao PET, sendo formado pela polimerização de MEG de base renovável e FDCA, que substitui o PTA. A Figura 19 mostra a comparação da obtenção de ambos os polímeros.

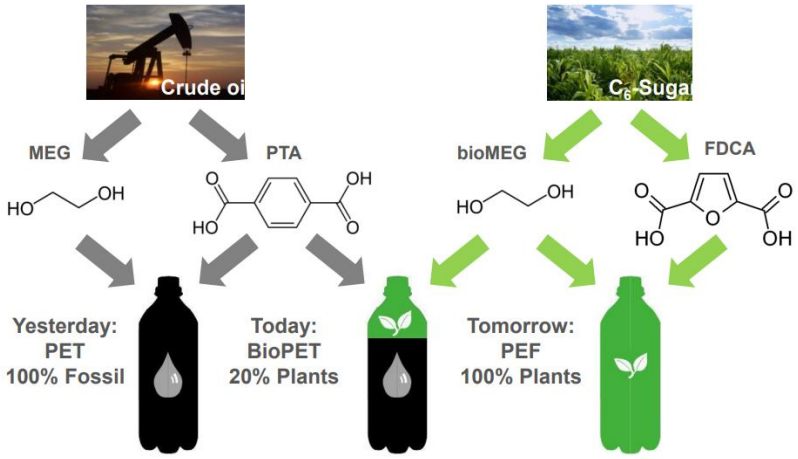

Figura 19 - Rotas de Produção do PET e do PEF.
Fonte: GRUTER (2015).

[5] Neste contexto, a Braskem e a dinamarquesa Haldor Topsoe, empresa de catalisadores, assinaram um acordo de cooperação tecnológica para desenvolver uma rota de produção de MEG a partir de açúcar. A parceria inclui a construção de uma unidade de demonstração na Dinamarca, com início de operações previsto para 2019 (BRASKEM, 2017).

Analisando mais detalhadamente o processo de produção do PEF, a Figura 20 resume as principais etapas industriais. Primeiramente, é feita a desidratação dos carboidratos, obtendo o Metoximetil-Furfural (MMF). Este, então, é oxidado ao FDCA, que será o bloco de construção para o PEF, ao se polimerizar, na presença de mono etileno glicol (MEG) (GRUTER, 2015).

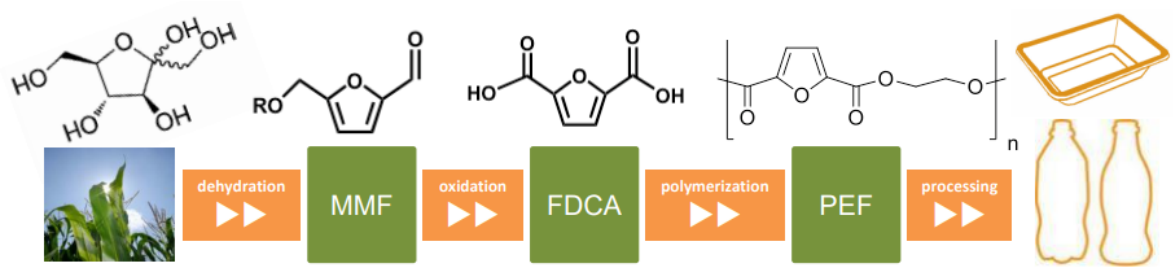

Figura 20 - Processo Produtivo do PEF.
Fonte: GRUTER (2015).

Sendo um produto novo, de estrutura química diferente do PET, poder-se-ia considerá-lo como um produto não *drop-in*. Porém, o processo foi provado em escala piloto, se mostrando competitivo em custos em escala industrial e se adequando aos ativos existentes de produção do PET, atuando, então, como um *drop-in* em relação à produção (GRUTER, 2015). De acordo com produtores e desenvolvedores, as estruturas químicas do FDCA e do PTA são suficientemente similares para permitir que o FDCA seja usado em combinação com o MEG em plantas de polimerização já existentes para o PET. De maneira semelhante, o PEF também pode ser usado em instalações de conversão *downstream* (na transformação em pré-formas e garrafas, por exemplo), tornando-se também um *drop-in* em relação à infraestrutura (CORBION, 2018; OMNEXUS, 2018).

O PEF pode ainda ser reciclado e incorporado nas correntes de reciclagem de PET até 5%, sem efeito no desempenho do PET reciclado (OMNEXUS, 2018). Produtos feitos de PEF podem ser facilmente reciclados ou convertidos de volta a CO_2 atmosférico por incineração. Eventualmente, esse CO_2 será absorvido pelas plantas, que podem ser usadas para fazer mais PEF (OMNEXUS, 2018; PHYS ORG, 2018). Quimicamente semelhante ao PET, o PEF proporciona boa compatibilidade com a fabricação de PET, reciclagem e procedimentos de controle de qualidade, podendo ser separado de outros plásticos e reciclado a rPEF usando as mesmas etapas do PET (reciclagem mecânica ou química). Além disso, ele reduz

a necessidade da funcionalidade multi-material em embalagens, que é um dos desafios da economia circular, e gera significativamente menos impacto no rPET do que Nylon ou PLA. Apesar de ainda existirem algumas etapas a serem feitas no re-design de embalagens e no gerenciamento de resíduos, o PEF aparenta ser um passo interessante para a economia circular (OMNEXUS, 2018; SYNVINA, 2017).

Esta síntese comercialmente relevante do PEF, apenas via policondensação, porém, é um processo que necessita da remoção dos subprodutos da condensação para alcançar os pesos moleculares necessários para as propriedades desejadas do material. Como a mistura polimérica reagente é tipicamente muito viscosa ou sólida, a difusão significativamente reduzida de tais subprodutos conduz a dias de reação. A longa exposição às altas temperaturas de processamento (em torno de 200 °C) não apenas aumenta os custos de produção, mas leva à degradação térmica e à descoloração do polímero, o que o torna inadequado para o mercado. Enquanto para o PET o estabelecimento de processos baseados em policondensação foi mais viável, o PEF parece menos estável ao impacto térmico, o que torna a produção do polímero ainda um processo com desafios a serem vencidos (MORBIDELLI, 2018).

4.3.3. Mercado, produtos derivados e aplicações

O FDCA, principal componente básico do PEF, pode ser aplicado como bloco de construção químico em uma variedade de aplicações industriais. O monômero FDCA oferece oportunidades para criar uma ampla gama de polímeros - poliésteres, poliamidas e poliuretanos - bem como resinas de revestimento, plastificantes e outros produtos químicos, como mostrado na Figura 21 (AVANTIUM, 2018).

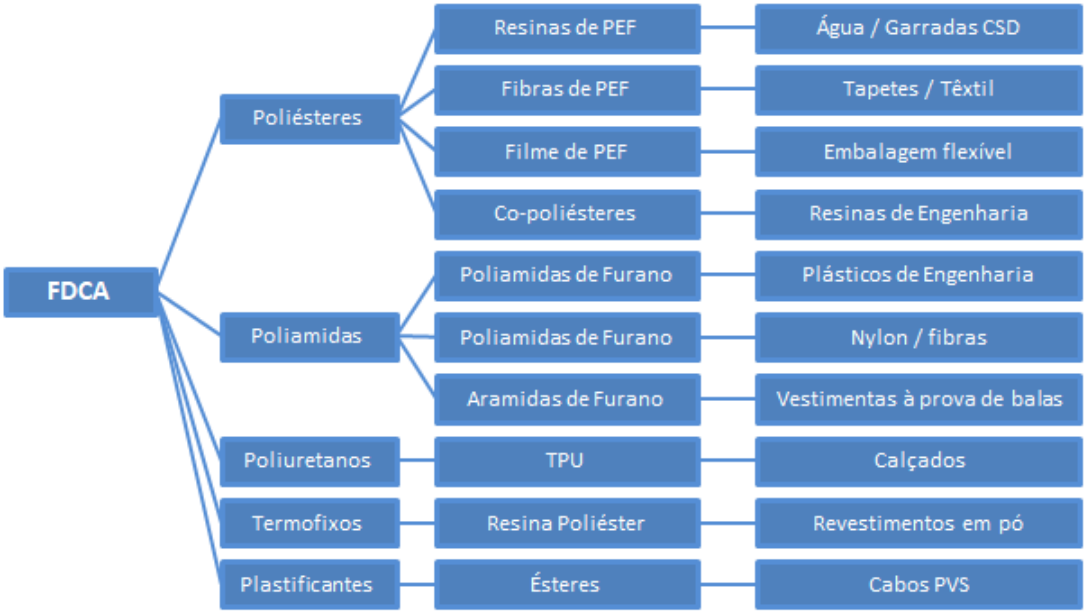

Figura 21 - Aplicações do FDCA.
Fonte: AVANTIUM (2018).

Dentre essas aplicações, porém, destaca-se a substituição do ácido tereftálico (PTA) na produção do PEF (em detrimento do PET), objetivo deste estudo de caso. O PEF, como mencionado anteriormente, é um poliéster que oferece ótimas propriedades térmicas e de barreira, tornando-o um material bastante adequado para a embalagem de refrigerantes, água, bebidas alcoólicas, sucos de frutas, alimentos e produtos não alimentícios. Sendo um mercado tão extenso que pode ser abrangido pelo PEF, pode constituir um dos caminhos vitais para a o sucesso do FDCA como bloco de construção. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento de outras aplicações do FDCA que deem certo no mercado podem ajudar a produção em escala do monômero, o que beneficiaria o PEF na questão dos custos de sua produção.

O PEF é usado basicamente em garrafas, filmes e fibras, atuando como um análogo do polietileno-tereftalato (PET). As propriedades de barreira e térmicas do PEF são superiores ao PET convencional e, em combinação com uma pegada de carbono significativamente reduzida, o PEF contém todos os atributos para se tornar o poliéster da próxima geração, precisando de mais pesquisa para que as dificuldades de sua fabricação sejam vencidas (AVANTIUM, 2018). As fibras se mostram como o maior segmento potencial no mercado do PEF, seguido das garrafas e, por fim, os filmes (GRAND VIEW RESEARCH, 2018).

As fibras de PEF também têm potencial de uso em uma ampla gama de aplicações, de roupas esportivas a carpetes. Hoje, o PET é amplamente utilizado em vestuário, tapetes, mobiliário doméstico, descartáveis, tecidos, fraldas, filtros e fibras industriais. Nestes mercados, o PEF também entraria como o potencial substituto do PET (AVANTIUM, 2018).

Os filmes de PEF, por sua vez, têm o potencial de afetar significativamente o mercado de materiais de embalagem flexível. Com alta barreira a gás e excelente capacidade de conter odores, o filme PEF pode ser usado para produzir bandejas e copos para alimentos e bebidas, integrados em estruturas multicamadas para criar embalagens mais flexíveis para alimentos, bolsas para líquidos e embalagens transparentes para alimentos secos (AVANTIUM, 2018).

O mercado global de PET é de cerca de 50 milhões de toneladas por ano (US$ 30 bilhões) e o tamanho do mercado de PET renovável global poderia gerar US$ 13,1 bilhões até 2023 (BIOFUELS DIGEST, 2017). O PET renovável (*drop-in*) é um concorrente para o PEF. Com o aumento da importância de embalagens sustentáveis, os principais participantes do setor, como a empresa de bebidas Coca-Cola Company e a química Toray, formaram parcerias estratégicas com empresas desenvolvedoras de tecnologias e produtos de base biológica, como Gevo e Virent, para o desenvolvimento de um PET 100% biobased. Um caminho para atingir esse objetivo é através da produção de paraxileno renovável (um dos blocos de construção no PET que contribui com 80% do carbono no mesmo) e o outro é substituir o PET pelo PEF (100% renovável), que é o objeto de estudo deste caso (BIOFUELS DIGEST, 2017). A iniciativa da Coca-Cola de alocar recursos tanto para o desenvolvimento do PET 100% renovável quanto para o PEF destacam a concorrência entre ambos e uma tentativa de estar à frente no desenvolvimento de soluções alternativas ao uso do PET de origem petroquímica.

Os custos competitivos do PEF em sua produção, além de suas qualidades em termos de propriedades, são fundamentais para o sucesso em sua entrada no mercado do PET. Por isso, as dificuldades do processo de produção comentadas necessitam de atenção especial para que o produto possa de fato penetrar no mercado existente e até mesmo buscar novos mercados de acordo com suas propriedades. Ainda em termos de custos, buscando a minimização dos mesmos, é importante ressaltar o uso eficiente da biomassa em sua produção, de forma que os

custos sejam minimizados e aproveitamento da matéria-prima seja o máximo possível, de forma a fortalecer sua competitividade no mercado. O PEF teria um BUE_H 54,8%, enquanto o FDCA teria 54,1% e o PET originado de glicose apenas 11,4% (CARUS, 2015)

4.3.4. Evolução Histórica da Produção e Atores Envolvidos

De acordo com os últimos dados de mercado compilados pela European Bioplastics, em cooperação com o instituto de pesquisa New-Institute, a capacidade global de produção de bioplásticos foi de 4,16 milhões de toneladas em 2016, sendo os poliuretanos responsáveis por 41,2% da capacidade global (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2016). Bioplásticos, não biodegradáveis, incluindo as soluções drop-in PE (polietileno) e PET de base biológica (polietileno tereftalato), assim como PA (poliamidas) de base biológica, atualmente compõem cerca de 48% (1 milhão de toneladas) das capacidades globais de produção de bioplásticos. As embalagens continuam sendo o maior campo de aplicação para bioplásticos, com quase 65% (1,2 milhão de toneladas) do mercado total de bioplásticos em 2018 (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2018). De acordo com a ProBIP, cerca de 85% dos plásticos poderiam ser tecnicamente substituídos por plásticos de base biológica (AVALON, 2018). Porém, atualmente a produção de plásticos de base biológica não é competitiva em termos de custo com os plásticos baseados em fósseis.

O PEF ainda não foi fabricado em escala comercial, mas testes mostram que ele apresenta melhores propriedades de barreira e pode suportar garrafas menores, como mencionado nos tópicos anteriores. Para o PEF, pensa-se, então, no FDCA. Nesse espaço, a DuPont (agora Dow DuPont), e praticamente qualquer empresa que consiga fazer o 5-HMF (precursor do monômero), incluindo a AVA Biochem e a Corbion, tem possibilidade de entrada no cenário. Mas especificamente para o PEF, o grande ator é a Avantium, que realizou um IPO (*Initial Public Offering*, ou Oferta Pública Inicial em português - momento em que a empresa abre seu capital e passa a ser listada na Bolsa de Valores) para levantar recursos para investimento no produto (109,5 milhões de dólares, segundo o Biofuels Digest (2017)). A primeira planta de escala mundial da empresa é uma unidade de produção de 50.000 toneladas por ano projetada para operar em Antuérpia como parte de uma *joint-*

venture com a empresa química BASF, chamada de Synvina (BIOFUELS DIGEST, 2017). Em 2018, a BASF saiu da JV, passando a Avantium a ter total propriedade da empresa (AVANTIUM, 2018).

A demanda global do mercado de furanoato de polietileno (PEF) foi estimada em 11.700 toneladas em 2016 (GRAND VIEW RESEARCH, 2018). O aumento da demanda por embalagens sustentáveis em todo o mundo e as vantagens do PEF sobre o bio-PET devem ser as principais tendências que estimulam o crescimento do mercado. Além disso, espera-se que a demanda crescente por produtos de polímeros leves em várias indústrias de uso final impulsione a demanda do mesmo (GRAND VIEW RESEARCH, 2018).

O mercado global de PEF está em um estágio inicial de desenvolvimento com um escopo significativo para o crescimento. Para explorar o imenso potencial oferecido pelo mercado do PEF, as empresas podem investir em P&D de tecnologias avançadas de produção e pressionar por sua comercialização. A Avantium firmou acordos com várias empresas, como a Coca-Cola Company, a Danone e a ALPLA (empresa de embalagens plásticas), para o desenvolvimento e comercialização de produtos PEF para vários segmentos de aplicação, como garrafas, filmes e fibras. A YXY, uma tecnologia da Avantium, pode converter carboidratos em vários produtos e combustíveis biológicos, podendo produzir um PEF 100% renovável e 100% reciclável (GRAND VIEW RESEARCH, 2018).

O estabelecimento de parcerias com fornecedores de matérias-primas também pode ser uma importante estratégia de crescimento para os fabricantes de PEF. Além disso, a presença de regulamentações positivas aos produtos de base renovável pode funcionar em favor dos fabricantes. No entanto, estima-se que a indisponibilidade de matérias-primas e tecnologias adequadas continue sendo um fator desafiador para os participantes do mercado (GRAND VIEW RESEARCH, 2018).

Numa perspectiva histórica deste cenário, a Coca-Cola lançou pioneiramente, em 2009, a PlantBottle, garrafa PET 100% reciclável com até 30% de seu conteúdo de origem renoável (THE COCA-COLA COMPANY, 2012). Em 2011, então, a Toray e a Gevo conseguiram produzir um PET 100% renovável e a Avantium abriu oficialmente sua planta piloto em Geleen, na Holanda; neste mesmo ano, a Coca-Cola anunciou acordos com a Virent, a Gevo e a Avantium. Em 2012, a Coca-Cola,

a Ford, a Heinz, a NIKE e a P&G anunciaram a formação da Plant PET Technology Collaborative (PTC), um acordo para desenvolvimento e uso de materiais 100% vegetais a base de plantas e fibras. Em 2014, a Avantium fechou um financiamento de US$ 50 milhões de um consórcio da Swire Pacific, Coca-Cola, DANONE, ALPLA e acionistas (IIPRD, 2015). Por fim, em 2017, foi oficializado o projeto chamado PEFerence, liderados pela Synvina (*joint-venture* entre a BASF e a Avantium), no qual os parceiros vão cooperar nos próximos cinco anos para estabelecer uma cadeia de valor inovadora para o FDCA e para o PEF, incluindo a construção de uma planta de referência de 50.000 toneladas em Antuérpia, conforme citado anteriormente. O consórcio do projeto é composto por 11 parceiros de 8 países europeus, incluindo Synvina, BASF, Tereos Participations (França), Alpla Werke Alwin Lehner (Áustria), OMV Machinery (Itália), Croda Nederland. (Países Baixos), Nestec (Suíça), Lego System (Dinamarca), nova-Institut für politische und ökologische Innovation (Alemanha) e Spinverse Innovation Management (Finlândia) (BIOFUELS DIGEST, 2017).

Para entender os posicionamentos das empresas, o tópico seguinte analisará de forma mais detalhada a atuação histórica da Avantium (principal empresa no ramo do PEF) e suas parcerias. Vale citar que a Corbion também apresenta desenvolvimento de FDCA, mas constituindo ainda um projeto de longo prazo para potencial substituto do ácido tereftálico, mas sem progressos relevantes até então para análise, já que foca no FDCA e busca parcerias para outras etapas da cadeia produtiva (como a produção do próprio PEF) (CORBION, 2018).

4.3.5. Atuação Histórica dos Projetos

4.3.5.1. Avantium

A Avantium foi fundada em fevereiro de 2000 como um *spin-off* da Shell. O objetivo era acelerar e explorar a aplicação de P&D especializada, inicialmente desenvolvida pela Shell para pesquisa de catálise, em vários setores. Um consórcio internacional formado por parceiros estratégicos, financeiros e com universidades se formou para suportar a Avantium como uma empresa de tecnologia especializada em P&D. Durante os primeiros anos de sua existência, o objetivo era aplicar a

tecnologia em uma variedade de aplicações e setores. Após esse período inicial, a Avantium decidiu se concentrar no fornecimento de serviços de P&D para empresas nas indústrias química e farmacêutica (AVANTIUM, 2018).

Em 2005, foi tomada a decisão estratégica de alavancar sua especialização em P&D, iniciando os próprios programas de desenvolvimento. Este foi o início da tecnologia YXY: com base em seus pontos fortes no desenvolvimento catalítico, foi criada uma nova tecnologia para converter carboidratos à base de plantas em blocos de construção furânicos para a fabricação de produtos químicos, materiais e combustíveis de origem biológica. Esta tecnologia evoluiu de uma ideia em 2005, para um projeto de P&D nos anos seguintes, para a demonstração da tecnologia em uma planta piloto em Geleen em 2011. Segundo a Avantium, o YXY é uma família de elementos básicos verdes para materiais e combustíveis que poderiam competir em preço e desempenho com alternativas derivadas de petróleo, com melhor impacto ambiental. YXY é uma tecnologia patenteada que converte biomassa em elementos básicos furânicos, como FDCA, monômero do PEF (AVANTIUM, 2018).

Em 2011, a Avantium vendeu seu negócio farmacêutico, que se tornou uma empresa independente chamada Crystallics, que se mudou para o parque empresarial Amsterdam Medical Center. Em 2015, a Avantium vendeu seu negócio de sistemas de cristalização para a Technobis. Com este desinvestimento, a Avantium se tornou uma empresa focada no campo da tecnologia e de produtos químicos renováveis. Hoje, a empresa afirma ter uma posição de liderança no fornecimento de serviços e sistemas avançados de catálise para empresas do setor de petróleo, gás, produtos químicos e renováveis, ao mesmo tempo em que empreende projetos de desenvolvimento em tecnologias inovadoras para a química renovável sob o nome de Renewable Chemistries (AVANTIUM, 2018).

Em 2016, a Avatium criou uma *joint-venture* com a BASF, chamada Synvina, que utiliza o processo patenteado YXY®, desenvolvido pela Avantium nos seus laboratórios em Amsterdã e na planta piloto em Geleen, Holanda, para a produção do FDCA e comercialização do PEF. A empresa pretende desenvolver esse processo e construir uma planta de referência para a produção do FDCA com capacidade anual de até 50.000 toneladas métricas na unidade Verdund da BASF, na Antuérpia, Bélgica. O objetivo é obter posições de liderança mundial em FDCA e PEF e posteriormente licenciar a tecnologia para escala industrial (BASF, 2016).

O Quadro 12 resume os principais movimentos da Avantium no desenvolvimento do PEF, incluindo as ações da sua posterior JV Synvina.

Quadro 12 - Atuação Histórica da Avantium e suas parceiras.

Ano	Principais movimentos
2011	• Início da Planta Piloto em Geleen, na Holanda, para demonstrar escala à tecnologia XXY e produzir FDCA para desenvolvimento de aplicações.
2012	• A Avantium anuncia parcerias para o desenvolvimento de garrafas PEF com Danone e Coca Cola. O objetivo é contribuir para o surgimento de um novo material renovável sem concorrência direta com alimentos. • Avantium e ALPLA Werke Alwin Lehner, empresa convertedora de plásticos, anunciam acordo para o desenvolvimento de garrafas PEF. A ALPLA irá desenvolver frascos PEF para aplicações de cuidados pessoais, (cosméticos e detergentes), e aplicações alimentares. A empresa também assinou uma JDA com a TCCC para o desenvolvimento de garrafas PEF.
2013	• Avantium demonstra que o PEF também pode ser usado para fazer fibras, e até mesmo que as garrafas PEF podem ser reciclados em fibras de PEF. • A Wifag-Polytype e a Avantium anunciaram seu acordo para colaborar em produtos termoformados a partir de 100% de PEF com base biológica.
2014	• Na Holanda, a Avantium anuncia financiamento de US$ 50 milhões de consórcio exclusivo constituído pela Swire Pacific, pela Coca-Cola Company, pela DANONE, pela ALPLA e por acionistas existentes. O investimento será usado para concluir a validação industrial do PEF e finalizar a engenharia e o design da primeira planta em escala comercial.
2015	• A Avantium assina acordo com a Mitsui & Co., Ltd. para comercializar FDCA e PEF 100% biobased na Ásia.
2016	• Toyobo e Avantium fazem parceria para polimerização e filmes de PEF. • Joint-venture Synvina, entre Avantium e BASF é estabelecida. Juntamente com a Toyobo, as empresas impulsionarão a polimerização e desenvolvimento de filmes de PEF para embalagens de alimentos, industriais e médicas, e aplicações eletrônicas. Com a Mitsui, a Synvina trabalhará no desenvolvimento de filmes finos de PEF e garrafas PEF no Japão. A Synvina ainda pretende continuar parcerias de desenvolvimento com a The Coca-Cola Company, a Danone, a ALPLA e outras empresas na Plataforma de Desenvolvimento Conjunto para garrafas PEF.
2017	• Na Holanda, o projeto PEFerence é lançado oficialmente. Liderados pela Synvina, os parceiros vão cooperar nos próximos cinco anos para estabelecer uma cadeia de valor inovadora para FDCA e PEF, incluindo a construção de uma planta de referência de 50.000 toneladas em Antuérpia.
2019	• Avantium compra participação da BASF na Synvina JV, retomando propriedade plena de sua tecnologia YXY.

Fontes: BIOFUELS DIGEST (2014), GRUTER (2015), BIOFUELS DIGEST (2017), AVANTIUM (2018) E BIO-BASED WORLD NEWS (2019).

4.3.5.2. Resumo do posicionamento das empresas

Considerando o histórico dos projetos, o Quadro 13 resume a atuação das empresas, de acordo com sua origem, estágio atual e foco de produção.

Quadro 13 - Resumo das características das empresas de PEF

	Avantium/Synvina
Origem	Start-up / *Joint-venture* Avantium/BASF
Fase de Desenvolvimento	Fase Inicial, ainda buscando a produção em escala comercial, que está esperada para 2024 (OMNEXUS, 2018).
Foco da produção de PEF	Substituir o PET, em garrafas, filmes e fibras.
Parcerias	Danone, Coca Cola, ALPLA, TCCC, Wifag-Polytype, Mitsui, Toyobo

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os estudos de caso mostraram, portanto, as principais características dos bioprodutos, suas principais rotas de produção e aplicações, além dos principais atores relacionados. Com isso, foi possível entender a evolução de cada bioproduto e como são aplicados no mercado, tendo informações suficientes para classificá-los quanto aos dilemas que enfrentam. Seguindo esta ideia, a trajetória dos principais atores permite identificar os desafios presentes nestes desenvolvimentos, as decisões tomadas e, assim, entender o impacto dos dilemas estudados nos diferentes contextos.

Na inserção e difusão dos bioprodutos no mercado, como mencionado, diversos dilemas surgem, em relação à sua diferenciação, adaptação aos sistemas existentes e posicionamento na cadeia produtiva. Este capítulo tem o objetivo de analisar e entender os principais pontos ligados ao surgimento e enfrentamento destes dilemas. Primeiramente, a análise é feita de forma individual em relação aos produtos estudados e, em um segundo momento, de forma global, com o intuito de retirar conclusões mais abrangentes em relação ao tema. O capítulo tem o objetivo de discutir os dilemas de acordo com as informações tratadas nos estudos de caso e na revisão bibliográfica e, por esse motivo, não são utilizadas novas referências no mesmo, já que todas já foram mostradas anteriormente no trabalho.

5.1. Análise dos Dilemas

5.1.1. Biobutanol

Conforme citado anteriormente, o biobutanol pode ser basicamente usado como combustível automotivo para produção de combustível de aviação, para transformação em para-xileno como precursor do ácido tereftálico e em aplicações tradicionais do butanol petroquímico (em solventes, plastificantes, cosméticos, entre outras).

Como combustível automotivo, sendo uma molécula diferente do etanol e da gasolina, o biobutanol seria primariamente classificado como um produto não *drop-in* para essa aplicação, visto que o processo de produção do bioproduto já seria

diferente em relação a outros combustíveis. Porém, ao possuir propriedades químicas e físicas que lhe conferem vantagens em relação ao etanol e que o aproxima mais da gasolina (como maior conteúdo energético, menor poder corrosivo e menor hidrofilicidade) e sendo compatível com os motores e sistemas de distribuição existentes para gasolina, o bioproduto pode ser considerado como *drop-in* em relação às suas propriedades e ativos complementares. Em relação ao seu uso, nesta aplicação, o bioproduto poderia ser considerado um produto final, sendo utilizado diretamente para o consumo de combustível, sem requerer transformação química. Sendo assim, ele poderia ser classificado também como uma *commodity*, visto que seria um combustível, sem diferenciação, vendido ainda em grandes volumes.

Da mesma forma, como combustível de aviação, o biobutanol também pode ser classificado como *drop-in* em relação aos ativos complementares. Apesar de ser uma molécula diferente, o mesmo é utilizado para fazer o *jet fuel*, que poderia ser usado nos sistemas de distribuição de combustíveis de aviação atuais. Em relação ao seu uso, como ainda sofre transformação química para ser transformado no bio *jet fuel*, é considerado um produto intermediário e atua como uma *commodity* nesta aplicação, sendo um intermediário químico, sem diferenciação.

Em relação ao para-xileno, o biobutanol poderia ser transformado e utilizado como precursor do bio-ácido tereftálico. Assim, como se encaixa em uma produção na qual o butanol petroquímico poderia ser usado, ele seria um bioproduto *drop-in*, tanto em relação à molécula quando em relação aos ativos complementares existentes. Seria um intermediário, por estar no meio da cadeia da produção do ácido tereftálico, e, sendo assim, uma *commodity*, visto que é uma molécula sem diferenciação.

Por fim, em relação às aplicações tradicionais de butanol, substituindo a molécula petroquímica, o bioproduto atua diretamente como *drop-in*, sendo exatamente a mesma molécula e com as mesmas propriedades, tendo apenas uma origem diferente. Em tais aplicações (solventes, plastificantes, cosméticos, entre outras), o bioproduto poderia ser uma especialidade (sendo um produto vendido por usos de desempenho e não pela molécula, como exemplo de solventes ou cosméticos) ou uma *commoditty*, dependendo da aplicação específica, podendo ser

um componente de diversos produtos finais, sem transformação química, ou vendido como intermediário, dependendo do caso.

Percebe-se que a questão da “dropinidade” do bioproduto, assim como suas características de uso (final ou intermediário, especialidade ou *commodity*), dependem de cada aplicação específica, possuindo diversas possibilidades de classificação. É, então, interessante para a análise, entender os posicionamentos de cada ator do segmento e suas atividades, de forma a entender a evolução do bioproduto no mercado e as dificuldades e posicionamentos dos tomadores de decisão, cujos dilemas apresentam interferência direta.

Verificando as ações dos principais atores do segmento, percebe-se que os três maiores integrantes do mercado vêm focando em aplicações distintas.

A Butamax tem foco em combustíveis automotivos, com parcerias principalmente para as instalações de produção do biocombustível. Dessa forma, a empresa tem focado em um mercado de um produto *commodity*, final, sendo uma molécula diferente, porém que se encaixa nos ativos complementares e infraestrutura de distribuição e uso já existentes. Sendo as instalações de produção alguns dos principais investimentos, as parcerias realizadas pela empresa vão ao encontro do desenvolvimento da mesma, desenvolvendo essa questão infraestrutural.

A Gevo tem um enfoque em combustível para aviação, além de produzir algumas especialidades químicas. A empresa tem parcerias com empresas de engenharia para as reformas de suas usinas (ICM), com empresas do agronegócio para desenvolver tecnologias aplicáveis (Cargill), parcerias para criar o bioPX (Coca-Cola) e parcerias de fornecimento do isobutanol para diversas aplicações (combustível ATJ com a Lufthansa, gasolina com a Total, combustível de aviação com a United Airlines, borracha butílica com a química Lanxess e p-xileno com a Toray). Assim, a empresa foca em um produto *commodity*, intermediário, de molécula diferente da existente no mercado, porém que se encaixa nos ativos complementares existentes, em relação ao combustível de aviação. Entretanto, também tem parcerias para desenvolver outras aplicações que requerem outros tipos de investimentos, como para o caso do p-xileno, que, apesar de também se comportar como uma *commodity* intermediária, seria um produto completamente *drop-in* e teria um mercado completamente diferente.

A GBL, por sua vez, foca no uso de seu biobutanol em mercados já existentes para a molécula petroquímica, como tintas, revestimentos, adesivos e cosméticos. Suas parcerias buscam, principalmente, novos clientes para fornecimento nos mercados pretendidos pela empresa. A GBL, então, tem focado em um mercado diferente das outras, já estabelecido, no qual terá que competir com o produto de origem petroquímica. É um mercado que pode ter especialidades químicas (já que são mercados de função, não sendo uma *commodity* perfeita, admitindo algum grau de diferenciação já que o butanol poderia competir nessas aplicações com outras moléculas) ou *commoditties*, dependendo especificamente da aplicação, podendo constituir diversos produtos finais ou intermediários, com uma molécula já existente e com mercado estabelecido.

Percebe-se que cada ator tem apresentado enfoques diferentes no mercado. Isso os faz encarar diferentes dilemas e investimentos. Assim, o mercado do biobutanol tem se desenvolvido em todas as suas aplicações de acordo com o posicionamento de cada ator. Considerando as escolhas de cada empresa, cada uma se posiciona em classificações diferentes para seus produtos, enfrentando desafios distintos, de acordo com o mercado escolhido.

O Quadro 14 fornece o resumo das principais aplicações do biobutanol, relacionando-as com os dilemas mencionados. No quadro, foram ainda incluídos os critérios de grau de novidade e o peso sobre a demanda futura. O grau de novidade está diretamente ligado à existência ou não daquele produto ou aplicação nos mercados atuais, sendo alto caso seja um produto/aplicação novo e baixo se for um já existente no mercado. O peso sobre a demanda futura se relaciona com o tamanho potencial dos mercados atingidos, atribuído de forma qualitativa, de acordo com o que foi visto nos estudos de caso: alto se aquele produto for essencial ou suficiente para o estabelecimento do bioproduto no mercado ou baixo se for uma aplicação que, sozinha, não seria suficiente para alavancar o bioproduto.

Quadro 14 - Resumo das classificações das aplicações do BioButanol.

Uso do Biobutanol	Aplicações	Molécula e Ativos Complementares	Diferenciação	Posição na Cadeia Produtiva	Grau de Novidade	Peso sobre Demanda Futura
Concorrência com Etanol e Gasolina	Combustível automotivo	Não *Drop-in* em molécula; *Drop-in* em Ativos Complementares	*Commodity*	Final	Alto	Alto
Concorrência com Etanol, Diesel e Gasolina	Combustível de aviação	Não *Drop-in* em molécula; *Drop-in* em Ativos Complementares	*Commodity*	Intermediário	Alto	Alto
Transformação em P-Xileno	Ácido Tereftálico	*Drop-in* (em molécula e ativos complementares)	*Commodity*	Intermediário	Alto	Alto
Substituição do Butanol Petroquímico	Solventes, plastificantes, cosméticos, etc	*Drop-in* (em molécula e ativos complementares)	*Commodity* ou Especialidade	Final ou Intermedíario	Baixo	Baixo

Relacionando os desafios de cada aplicação com as principais preocupações descritas pelas empresas relacionadas, é criado o Quadro 15, que caracteriza os principais tipos de produtos (de acordo com os dilemas analisados) para as empresas de biobutanol, de acordo com seus posicionamentos no mercado.

Quadro 15 - Focos de produção e características de produto das empresas de Biobutanol.

Empresa	Foco	Características de Produto
Butamax	Combustíveis para veículos	Molécula não d*rop-in*; *Drop-in* em ativos complementares; Final; *Commodity.*
Gevo	Combustíveis de Aviação	Molécula não *drop-in*; *Drop-in* em ativos complementares; Intermediário; *Commodity.*
GBL	Derivados químicos	Produto totalmente d*rop-in* (em molécula e ativos complementares)*;* Final ou Intermediário; Especialidade ou *Commoditty.*

5.1.2. Bio-ácido Succínico

O bio-ácido succínico pode ser usado na substituição do ácido succínico petroquímico ou na substituição direta do anidrido maleico, do ácido adípico e do anidrido ftálico.

As propriedades físicas do bio-ácido succínico (densidade, viscosidade, volume molar e tensão superficial) são idênticas às do ácido succínico petroquímico,

sendo exatamente a mesma molécula. O bioproduto pode ser considerado um *drop-in* quando usado nas aplicações tradicionais do ácido succínico petroquímico. Neste caso não se faz necessário investimento adicional em novos equipamentos, o bioproduto também seria um *drop-in* em termos de ativos complementares. As principais proposições de valor oferecidas pelo ácido succínico de base biológica são, portanto, a competitividade de preços, menor impacto ambiental e facilidade de produção. Nestas aplicações o bio-ácido succínico pode ser uma especialidade ou uma *commodity*, dependendo da aplicação específica, podendo ser um produto final ou intermediário também com a mesma condição, sendo um componente necessário para solventes, lubrificantes, fármacos, entre outras aplicações, podendo ou não sofrer transformações químicas.

Na substituição do anidrido maleico, o bioproduto já começaria sendo não *drop-in*, visto que é uma molécula diferente. Além disso, como os investimentos necessários para que plantas de BDO sejam adaptadas e possam consumir o ácido succínico em vez de anidrido maleico podem ser consideráveis (sendo talvez até mais viável a construção de uma nova planta), o bioproduto seria também um não *drop-in* em termos de ativos complementares. Nas aplicações desta área, o produto seria uma *commodity* intermediária, sendo uma molécula sem diferenciação e que ainda sofrerá transformações químicas, sendo necessário no processo de produção das resinas e plastificantes.

Na substituição do ácido adípico, novamente, sendo uma molécula diferente, o bioproduto seria não *drop-in*. Porém, o bio-ácido succínico teria as mesmas propriedades químicas do ácido adípico e pode, muitas vezes, ser usado sem alterações no processo de fabricação, o tornando um produto *drop-in* em relação aos ativos complementares. Para esta produção de poliuretanos e plastificantes, o bioproduto se comportaria como uma *commodity* intermediária nesta aplicação, sem diferenciação e ainda necessitando de transformações químicas.

Por fim, substituindo o anidrido ftálico, o bio-ácido succínico seria um produto não *drop-in*, tanto em termos da molécula quanto em termos dos ativos complementares. Assim, para a produção de resinas alquídicas e plastificantes, o bioproduto seria uma *commodity* química intermediária que necessitaria de investimento na adaptação da produção.

O produto de base renovável parece ter condições de desempenho e custo para construir uma plataforma de aplicações e atingir um mercado muito maior que o atingido pelo petroquímico. Porém, novamente, suas características de uso no mercado dependem de cada aplicação específica, levando a diversas possibilidades de classificação. Por isso, é interessante entender os posicionamentos de cada ator do segmento e suas atividades, ou seja, como se comportam frente aos dilemas enfrentados.

A Succinity tem focado na produção do próprio bio-ácido succínico, na produção de BDO e PBS. Assim, ela foca no mercado já existente para o ácido petroquímico e na substituição do anidrido maleico. Seus principais desafios estão divididos entre o avanço de mercado da molécula de base renovável em relação à petroquímica, em um mercado estruturado (visto que já existe um produto funcionalmente idêntico sendo vendido), e a criação de um novo mercado para o bioproduto, atingindo uma nova gama de clientes e necessitando de investimentos diferentes.

A Reverdia vinha focando no bio-ácido succínico, BDO, resinas de poliuretano, PBS e plastificantes. Ou seja, dava atenção tanto às aplicações tradicionais do produto quanto à substituição do anidrido maleico e do ácido adípico. Suas parcerias têm apresentado justamente o objetivo de desenvolvimento do seu mercado em todas essas direções, como o desenvolvimento de compostos usando bio-PBS com a Wageningen UR, tintas lançadas pela Mäder com base no Biosuccinium® da Reverdia, acordo com a Dezhou Xinhuarun Technology para desenvolver espumas de poliuretano microcelular à base de Biosuccinium®, parceria com a Hangzhou Xinfu Science & Technology Co., Ltd. (Xinfu) para a adoção do Biosuccinium® em polímeros e copolímeros de base biológica para o setor de embalagens, entre outras. Assim, a Reverdia (ou, agora, a Roquette) também tem os desafios de desbancar o produto petroquímico estabelecido, além de desenvolver os novos mercados, que têm outro foco de mercado e podem requerer mudanças na infraestrutura. Neste sentido, contou com diversas parcerias que ajudam, principalmente no desenvolvimento de novos produtos que utilizem o bio-ácido succínico.

A BioAmber tinha foco na produção de bio-ácido succínico, BDO, poliuretanos e poliésteres, e planejamento para o PBS. A empresa utilizou parcerias para

alavancar seu *know-how* tecnológico e construir a cadeia de valor do bio-ácido succínico, por exemplo, tornando-se um licenciado dos catalisadores DuPont para a conversão de ácido succínico em BDO e THF, e se tornando um fornecedor do bioproduto para a produção de PBS em parceria com a Mitsubishi Chemicals, buscando a criação de uma cadeia de suprimentos totalmente integrada para o PBS na indústria automotiva. Embora a BioAmber não tenha se estabelecido como produtora de PBS, a empresa planejava comprar PBS e fazer compósitos de PBS/PLA modificados, visando inicialmente as aplicações em embalagens para alimentos (por meio de uma *joint-venture* com a NatureWorks). Além disso, tinha várias parcerias de fornecimento de seu bio ácido succínico: à Basic Solutions para produção de descongelantes, à Sinoven Biopolymers Inc. para a produção de PBS, à Oleon para a produção de lubrificantes, à Bayer MaterialScience para a produção de poliuretanos. Tinha ainda parcerias para construções das usinas, fornecedores de insumos e distribuição dos produtos, parceria com a LANXESS para desenvolver plastificantes à base de bio-ácido succínico livres de ftalatos e com a Ecoat sobre a substituição parcial de anidrido ftálico pelo bio-ácido succínico em resinas alquídicas de pentaeritritol. Assim como as outras mencionadas, tinha diferentes mercados a desenvolver e buscado parcerias que a ajudassem nesta estratégia.

A Myriant apresenta uma estratégia de desenvolvimento focada principalmente no bio-ácido succínico e no BDO. Destaque também é dado para o uso do bio-ácido succínico na substituição do anidrido ftálico e do anidrido maleico. Apresenta parcerias com empresas de engenharia para construção das plantas (como a Uhde Corporation of America) e de compradores de seu produto, para produção de BDO, PBS, plastificantes, etc. Da mesma forma que suas concorrentes, demonstra interesse não só no mercado tradicional, como também nos novos mercados, que necessitarão de um desenvolvimento de uma cadeia de valor diferentes e novos investimentos em infraestrutura e ativos complementares.

O Quadro 16 fornece o resumo das principais aplicações do bio-ácido succínico, relacionando-as com os dilemas mencionados. Assim como feito para o biobutanol, no quadro, foram ainda incluídos o de grau de novidade e o peso sobre a demanda futura, seguindo os mesmos critérios da análise anterior.

Quadro 16 - Classificação das aplicações do bio-ácido succínico quanto aos dilemas.

Uso do Bio-Ácido Succínico	Aplicações	Molécula e Ativos Complementares	Diferenciação	Posição na Cadeia Produtiva	Grau de Novidade	Peso sobre Demanda Futura
Substituição do Anidrido Maleico	BDO, PBS	Não *Drop-in*	*Commodity*	Intermediário	Alto	Alto
Substituição do Ácido Adípico	Poliuretanos, plastificantes	Não *drop-in* em molécula; *Drop-in* em ativos complementares	*Commodity*	Intermediário	Alto	Baixo
Substituição do Anidrido Ftálico	Resinas Alquídicas, plastificantes	Não *Drop-in*	*Commodity*	Intermediário	Alto	Baixo
Substituição do Ácido Succínico Petroquímico	Descongelantes, solventes e lubrificantes, fármacos, alimentos e cosméticos	*Drop-in* (em molécula e ativos complementares)	Especialidade ou *Commodity*	Final ou Intermediário	Baixo	Baixo

Relacionando os desafios de cada aplicação com as principais preocupações descritas pelas empresas relacionadas, é criado o Quadro 17, que caracteriza os principais tipos de produtos (de acordo com os dilemas analisados) para as empresas de bio-ácido succínico, de acordo com seus posicionamentos no mercado.

Quadro 17 - Focos de produção e características de produto das empresas de Bio-Ácido Succínico.

Empresa	Focos	Características de Produto
Succinity	1) Produção do próprio bio-AS 2) Produção de BDO e derivados e PBS.	1) Produto *drop-in* (molécula e ativos complementares); Final ou intermediário; *Commodity* 2) Produto não *drop-in*; Intermediário; *Commodity*
Reverdia	1) Produção do próprio bio-AS 2) Produção de BDO, PBS 3) Produção de resinas de poliuretano	1) Produto *drop-in* (molécula e ativos complementares); Final ou intermediário; *Commodity* 2) Produto não *drop-in*; Intermediário; *Commodity* 3) Molécula não *drop-in*; *Drop-in* em ativos complementares; Intermediário; *Commodity*
BioAmber	1) Produção de bio-AS 2) Produção de BDO e planejamento para PBS 3) Substituição do ácido adípico (poliuretanos)	1) Produto *drop-in* (molécula e ativos complementares); Final ou intermediário; *Commodity* 2) Produto não *drop-in*; Intermediário; *Commodity* 3) Molécula não *drop-in*; *Drop-in* em ativos complementares; Intermediário; *Commodity*
Myriant	1) Produção de bio-AS 2) Substituição do anidrido ftálico (plastificantes, resinas) 3) Substituição do anidrido maleico (para BDO e PBS)	1) Produto *drop-in* (molécula e ativos complementares); Final ou intermediário; *Commodity* 2) Produto não *drop-in*; Intermediário; *Commodity* 3) Produto não *drop-in*; Intermediário; *Commodity*

Fonte: Elaboração Própria.

5.1.3. PEF

O PEF é basicamente um substituto do PET, seja em garrafas, filmes ou fibras. Sendo um produto novo, de estrutura química diferente da do PET, poder-se-ia considerá-lo inicialmente um produto não *drop-in*. Porém, o processo de produção se mostra adequado aos ativos existentes de produção do PET, de acordo com os produtores, atuando, então, como um *drop-in* em relação aos ativos complementares relacionados à produção do polímero. As estruturas químicas do FDCA e do PTA são suficientemente similares, de acordo com os produtores e desenvolvedores, para permitir que o FDCA seja usado em combinação com o MEG em plantas de polimerização já existentes para o PET, tornando o FDCA um intermediário *drop-in* na infraestrutura de produção. De maneira semelhante, o PEF também pode ser usado em instalações de conversão *downstream*, afirmando sua característica *drop-in* em relação aos ativos complementares e infraestrutura existentes. Assim, o PEF pode ser considerado um produto final, já que é utilizado diretamente nas garrafas, filme ou fibras, a princípio não sofrendo mais transformação química, podendo ainda ser uma *commodity* ou uma especialidade, dependendo especificamente da aplicação escolhida e, apesar de uma molécula diferente, poderia ser um *drop-in* em termos de ativos complementares, podendo ainda ser reciclado e incorporado nas correntes de reciclagem de PET, como mencionado anteriormente, sendo importante para a economia circular, ao reduzir o uso de recursos e apoiar a reutilização.

Como mostrado no caso, as parcerias da Avantium/Synvina, em geral, estão voltadas para o desenvolvimento deste mercado, de forma a viabilizar o PEF, como, por exemplo, com a ALPLA Werke Alwin Lehner, a Coca-Cola e a Danone. A ALPLA irá desenvolver frascos de PEF para aplicações como cosméticos, detergentes, aplicações alimentares, além de buscar o desenvolvimento de garrafas PEF. Juntamente com a Toyobo, a Synvina pretende impulsionar a polimerização de PEF e desenvolverá filmes de PEF para embalagens de alimentos, em aplicações eletrônicas, como displays ou painéis solares, embalagens industriais e médicas. Com a Mitsui, a Synvina trabalhará no desenvolvimento de filmes finos de PEF e garrafas PEF no Japão. Além disso, a Synvina pretende continuar as parcerias de desenvolvimento com a The Coca-Cola Company, a Danone, a ALPLA e outras empresas na Plataforma de Desenvolvimento Conjunto para garrafas PEF. Assim,

com a necessidade de viabilizar o PEF e criar a estrutura necessária para desbancar o PET no mercado, a Synvina busca parcerias que se comprometam com esse desenvolvimento, principalmente em termos do custo da produção.

Assim, o bioproduto tem basicamente uma grande aplicação que é a substituição do PET. Dessa forma, a Avantium/Synvina tem enfrentado desafios mais claros, buscando desenvolver o mercado de uma molécula diferente, mas que ataca um mercado já estruturado, podendo se beneficiar dos ativos complementares já existentes e focando num produto final, que atuará como uma especialidade ou uma *commodity* (dependendo da aplicação específica), de uma forma geral.

O Quadro 18 resume as aplicações do PEF nas categorias dos dilemas apresentados. Assim como feito para os casos anteriores, no quadro, foram ainda incluídos o de grau de novidade e o peso sobre a demanda futura, seguindo os mesmos critérios das análises anteriores.

Quadro 18 - Classificação das aplicações do PEF quanto aos dilemas.

Uso do PEF	Aplicações	Molécula e Ativos Complementares	Diferenciação	Posição na Cadeia Produtiva	Grau de Novidade	Peso sobre Demanda Futura
Substituição do PET	Garrafas, fibras e filmes	Não *drop-in* em molécula; *Drop-in* em Ativos Complementares	Especialidade ou *Commodity*	Final	Alto	Alto

Relacionando os desafios de cada aplicação com as principais preocupações descritas pela empresa, é criado o Quadro 19, que caracteriza os principais tipos de produtos (de acordo com os dilemas analisados) para a Avantium, de acordo com seu posicionamento no mercado.

Quadro 19 - Focos de produção e características de produto das empresas de PEF.

Empresa	Foco	Características de Produto
Avantium	Substituir o PET, em garrafas, filmes e fibras.	Molécula não *drop-in*; *Drop-in* em ativos complementares; Final; Especialidade ou *Commodity.*

5.1.4. Análise global dos dilemas

O biobutanol, o bio-ácido succínico e o PEF são três produtos diferentes, de mercados distintos e com estágios de desenvolvimentos diferentes. A análise dos três casos permite um interessante estudo sobre os dilemas enfrentados na inserção dos bioprodutos nos mercados.

Pelos contextos analisados, as aplicações escolhidas de cada produto interferem diretamente nas tomadas de decisões. Assim, dada a escolha do ator em relação aos mercados e aplicações pretendidas, há a missão de definir seu mercado, que é caracterizado pela abrangência dos dilemas citados.

O primeiro dilema que as aplicações dos bioprodutos encontram é a questão da "dropinidade". De acordo com a análise dos casos, percebe-se que este é um conceito de fundamental importância na análise dos Bioprodutos, sendo relacionado ao quanto eles se adaptam aos sistemas de produção, distribuição e reutilização já existentes nos respectivos mercados. Percebe-se que a questão não se trata apenas de a molécula ser ou não *drop-in*, pois o tema influencia muito além de apenas ser ou não a mesma molécula. Um bioproduto caracterizado por ser exatamente a mesma molécula de um produto já existente pode ter a facilidade de atingir um mercado já desenvolvido, tendo que competir basicamente em termos de custo e performance para tomar o mercado, tendo apenas a sua produção feita de forma distinta. As adaptações se concentram nas etapas upstream, do acesso à matéria-prima até a produção do bioproduto. Este é, por exemplo, o caso do bio-ácido succínico quando substitui o ácido succínico petroquímico, ou o biobutanol quando substitui o butanol petroquímico, em suas aplicações tradicionais. Porém, este fato só é verdadeiro para esta gama específica de aplicações, pois um bioproduto também pode apresentar outras aplicações (talvez até mais promissoras) cujo mercado atingido seria a substituição de moléculas diferentes, o que exigiria o desenvolvimento de novos mercados para o produto, o que traz desafios diferenciados para a difusão do bioproduto.

Neste ponto, é interessante perceber até que ponto a molécula diferente demandará novos investimentos. Assim, além da definição da molécula, amplia-se a discussão de "dropinidade" para os ativos complementares já existentes e o que poderiam ser aproveitados pelo bioproduto. O biobutanol como combustível, o bio-

ácido succínico em substituição do ácido adípico e o PEF são bons exemplos de "*drop-in* em ativos complementares" nesta questão, pois são moléculas diferentes das utilizadas normalmente, mas que se beneficiariam de todo o processo, distribuição e mercado já existentes, pois possuem características semelhantes a ponto de exigirem poucas mudanças nestes sistemas, inclusive em relação ao processo de reciclagem do mesmo.

Percebe-se, então, que este primeiro dilema não é simplesmente uma questão de ser ou não ser totalmente *drop-in* ou não *drop-in* para um determinado bioproduto, mas uma classificação muito mais ampla, que depende da aplicação desejada (e, assim, dependente do posicionamento do ator), do tipo de molécula e suas características, e da sua adequação aos processos e mercados já atuantes.

Além desse dilema, ao escolher seu posicionamento, as empresas se deparam com outras dificuldades nesta definição de modelo de negócio. O modelo de negócio é a forma pela qual a empresa cria valor para seus principais públicos de interesse e as decisões, em termos de mercados e aplicações, afetam a forma como a empresa se estrutura para propor valor e capturar valor. Dessa forma, suas definições de mercados em termos de foco em produtos/aplicações com características específicas influenciam diretamente na criação de valor da empresa e seu posicionamento de mercado.

Assim, o que poderia ser chamado de segundo dilema seria a questão de um bioproduto ser um produto final ou intermediário em uma cadeia. Esta classificação também está diretamente ligada às aplicações definidas como foco do inovador, pois um mesmo bioproduto pode ser vendido diretamente ao mercado, sem mais transformações químicas, ou como um intermediário para a obtenção de outros produtos derivados. Este posicionamento depende muito da definição da posição na cadeia produtiva em que o ator decide se encaixar, o que está intimamente ligado à integração vertical que o ator pretende fazer ou não na cadeia produtiva. Como exemplo, pode-se citar o bio-ácido succínico, que pode ser utilizado diretamente na formulação de solventes, por exemplo, como produto final, ou ser transformado em outros compostos, como o BDO, sendo apenas um intermediário. Em meio a toda essa complexidade, o ator pode ainda definir ser um vendedor de produtos finais, de intermediários a outras empresas ou um ator integrado que produz desde o intermediário até os produtos finais. Essas decisões afetam diretamente o modelo de

negócios das empresas, pois serão diferentes produtos para mercados consumidores distintos, necessitando de uma proposição e entrega de valor completamente diferentes de acordo com o mercado em foco, já que cada mercado terá características e necessidades distintas.

Com isso, os produtores da molécula têm a necessidade de definir claramente suas prioridades e, assim, desenvolver seus modelos de negócio. O desenvolvimento de um produto final requer um processo mais direcionado a transformações não químicas, que, dependendo do caso, pode atingir vários mercados, precisando normalmente estar mais perto das necessidades do mercado. Investir em um produto intermediário já requer um direcionamento diferente, com um mercado normalmente composto por outras empresas, já que necessariamente ainda passará por transformações químicas, diferentemente de um produto final, que dependendo do caso, podem até passar por modificações (não químicas), mas terão um mercado mais específico, mais próximo dos utilizadores finais, necessitando de focos diferentes. Por fim, ainda pode-se investir em um intermediário e buscar uma integração vertical ou parcerias para controlar toda a cadeia produtiva, tornando o mercado atingido e a complexidade do negócio mais desafiadores. Percebe-se, então, que o dilema também não é uma simples decisão de “sim” ou “não”, podendo haver diversas possibilidades, desde um intermediário até um produto final, ou ainda os dois, produzindo e comercializando um bioproduto intermediário, além de produtos finais derivados do mesmo.

Ao tratar de bioprodutos que podem ser utilizados como intermediários para uma ampla gama de derivados, a complexidade pode ser maior e pode ser necessário o desenvolvimento de novos mercados de utilização dentro de uma indústria. Diversos promissores blocos de construção somente serão difundidos se for possível desenvolver suas respectivas árvores de aplicações. Neste caso, *os players* dependem ainda mais da organização e governança dos processos de inovação, que envolveriam outros atores, com interesses e competências diversas, incluindo outras empresas químicas, complementadores (produtores de máquinas, aditivos, transformadores, entre outros) e os utilizadores finais (*end users*). Assim, os atores se deparam com decisões entre o grau de abertura *versus* a apropriação de valor (como explicado na revisão bibliográfica), além da busca pela garantia de demanda para atingir as economias de escopo e escala. Esta é uma questão

pertinente, por exemplo, em relação ao bio-ácido succínico, que apresenta a possibilidade de ser visto como um químico plataforma, apresentando a possibilidade de ser intermediário em diversas rotas de produção de diferentes substâncias. Este conceito, como discutido anteriormente, trata de produtos a partir dos quais seriam derivados diversos produtos finais, construindo uma árvore de aplicações para diferentes mercados finais. Assim, enfrentam dilemas como o grau de abertura *versus* a apropriação de valor, inovação/colaboração *versus* competição, e o desenvolvimento do mercado, beneficiamento com economia de escala e escopo e a atração dos colaboradores. Este assunto apresenta uma discussão bastante ampla, que necessitaria de uma análise mais aprofundada sobre cada critério que define um químico plataforma, que não é o escopo da análise para o bio ácido succínico neste trabalho.

Por fim, um terceiro dilema na implantação de novos bioprodutos no mercado diz respeito à condição do produto ser uma *commodity* ou uma especialidade. Da mesma forma, as aplicações definidas como foco de produção é que definirão como o bioproduto se comportará, pois, como visto, diferentes aplicações de um mesmo bioproduto podem ser consideradas *commodities* ou especialidades. Um exemplo visto é o bio-ácido succínico, que pode ser uma tanto uma *commodity* quanto uma especialidade, neste caso quando usado como substituto do ácido succínico petroquímico, dependendo da aplicação específica. Essa definição, então, é essencial para guiar os investimentos e esforços das empresas, seja para um produto mais diferenciado e com mais qualidade ou um produto pouco diferenciado, buscando economia de escala. É interessante notar que o caráter de especialidade exige do fornecedor um *know-how* da aplicação. Ou seja, nestes casos, o produtor é “obrigado” a entender tanto da síntese/produção quanto das condições de aplicação. Na verdade, passa até a ser mais importante o conhecimento da aplicação, pois a diferenciação vem daí. No caso de uma *commodity,* por sua vez, o comprador sabe usar o produto e não depende em praticamente nada do fornecedor para esse uso. Neste ponto, há uma consequência fundamental para as competências que a empresa deve mobilizar (seja na produção em escala para minimizar o custo, seja no foco na diferenciação do produto, entre outras), já que cada classificação de produto/aplicação fará grande diferença.

Vale ressaltar, então, como as decisões tomadas pelos atores envolvem esses três grandes dilemas, de forma integrada. Ao definir o investimento em um bioproduto e as aplicações nas quais se deseja priorizar, as empresas descrevem o perfil do mercado traçado e estabelecem desafios que precisam enfrentar, de acordo com a resposta desses dilemas, que, como visto, não são apenas classificações bipolarizadas, mas características que podem estar mais presentes ou menos presentes dentro do estudo daquele bioproduto.

Ao analisar o *background* tecnológico, a estratégia de valor e a dinâmica dos relacionamentos externos dos projetos, percebe-se que são diversos os recursos e competências de que cada empresa dispõe e aquelas que precisa acessar para viabilizar as estratégias que parecem utilizar para lidar com os dilemas do desenvolvimento de cada bioproduto, como mencionado nos tópicos anteriores. Assim, cada ator tem repercussões oriundas de suas escolhas de ações e parcerias de acordo com o bioproduto e as aplicações definidas. Percebe-se que o conhecimento das respostas para esses dilemas em cada cenário tem uma fundamental importância na criação de um modelo de negócios direcionado ao melhor desenvolvimento do produto escolhido.

Como mencionado por Rogers (1995), uma inovação necessita de vantagens relativas comparativas em relação às soluções existentes, compatibilidade com os valores e crenças existentes, facilidade de compreensão e adaptação, teste para o nível de incerteza da mesma no mercado e visibilidade entre os usuários, para sua difusão no mercado.

Em relação às vantagens comparativas, os bioprodutos já começam apresentando um ponto a favor: sua origem renovável. Porém, isso não é suficiente para o sucesso no mercado, necessitando de outras características que o destaquem em relação ao produto vencedor de mercado. Este fato se relaciona diretamente com o dilema *commodity* x especialidade, fazendo o bioproduto necessitar de um custo competitivo no caso de uma *commodity* ou qualidades superiores que o diferenciem no caso de uma especialidade (interessante notar que o fato de ser renovável pode ser um atributo diferencial para esta classe), exigindo ainda do produtor a capacidade de testar e vender os usos para o potencial cliente, explicando a utilização e as vantagens do produto, além de necessitar de

instalações e competências para testar o produto em alimentos, cosméticos, tintas etc. (ou seja, requer infraestrutura e pessoal qualificado nessas áreas).

Relacionado ainda às qualidades superiores de uma especialidade, pode-se apontar produtos não drop-in como uma oportunidade para o desenvolvimento de novos mercados através da entrega de novas funcionalidades; produtos de base biológica totalmente novos podem, em alguns casos, trazer vantagens de desempenho em relação a produtos existentes no mercado, facilitando sua inserção e representando ainda um aumento de interesse do consumidor em produtos de base biológica (BETO, 2018).

Em relação à compatibilidade com os valores existentes, facilidade de compreensão e adaptação e nível de incerteza, tem-se a importância da questão da "dropinidade" e os desafios que essa característica trará. Um produto *drop-in* em molécula ou em ativos complementares apresenta, em geral, maior compatibilidade, mais fácil compreensão e adaptação no mercado, além da questão da reversibilidade que o Rogers propõe (ligado à ideia de ser uma transição tecnológica reversível), visto que já penetra em um mercado existente e estruturado. Um produto não *drop-in* pode apresentar mais dificuldades neste quesito, mas ao mesmo tempo, pode conseguir criar novos mercados que tragam novas necessidades de consumo e novas qualidades aos consumidores.

Em relação aos testes no mercado e visibilidade do bioproduto pelos consumidores, a característica de ser final ou intermediário está diretamente ligada ao entendimento do mercado-alvo. Um produto intermediário normalmente terá um mercado formado por outras empresas, enquanto um produto final normalmente é direcionado a mercados mais específicos, já que não sofrem mais reações químicas. O entendimento, conhecimento e relacionamento com esse mercado alvo é essencial para a elaboração de estratégias para testar o produto e torná-lo atrativo para seus compradores.

A Figura 22 ilustra as relações comentadas entre as características necessárias para a difusão de uma inovação e os dilemas dos bioprodutos.

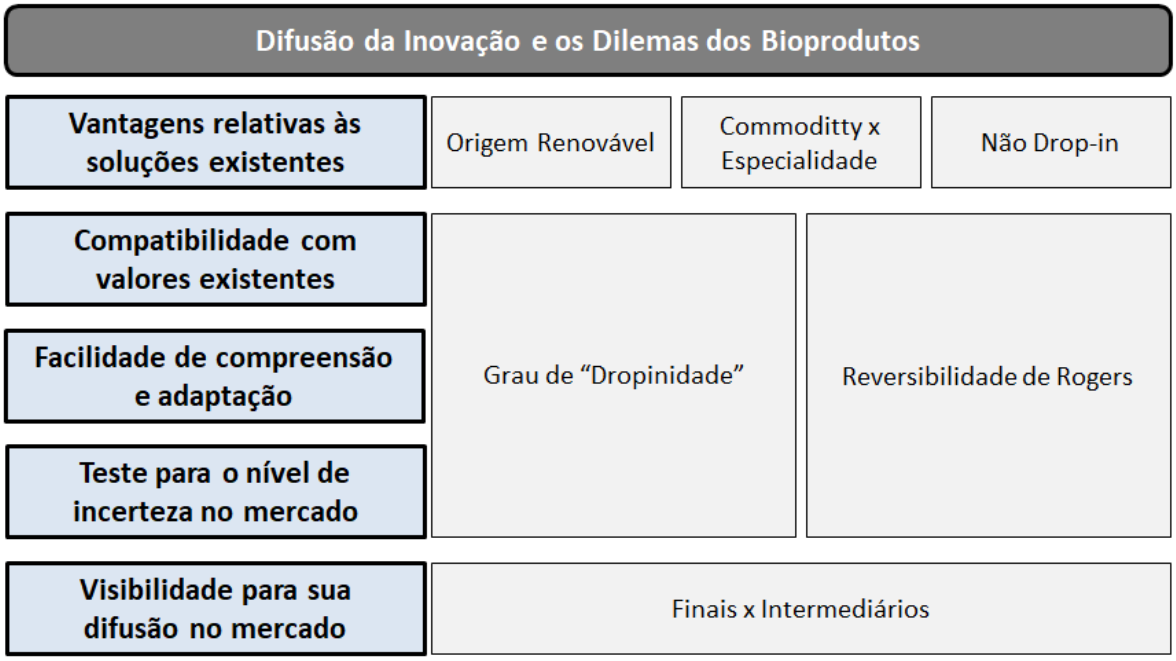

Figura 22 - Relação entre a Difusão de uma inovação e os Dilemas dos Bioprodutos. Fonte: Elaboração Própria.

Assim, como se percebe, uma inovação precisa de certas características para ter sucesso no mercado e questões como a adaptação da mesma na infraestrutura já existente, as qualidades superiores em relação aos concorrentes já existentes, a variedade e importância de suas aplicações e o impacto no mercado, com uma proposição de valor que traga soluções e um custo de mudança que seja válido para o consumidor, são alguns pontos essenciais para o sucesso de um novo produto. E essas questões estão diretamente ligadas aos dilemas enfrentados por empresas na Bioeconomia, que estão diretamente ligados ao posicionamento dos tomadores de decisão. Nesta análise, é necessário discriminar as principais aplicações dos bioprodutos para que as classificações (*drop-in* ou não *drop-in*, intermediários ou finais, *commodities* ou especialidades) sejam feitas e os desafios compreendidos. Ou seja, as escolhas dos tomadores de decisão, não apenas sobre o produto, mas, sobretudo, em relação às aplicações dos mesmos, é que determinam os dilemas e as dificuldades a serem enfrentados na difusão dos bioprodutos.

5.2. Árvore de Decisão

Considerando os dilemas enfrentados pelos tomadores de decisão, como exemplificado no tópico anterior, diversos caminhos podem ser seguidos, com diferentes desafios a serem encarados.

Percebe-se, que toda a construção do caminho, como entendido no tópico anterior, depende da escolha da aplicação daquele bioproduto, que, por sua vez, está diretamente condicionada ao posicionamento do ator no mercado. Com a definição do bioproduto, aplicações e posicionamento, o ator consegue definir seu caminho e buscar soluções para os desafios que se mostram. É interessante ainda notar que uma empresa pode definir mais de uma aplicação como prioridade e isso implicaria caminhos diferentes a serem seguidos, assim como desafios compostos, em diferentes direções.

Com isso, foi criada uma árvore de decisão de forma que os atores que queiram inserir bioprodutos no mercado possam ter uma melhor compreensão sobre as dificuldades que irão encontrar e pensar na melhor estratégia para inseri-los no mercado. A Figura 23 mostra os possíveis caminhos a serem seguidos pelos tomadores de decisão em relação à inserção de bioprodutos no mercado.

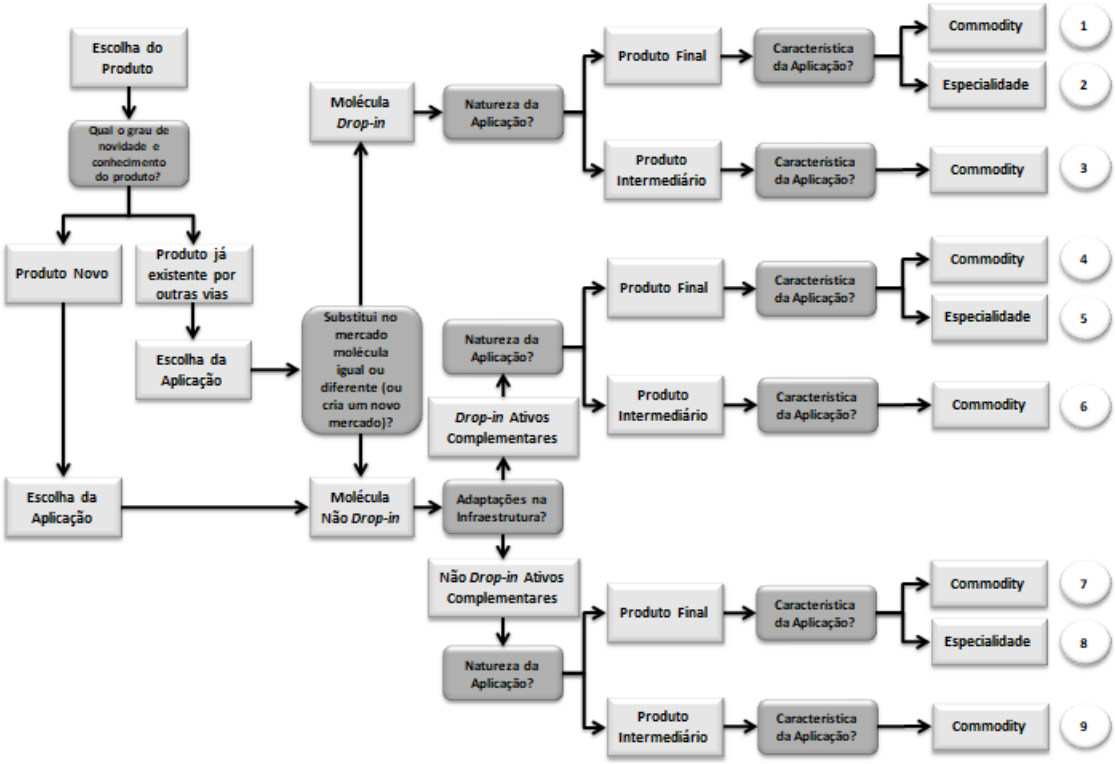

Figura 23 - Árvore de Decisão da Inserção de Bioprodutos no Mercado.

Para utilizar a árvore, primeiramente deve-se escolher o bioproduto com o qual se deseja trabalhar. Tendo escolhido o mesmo, o segundo passo é entender o grau de novidade e conhecimento do produto no mercado; em outras palavras, é o momento de saber se a inovação escolhida é uma inovação de produto (sendo um produto inteiramente novo em termos comerciais) ou de processo (sendo um produto já existente, mas que, comercialmente, é fabricado por outras vias). A partir deste, escolhe-se a aplicação desejada para esse produto no mercado, sendo este o ponto principal para conseguir definir as classificações dos dilemas posteriores. É importante notar que a árvore pode ser percorrida mais de uma vez, dependendo da aplicação desejada, como será explicado a seguir.

Sendo um produto novo, naturalmente a molécula será não *drop-in* e, com essa definição, basta entender se há ativos complementares já existentes no mercado que possam ser utilizados por ela, o grau de adaptação e os investimentos em novos ativos requeridos, para, assim, classificá-la de acordo com isso, com sua natureza (final ou intermediária) e característica (*commodity* ou especialidade). Por outro lado, sendo um produto já existente por outras vias, deve-se entender primeiramente se a aplicação escolhida substitui uma molécula idêntica ou diferente no mercado, para poder classificá-la como *drop-in* ou não *drop-in* em relação à molécula especificamente, e, a partir disso, seguir com as classificações subsequentes da aplicação escolhida.

Um ponto interessante é o caso das aplicações intermediárias. Estas aplicações necessitam que as aplicações finais oriundas das mesmas tenham sucesso para que elas prosperem; da mesma forma, no dilema “ovo-galinha” citado anteriormente, as aplicações finais dependem que o intermediário também apresente avanços em custos e escala. Sendo assim, é interessante analisar tanto os desafios referentes à aplicação mais abrangente (intermediária) quanto de suas possíveis aplicações finais, numa análise em que um é importante para o sucesso do outro. Com isso, sugere-se analisar todo o caminho no fluxograma para o intermediário e verificando os desafios do mesmo, mas também retomar a árvore de decisão escolhendo as aplicações finais que este intermediário originará, de forma a entender os desafios dos produtos finais também, já que o desenvolvimento deles será essencial para o sucesso da aplicação intermediária analisada. Sendo um produto analisado um intermediário, essa nova análise na árvore utilizando produtos

finais é a melhor forma de analisar todos os desafios que a empresa pode enfrentar. São feitos alguns exemplos como demonstrações destes casos no uso da árvore, mas vale ressaltar que ela se aplica a outros bioprodutos, de uma maneira geral, e cada empresa deve utilizá-la de acordo com seus interesses, sendo uma árvore abrangente e podendo servir para diversas aplicações.

Na árvore analisada, foram construídos caminhos diferentes, que levarão a diferentes dificuldades e necessidades de investimento. Esses desafios principais estão diretamente relacionados às características de cada aplicação, ligadas às respostas aos dilemas. De modo a entender melhor cada desafio, a Tabela 3 foi criada para descrever os principais desafios para cada dilema individualmente.

Tabela 3 – Principais desafios relacionados a cada característica de um bioproduto.

Característica do Produto	Desafios relacionados ao longo da Cadeia Produtiva
***Drop-in* (molécula)**	• Investimento concentrado no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima; • Investimento no novo processo de produção, para o aproveitamento da biomassa (busca por matérias primas mais competitivas) e produção do bioproduto.
***Drop-in* em Ativos Complementares**	• Investimento no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima; • Investimento no processo de produção, para o aproveitamento da biomassa e produção do bioproduto.
Não *Drop-in*	• Investimento no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima; • Investimento em novas instalações de produção e distribuição; • Criação e investimento em ativos complementares no *downstream*.
Final	• Busca pela penetração no mercado existente ou criação de um novo mercado, buscando captar os consumidores finais.
Intermediário	• Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras – mercados que terão demanda suficiente para garantir a produção em escala).
Commodity	• Foco em uma produção em escala (Redução de custos).
Especialidade	• Foco na diferenciação do produto e percepção pelo mercado.

Com base nessas descrições, os nove caminhos da árvore de decisão podem oferecer uma ideia dos principais desafios a serem enfrentados, combinando todas as características do produto analisado. Os desafios de cada caminho são descritos na Figura 24.

1 — Produto Final Commodity *Drop-in*

- Investimento concentrado no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento no novo processo de produção, para o aproveitamento da biomassa e produção do bioproduto;
- Penetração no mercado existente ou criação de um novo mercado, buscando captar os consumidores finais;
- Foco numa produção em escala (redução de custos).

2 — Produto Final Especialidade *Drop-in*

- Investimento concentrado no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento no novo processo de produção, para o aproveitamento da biomassa e produção do bioproduto;
- Penetração no mercado existente ou criação de um novo mercado, buscando captar os consumidores finais;
- Foco na diferenciação do produto e percepção pelo mercado.

3 — Produto Intermediário Commodity *Drop-in*

- Investimento concentrado no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento no novo processo de produção, para o aproveitamento da biomassa e produção do bioproduto;
- Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras);
- Foco numa produção em escala (redução de custos).

4 — Produto Final Commodity *Drop-in* em Ativos Complementares

- Investimento no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento no novo processo de produção, para o aproveitamento da biomassa e produção do bioproduto;
- Penetração no mercado existente ou criação de um novo mercado, buscando captar os consumidores finais;
- Foco numa produção em escala (redução de custos).

5 — Produto Final Especialidade *Drop-in* em Ativos Complementares

- Investimento no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento no novo processo de produção, para o aproveitamento da biomassa e produção do bioproduto;
- Penetração no mercado existente ou criação de um novo mercado, buscando captar os consumidores finais;
- Foco na diferenciação do produto e percepção pelo mercado.

6 — Produto Intermediário Commodity *Drop-in* Ativos Complementares

- Investimento no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento no novo processo de produção, para o aproveitamento da biomassa e produção do bioproduto;
- Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras);
- Foco numa produção em escala (redução de custos).

7 — Produto Final Commodity Não *Drop-in*

- Investimento no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento em novas instalações de produção e distribuição;
- Criação e investimento em ativos complementares no *downstream*;
- Penetração no mercado existente ou criação de um novo mercado, buscando captar os consumidores finais;
- Foco numa produção em escala (redução de custos).

8 — Produto Final Especialidade Não *Drop-in*

- Investimento no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento em novas instalações de produção e distribuição;
- Criação e investimento em ativos complementares no *downstream*;
- Busca pela penetração no mercado existente ou criação de um novo, buscando captar os consumidores finais;
- Foco na diferenciação do produto e percepção pelo mercado.

9 — Produto Intermediário Commodity Não *Drop-in*

- Investimento no *upstream*, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima;
- Investimento em novas instalações de produção e distribuição;
- Criação e investimento em ativos complementares no *downstream*;
- Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras);
- Foco numa produção em escala (redução de custos).

Figura 24 - Desafios em cada ramo de decisão na inserção de bioprodutos no mercado.

Os desafios enfrentados estão diretamente ligados às aplicações escolhidas para investimento, o que, por sua vez, depende do posicionamento definido pela empresa. Assim, essa tomada de decisões definirá a necessidade ou não de investimentos em instalações, de desenvolvimento de novos mercados, da construção de parcerias, do foco em diferenciação ou minimização de custos e, de uma maneira geral, definirá as características da empresa no mercado e seus principais pontos de atenção. Dessa forma, a árvore de decisão construída serve como base de preparação de uma empresa para sua própria definição, estruturação e preparação para enfrentar os dilemas e desafios que o mercado irá impor, atravéis da estruturação de seu modelo de negócio.

Os casos analisados neste trabalho podem ser utilizados como exemplos de uso da árvore, como será mostrado nos parágrafos a seguir.

Começando com o biobutanol, o mesmo se encaixa inicialmente como um produto já existente por outras vias (petroquímica, no caso). A partir daí, é necessário escolher a aplicação que se deseja trabalhar. Se a escolha for utilizá-lo como combustível automotivo ou de aviação, o produto pode ser considerado uma molécula não *drop-in* (já que o butanol não é tradicionalmente utilizado nestas aplicações), mas *drop-in* em ativos complementares, já que poderia utilizar a estrutura existente para os outros combustíveis, sem adaptações significativas, como visto no caso. Seguindo a árvore, a aplicação escolhida é um produto final, por não mais sofrer transformação química e se comporta como uma *commodity* no mercado, como visto na análise do tópico anterior. Sendo assim, o biobutanol como combustível seria um produto final, *commodity*, *drop-in* em ativos complementares, se encaixando nos desafios do número 4 da árvore de decisão. Se utilizado, porém, como para transformação em p-xileno, o biobutanol já seguiria um caminho diferente, levando a desafios distintos. Neste caso, o mesmo seria uma molécula *drop-in*, pois substituiria molécula idêntica à usada no mercado, sendo ainda um intermediário químico, se comportando como uma *commodity* (em termos de diferenciação), seguindo o caminho de número 3 na árvore. Se utilizado, porém, como substituto direto do butanol petroquímico, o biobutanol seria uma molécula *drop-in*, pois substituiria moléculas idênticas às usadas no mercado, podendo ser um produto final ou intermediário, e podendo se comportar como uma *commodity* ou uma especialidade, dependendo da aplicação específica. Neste último caso,

portanto, o biobutanol teria ainda outros caminhos, sendo considerado um produto *drop-in*, final (na maioria dos casos) e especialidade, com os desafios dos números 1, 2 ou 3, dependendo da aplicação específica na substituição direta do butanol petroquímico. Essas possíveis trajetórias do biobutanol e suas aplicações são mostradas na Figura 25.

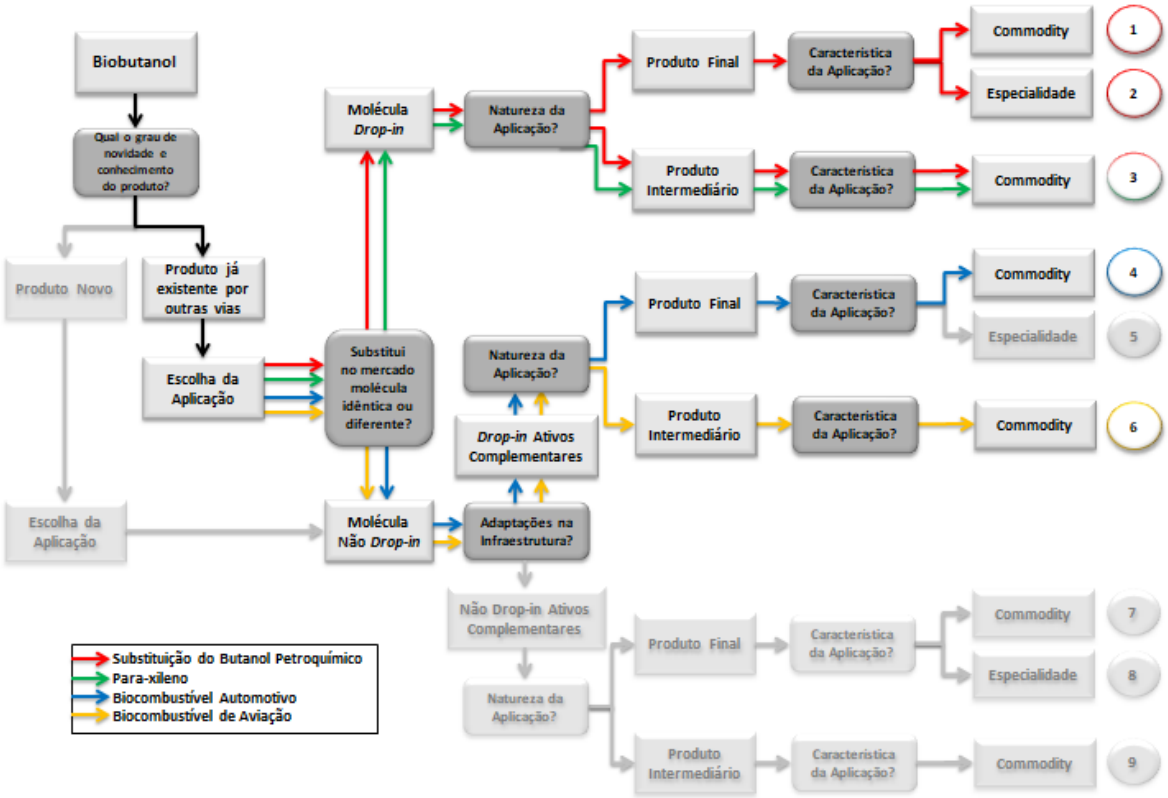

Figura 25 - Caminhos do Biobutanol e suas aplicações na Árvore de Decisão.

Para o caso do para-xileno (caminho 3) e do biocombustível de aviação, que são intermediários, é interessante entrar na árvore mais uma vez, com a aplicação final que se deseja, como o PET ou o *jet fuel*, respectivamente, de forma a entender os desafios não só das aplicações intermediárias, como das aplicações finais, que serão fundamentais para o sucesso das intermediárias. Como exemplo, os caminhos do *jet fuel* e do PET são mostrados na Figura 26.

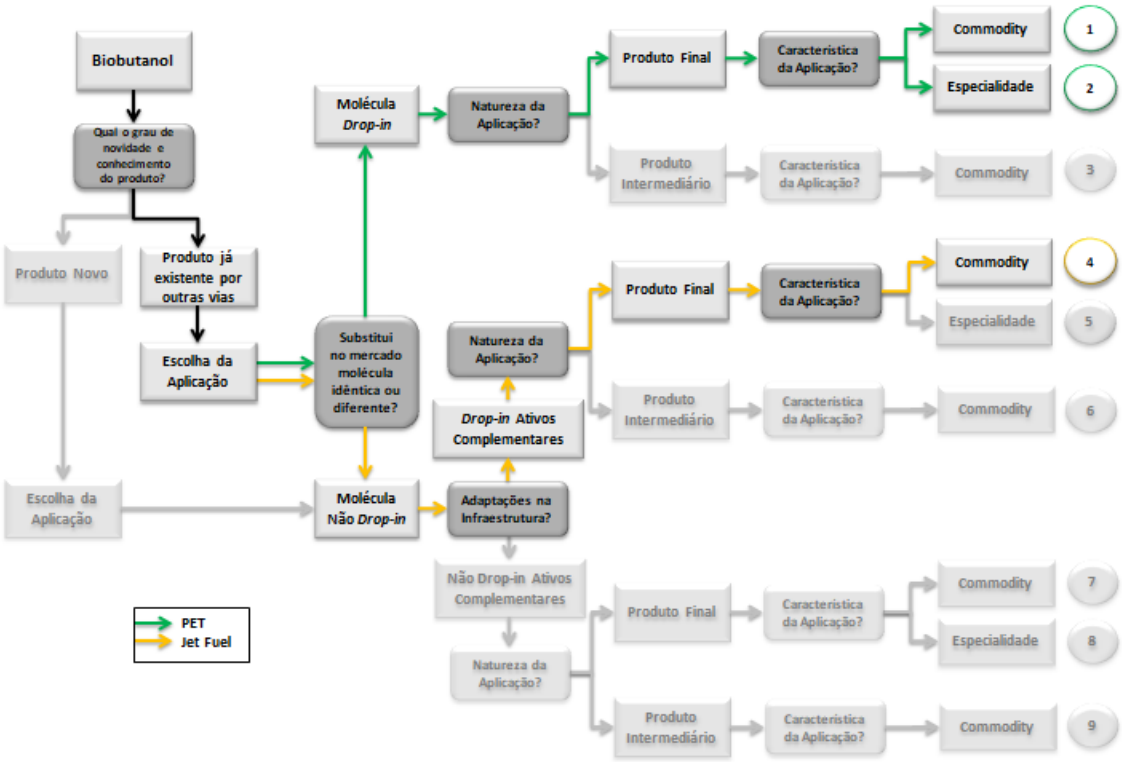

Figura 26 - Caminhos do biobutanol para o PET e para o *Jet Fuel* na Árvore de Decisão.

Assim, pode-se entender que o biobutanol, quando utilizado para criar o p-xileno, teria os desafios caracterizados no número 3, porém, por ser um intermediário, entra-se mais uma vez na árvore para entender o caminho do PET, que seria seu produto final. O PET então, dependendo dos seus usos, poderia ter desafios do caminho 1 ou 2, podendo ser commodity ou especialidade dependendo da aplicação específica, como, por exemplo, uma garrafa de bebidas sem diferenciação ou uma embalagem diferenciada moldada para alguma aplicação específica que necessite de atributos únicos. O biobutanol como combustível de aviação, por sua vez, teria os desafios do número 6, mas, entendendo melhor o *Jet Fuel* (que seria seu produto final), percebe-se que este produto teria desafios ligados ao número 4, o que é importante saber já que ele será fundamental para o sucesso de seu precursor. Nesta questão, a discussão se torna muito interessante em relação às posições tomadas pelos tomadores de decisão, ao enfrentar um dilema entre focar num intermediário ou diretamente no produto final, ou ainda buscar se estruturar para garantir o sucesso de ambos. Esse é o caso da Gevo, que será comentado mais adiante, mas que se vê nesse dilema ao focar no combustível de

aviação, tentando investir na produção do biobutanol (intermediário), mas sem deixar de investir na estrutura que garantirá a venda do mesmo (o produto final bio jet fuel), com parcerias que viabilizem o projeto.

Analisando os casos do biobutanol, é possível perceber como os atores vêm se estruturando para enfrentar os dilemas dos respectivos produtos. A Butamax, por exemplo, que foca na aplicação de combustíveis veiculares (molécula não *drop-in*, *drop-in* em ativos complementares, final e *commodity*), tem feito parcerias principalmente para as instalações de produção do biocombustível, focando na produção de forma que consiga obter o bioproduto a custo competitivo ao consumidor final, já que aproveitará os ativos complementares existentes, mas tem os desafios de ser atrativo como um produto final ao consumidor, como uma *commodity* (focando no custo). A Gevo, por sua vez, focando em combustíveis de aviação (molécula não *drop-in*, *drop-in* em ativos complementares, intermediário e *commodity*), tem parcerias de fornecimento de seu produto com outras empresas (como Lufthansa, Total, United Airlines, Lanxess, Toray), reforçando a necessidade dessas iniciativas para um produto intermediário, além de investir na produção do mesmo, já que necessita de um custo competitivo (*commodity*) e a forma de produzir é diferente do produto petroquímico. E a GBL, com foco em derivados químicos (*drop-in*, final, especialidade), tem parcerias que buscam, principalmente, novos clientes para fornecimento nos mercados em que foca e novas expansões, tendo que competir em um mercado estabelecido com o produto de origem petroquímica, além de buscar mercados especializados e aplicações nas quais o desempenho e valor de sustentabilidade diferenciam seus produtos, em consonância com os desafios de ser um produto final (no caso das aplicações da empresa), especialidade (também especificamente no caso das aplicações da empresa) e *drop-in*.

O Quadro 20 traz as discussões do caso em comparação com os desafios mostrados pela árvore, relacionando as ações dos atores com os desafios encontrados no caso do biobutanol.

Quadro 20 - Resumo dos desafios do biobutanol.

Bioproduto	Aplicação	Características	Desafios da Árvore	Percepção dos dilemas nos casos
Biobutanol	Combustível Automotivo	Não *Drop-in* em molécula; *Drop-in* em Ativos Complementares; Final; *Commodity*	- Investimento no *upstream*; - Investimento no novo processo de produção; - Busca pela penetração no mercado, buscando os consumidores finais. - Foco numa produção em escala.	A Butamax (foco em combustíveis veiculares) tem feito parcerias para as instalações de produção do biocombustível, focando na produção a um custo competitivo ao consumidor final, já que aproveitará os ativos complementares existentes. Tem os desafios de ser atrativo como um produto final ao consumidor, como uma *commodity* (focando no custo).
	Combustível de Aviação	Não *Drop-in* em molécula; *Drop-in* em Ativos Complementares; Intermediário; *Commodity*	- Investimento no upstream; - Investimento no novo processo de produção; - Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras). - Foco numa produção em escala.	A Gevo (foco em combustíveis de aviação) tem parcerias de fornecimento de seu produto, reforçando a necessidade dessas iniciativas para um produto intermediário, além de investir na produção do mesmo, já que necessita de um custo acessível (*commodity*) e a forma de produzir é diferente do produto petroquímico.
	P-Xileno	*Drop-in*; Intermediário; *Commodity*	- Investimento no upstream; - Investimento no novo processo de produção; - Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras). - Foco numa produção em escala.	As principais empresas não tiveram foco nesta aplicação, mas algumas de suas ações nos desafios de outras aplicações serão importantes também para criar a estrutura necessária para alguns desafios encontrados nesta aplicação.
	Substituição do Butanol Petroquímico	*Drop-in*; Final ou Intermediário; *Commodity* ou Especialidade	- Investimento no *upstream*; - Investimento no novo processo de produção; - Busca pela penetração no mercado, buscando captar os consumidores finais ou desenvolvimento de novos mercados, dependendo da aplicação; - Foco na diferenciação do produto e percepção pelo mercado, ou foco no custo, dependendo da aplicação	A GBL (foco em derivados químicos) tem parcerias que buscam novos clientes para fornecimento e novas expansões, tendo que competir num mercado estabelecido com o produto de origem petroquímica. Focando especificamente em produtos finais e especialidades, a empresa deixa claro que busca mercados especializados e aplicações nas quais o desempenho e valor de sustentabilidade diferenciam seus produtos.

O bio-ácido succínico, por sua vez, também inicia a árvore como um produto já existente, tradicionalmente através da rota petroquímica. A partir disso, se a escolha for utilizá-lo para substituir o anidrido maleico ou o anidrido ftálico, o produto seria não *drop-in* (tanto em molécula, por substituir uma molécula diferente, quanto em ativos complementares), intermediário químico e se comportando como uma *commodity* (sendo um produto de alto valor agregado, mas uma molécula sem diferenciação). Dessa forma, nessas aplicações, o bioproduto seguiria o caminho número 9. Se a escolha for, entretanto, a substituição do ácido adípico, o produto seria não *drop-in* em molécula, mas *drop-in* em relação aos ativos complementares, com poucas adaptações, como visto no caso, sendo um intermediário químico e se comportando como uma *commodity* (em relação à diferenciação), seguindo o caminho número 6. Por fim, na substituição direta do próprio ácido succínico petroquímico, o produto seria *drop-in*, utilizado como um produto final ou intermediário, dependendo da aplicação específica, e se comportando como uma *commodity* (em relação à diferenciação), seguindo o caminho de número 1. Essas trajetórias são mostradas na Figura 27.

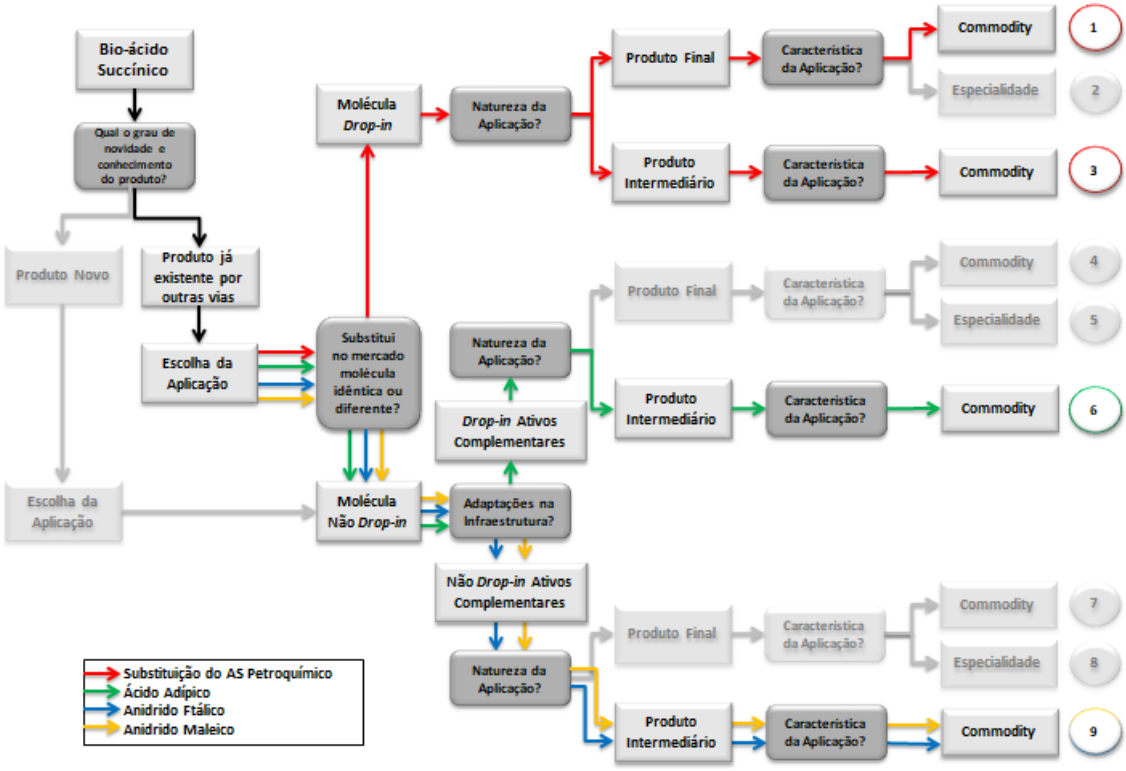

Figura 27 - Caminhos do Bio-Ácido Succínico e suas aplicações na Árvore de Decisão.

Da mesma forma que foi feito para as aplicações intermediárias do biobutanol, se poderia fazer para o anidrido ftálico, para o anidrido maleico, para o ácido adípico e para a substituição do ácido succínico tradicional. Entretanto, as aplicações são as mais variadas e análise de diferentes árvores é praticamente infinita, podendo analisar para diferentes solventes, fármacos, lubrificantes, alimentos, cosméticos, entre outros produtos. Analisando o BDO e o PBS como demonstração, neste caso, após a análise do anidrido maleico (com os desafios de número 9), poder-se-ia entrar na árvore, então, com o BDO. O BDO é um produto já existente por outras vias e, sendo uma molécula idêntica, seria *drop-in*, além de se comportar como um intermediário e uma *commodity*, seguindo o caminho de número 3. Sendo um intermediário químico, ainda se poderia prosseguir na análise, entrando na árvore com o PBS, por exemplo, como produto final. Neste caso, o mesmo seria um produto novo, não *drop-in* em molécula ou ativos complementares, se comportando como final e especialidade (seguindo o caminho 8). Sendo assim, para se produzir o PBS, uma empresa deve se preparar para os desafios do caminho 9 (pelo anidrido maleico), para os do caminho 3 (pelo BDO) e para os desafios do caminho 8 (pelo PBS de fato), tendo bastante complexidade em sua preparação. A Figura 28 apresenta os caminhos dos três compostos analisados.

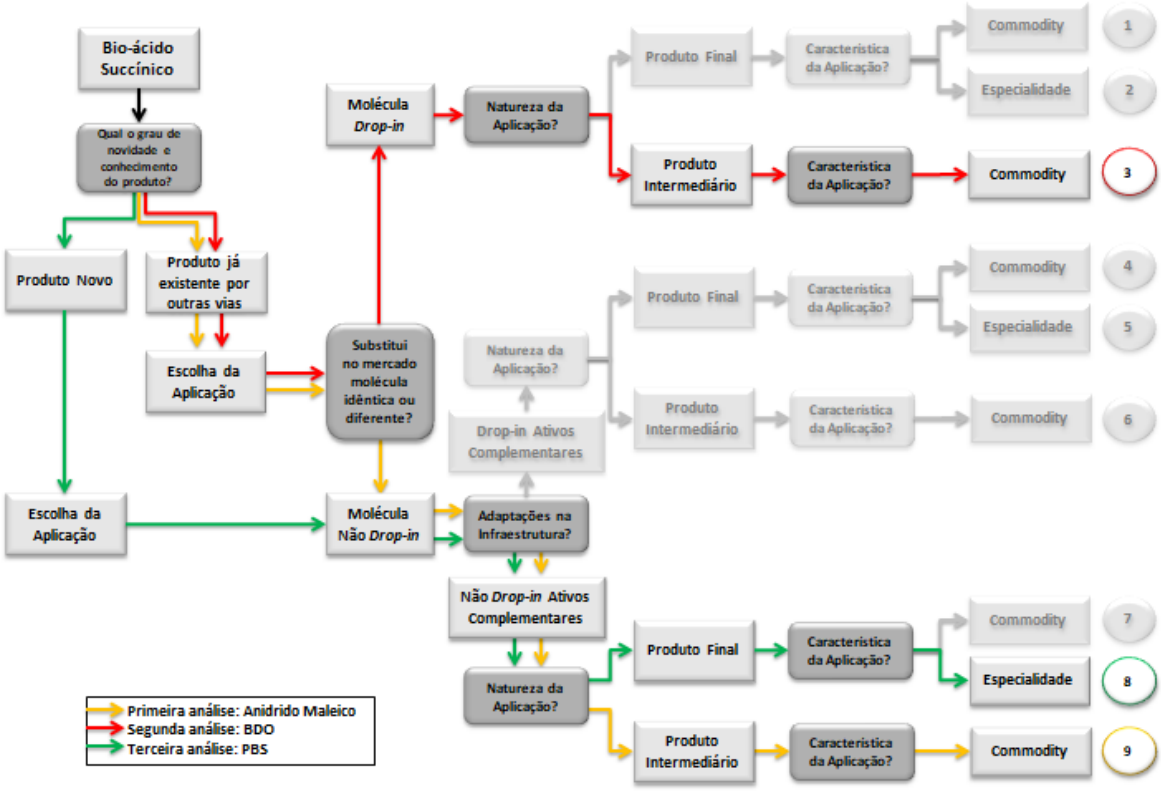

Figura 28 - Caminhos para o Anidrido Maleico, BDO e PBS.

Analisando os casos do bio-ácido succínico, também se pode perceber como os atores vêm se estruturando para enfrentar os dilemas dos respectivos produtos. Nestes casos, os atores, em geral, têm diversificado bastante os investimentos, focando em diversas aplicações. Este fato gera uma complexidade maior em seus modelos de negócio, com diferentes desafios, mas que alguns podem apresentar uma interseção que favoreça as estratégias dos atores. No caso do bio-ácido Succínico para produção de BDO e PBS, por exemplo, como mostrado na Figura 28, os caminhos 8 (do PBS) e 9 (do bio-AS substituindo o anidrido maleico) tem a interseção dos desafios de uma molécula não drop-in mas drop-in em ativos complementares (buscando investimento no upstream, considerando todo o acesso, transporte e logística da matéria-prima, e no processo de produção, para o aproveitamento da biomassa e produção do bioproduto); ou seja, esses investimentos serão importantes para o desenvolvimento de ambos os caminhos (do bio-AS substituindo o anidrido maleico e da produção de PBS).

A Succinity tem focado na produção do próprio bio-ácido succínico (*drop-in*; final ou intermediário; *commodity*), na produção de BDO e PBS (não *drop-in*;

intermediário; *commodity*). Seus principais desafios estão divididos entre o avanço de mercado da molécula de base renovável em relação à petroquímica, em um mercado já estabelecido, e a criação de um novo mercado para o bioproduto, atingindo uma nova gama de clientes e necessitando de investimentos diferentes. A Reverdia foca basicamente nos mesmos produtos, tendo os mesmos desafios e suas parcerias têm apresentado justamente o objetivo de desenvolvimento do seu mercado em todas essas direções, com as dificuldades de desbancar o produto petroquímico estabelecido, além de desenvolver os novos mercados, que podem requerer mudanças na infraestrutura. Neste sentido, conta com diversas parcerias que ajudam, principalmente no desenvolvimento de novos produtos que utilizem o bio-ácido succínico (relacionado aos produtos não *drop-in*). A Myriant também tem focos parecidos, apresentando parcerias com empresas de engenharia para construção das plantas e de compradores de seu produto. Da mesma forma que suas concorrentes, demonstra interesse não só no mercado tradicional, como também nos novos mercados, que necessitarão de um desenvolvimento de uma cadeia de valor diferentes e novos investimentos em infraestrutura e ativos complementares (pensando principalmente nos desafios não *drop-in*). Por fim, a BioAmber, além desses dois produtos, foca ainda na substituição do ácido adípico, que seria uma molécula não *drop-in*, *drop-in* em ativos complementares, intermediário, *commodity*, constituindo um desafio ainda mais complexo para as estratégias da empresa. A BioAmber utiliza parcerias para alavancar um *know-how* tecnológico e construir a cadeia de valor do bio-ácido succínico (focando nos produtos não *drop-in*), tem várias parcerias de fornecimento de seu bio-ácido succínico (focando na característica dos produtos como intermediários) tem ainda parcerias para construções das fábricas, fornecedores de insumos e distribuição dos produtos, parceria para desenvolvimento de produtos à base de bio-ácido succínico (pensando na construção de mercado, produção e ativos complementares, diretamente relacionados com os dilemas).

O Quadro 21 traz as discussões do caso em comparação com os desafios mostrados pela árvore, relacionando as ações dos atores com os desafios encontrados no caso do bio-ácido succínico.

Quadro 21 - Resumo dos desafios do bio-ácido succínico.

Bioproduto	Aplicação	Características	Desafios da Árvore	Percepção dos dilemas nos casos
Bio-ácido Succínico	Substituição do Anidrido Maleico	Não *Drop-in*; Intermediário; *Commodity*	- Investimento no upstream; - Investimento em novas instalações de produção e distribuição; - Criação e investimento em ativos complementares. - Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras). - Foco: produção em escala	A Succinity tem focado na produção do bio-ácido succínico, BDO e PBS. Seus principais desafios estão divididos entre o avanço de mercado da molécula renovável em relação à petroquímica, num mercado já estabelecido, e a criação de um novo mercado para o bioproduto. A Reverdia foca basicamente nos mesmos produtos, tendo os mesmos desafios e suas parcerias têm apresentado justamente o objetivo de desenvolvimento do seu mercado em todas essas direções, com as dificuldades de desbancar o produto petroquímico estabelecido, além de desenvolver os novos mercados. Conta com parcerias que ajudam no desenvolvimento de novos produtos que utilizem o bio-ácido succínico (relacionado ao não *drop-in*). A Myriant também tem focos parecidos, apresentando parcerias com empresas de engenharia para construção das plantas e de compradores de seu produto. Também demonstra interesse não só no mercado tradicional, como também nos novos mercados, que necessitarão do desenvolvimento de uma cadeia de valor diferente e novos investimentos em infraestrutura e ativos complementares (com os desafios não *drop-in*). Por fim, a BioAmber, além desses dois produtos, foca ainda na substituição do ácido adípico. A BioAmber utiliza parcerias para alavancar um *know-how* tecnológico e construir a cadeia de valor do bio-ácido succínico (focando nos produtos não *drop-in*), tem parcerias de fornecimento de seu bio-ácido succínico (focando na característica de intermediários), tem parcerias para construções das usinas, fornecedores e distribuição dos produtos, e parcerias para desenvolvimento de produtos à base de bio-ácido succínico (pensando na construção de mercado, produção e ativos complementares).
	Substituição do Ácido Adípico	Não *Drop-in* em molécula; *Drop-in* em Ativos Complementares; Intermediário; *Commodity*	- Investimento no upstream; - Investimento no novo processo de produção. - Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras). - Foco numa produção em escala.	
	Substituição do Anidrido Ftálico	Não *Drop-in*; Intermediário; *Commodity*	- Investimento no upstream; - Investimento em novas instalações de produção e distribuição; - Criação e investimento em ativos complementares. - Desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras). - Foco: produção em escala	
	Substituição do Ácido Succínico Petroquímico	*Drop-in*; Final ou intermediário; *Commodity* ou Especialidade	- Investimento no upstream; - Investimento no novo processo de produção; - Busca pela penetração no mercado existente ou criação de um novo, buscando captar os consumidores finais, ou desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras). - Foco na diferenciação do produto ou na produção em escala.	

O PEF, por sua vez, inicia a árvore como um produto completamente novo. A partir daí, o produto certamente é uma molécula não *drop-in* e, considerando sua aplicação em substituição ao PET, o produto seria *drop-in* em relação aos ativos complementares existentes, se comportando como um produto final e uma especialidade ou uma *commodity*, dependendo especificamente do produto feito, seguindo os caminhos de número 4 ou 5 na árvore, como mostra a Figura 29.

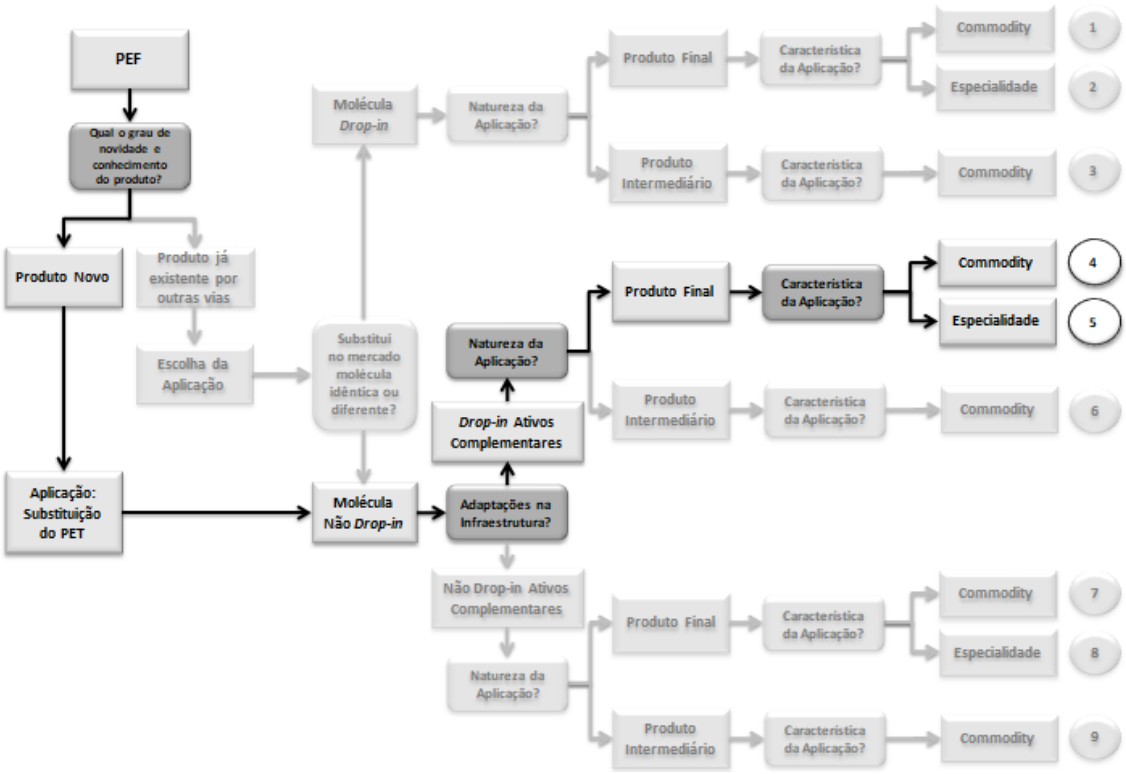

Figura 29 - Caminhos do PEF e suas aplicações na Árvore de Decisão.

Percebe-se aqui a diferença de quando o biobutanol produz o p-xileno para a fabricação de PET e de quando o PEF substitui diretamente o PET. No caso do biobutanol, é produzida exatamente a molécula de p-xileno, com inovação apenas no processo, sendo uma molécula *drop-in*. No caso do PEF, por outro lado, não é produzido o PET em si, mas uma molécula diferente (PEF) que, por suas características, pode substituir o PET existente no mercado, mas não deixando de ser uma molécula diferente e, por isso, seguindo caminhos diferentes e tendo desafios distintos. O PEF é um produto final que, mesmo que parecido com PET, demanda um esforço no desenvolvimento tecnológico para aplicações, além de

apresentar adaptações para a questão da reciclagem, já que necessita se adequar ao sistema de reciclagem existente para o PET.

Analisando os casos do PEF, o principal ator vem se estruturando frente aos dilemas de seus produtos. A Avantium apresentou parcerias, em geral, voltadas para o desenvolvimento deste mercado, para viabilizar o PEF, trabalhando o desenvolvimento de diversas aplicações com várias empresas. Com a necessidade de viabilizar o PEF e criar a estrutura necessária para introduzi-lo no mercado, a Synvina vem buscando parcerias que se comprometam com esse desenvolvimento, principalmente em termos do custo da produção, pensando nas dificuldades de produção da molécula não *drop-in*, principalmente na aplicação como *commodity* e com a necessidade de conquistar o mercado com os consumidores finais.

O Quadro 22 traz as discussões do caso em comparação com os desafios mostrados pela árvore, relacionando as ações dos atores com os desafios encontrados no caso do PEF.

Quadro 22 - Resumo dos desafios do PEF.

Bioproduto	Aplicação	Características	Desafios da Árvore	Percepção dos dilemas nos casos
PEF	Substituição do PET	Não *Drop-in* em molécula; *Drop-in* em Ativos Complementares; Intermediário; Especialidade ou *Commodity*	- Investimento no upstream; - Investimento no novo processo de produção; - Busca pela penetração no mercado existente ou criação de um novo, buscando captar os consumidores finais, ou desenvolvimento de diferentes mercados ou penetração em mercados-chave (âncoras). - Foco na diferenciação do produto ou produção em escala.	A Synvina tem o desafio de vencer as dificuldades da produção para alavancar a inserção do bioproduto no mercado, sendo competitivo com o PET e buscando seu espaço para se difundir nas principais aplicações do plástico. Desde a época de Avantium vem fazendo diversas parcerias com esses objetivos, afirmando os desafios que a árvore indicou.

A árvore se mostra aplicável em diversos contextos, sendo uma ferramenta interessante para empresas que desejem investir no ramo dos bioprodutos possam identificar os dilemas e desafios pertinentes, para se prepararem para os mesmos.

Neste capítulo, foram mostrados exemplos dos casos trabalhados na dissertação, de forma a mostrar sua utilização. Percebe-se a ampla aplicabilidade da árvore, podendo ser utilizada para os mais diversos Bioprodutos e em vários contextos, considerando a grande variedade de aplicações possíveis dos mesmos.

6. CONCLUSÕES

No contexto da Bioeconomia, um ambiente com diversas possibilidades de seleção de inovações, aparecem inicialmente múltiplas alternativas de investimento, o que é particularmente verdadeiro para os bioprodutos, cujas possibilidades são muito variadas. Os bioprodutos de sucesso são aqueles que conseguirão vantagens competitivas no mercado, dependendo de fatores não apenas tecnológicos, tais como custos de mudança, preços relativos, dificuldades em relação à matéria-prima, acesso a ativos complementares, movimentos estratégicos das empresas e interações usuário-produtor. Além desses fatores também se mostra relevante o papel das regulamentações e iniciativas governamentais. Um bioproduto de sucesso, portanto, deve apresentar vantagens comparativas, compatibilidade com o ambiente existente, ser facilmente entendido, testado e adaptado para que possa ser difundido no mercado.

Com tais desafios a serem vencidos, a viabilização dos produtos renováveis precisa estruturar modelos de negócio viáveis em um ambiente emergente com elevado nível de incerteza e, ao mesmo tempo, agregar um conjunto de competências complementares frequentemente não detidas pelos inovadores. A flexibilidade do modelo de negócio, frente a um ambiente emergente e em constante mudança como este, é essencial para que as empresas consigam lidar com as dificuldades apresentadas pelo ambiente em constante mudança.

Dessa forma, os bioprodutos exercem uma função muito importante no desenvolvimento do mercado e um efeito particularmente importante na formatação dos modelos de negócio. Os bioprodutos são a dimensão que, de fato, apresentam a Bioeconomia na prática ao consumidor, seja ele uma empresa ou uma pessoa, necessitando de qualidades que atraiam e permitam a mudança de paradigmas. Dessa forma, muitas questões devem ser levadas em consideração em relação aos bioprodutos, com dilemas intrínsecos ao mercado, principalmente em questões relacionadas à percepção de seu valor, sua adaptação ao mercado estabelecido e seu posicionamento para penetrar no dia-a-dia dos utilizadores, o que valoriza a importância do entendimento das aplicações a que esses produtos se destinam atender.

Considerando os estudos de caso apresentados neste trabalho, percebem-se diversos dilemas existentes para as empresas que desejam investir neste ramo. Como resultado do trabalho, fica evidente que esses dilemas estão diretamente ligados ao tipo de produto, ao posicionamento de cada empresa no mercado e, mais especificamente, às aplicações de cada bioproduto nos quais se deseja investir. Sendo assim, é fundamental compreender as características das aplicações escolhidas pela firma. A partir desse entendimento, as empresas se deparam principalmente com dilemas em relação à “dropinidade” ou adequação do produto aos ativos existentes, à diferenciação do bioproduto no mercado e ao enquadramento do produto na cadeia produtiva, com classificações distintas de acordo com a aplicação específica na qual se deseja investir. Estes pontos foram evidenciados pelos estudos de caso e se pôde perceber as dificuldades dos atores nas resoluções dos mesmos. Ou seja, o histórico dos movimentos das empresas no mercado e os desafios encontrados por elas reforçam os dilemas percebidos e dificuldades relacionadas.

De acordo o *background* tecnológico, a estratégia de valor e a dinâmica dos relacionamentos externos dos projetos analisados, são diversos os recursos e competências de que cada empresa dispõe e que precisa acessar para viabilizar as estratégias para lidar com os dilemas do desenvolvimento de cada bioproduto. As respostas para os dilemas estudados em cada cenário têm uma fundamental importância na criação de um modelo de negócios direcionado ao melhor desenvolvimento do produto escolhido.

Ao conhecer as principais características de seu negócio, as empresas podem previamente se preparar para os desafios que encontrarão, de acordo com as escolhas que estabelecerem para suas inovações no mercado. Neste sentido, a árvore de decisão apresentada neste trabalho é uma ferramenta que pode ser útil para organizar a classificação das aplicações escolhidas para investimento em um bioproduto e entendimento dos desafios que se apresentarão. Ao conseguir se caracterizar frente aos dilemas que encontram, as empresas conseguem investir nas dificuldades pertinentes, podendo necessitar de parcerias, do desenvolvimento de novos mercados, ativos complementares, entre outros, que o produto e aplicações escolhidas demandarem.

É importante notar a dificuldade de trazer quadros analíticos para campos emergentes como a Bioeconomia. Ainda assim, este trabalho consegue avançar na discussão e compreensão dos desafios enfrentados pelos bioprodutos no mercado e propõe uma ferramenta que auxilia os atores que desejam se inserir na Bioeconomia. Percebe-se a grande relevância das aplicações na determinação dos desafios enfrentados e é desenvolvida uma estrutura capaz de identificar e caracterizar tais desafios, auxiliando empresas, investidores e políticas públicas.

De uma forma geral, a árvore foi montada com nove caminhos possíveis, cada um com suas peculiaridades e desafios característicos. Dessa forma, é uma estrutura montada para facilitar a organização das empresas e dos formuladores de políticas públicas que desejam investir em bioprodutos, ajudando no entendimento dos desafios e na preparação para como enfrentá-los. Com essa estrutura, é possível discutir e posicionar as empresas em termos da quantidade e da complexidade dos desafios que têm a enfrentar, de acordo com as aplicações escolhidas para investimento. Essa perspectiva passa a ser interessante para investidores também. A análise com a árvore de decisão permite comparar empresas e suas escolhas/estratégias de inovação em bioprodutos.

As discussões desta dissertação permitem ainda levantar questionamentos sobre produtos promissores que não se confirmam. O caso dos químicos plataforma pode ser um exemplo: será que o insucesso de vários desses produtos é devido à vasta gama de aplicações, e, assim, à grande quantidade de desafios relacionados e diferenciados ligados às suas aplicações? São casos a serem estudados. Como propostas para trabalhos futuros também podem ser indicados novos estudos de caso e novas situações propostas para utilizar a árvore em outras condições, em casos que possam enriquecer ainda mais as percepções obtidas. Além disso, o acompanhamento da literatura em relação ao assunto e do desenvolvimento do mercado, podem ser importantes ainda para a verificação da postura dos atores perante esses dilemas com o tempo e até mesmo a percepção de novos desafios a serem enfrentados na Bioeconomia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI. **Química de Renováveis – Relatório Analítico da Consulta Estruturada**. Agenda Tecnológica Setorial – ATS, 2016.

ABERNATHY, W., UTTERBACK, J. **Patterns of industrial innovation**. Technology Review, v. 80, p. 40-47, 1978.

ABIPET. Disponível em Associação Brasileira da Indústria do PET: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=65>. Acesso em: Maio de 2018.

ADAMSON, M. L. **Market Data: Biofuels; Ethanol, Biobutanol, Biodiesel, Green Diesel, Synthetic Gasoline, and Renewable Biojet Consumption and Production from Biomass Resources: Global Market Sizing, Segmentation, and Forecasts.** Navigant Research. 2013.

ALAERTS, L.; AUGUSTINUS, M.; VAN ACKER, K.; **Impact of Bio-Based Plastics on Current Recycling of Plastics**. Sustainability MDPI, 10, 1487, 2018.

ALMEIDA, L. M. **Tecnologias e Estratégias para Produção de Biobutanol.** Projeto Final de Curso – Escola de Química/UFRJ. Rio de Janeiro, 2017.

ANDERSSON, C. **Succinic acid production using metabolically engineered Escherichia coli.** Luleå University of Technology, 2007.

ARAÚJO, M. R. **Desenvolvimento de Novas Plataformas Químicas: o caso do bio-ácido succínico**. Projeto Final de Curso – EQ/UFRJ, 2015.

AVALON. Disponível em: <http://www.avalon-industries.com/web/pages/en/solutions/applications/bio-based-plastics.php>. Acesso em: Maio de 2018.

AVANTIUM. **PEF, a 100% bio-based polyester: Synthesis, Properties & Sustainability.** EuroNanoForum, 2015.

AVANTIUM. **PEF Polyester: From an idea to a product.** Avantium, 2016.

AVANTIUM. Disponível em: <https://www.avantium.com/yxy/products-applications/>. Acesso em: Maio de 2018.

BAIN & COMPANY. **Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira**. BNDES, 2014.

BASF. Disponível em: <https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2016/10/p-16-322.html>. 2016. Acesso em: Janeiro de 2019.

BEACHAM, W. **Corn-to-butanol project on track**. ICIS Chemical Business, 2016.

BETO (THE BIOENERGY TECHNOLOGIES OFFICE). **Moving Beyond Drop-In Replacements: Performance-Advantaged Biobased Chemicals. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE).** U.S. Department of Energy (DOE), 2018.

BHARATHIRAJA, B.; JAYAMUTHUNAGAI, J.; SUDHARSANAA, T.; BHARGHAVI, A.; PRAVEENKUMAR, R.; CHAKRAVARTHY, M.; YUVARAJ, D. **Biobutanol – An impending biofuel for future: A review on upstream and downstream processing tecniques**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 68 (1), p. 788-807, 2017.

BIO ORG (BIOTECHNOLOGY INNOVARION ORGANIZATION). Disponível em: <https://www.bio.org/>. 2015. Acesso em: Maio de 2018.

BIO-BASED WORLD NEWS. **Avantium buys out BASF's stake in Synvina JV**. Disponível em: < https://www.biobasedworldnews.com/avantium-buys-out-basfs-stake-in-synvina-jv>. Acesso em: Janeiro de 2019.

BIOAMBER. Disponível em: <https://www.bio-amber.com/>. Acesso em: Maio de 2018.

BIOBASED NEWS. Disponível em: <http://news.bio-based.eu/>. Acesso em: Março de 2018.

BIOBASED PRESS. **Biobased MEG directly from sugars, a new step in green chemistry.** Disponível em: <https://www.biobasedpress.eu/2016/07/biobased-meg-directly-from-sugars-a-new-step-green-chemistry/>. 2016. Acesso em: Maio de 2018.

BIOFUELS DIGEST. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/>. 2018. Acesso em: Dezembro de 2018.

BIOFUELS DIGEST. **Avantium raises $50M from Coca-Cola, Danone, Swire and more: renewable PEF plastic bottles take the spotlight.** Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/06/05/avantium-raises-50m-from-coca-cola-danone-swire-and-more-as-all-renewable-pef-plastic-bottles-take-the-spotlight/>. 2014. Acesso em: Maio de 2018.

BIOFUELS DIGEST. **Proud papa DSM transfers Biosuccinium to Roquette, dissolves Reverdia JV.** Disponível em: < https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2019/02/23/proud-papa-dsm-transfers-biosuccinium-to-roquette-dissolves-reverdia-jv/>. 2014. Acesso em: Abril de 2019.

BIOFUELS DIGEST. **Five-year EU flagship project for FDCA and PEF launched.** Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/10/28/five-year-

eu-flagship-project-for-fdca-and-pef-launched/>. 2017. Acesso em: Maio de 2018.

BIOFUELS DIGEST. **The Sexy 7: The bio markets and apps in PET, PX, PEF, PLA, PHA, PBS, and PE** Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/06/06/the-sexy-7-the-bio-markets-and-apps-in-pet-px-pef-pla-pha-pbs-and-pe/>. 2017. Acesso em: Maio de 2018.

BIOMASS MAGAZINE. **BioAmber files for bankruptcy.** Disponível em: <http://www.biomassmagazine.com/>. 2018. Acesso em: Janeiro de 2019.

BIOPLASTIC NEWS. **Polyethylene Furanoate PEF**. Disponível em: <https://bioplasticsnews.com/polyethylene-furanoate-pef/>. Acesso em: Maio de 2018.

BIOREFINERIES BLOG. **Succinic acid biorefineries**. Disponível em: https://biorrefineria.blogspot.com.br/2015/10/succinic-acid-biorefineries.html?m=1>. 2016. Acesso em: Março de 2018

BOMTEMPO, J. V.; ALVES, F. **Innovation dynamics in the biobased industry**. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, v. 1, p. 19, 2014.

BOMTEMPO, J. V.; ALVES, F. C.; OROSKI, F. A. **Developing new platform chemicals: what is required for a new bio-based molecule to become a platform chemical in the bioeconomy?.** Faraday Discussions, v. 202, p. 213-225, 2017.

BOMTEMPO, J. V. **Bioeconomia em construção IV – Os novos produtos-plataforma**. Boletim Infopetro - Ano 15, n. 1, p. 15, 2015.

BOMTEMPO, J. V. **CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS QUÍMICOS: uma visão dinâmica das linhas de produtos e das empresas**. Escola de Química/UFRJ - Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 1994.

BOMTEMPO, J. V. **O futuro dos biocombustíveis XIII: a matéria-prima como fator estruturante da indústria**. Boletim Infopetro – Ano 12, n. 3, p. 23, 2012.

BOMTEMPO, J. V. **O futuro dos biocombustíveis XVIII: Os dilemas dos produtos na bioeconomia**. Boletim Infopetro – Ano 13, n.3, p. 33, 2013.

BOZELL, J. J.; PETERSEN, G. R. **Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy's "Top 10" revisited.** Green Chemistry, v. 12 (4), p. 539-554, 2010.

BORGES, E. R. **Desenvolvimento de um processo biotecnológico para a produção de ácido Succínico por actinobacillus succinogenes.** Tese de Doutorado – Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

BQV. Disponível em Blog Química Verde (BQV): <http://quimicaverdeinfo.blogspot.com.br/2012/>. Acesso em: Março de 2018.

BRASKEM. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-assina-parceria-com-a-haldor-topsoe-para-o-desenvolvimento-do-meg-a-partir-de-materia-prima-renovavel>. 2017. Acesso em: Junho de 2018.

BRITO, K. N.; CÂNDIDO, G. A. **Difusão da inovação tecnológica como mecanismo de contribuição para formação de diferenciais competitivos em pequenas e médias empresas**. REAd - Revista Eletrônica de Administração, v. 9 no. 2, 2003.

BUTAMAX. Disponível em: <http://www.butamax.com/ >. Acesso em: Maio de 2018.

CARUS, M; DAMMER, L.; PUENTE, A.; RASCHKA, A.; ARENDT, O. **Bio-based drop-in, smart drop-in and dedicated chemicals.** Nova Institute, 2017.

CARUS, M; IFFLAND, K.; SHERWOOD, J. R.; RASCHKA, A.; FARMER, T. J.; CLARK, J. H. **Definition, Calculation and Comparison of the " Biomass Utilization Efficiencies (BUE) " of Various Bio-based Chemicals, Polymers and Fuels.** Nova Institute, 2015.

CAVANI, F.; ALBONETTI, S.; BASILE, F.; GANDINI, A. **Chemicals and Fuels from Bio-Based Building Blocks**. Wiley, 2016.

CNI (Conderação Nacional da Indústria). **BIOECONOMIA - Uma agenda para o Brasil.** Relatório da Harvard Business Review Analytic Services, 2013.

CNI (Conderação Nacional da Indústria). **Indústria 2027** - Mobilização Empresarial pela Inovação, Brasília, 2018.

CORBION. Disponível em: <https://www.corbion.com/bioplastics/products/fdca-for-pef>. Acesso em: Junho de 2018.

COUTINHO, P.; BOMTEMPO, J. V. **Roadmap tecnológico em matérias-primas renováveis: uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil.** Química Nova, vol. 34, n. 5, p. 910-916, 2011.

DANSEREAU, L. P.; EL-HALWAGI, M.; CHAMBOST, V.; STUART, P. **Methodology for biorefinery portfolio assessment using supply-chain fundamentals of bioproducts**. Biofuels, Bioproducts & Biorefining, vol. 8 (5), p. 716-727, 2014.

DE JONG, ED.; HIGSON, A.; WALSH, P.; WELLISCH, M. **Product developments in the bio-based chemicals arena**. Biofuels, Bioproducts & Biorefining, vol. 6 (6), p. 606-624, 2012.

E4TECH; RE-CORD; WUR. **From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals.** European Commission Directorate-General Energy, contract No. ENER/C2/423-2012/SI2.673791, 2015.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Disponível em Ellen Macarthur Foundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/overview/concept>. Acesso em: Setembro de 2018.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Disponível em Ellen Macarthur Foundation: < https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/principios-1>. Acesso em: Abril de 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The New Plastics Economy - Rethinking the Future of Plastics**, 2016.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Bioplastics – facts and figures**. European Bioplastics Website, 2016.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/market/>. Acesso em: Outubro de 2018.

EUROPEAN COMISSION. Disponível em: <https://ec.europa.eu/commission/index_en>. Acesso em: Março de 2019.

FLETCHER, K. **Ethanol to n-Butanol in the Land of 10,000 Lakes**. Disponível em: <http://biomassmagazine.com/articles/12887/ethanol-to-n-butanol-in-the-land-of-10-000-lakes>. Biomass Magazine, 2016. Acesso em: Janeiro de 2019.

GC INNOVATION AMERICA. Disponível em: <https://www.gcinnovationamerica.com/>. Acesso em: Janeiro de 2019.

GEELS, F. W. **Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study.** Research Policy, v. 31 (8-9), p. 1257-1274, 2002.

GEVO. Disponível em: <https://gevo.com/>. Acesso em: Maio de 2018.

GHOLIZADEH, L. **Enhanced Butanol Production by Free and Immobilized Clostridium sp. Cells Using Butyric Acid as Co-Substrate**. Master Thesis, University of Boras, School of Engineering, 2009.

GLOBAL MARKET INSIGHTS. Disponível em Global Market Insights Website: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/bio-adipic-acid-market>. 2016. Acesso em: Janeiro de 2019.

GRAND VIEW RESEARCH. Disponível em Grand View Reearch Website: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/succinic-acid-market>. 2016. Acesso em: Novembro de 2018.

GRAND VIEW RESEARCH. **Polyethylene Furanoate (PEF) Market Size Analysis Report By Application (Bottles, Films, Fibers), By Region (North America, Europe, Asia Pacific, CSA, MEA), And Segment Forecasts, 2016 – 2022.** 2018.

GREEN BIOLOGICS. Disponível em: <http://www.greenbiologics.com/>. Acesso em: Maio de 2018.

GREEN CHEMICALS BLOG. Disponível em: https://greenchemicalsblog.com/>. 2014. Acesso em: Maio de 2018.

GREEN CHEMICALS BLOG. **The changing landscape of bio-based succinic acid**. Disponível em: <https://greenchemicalsblog.com/2019/02/24/the-changing-landscape-of-bio-based-succinic-acid/>. Acesso em: Abril de 2019.

GRUTER, GJ. **PEF, a 100% bio-based polyester: Synthesis, Properties & Sustainability.** Avantium – EuroNanoForum, 2015.

GUERRAZZI, L. A. C.; SERRA, F. A. R.; PINTO, R. F. **GANHANDO COM INOVAÇÕES: O PAPEL DOS ATIVOS COMPLEMENTARES**. Revista de Gestão e Secretariado, v. 8, n. 2, 2017.

HARVEY, B. G.; MEYLEMANS, H. A. **The role of butanol in the development of sustainable fuel technologies**. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v. 86 (1), p. 2-9, 2011.

ICIS. **BioAmber has successfully started up its first commercial-scale plant for bio-succinic acid, bringing a reliable source of the versatile bio-based material to the market.** Disponível em: <https://www.icis.com/pages/custom-publishing/bioamber/>. Acesso em: Novembro de 2018.

IHS. **Adipic Acid.** Disponível em: <https://ihsmarkit.com/products/adipic-acid-chemical-economics-handbook.html>. Acesso em: Junho de 2018.

IIPRD. **Exemplary Landscape Study - Polyethylene Furanoate (PEF).** 2015.

JAMSHIDIAN, M.; TEHRANY, E. A.; IMRAN, M.; JACQOUT, M.; DESOBRY, S. **Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies**. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 9 (5), p. 552-571, 2010.

JANSSENS, I. R. **Butanol scoping study: opportunities and threats for developing countries**. InnoPartner, 2011.

KLINE, C. **Maximizing Profits in Chemicals**. Chemtech, 6, 110-117. 1976.

KUMAR, M.; GOYAL, Y.; SARKAR, A.; GAYEN, K. **Comparative economic assessment of ABE fermentation based on cellulosic and non-cellulosic feedstocks.** Applied Energy, v. 93, p. 193-204, 2012.

LAWRENCE, M.; ADAMSON, K. **Market Data: Biofuels; Ethanol, Biobutanol, Biodiesel, Green Diesel, Synthetic Gasoline, and Renewable Biojet Consumption and Production from Biomass Resources: Global Market Sizing, Segmentation, and Forecasts.** Navigant Research, 2013.

LEE, S. Y.; PARK, J. H.; JANG, S. H.; NIELSEN, L. K.; KIM, J.; JUNG, K. S. **Fermentative Butanol Production by Clostridia.** Biotechnology and Bioengineering, 101 (2), 209-28, 2008.

MACK, J. H.; SCHULER, D.; BUTT, R. H.; DIBBLE, R. W. **Experimental investigation of butanol isomer combustion in Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) engines.** Applied Energy, v. 165, p. 612-626, 2016.

MAHAPATRA, M. K.; KUMAR, A. **A Short Review on Biobutanol, a Second Generation Biofuel Production from Lignocellulosic Biomass**. Journal of Clean Energy Technologies, v. 5, no. 1, 2017.

MAHMOUD, E.; WATSON, D. A.; LOBO R. F. **Renewable production of phthalic anhydride from biomass-derived furan and maleic anhydride.** Green Chemistry, 16, 167-175, 2014.

MAITI, S.; GALLASTEGUI, G.; SARMA, J. S.; SATINDER, K. B.; LE BIHAN, Y.; DROGUI, P.; BUELNA, G.; VERMA, M. **A re-look at the biochemical strategies to enhance butanol production**. Biomass and Bioenergy, v. 94, p. 187-200, 2016.

MARKETS AND MARKETS. Disponível em Markets and Markets Website: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/non-phthalate-plasticizer.asp>. 2017. Acesso em: Janeiro de 2019.

MASCAL, M. **Chemicals from biobutanol: technologies and markets.** Biofuels, Bioproducts & Biorefining, v. 6 (4), p. 483-493, 2012.

MORBIDELLI, M.; ROSENBOOM, J.; HOHL, D. K.; FLECKENSTEIN, P.; STORTI, G.; **Bottle-grade polyethylene furanoate from ring-opening polymerisation of cyclic oligomers**. Nature Communications 9, n. 2701, 2018.

MYRIANT. **Succinic Acid & Derivatives SBU**. Disponível em: <http://www.myriant.com/>. Acesso em: 2018.

NATALENSE, J. C. **Prospecção Tecnológica de Biobutanol no contexto brasileiro de Biocombustíveis**. Dissertação de Mestraado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2013.

NDABA, B.; CHIYANZU, I.; MARX, S. **n-Butanol derived from biochemical and chemical routes: A review.** Biotechnology Reports, v. 8, p. 1-9, 2015.

KASMI, N.; MAJDOUB, M.; PAPAGEORGIOU, G. Z.; ACHILIAS, D. S.; BIKIARIS, D. N. **Solid-State Polymerization of Poly(ethylene furanoate) Biobased Polyester, I: Effect of Catalyst Type on Molecular Weight Increase.** MDPI – Polymers, 9 (11), 607, 2017.

NEXANT. **Biosuccnic Acid**. CHEMSystems PERP Program. 2012

NGHIEM N. P., KLEFF S., SCHWEGMANN S. **Succinic Acid: Technology Development and Commercialization.** MDPI Fermentation, 3 (2), 26, 2017.

OECD. **Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy**. OECD Publishing. 2018.

OLIVEIRA, S. D. **Análise da Produção do Ácido Succínico a Partir de Fontes Renováveis: Perspectivas e Desafios.** 4º Encontro da Escola Brasileira de Química Verde. 2014.

OMNEXUS SPECIALCHEM (2018). Disponível em Omnexus SpecialChem: https://omnexus.specialchem.com/>. 2018. Acesso em: Janeiro de 2019.

OROSKI, F. A.; ALVES, F. C.; BOMTEMPO, J. V. **Bioplastics Tipping Point: drop-in or non-drop-in?** Journal of Business Chemistry. 2014.

OROSKI, F.; BOMTEMPO, J. V. **Bioeconomia em construção 16 – O desafio da difusão dos bioplásticos.** Boletim Infopetro – Ano 18, n. 5, p. 3, 2018.

OROSKI, F. A. **Modelos De Negócio E Transição De Sistemas Tecnológicos: o caso dos bioplásticos**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de PósGraduação em Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

PAULIEN F. H.; HARMSEN, M. M. **Green building blocks for bio-based plastics**. Biofuels, Bioproducts and Biorefinig, v. 8 (3), p. 306-324, 2014.

PETERSEN, J. J. **Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy's "Top 10" revisited.** Green Chemistry, 12, 539-554, 2010.

PHILP, J. **The bioeconomy, the challenge of the century for policy makers.** New Biotechnology, v. 40 (A), p. 11-19, 2017.

PHYS ORG. Disponível em Phys Org: <https://phys.org/news/2018-07-pef-pet.html#jCp>. 2018. Acesso em: Janeiro de 2019.

PUBLISBQ. Disponível em PubliSBQ (Sociedade Brasileira de Química) Website: http://qnint.sbq.org.br/qni/popup_visualizarMolecula.php?id=6wBR-NdhBKLcvAOaNduIu6W3JSVwc6UP96kE0MJkaFjXscrbOnRE4H71wvL9qbpfvJ9jgjS6cpEyOHSo8xR1Fw==>. Acesso em: Março de 2018.

RAVENSCROFT, M. **Green Biologics: Selling commodities as specialties.** Chemweek. 2016.

RESINEX. Disponível em: <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pla.html>. Acesso em: Janeiro de 2019.

REVERDIA. Disponível em: <https://reverdia.com/>. Acesso em: Maio de 2018.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. New York: Free Press. 1995.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. New York: Free Press. 2003.

SANTOS, M. E.; JESUS, J. C. **Fatores que comprometem a adoção de tecnologia de informação em empresas cafeeiras**. SciELO, v.15, n.3, p. 456-468, 2005.

SCHUMPETER, J. A. **The Theory of Economic Development**. Massachusetts: Harvard University Press, Cambridge. 1934.

SEBRAE. **Ecossistemas de inovação: desenvolvimento e autossuficiência.** Disponível em: <https://sebrae.ms/inovacao/ecossistemas-de-inovacao-desenvolvimento-e-autossuficiencia>. 2018. Acesso em: Janeiro de 2019.

SINGH, A., & MISHRA, P. **Microbial Pentose Utilization: Current Applications in Biotechnology.** Elsevier Science, v. 33, 1995.

SNYDER, S. W. **Commercializing Biobased Products.** RSC Green Chemistry No. 43, The Royal Society of Chemistry, 2016.

SONNATI, M. O. **Development of Low-carbon Alkyd Resins with high content of biobased succinic acid**. BioAmber Inc. PCI - Paint & Coating Industry. 2014.

SUCCINITY. Disponível em <http://www.succinity.com/>. Acesso em: Maio de 2018.

SYNVINA. **Bio World Congress on Industrial Biotechnology**. Synvina, 2017.

SYNVINA. **BOPEF – A novel substrate for flexible packaging**. Synvina, 2017.

TEECE, D. J. **Strategies for Managing Knowledge Assets: The Role of Firm Structure and Industrial Context.** Long Range Planning, v. 33 (1), p. 35-54, 2000.

TEECE, D. J. **Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance.** Strategic Management Journal, v. 28 (13), p. 1319-1350, 2007.

THE COCA-COLA COMPANY. **Plant Bottle**. Bioeconomy Forum Finland. 2012.

TOTAL-CORBION. Disponível em: <https://www.total-corbion.com/>. Acesso em: Janeiro de 2019.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Top Value Added Chemicals from Biomass**. U. S. DOE, 2004.

UYTTEBROEK, M.; VAN HECKE, W.; VANBROEKHOVEN, K. **Sustainability metrics of 1-butanol**. Catalysis Today, v. 239, p. 7-10, 2013.

WEASTRA. **Determination of market potential for selected platform chemicals.** Weastra, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Bookman, 2001.

YUAN, L.; HUI-FENG, X. **OXO Market Supply and Demand Forecast & Investment Economic Analysis.** Finance Research, v. 1, n. 2, 2012.

ZEIKUS, J.G.; JAIN, M. K.; ELANKOVAN, P. **Biotechnology of succinic acid production and markets for derived industrial products.** Applied Microbiology and Biotechnology, v. 51 (5), p. 545-552, 1999.

ZOTT, C.; AMIT, R. **Business Model Design and the Performance of Entrepreneurial Firms.** Organization Science, 18 (2), 181-199, 2007.

APÊNDICE

Artigo para Submissão

STRATEGIC DILEMMAS IN THE DIFFUSION OF INNOVATIONS IN BIOPRODUCTS

Maurício Guilherme Valente Maturana, José Vitor Bomtempo, Fabio de Almeida Oroski

Department of Chemical Engineering
Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil
Emails: mgvm@ufrj.br, vitor@eq.ufrj.br, oroski@eq.ufrj.br

ABSTRACT

Challenges and opportunities in Bioeconomy can be grouped into four main dimensions: raw materials, technology, products and business model. With a wide range of possibilities, the bioproducts dimension demands special attention. Actors have been facing problems of competitiveness with fossil alternatives, challenges in market development and various dilemmas in their innovation and diffusion in the market, like: Drop-in or non-drop-in? Finals or intermediaries? Commodities or specialties? This work aims to perceive the different dilemmas of the insertion of bioproducts in the market, understand the difficulties and make decisions about the product portfolio and the diffusion of innovations. For this, case studies of different bioproducts (biobutanol, succinic bio-acid and PEF) are done, allowing the dilemmas identification in different contexts. As a result of the analysis of these projects, it was possible to identify the mentioned dilemmas and increase the understanding about the challenges that must be faced for the diffusion of innovation in bioproducts. It is concluded that, depending on the choice, not only of the bioproduct, but especially in relation to their applications, it is possible to determine the dilemmas and challenges for diffusion of bioproducts. Thus, according to the positioning of each actor in the market, the challenges faced in the innovation of bioproducts are different. In order to obtain a practical tool for companies that wish to innovate in the field and help the policy makers, a decision tree is proposed, presenting the main challenges faced by a bioproduct inserted in the market, according to its characteristics.

KEY WORDS

Bioeconomy, Innovation, Bioproducts, Dilemmas, Decision Tree.

1. INTRODUCTION

The concept of Bioeconomy foresees a gradual replacement of fossil raw materials by biological ones, however, technical obstacles still exist and the cost of bioproduction is still high in many cases. It is a process still in structuring, with an emerging character, where challenges and opportunities may be grouped into four main dimensions: raw materials, processes, products and business models [1].

In this context, the products dimension demands special attention. There are many opportunities in bioproducts, and many initial projections have not been confirmed, demonstrating challenges in the diffusion process of these materials [2].

What are the variables that should be considered and treated in product innovations in Bioeconomy? Many issues and dilemmas need to be considered in relation to the adoption of new products by the market, involving several actors, among them the end users. They include drop-in or non-drop-in ideas, end products or intermediates, commodities or specialties, among others.

Some of these points were previously analyzed [3, 4, 5], but there is no comprehensive framework that brings together technical and strategic factors. Thus, the difficulties of innovating in bioproducts are diverse and the dilemmas presented for these types of products need to be better understood. Then, what are the inherent dilemmas about bioproducts and how do they stand in the developmental trajectory of these materials? What are the challenges related to the diffusion of product innovations in Bioeconomy? How should companies act to overcome these barriers?

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Diffusion of Product Innovation

The diffusion of an innovation can be defined as the process by which an innovation is communicated through certain channels over time, among the members of a social system [6]. Within an environment with several possibilities for selecting innovations, initially multiple investment alternatives appear. However, there is a selection process in which appear the market winners.

Often, factors other than technology, are critical to the choice of dominant design, such as government regulations and initiatives, the presence of complementary assets, strategic business moves, and user-producer interactions that are directly linked to the business models adopted [1]. The complementary

assets refer to the necessary resources, in addition to the central technological know-how, to successfully market an innovation. Access to distribution and marketing channels, after-sales and technical services, complementary technologies and marketing are common complementary assets [7]. Innovator's access to complementary assets is an essential factor for the exploration of an innovation [8].

Then, the necessary characteristics for an innovation would be [9]:

- Relative comparative advantages over existing solutions;
- Compatibility of innovation with existing values, beliefs and experiences;
- Level of complexity;
- "Trialability": degree to which an innovation can be tested;
- "Observation Degree": the degree to which the result of an innovation is visible to other potential users.

Innovative companies face many challenges to succeed in establishing a new product. Several factors interfere, from the characteristics of the products/process, positioning and capabilities of innovative companies in the market, existing complementary assets, to the context in which innovation is inserted, being a very or little competitive environment, new or established. Understanding where a product will fit, whether it will have superior properties to existing competitors (which are sufficient for users to accept the possible costs of change) and will supply real market needs, is essential for these companies.

2.2. Bioeconomy and Bioproducts

Existing challenges and opportunities in Bioeconomy can be grouped into four main dimensions: raw materials, processes, products and business models [1]. In this context, the bioproducts demands special attention, since they are the essential for the real entering of Bioeconomy in people’s everyday.

Bioproducts, in general, present, in addition to technological difficulties, non-technological barriers to entering the market, related to the raw materials, financial challenges, public perception, the need for government policies, among several others. Critical factors in the adoption of bioproducts are [10]:

- Cost of change (adaptations required);
- Relative price (in competition with fossil products);
- Adequate technical properties;

- Development of new applications;
- Incentives to its adoption and government policies;
- Intangible gains (“green” product);
- Adoption by key users (*lead users*).

Ideally, an ideal bioproduct would be biobased, biodegradable or reusable and with the minimum consumption of utilities possible. Also related to the sustainable characteristics of a bioproduct, another point of fundamental importance in Bioeconomy is the issue of reuse, recycling and reduction (the three Rs of the Circular Economy). Circular economy is a concept that opposes the linear production process, using waste as inputs for the production of new products. This concept is also called "cradle to cradle”, in which there is no idea of residue, and everything is continuously nutrient for a new cycle, being beneficial to the environment [11].

Several dilemmas involve the decisions of companies related to bioproducts. In addition to price/cost competitiveness against fossil alternatives, innovators face challenges related to the identification, development and market adoption of these new bioproducts. In addition to technology, these products face barriers related to raw materials (prices, logistics, etc.), financial investments and obstacles, difficulties in public perception and communication on bioproducts, lack of incentives or efficient policies [12]. Therefore, many issues must be taken into account in relation to bioproducts, with dilemmas intrinsic to them in the market, especially in questions related to their value perception, their adaptation to the established market and their positioning to penetrate the users’ everyday. Thus, ideas about drop-in or non-drop-in, final or intermediary, commodity or specialty arise. These ideas constitute dilemmas for companies in the insertion of bioproducts, discussed next [13].

2.2.1. Drop-in versus Não Drop-in

One of the most important classifications for bioproducts is the question of adapting to the market and existing production chains. The category points to the fact that the molecule analyzed is the same as or different from any existing in the market obtained by fossil sources. Thus, molecules identical to existing molecules are called drop-in, while new molecules are called non-drop-in molecules. Non-drop-in products will often require downstream complementors in the supply chain and end-user application development efforts. In this case, the existing complementary assets

must be adapted or, in some cases, constructed to achieve the final use of the product [13]. Lastly, there is still the impact on recycling, which is higher for the non-drop-in product. Non-drop-in products represent a new product that could increase consumer interest by bringing performance advantages in bio-based products, and could still validate the use of biofuels [14].

Going beyond the molecule itself, this classification may be broader, according to existing complementary assets and their suitability for bioproducts. There are bioproducts that constitute new molecules (non drop-in), but that fit almost perfectly in the existing infrastructure for some product of the market, due to its specifications, like PEF, that will be studied later. That is, although new, they can benefit from existing complementary assets for other products, whether in production, distribution or in use, without additional relevant investments. For this reason, this work understands that this classification should not be restricted only to an analysis of the molecule, but also extended in relation to the existing infrastructure or complementary assets. Thus, a bioproduct can be drop-in or non-drop-in relative to the molecule and drop-in or non-drop-in relative to existing complementary assets.

2.2.2. Commodities versus Specialties

Traditional chemicals can be characterized in four categories according to their degree of differentiation and volume of production: true commodities, chemical specialties, fine chemicals and pseudo-commodities [15].

True commodities are high volume products sold to generally accepted specifications in mature markets. The main criterion of purchase is the low price, being the competitive environment characterized by efficiency; corresponds mainly to commodities and primary intermediaries sold to other segments of the industry as raw materials for the elaboration of more complex intermediates or final chemical products. Specialty chemicals, on the other hand, are synthesized in small quantities according to the specific characteristics of consumers; they are specified by performance and the specialty supplier must have skills in the use of its product [16].

Fine chemicals and pseudo-commodities are between these two classifications. In this work, however, there will be a focus on product differentiation, adopting only the most common classifications (commodities or specialties); if the product is differentiated, it will be defined as a specialty, if not, as a commodity.

2.2.3. Final versus Intermediary

The last dilemma proposed in the classification of bioproducts is in relation to the chemical transformation of them. If a product is used directly, without further chemical transformation, it can be classified as a final product. On the other hand, if it will still go through chemical transformations that modify it before use, it is classified as an intermediary product.

A final product must have characteristics that directly meet its buyer, being more focused on the need of its consumers, being them the final consumers of the product or companies that will still modify the product in some way (other than chemical) for commercialization. An intermediary product, in turn, is usually marketed with other companies (which will produce the final products). In addition, there are cases of intermediary products that can be used to obtain various end products, enabling the company to cover its markets by negotiating with several segments, if appropriate and prepared for the challenges imposed by that choice [17].

3. METODOLOGY

The methodology used is based on multiple case studies [18], which allows theorizing according to the process of observation of cases, according to the few existing literature, being able to perceive the dilemmas in real cases and, thus, understand how the situation occurs. The case study is an empirical investigation of a contemporary phenomenon within a real-life context, and the boundaries between phenomenon and context are not clearly defined. The results obtained may allow the dissemination of knowledge, through possible generalizations or theoretical propositions that may arise from the study [18]. Then, for this work, the method becomes appropriate, using data from scientific articles, documents, reports and websites from related companies and research organizations.

Thus, next section is structured in three case studies of bioproducts in different stages of development, to understand how the market insertion has occurred, the main challenges faced and the positions of the main actors. Thus, three bioproducts were chosen: Biobutanol, Bio Succinic Acid and PEF. The choice was made according to the different characteristics of each other, both in terms of applications and actors, and in terms of product development phase.

Quadro 1 shows the main dimensions analyzed for the products choice, showing that each one represents different dimensions for analysis. The first criterion relates to the relevance of the product in the international scenario, according to references in publications such as the list of promising DOE molecules [19], its revision by Bozell & Petersen [3] and the report "From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals" [12]; the second criterion evaluates the diversity of nature and development of the product in relation to the type of production (fossil or biological); the third indicates the variety of actors involved, between established and start-ups; the fourth and last analyzes the variety of applications of the bioproduct.

Table 4 – Analyzed dimensions in the choice of bioproducts

Bioproduct	Promising Future?	Market Situation	Involved Players	Bioproduct Applications
Biobutanol	✓	Petrochemical Production: Big Commercial Scale. Biobased Production: Commercial Scale.	Start-ups and Joint-Ventures between established companies	Existing applications and new productions (non-viable with the fossil product)
Bio Succinic Acid	✓	Petrochemical Production: Commercial Scale with growing limitations for the process. Biobased Production: Beginning of Commercial Scale.	Start-ups and established companies, in JV or acquisitions	Existing applications and new productions (non-viable with the fossil product)
PEF	✓	Petrochemical Production: Inexistent. Biobased Production: Pilot Scale.	JV btween startup and established company	Existing applications with the fossil product

After the case studies, the last section is specifically about the analysis and identification of the dilemmas of the insertion of these bioproducts in the market. The chapter is subdivided into the analysis of the individual dilemmas in each case, followed by a subsequent global analysis that seeks to understand the dilemmas in general, and their intersections with each other, in order to perceive the main challenges of diffusion of innovation of any bioproduct in the market, showing the impacts of each decision and product characteristic in facing the challenges of market development. The second part of that section, after understanding all the dilemmas, is the proposition of a decision tree, from the perspective of the

companies, that allows one to identify the main challenges to be faced in the insertion of a bioproduct in the market, according to the product characteristics.

4. CASE STUDIES

4.1. Butanol

4.1.1. Definition, Characterization and Production

Butanol is an alcohol with four carbon atoms in its molecular chain, with two isomers of greater commercial relevance: n-butanol and isobutanol. Often, when it comes to butanol obtained in a renewable way, both isomers are called biobutanol, but there are some differences in their properties, applications and production methods [20]. It is an important chemical building block, mainly for the manufacture of butyl acetate, having solvent uses in paints and coatings for wood products, but also as food flavoring. Most industrial initiatives, however, are geared towards the biofuel market (replacing fossil gasoline) because of the improved fuel properties of n-butanol compared to ethanol, as a result of higher energy content, lower miscibility of water and less corrosive properties.

Butanol can be produced both by the petrochemical route, mainly in the synthesis via oxo process, and by the biological route, which has as main base the ABE fermentation. The petrochemical route (based on fossil raw materials) has been the main route for butanol production, being an important chemical platform with wide applications, mainly as a solvent [12, 21]. Among the industrial processes, the Reppe synthesis, the hydrogenation of crotonaldehyde and oxo synthesis (more relevant) are highlighted [21]. Due to the volatility of oil prices and environmental aspect, attention has been focused on the generation of biobutanol, based on improvements in the fermentation process or alternative routes with the use of renewable raw materials. The n-butanol is co-produced with acetone and ethanol by fermentation, known as the acetone-butanol-ethanol (ABE) process [22]. Its production via fermentation of sugars will allow the direct substitution of petroleum-derived isobutanol as a drop-in molecule [12]. The ABE fermentation, however, still faces some important bottlenecks, mainly related to low economic viability, low yield and inefficient processes of product recovery and high cost [23].

4.1.2. Market, derivative products and applications

Biobutanol can be applied to both traditional and new markets. The traditional butanol market has several applications, including its direct use as a solvent for paints and varnishes, as well as its industrial conversion to other derivatives such as ethers, acrylates and butyl acetate, used in many other applications besides solvents. It is possible to highlight the production of monomers such as n-butyl acrylate (important for the production of polymers and emulsions used in adhesives, latex paints, coatings and finishes) and the production of plasticizers (used in chloride and polyvinyl acetate), as well as applications in the food packaging market and in the pharmaceutical and cosmetics industries. Other applications also involve the production of butylparaben, antifungal agent for cosmetics, amines used in pesticides and the production of other chemical intermediates [24].

The most prominent market for biobutanol, however, is the opportunity to emerge as the new generation of biofuel, overcoming ethanol and balancing economic development with environmental issues [25].

Specifically in relation to isomers, isobutanol can be used as a fuel additive for oxygenation and octane increase, while n-butanol is used as a solvent and intermediate in paints, coatings, printing inks, adhesives, sealants, fabrics and plastics. In addition, isobutanol can be transformed into para-xylene, the precursor of terephthalic acid, which is used for the production of PET [26].

Finally, butanol has the possibility of participating in the biodiesel production chain (being a substitute of methanol) and the use for production of saturated hydrocarbon fuels, whose properties make it possible to make aviation fuel [27].

4.1.3. Historical Evolution of Production and Players Involved

The current market of chemicals for butanol is approximately 3 million tons per year [28]. Traditionally, BASF stands out as the world's largest producer of n-butanol, followed by Dow. The biofuels market has been singled out as a great opportunity for biobutanol, escaping from direct competition with market giants like BASF and Dow. In this context, there is a strong expectation that the current biofuels market will expand in the coming years [25, 29]. Several companies have turned to this market, of which it is possible to highlight Butamax (joint venture between BP and DuPont), Gevo and Green Biologics, which are among the main ones in the industry,

considering the projects in progress and publications on innovations in biotechnology and on start-ups focused on biofuels, seeking the development of biobutanol [25, 30, 31]. A major incentive for the production of biofuels arises from regulations, which determine minimum percentages of renewable fuels to be gradually adopted. The main characteristics of these projects will be presented in Table 2.

Table 2 - Summary of characteristics of Butanol companies [32, 33, 34]

	Butamax	Gevo	Green Biologics
Origin	Joint-venture between DuPont and BP	Startup developed by the California Institute of Technology	Startup founded in Oxford, England
Development Phase	Start of production in 2013. Currently, in commercial scale.	Start of production in 2016. Currently, in commercial scale	Start of production in 2017. Currently, in commercial scale
Focus	Fuel for vehicles	Avation Fuel	Chemicals (paints, food, cleaning, lubricants, adhesives, elastomers, coatings, sealants, personal care)
Main Partnerships	Early Adopters Group (EAG), Underwriters Laboratories	ICM, Cargill, Coca-Cola, Lufthansa, Toray, Total, United Airlines, Lanxess	Nexeo Solutions, Kreussler Chemicals

4.2. Succinic Acid

4.2.1. Definition, Characterization and Production

Succinic acid is an organic dicarboxylic acid with a four-carbon chain, used in a number of industry applications, having a structure similar to fumaric acid and maleic acid [35]. Its main applications include the preparation of solvents, varnishes, perfumes, the manufacture of paints and dyes, plasticizers and polyesters. In the food industry, the acid is used in the production of beverages such as soft drinks and beers, as well as serving as a flavoring, neutralizing and nutritional supplement [36].

The production process of succinic acid, considering mainly the conversion of maleic anhydride, presents a very high cost [37]. This fact did not allow the great development of this route. Thus, the renewable route is attractive as it is more efficient and allows the development of an application tree that is not viable by the petrochemical route. This transition from petrochemical production to renewable is aimed at reducing the amount of pollutants linked to non-renewable production, optimizing its process and reducing its cost, enabling potential applications that the molecule has by its characteristics. Thus, its production by facultative anaerobic or

anaerobic microorganisms becomes an alternative to the economic and environmental impact of chemical synthesis [36].

There are several advantages linked to the biotechnological production of succinic acid, with emphasis on the possibility of planning alternative, sequential or joint productions with other products of interest in the market, such as citric acid, lactic acid, acetic acid, propionic acid and/or ethanol, whose productions occur with the use of renewable raw material, particularly agricultural and agroindustrial residues. The challenge, in this case, is to reduce the overall cost of the raw material and the fermentation process in order to compete with petrochemicals [37].

4.2.2. Markets, derivative products and applications

Traditional applications of succinic acid include coatings and pigments, applications in the metallurgical industry, pharmaceuticals (as additives), food industry (as sweetening or flavoring agent), photographic industry and agriculture. However, bio succinic acid is the precursor of several biopolymers derived from biomass. In addition, with a lower cost of production when compared to the petrochemical, other applications become feasible for the material. Therefore, there are several new application possibilities for the product of biological origin. It is possible to divide bio succinic acid in four markets: replacement for Maleic Anhydride, Adipic Acid and Phthalic Anhydride (new markets) and replacement for the traditional succinic acid. These applications are better explained next.

4.2.2.1. Replacement for Maleic Anhydride

Due to the fact that succinic acid has a chemical structure similar to maleic anhydride (MAN), it could serve as a substitute for it, but requiring significant adaptations in the process [38, 39]. An important market for biobased succinic acid, used as a direct substitute for MAN, is the production of BDO and its derivatives [39].

BDO is a chemical intermediate used in resins, fibers, coatings and other chemicals. Its most important applications are the production of THF (an intermediate in the production of elastomeric fibers and solvent in pharmaceuticals) and gamma-butyrolactone (GBL - used in industrial cleaning products and in the production of methylpyrrolidone and 2-pyrrolidone) [39]. As investments required for BDO plants to

consume succinic acid instead of maleic anhydride can be considerable, the construction of a new BDO plant may be even cheaper [38].

Succinate polybutylene (PBS) is a bioplastic produced through succinic acid and BDO, being a biodegradable product with properties similar to polypropylene and polyolefins [40]. PBS can be used in packaging (food), textiles, fibers or textiles, consumer goods, electronics, automotive interiors, among other applications [39].

4.2.2.2. Replacemente for Adipic Acid

Another market that may have the entry of bio succinic acid is adipic acid's. Adipic acid is a raw material used in the production of plasticizers, polyester polyols and other polymer applications. There are opportunities for biobased succinic acid to replace adipic acid in applications such as polyurethanes and plasticizers [39]. While Invista, BASF, Rhodia, among others, are important producers of petrochemical adipic acid, there are also companies working on the development of biologically based adipic acid, such as DSM, Myriant, Verdezyne, BioAmber, Rennovia and Genomatica, which would compete with succinic bio-acid [39, 41].

4.2.2.3. Replacement for Phthalic anhydride

Phthalic anhydride is an important chemical intermediate used as a feedstock to produce plasticizers, coatings and polymer resins. Plasticizers make up the largest market for phthalic anhydride, mainly used in the production of plastics, especially polyvinyl chloride (PVC) and added to improve the properties of plastics. Unsaturated polyester resins form the second largest market, while alkyd resins account for the thidr. The minority market of phthalic anhydride are polyester polyols [39].

No source was found related to the level of investment in relation to the adaptation of phthalic anhydride structures to succinic acid. Thus, as in the case of maleic anhydride, it is believed that investments would also be significant in this substitution, and it may be more interesting to build new production plants than to seek to adapt existing ones. References suggest that although this route might be promising, a production of a renewable phthalic anhydride might be preferable [42].

4.2.2.4. Replacement for Traditional Succinic Acid

Traditional markets of succinic acid include deicers, solvents and lubricants, pharmaceuticals, food and cosmetics [37, 39, 40, 43, 44].

4.2.3. Historical Evolution of Production and Players Involved

The succinic acid petrochemical production route was the first to be made industrially and, in 2014, the global market was about 47,500 tons [45]. Among the major producers were DSM, Gadiv Petrochemical Industries, Mitsubishi Chemical, Kawasaki Kasel Chemical, Nippon Shokubai, Anqing Hexing Chemical, Lixing Chemical and Anhui Sunsing Chemicals [39].

With the fermentative route, succinic acid can enter new markets previously not hit by the high cost of production. The biobased product appears to have the performance and cost conditions to build a platform application and reach a market much larger than that achieved by the petrochemical. For this reason, the product has attracted the interest of established companies such as BASF, Corbion, DSM and Roquette, and start-ups such as Bioamber and Myriant / GC Innovation America. These companies are structured around four projects, that are going to be explained next (Succinity (BASF/Corbion), Reverdia (DSM/Roquette) Bioamber and Myriant / GC Innovation America). The main characteristics of these projects will be presented in Table 3.

Table 3 - Summary of company characteristics of Succinic Acid [39, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53].

	Succinity	**Reverdia**	**BioAmber**	**Myriant / GC Innovation America**
Origin	*Joint-venture* BASF/Purac	*Joint-venture* DMS/Roquette	Start-up acquired by DNP	Start-up founded in Massachusetts as BioEnergy International, LLC; renamed to Myriant and then to GC Innovation America
Development Phase	Commercial Production Scale.	Commercial Production Scale.	Was in Commercial Production Scale, but went bankrupted.	Commercial Production Scale.

	Succinity	Reverdia	BioAmber	Myriant / GC Innovation America
Focus	Production of bio-SA, BDO and derivatives and PBS.	Production of bio-AS, BDO, PBS and polyurethane resins.	Production of bio-AS, BDO and derivatives, planning for PBS and substitution of adipic acid (polyurethanes).	Production of bio-AS, replacement of phthalic anhydride (plasticizers, resins) and maleic anhydride (for BDO and PBS).
Main Partnerships	Cargill, Novozymes	Proviron, CIMV, Covestro, Wageningen, Dezhou Xinhuarun (polyurethane), Xinfu (polymers)	Mitsubishi Chemicals, Basic Solutions, Sinoven, GreenField, Mitsui, DuPont, Celexion LLC, PTTMCC, Lanxess, NatureWorks, Evonik, PTT, Vinmar, Ecoat, Oleon, Bayer	Uhde, Davy, SDK

4.3. PEF

4.3.1. Definition, Characterization and Production

PEF (polyethylene-furanoate) is an aromatic polyester made from ethylene glycol which has been found in the literature since 1951, and It is a chemical analogue of polyethylene terephthalate (PET) and polyethylene naphthalate (PEN). Thus, PEF is a 100% biobased alternative to petrochemical PET, offering superior properties, making it the ideal material for a wide range of applications, such as in the alcoholic and non-alcoholic beverage industry [54].

The product could represent a step of bioplastics towards circular economy, consisting of 100% renewable raw materials, such as forestry and agricultural residues, and could still be incinerated, or recycled, without additional CO_2 emission [55]. There are still some obstacles, however. Difficulties in the production route, related to costs, undesirable polymer discoloration, in addition to the production of high molecular weight that will impact the mechanical properties and performance of the PEF are some of the problems still faced by the product [56].

PET is industrially produced by direct esterification of purified terephthalic acid (TPA) with monoethylene glycol (MEG). Traditionally, both are derived from petroleum. PEF, in turn, is produced by FDCA (2,5-Furandicarboxylic acid) and MEG, that can be obtained on a biological basis from sugar. Because it has a more difficult chemical path, it is more expensive than the petrochemical MEG. A direct path from sugars to MEG could significantly reduce the price difference [57].

Being a new product of different chemical structure from PET, it could be considered as a non-drop-in product. However, the process showed to be adequate to existing assets in relation to PET production, acting as a drop in relation to production [58]. According to associations and developers, FDCA can be used in combination with MEG in existing polymerization plants for PET. Similarly, PEF can also be used in downstream processing plants, then by oxidation and purification, polymerization and processing of the plastic, becoming a drop-in in relation to the infrastructure [55, 59]. PEF can also be recycled and incorporated into PET recycling streams up to 5%, with no effect of recycled PET [55]. Although there are still some steps to be taken in packaging re-design and waste management, PEF appears to be an interesting step for the circular economy [55, 60].

4.3.2. Market, derivative products and applications

FDCA, the main basic component of PEF, can be applied as a chemical building block in a wide variety of industrial applications. The FDCA monomer offers opportunities to create a wide range of polymers - polyesters, polyamides and polyurethanes - as well as coating resins, plasticizers and other chemicals [61]. Among these applications, however, it is possible to highlight the substitution of terephthalic acid (TPA) in the production of PEF (in detriment to PET), the objective of this case study.

PEF is primarily used to make bottles, films and fibers, acting as an analogue of polyethylene terephthalate (PET). Fibers are shown as the largest potential segment in the PEF market, followed by bottles and, finally, films. Global market demand for PEF was estimated at 11,700 tonnes in 2016 [62].

PEF fibers also have potential for use in a wide range of applications, from sportswear to carpets. In these markets, the PEF would also enter as the potential substitute for PET [61]. PEF films, in turn, have the potential to significantly affect the market for flexible packaging materials. PEF films can be used to produce food and beverage trays and cups, and create more flexible food packaging, liquid pouches and transparent dry food packaging [61].

4.3.3. Historical Evolution of Production and Players Involved

The main actor in PEF market is Avantium, which made an IPO (Initial Public Offering in Portuguese) to raise funds for investment in the product (US$ 109.5 million) [63]. The company's first world-scale plant is a 50,000-tonne-year production unit designed to operate in Antwerp as part of a joint venture with chemical company BASF called Synvina [64]. In 2018, BASF left the JV, moving Avantium to full ownership of the company [61].

In a historical perspective of this scenario, Coca-Cola pioneered in 2009 PlantBottle, a 100% recyclable PET bottle with up to 30% of its content of renewable origin [65]. In 2011, Toray and Gevo were able to produce 100% renewable PET and Avantium officially opened its pilot plant in Geleen, the Netherlands; in the same year, Coca-Cola announced agreements with Virent, Gevo and Avantium. In 2012, Coca-Cola, Ford, Heinz, NIKE and P & G announced the formation of the Plant PET Technology Collaborative (PTC), an agreement for the development and use of 100% plant-based and fiber-based materials. In 2014, Avantium closed a $ 50 million financing from a consortium of Swire Pacific, Coca-Cola, DANONE, ALPLA and shareholders [66, 67]. Finally, in 2017, the project called PEFerence, led by Synvina (a joint venture between BASF and Avantium), was officially launched, in which partners will cooperate to establish an innovative value chain for FDCA and PEF, including the construction of a 50,000-tonne reference plant in Antwerp, as mentioned above [64].

The main characteristics of this project will be presented in Table 4.

Table 45 - Summary of PEF Business Characteristics [58, 61, 63, 64, 67,]

	Avantium/Synvina
Origin	Start-up / *Joint-venture* Avantium/BASF
Development Phase	Initial Phase, still seeking commercial scale production, which is expected to 2024 (OMNEXUS, 2018).
Focus	Replacing PET in bottles, films and fibers.
Main Partnerships	Danone, Coca Cola, ALPLA, TCCC, Wifag-Polytype, Mitsui, Toyobo

5. RESULTS AND DISCUSSIONS

5.1. Analysis of Dilemmas

5.1.1. Biobutanol

Biobutanol can basically be used as an automotive fuel, for production of aviation fuel, for conversion into p-xylene to be precursor of terephthalic acid and in traditional applications of petrochemical butanol (in solvents, plasticizers, cosmetics, among others). Table 5 provides a summary of its main applications and dilemmas.

Table 5 – Summary of Application Classifications for BioButanol

Biobutanol Use	Applications	Molecule and Complementary Assets	Differentiation	Function in the Production Chain
Competition with Ethanol and Gasoline	Automotive Fuel	Non Drop-in in molecule; Drop-in in Complementary Assets	Commodity	Final
Competition with Ethanol, Diesel and Gasoline	Aviation Fuel	Non Drop-in in molecule; Drop-in in Complementary Assets	Commodity	Intermediary
Transformation into P-Xylene	Terephthalic Acid	Drop-in (molecule and complementary assets)	Commodity	Intermediary
Substitution of Petrochemical Butanol	Solvents, plasticizers, cosmetics, etc.	Drop-in (molecule and complementary assets)	Commodity or Specialty	Final or Intermediary

Checking the actions of the main actors of the segment, it is noticed that the three largest members of the market have been focusing on different applications. Relating the challenges of each application to the main concerns described by related companies, it is created Table 6, which characterizes the main types of products (according to the dilemmas analyzed) for biobutanol companies, according to their market positions.

Table 6 - Production focus and product characteristics of Biobutanol companies

Copmany	Focus	Product Characteristics
Butamax	Automotive Fuel	Non drop-in molecule; *Drop-in* in complementary assets; Final; *Commodity.*
Gevo	Aviation Fuel	Non drop-in molecule; *Drop-in* in complementary assets; Intermediate; *Commodity.*
GBL	Chemical Derivatives	Totally d*rop-in* product*;* Final or Intermediate; *Commodity.*

5.1.2. Bio Succinic Acid

Bio Succinic acid can be used to substitute petrochemical succinic acid or direct substitution of maleic anhydride, adipic acid and phthalic anhydride. Table 7 provides a summary of the main applications of bio succinic acid, relating them to the aforementioned dilemmas.

Table 7 - Classification of bio succinic acid applications

Bio Succinic Acid Uses	Applications	Molecule and Complementary Assets	Differentiation	Production Chain Function
Maleic Anhydride Replacement	BDO, PBS	Non Drop-in	Commodity	Intermediary
Replacement of Adipic Acid	Polyurethanes, plasticizers	Non drop-in in molecule; Drop-in in complementary assets	Commodity	Intermediary
Phthalic Anhydride Replacement	Alkyd Resins, Plasticizers	Non Drop-in	Commodity	Intermediary
Substitution of Petrochemical Succinic Acid	De-icers, solvents and lubricants, pharmaceuticals, food and cosmetics	Drop-in (molecule and complementary assets)	Specialty or Commodity	Final or Intermediary

It is also interesting to understand the positions of each actor in the segment and their activities, in order to understand how they behave in the face of the dilemmas faced. Relating the challenges of each application to the major concerns described by related companies, Table 8 is created, characterizing the main types of products (according to the dilemmas analyzed) for the bio succinic acid companies, according to their market positions.

Table 8 - Production Focus and Product Characteristics of Bio Succinic Acid Companies

Company	Focus	Product Characteristics
Succinity	1) Production of bio-SA 2) Production of BDO and derivatives and PBS.	1) Drop-in; Final or intermediary; Commodity 2) Non drop-in; Intermediate; Commodity
Reverdia	1) Production of bio-SA 2) Production of BDO, PBS 3) Production of polyurethane resins	1) Drop-in; Final or intermediary; Commodity 2) Non drop-in; Intermediate; Commodity 3)Non Drop-in Molecule; Complementary Assets Drop-in; Intermediary; commodity

Company	Focus	Product Characteristics
BioAmber	1) Production of bio-A 2) Production of BDO, planning for PBS 3) Substitution of adipic acid (polyurethanes)	1) Drop-in; Final or intermediate; Commodity 2) Non drop-in; Intermediate; Commodity 3) Non Drop-in Molecule; Drop-in in complementary assets; Intermediate; Commodity
Myriant	1) Production of bio SA 2) Replacement of phthalic anhydride (plasticizers, resins) 3) Substition for maleic anhydride (BDO and PBS).	1) Drop-in; Final or intermediary; Commodity 2) Non drop-in; Intermediary; Commodity 3) Non drop-in; Intermediary; Commodity

5.1.3. PEF

PEF is basically a substitute for PET, whether in bottles, films or fibers. Table 9 summarizes PEF applications in the categories of the dilemmas presented.

Table 9 - Classification of PEF applications

PEF Uses	Applications	Molecule and Complementary Assets	Differentiation	Function in the Production Chain
Replacement for PET	Bottles, fibers and films	Non drop-in in molecule; Drop-in in Complementary Assets	Specialty or Commodity	Final

Avantium/Synvina has faced clear challenges, seeking to develop the market for a different molecule, but attacking an already structured market, being able to benefit from the existing complementary assets and focusing on a final product that will act as a specialty or a commodity (depending on the specific application), in a general way. Matching the challenges of each application with the main concerns described by the company, it is created Table 10, which characterizes the main product types (according to the dilemmas analyzed) for Avantium.

Table 10 - Production focus and product characteristics of PEF companies

Company	Focus	Product Characteristics
Avantium	Replacing PET in bottles, films and fibers.	Non drop-in molecule; Drop-in in complementary assets; Final; Specialty or Commodity.

5.1.4. Global analysis of dilemmas

Through the contexts analyzed, the chosen applications of each product interfere directly in the decision making. Thus, given the choice of the actor in relation to the markets and applications sought, there is the mission to define its market, which is characterized by the scope of the dilemmas cited.

The first dilemma that products encounter is the question of "dropinity". According to the case analysis, it is perceived that the concept is related to how much they adapt to processes already existing in the respective markets and it influences much beyond just being or not the same molecule. A bioproduct characterized by being exactly the same molecule of an existing product may have the facility to reach an already developed market, having to compete basically in terms of cost and performance to take the market, having only its production done differently. The adaptations focus on the upstream stages, from access to the raw material to the production of the bioproduct. This is, for example, the case of bio succinic acid when it substitutes petrochemical succinic acid, or biobutanol when it replaces petrochemical butanol, in its traditional applications. In addition to the definition of the molecule, the discussion of "dropinity" is expanded for the existing complementary assets and what could be used by the bioproduct. Biobutanol as a fuel, bio succinic acid replacing adipic acid and PEF are good examples of "drop-in in complementary assets" because they are different molecules from those normally used but that would benefit from the whole process, distribution and market, since they have similar characteristics, requiring few changes in these systems, including in relation to the recycling process.

The second dilemma would be the question of whether a bioproduct is a final product or an intermediary in a chain. This classification is also directly linked to the applications defined as the focus of the innovator, since the same bioproduct can be sold directly to the market, without further chemical transformations, or an intermediary in obtaining other derivative products. As an example, bio succinic acid can be used directly in the solvent formulation, for example as the final product, or be transformed into other compounds, such as BDO, being only an intermediary.

Finally, the third dilemma in the implementation of new bioproducts in the market is the condition of the product being a commodity or a specialty. Likewise, the applications defined as production focus will define how the bioproduct will behave,

since, as seen, different applications of the same bioproduct can be considered commodities or specialties. One example is bio succinic acid, which may be both a commodity and a specialty when used as a substitute for petrochemical succinic acid, depending on the specific application.

It is worth mentioning, then, how the decisions taken by the actors involve these three great dilemmas, in an integrated way. When defining the investment in a bioproduct and the applications in which it is desired to prioritize (directly related to its business model), companies describe its market profile according to the answer of these dilemmas, which are not only bipolarized classifications, but characteristics that may be more present or less present within the study of that bioproduct.

As mentioned by Rogers (1995), an innovation requires relative comparative advantages over existing solutions, compatibility with existing values and beliefs, ease of understanding and adaptation, testing for the level of market uncertainty and visibility among users, for its diffusion in the market.

With regard to the comparative advantages, bioproducts have already begun to present a point in favor: their renewable origin. Also, this fact is directly related to the commodity versus specialty dilemma, making the bioproduct need a competitive cost in the case of a commodity or superior qualities that differentiate it in the case of a specialty. Still related to the superior qualities of a specialty, one can point non-drop-in products as an opportunity for the development of new markets through the delivery of new functionalities; brand-new biobased products may in some cases bring performance advantages over existing products on the market, facilitating their insertion and representing an increase in consumer interest in bioproducts [14].

In relation to compatibility with existing values, ease of understanding and adaptation and level of uncertainty, the importance of the question of "dropinity" and the challenges that this characteristic will bring. A drop-in product in molecule or in complementary assets generally presents greater compatibility, easier understanding and adaptation in the market, besides the question of the reversibility that Rogers proposes (linked to the idea of being a reversible technological transition), since already penetrates an existing and structured market. A non-drop-in product may present more difficulties in this regard, but at the same time, it can create new markets that bring new consumption needs and new qualities to consumers.

Regarding the market tests and visibility of the bioproduct by consumers, the characteristic of being final or intermediate is directly linked to the understanding of the target market. An intermediary product will normally have a market formed by other companies, while an end product is usually directed to more specific markets, since they do not suffer more chemical reactions. The understanding, knowledge and relationship with this target market is essential for the development of strategies to test the product and make it attractive to its buyers.

Thus, these innovation issues are directly linked to the dilemmas faced by companies in Bioeconomy, which are directly linked to the positioning of decision makers. Decision-makers' choices, not only about the product but, above all, about their applications, determine the dilemmas and challenges to be faced in bioproducts diffusion.

5.2. Decision Tree

Considering the dilemmas faced by decision makers, as exemplified in the previous topic, several paths can be followed, with different challenges to be faced, depending on the choice of the application of that bioproduct. It is interesting to note that a company can define more than one application as a priority and this would imply different paths to be followed.

A decision tree was created so that the actors that want to insert bioproducts in the market can have a better understanding about the difficulties they will encounter and think about the best strategy to insert them in the market. Figure 1 shows the possible paths to be taken by decision-makers regarding the insertion of bioproducts in the market.

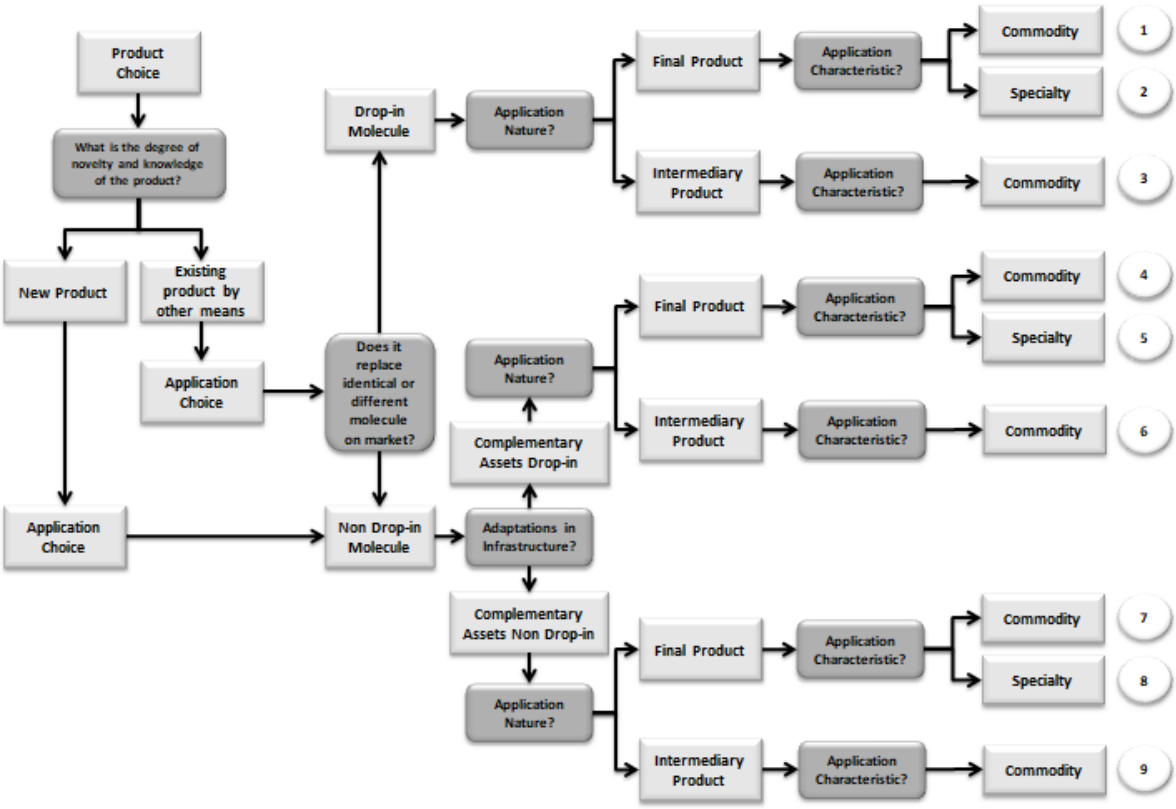

Figure 1 – Decision Tree for the Insertion of Bioproducts in the Market

To use the tree, the following steps are followed:

1) Choose the bioproduct;
2) Understand its degree of novelty and knowledge in the market. In other words, it is necessary to know whether the innovation chosen is a product innovation (entirely new product in commercial terms) or process innovation (already existing product, but commercially manufactured by other means);
3) Choose the application chosen for the bioproduct;
4) Follow step 4.1 or 4.2:

4.1) Being a new product, the application will be a non drop-in. Then, it is necessary to understand if there are complementary assets in the market that can be used by it, the degree of adaptation and investments in new assets required.

4.2) Being an already existing product by other means, one must first understand if the chosen application replaces an identical or different molecule in the market, to be able to classify it as drop-in or non drop-in

with respect to the molecule specifically. If it is a drop-in, go to step 5; if it is a non drop-in, analyze the complementary assets before continue.

5) Classify it by its nature (final ou intermediary)
6) Classify it by its characteristic (commodity or specialty).

An interesting point is the case of intermediary applications. These applications require the end applications coming from them to succeed in order for them to thrive; similarly, the final applications depend on the intermediary also presenting advances in costs and scale (as an egg-chicken dilemma). Therefore, it is interesting to analyze both challenges: the ones related to the intermediary application and the ones related to the final applications (re-entering the tree).

The challenges are directly related to the characteristics of each product characteristic, linked to the answers to the dilemmas, as described in Table 11.

Table 11 - Challenges related to each characteristic of a bio-product

Product Characteristic	Challenges related to the production chain
Drop-in (molecule)	• Investment focused in the upstream, considering all the access, transportation and logistics of the raw material; • Investment in the new production process, for the use of biomass (search for more competitive raw materials) and production of the bioproduct.
Drop-in in Complementary Assets	• Upstream investment, considering all access, transportation and logistics of the raw material; • Investment in the production process, for the use of biomass and production of the bioproduct.
Non Drop-in	• Upstream investment, considering all access, transportation and logistics of the raw material; • Investment in new production and distribution facilities; • Creation and investment in complementary downstream assets.
Final	• Search for penetration in the existing market or creation of a new market, seeking to capture the final consumers.
Intermediate	• Development of different markets or penetration in key markets (anchors - markets that will have sufficient demand to guarantee scale production).
Commodity	• Focus on production scale (Cost reduction).
Specialty	• Focus on product differentiation and market perception.

Based on these descriptions, in the tree, nine different paths were built, which will lead to different difficulties and investment needs, described in Figure 2.

1 — Final Commodity Drop-in Product

- Investment concentrated on upstream, considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in the new production process, for the use of biomass and production of the bioproduct;
- Penetration in the existing market or creation of a new market, seeking to capture the final consumers;
- Focus on production scale (cost reduction).

2 — Final Specialty Drop-in Product

- Investment concentrated on upstream, considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in the new production process, for the use of biomass and production of the bioproduct;
- Penetration in the existing market or creation of a new market, seeking to capture the final consumers;
- Focus on product differentiation and market perception.

3 — Intermediary Commodity Drop-in Product

- Investment concentrated on upstream, considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in the new production process, for the use of biomass and production of the bioproduct;
- Development of different markets or penetration of key markets (anchors);
- Focus on production scale (cost reduction).

4 — Final Commodity Complementary Assets Drop-in Product

- Investment on upstream, considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in the new production process, for the use of biomass and production of the bioproduct;
- Penetration in the existing market or creation of a new market, seeking to capture the final consumers;
- Focus on production scale (cost reduction).

5 — Final Specialty Complementary Assets Drop-in Product

- Investment on upstream , considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in the new production process, for the use of biomass and production of the bioproduct;
- Penetration in the existing market or creation of a new market, seeking to capture the final consumers;
- Focus on product differentiation and market perception.

6 — Intermediary Commodity Complementary Assets Drop-in Product

- Investment on upstream, considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in the new production process, for the use of biomass and production of the bioproduct;
- Development of different markets or penetration of key markets (anchors);
- Focus on production scale (cost reduction).

7 — Final Commodity Non Drop-in Product

- Investment on upstream, considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in new production and distribution facilities;
- Creation and investment in complementary downstream assets;
- Penetration in the existing market or creation of a new market, seeking to capture the final consumers;
- Focus on production scale (cost reduction).

8 — Final Specialty Non Drop-in Product

- Investment on upstream, considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in new production and distribution facilities;
- Creation and investment in complementary downstream assets;
- Search for penetration in the existing market or creation of a new one, seeking to capture the final consumers;
- Focus on product differentiation and market perception.

9 — Intermediary Commodity Non Drop-in Product

- Investment on upstream, considering all access, transportation and logistics of the raw material;
- Investment in new production and distribution facilities;
- Creation and investment in complementary downstream assets;
- Development of different markets or penetration of key markets (anchors);
- Focus on production scale (cost reduction).

Figure 2 - Challenges in each branch of decision in the insertion of bioproducts in the market

This decision-making will define the need for investments in facilities, the development of new markets, the building of partnerships, the focus on differentiation or minimization of costs and, in general, define the characteristics of the company in the market and its main points of attention. The constructed decision tree serves as the basis for preparing a company for its own definition, structuring and preparation to face the dilemmas and challenges that the market will impose, and the cases analyzed in this work can be used as examples of the tree usage.

Beginning with biobutanol, it fits initially as an existing product by other routes (petrochemical, in the case). From there, it is necessary to choose the application. The routes for the application choices (substitution of petrochemical AS, p-xylene , automotive or aviation fuel) are shown in Figure 3, following the paths 1/3, 3, 4 or 6, repectivelly.

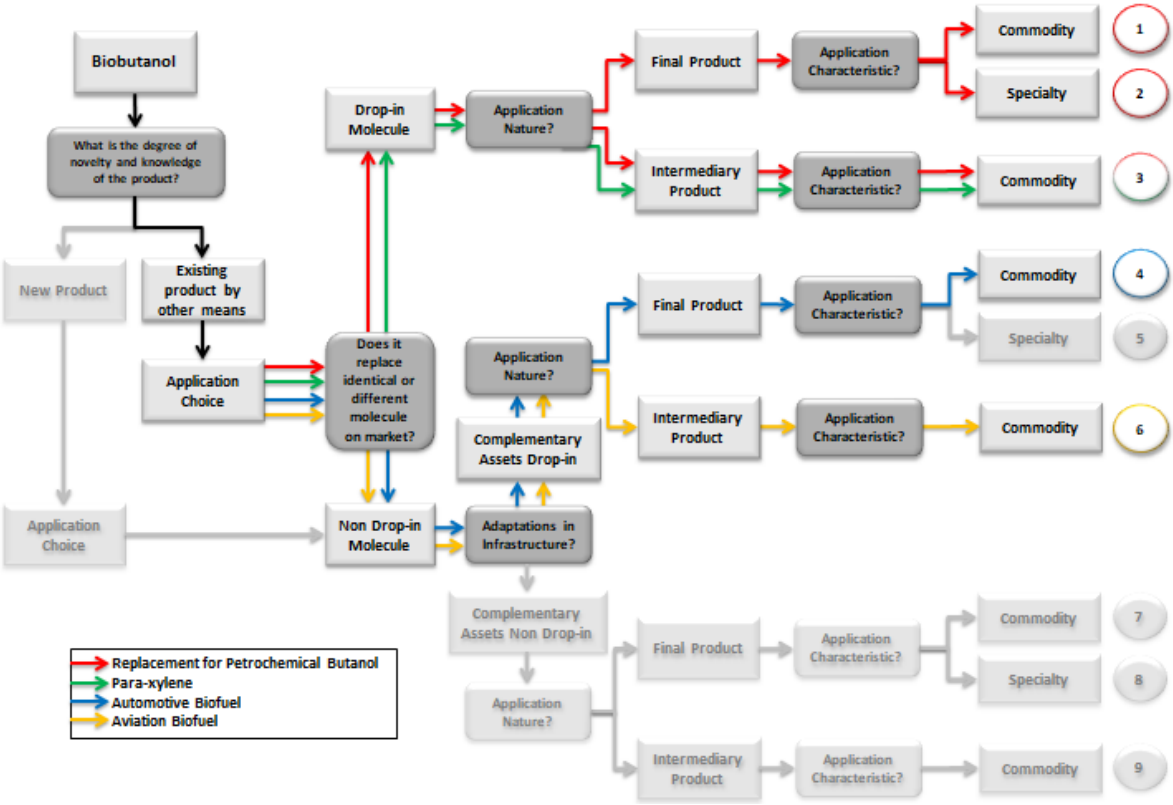

Figure 3 - Biobutanol pathways and their applications in the Decision Tree

For the case of para-xylene and aviation biofuel, which are intermediates, it is interesting to enter the tree once again, with the final application that is desired, such as PET or jet fuel, respectively, to understand the challenges not only of the intermediary applications, but also of the final applications that will be fundamental to the success of the intermediaries.

Bio succinic acid, in turn, also starts the tree as an existing product, traditionally through the petrochemical route. From this, it is possible to choose the replacement of the petrochemical AS, adipic acid, phtalic anhydride or maleic anhydride, which would lead to paths 1/3, 6, 9 and 9, as Figure 4 shows.

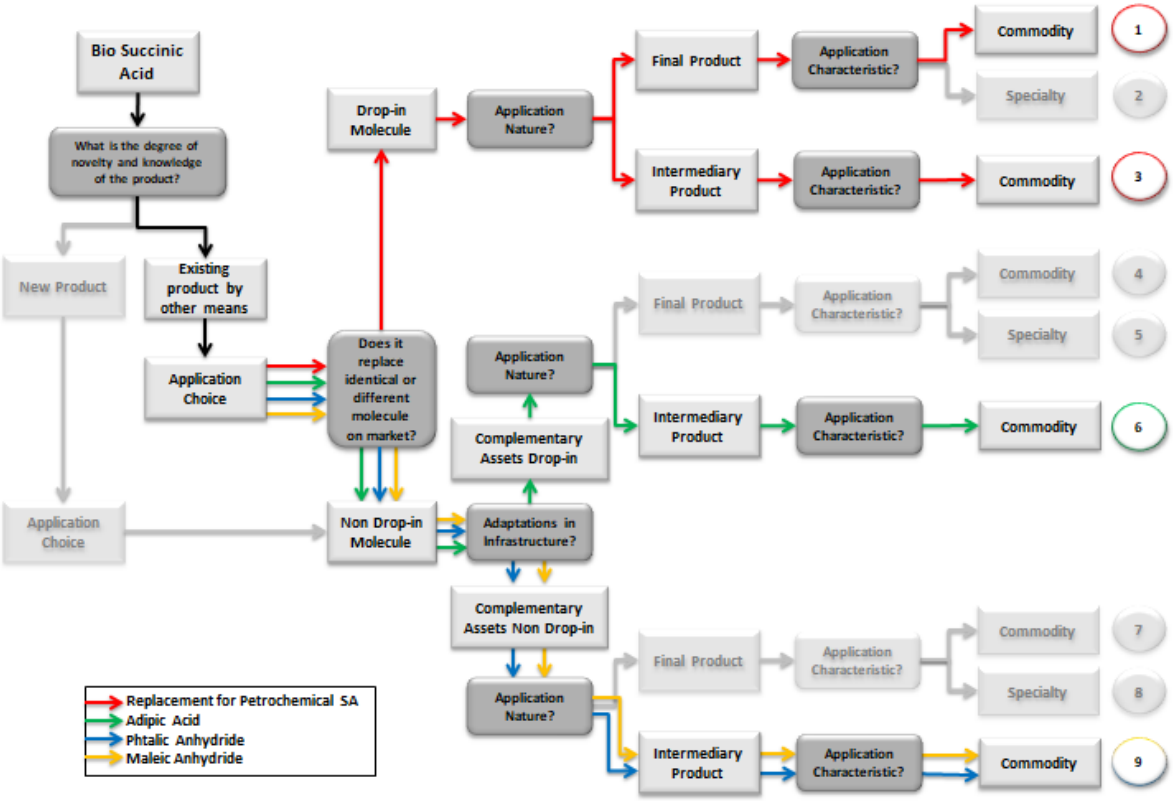

Figure 4 - Pathways of Bio Succinic Acid and its Applications in the Decision Tree

As stated for the intermediate applications of biobutanol, it could be done a new analisys for phthalic anhydride, for maleic anhydride, for adipic acid and for the substitution of traditional succinic acid. However, the applications are the most varied and analysis of different trees is practically infinite, being able to analyze for different solvents, drugs, lubricants, food, cosmetics, among other products.

Analyzing the cases of bio succinic acid, one can also see how the actors have been structured to face the dilemmas of the respective products. In these cases, the actors, in general, have diversified their investments a lot, focusing on several applications. This fact generates a greater complexity in its business models, with different challenges, but that some may present an intersection that favors the strategies of the actors.

PEF, in turn, starts the tree as a completely new product. From there, the product is certainly a non-drop-in molecule and, considering its application in place of PET, the product would drop-in relative to the existing complementary assets, behaving as a final product and a specialty or a commodity, depending on the product made, following the paths number 4 or 5 in the tree. Figure 5 show these paths.

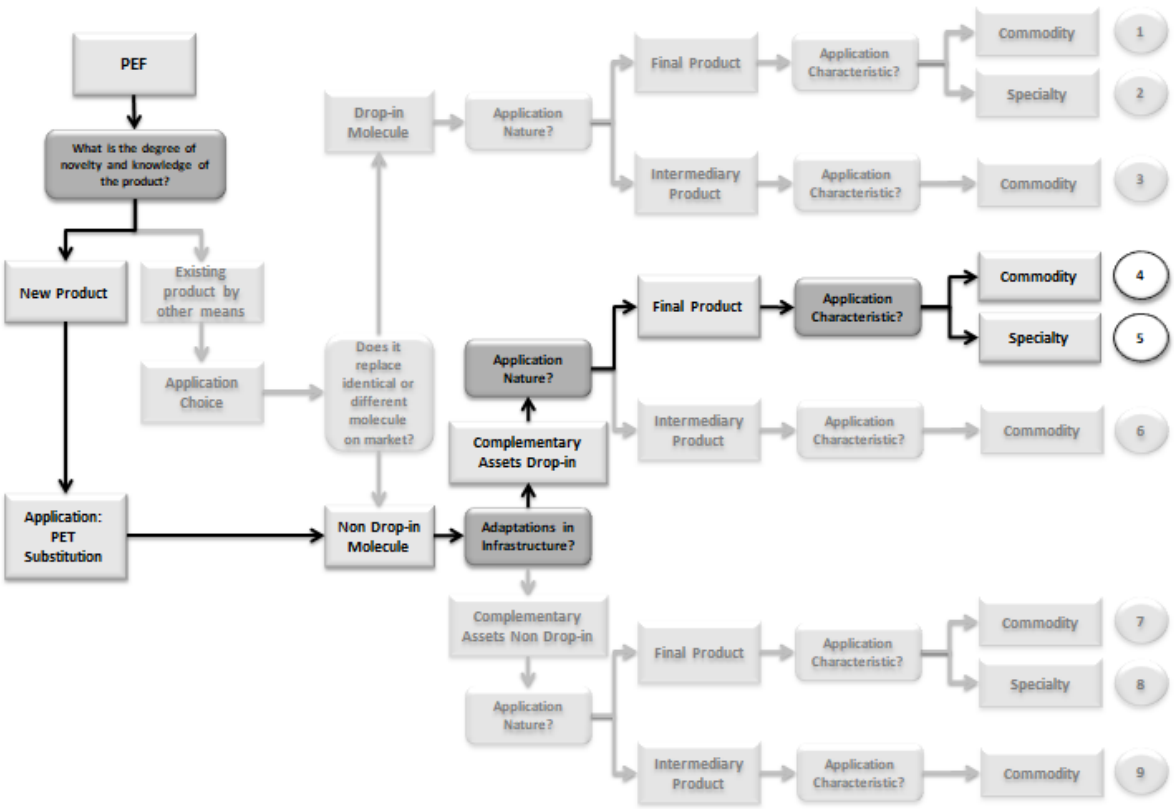

Figure 5 - PEF Paths and their Applications in the Decision Tree

It can be seen that the tree is very well applicable in several contexts and is an important tool for companies wishing to invest in the field of bioproducts to identify the relevant dilemmas and challenges and thus prepare for them.

6. CONCLUSIONS

Considering the case studies presented in this paper, after the understanding of Bioeconomy and the diffusion of bioproduct innovation, it is possible to perceive diverse dilemmas existing for companies that wish to invest in this field. These

dilemmas, are directly related to the type of product, the positioning of each company in the market and the applications of each bioproduct that they wish to invest.

Companies are mainly faced with dilemmas regarding the "dropinity" or suitability of the product to the existing assets, the differentiation of the bioproduct in the market and the product positioning in the production chain, with different classifications according to the specific application in which one wishes to invest.

The decision tree presented in this work is a proposed tool that can be useful to organize the classification of the applications chosen for investment in a bioproduct and understanding of the challenges that will be presented, so that these companies have a clearer and better structured strategy of insertion in the market. By being able to be characterized by the dilemmas they encounter, companies are able to invest precisely in the relevant difficulties, which may require partnerships, the development of complementary assets, new markets, among others, that the product and chosen applications demand.

Thus, the tree is a structure set up to facilitate the organization of companies and public policy makers who wish to invest in bioproducts, helping the understanding of challenges and how to deal with them. With this structure, it is possible to discuss and position companies in terms of the quantity and complexity of the challenges they face. This prospect becomes interesting for investors as well. The analysis with the decision tree allows to compare companies and their choices/strategies of innovation in bioproducts.

This work was, then, able to advance in the discussion and understanding of the challenges faced by the bioproducts in the market and proposes a tool that assists the actors who wish to be included in Bioeconomy.

REFERENCES

1. BOMTEMPO, J. V.; ALVES, F. **Innovation dynamics in the biobased industry**. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2014.

2. OROSKI, F.; BOMTEMPO, J. V. **Bioeconomia em construção – O desafio da difusão dos bioplásticos.** Blog Infopetro. 2018.

3. BOZELL, J. J.; PETERSEN, G. R. **Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy's "Top 10" revisited**. Green Chemistry. 2010.

4. OROSKI, F. A.; ALVES, F. C.; BOMTEMPO, J. V. **Bioplastics Tipping Point: drop-in or non-drop-in?** Journal of Business Chemistry. 2014.

5. CARUS, M; IFFLAND, K.; SHERWOOD, J. R.; RASCHKA, A.; FARMER, T. J.; CLARK, J. H. **Definition, Calculation and Comparison of the " Biomass Utilization Efficiencies (BUE) " of Various Bio-based Chemicals, Polymers and Fuels.** Nova Institute. 2015.

6. ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. New York: Free Press. 2003.

7. TEECE, D. J. **Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance.** Strategic Management Journal. 2007.

8. TEECE, D. J. **Strategies for Managing Knowledge Assets: The Role of Firm Structure and Industrial Context.** Long Range Planning. 2000.

9. ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. New York: Free Press. 1995.

10. BOMTEMPO, J. V.; ALVES, F. C.; OROSKI, F. A. **Developing new platform chemicals: what is required for a new bio-based molecule to become a platform chemical in the bioeconomy?.** Faraday Discussions. 2017.

11. ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Available at: Ellen Macarthur Foundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/overview/concept>. Accessed in: September 2018

12. E4TECH; RE-CORD; WUR. **From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals.** European Commission Directorate-General Energy. 2015.

13. BOMTEMPO, J. V. **O futuro dos biocombustíveis XVIII: Os dilemas dos produtos na bioeconomia**. Blog Infopetro. 2013.

14. BETO (THE BIOENERGY TECHNOLOGIES OFFICE). **Moving Beyond Drop-In Replacements: Performance-Advantaged Biobased Chemicals. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE).** U.S. Department of Energy (DOE). 2018.

15. KLINE, C. **Maximizing Profits in Chemicals**. Chemtech. 1976.

16. BOMTEMPO, J. V. **CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS QUÍMICOS: uma visão dinâmica das linhas de produtos e das empresas**. Escola de Química/UFRJ - Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. 1994.

17. BOMTEMPO, J. V. **Bioeconomia em construção IV – Os novos produtos-plataforma**. Blog Infopetro. 2015.

18. YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Bookman. 2001.

19. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Top Value Added Chemicals from Biomass**. 2004.

20. PAULIEN F. H.; HARMSEN, M. M. **Green building blocks for bio-based plastics**. Biofpr. 2014.

21. UYTTEBROEK, M.; VAN HECKE, W.; VANBROEKHOVEN, K. **Sustainability metrics of 1-butanol**. Catalysis Today. 2013.

22. DE JONG, ED.; HIGSON, A.; WALSH, P.; WELLISCH, M. **Product developments in the bio-based chemicals arena**. Biofpr. 2012.

23. NATALENSE, J. C. **Prospecção Tecnológica de Biobutanol no contexto brasileiro de Biocombustíveis**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 2013.

24. MASCAL, M. **Chemicals from biobutanol: technologies and markets.** Biofuels, Bioproducts & Biorefining. 2012.

25. ALMEIDA, L. M. **Tecnologias e Estratégias para Produção de Biobutanol.** Projeto Final de Curso - EQ/UFRJ. 2017.

26. CAVANI, F.; ALBONETTI, S.; BASILE, F.; GANDINI, A. **Chemicals and Fuels from Bio-Based Building Blocks**. Wiley. 2016.

27. HARVEY, B. G.; MEYLEMANS, H. A. **The role of butanol in the development of sustainable fuel technologies**. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2011.

28. SNYDER, S. W. **Commercializing Biobased Products.** RSC Green Chemistry No. 43, The Royal Society of Chemistry. 2016.

29. LAWRENCE, M.; ADAMSON, K. **Market Data: Biofuels; Ethanol, Biobutanol, Biodiesel, Green Diesel, Synthetic Gasoline, and Renewable Biojet Consumption and Production from Biomass Resources: Global Market Sizing, Segmentation, and Forecasts.** Navigant Research. 2013.

30. COUTINHO, P.; BOMTEMPO, J. V. **Roadmap tecnológico em matérias-primas renováveis: uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil.** Química Nova. 2011.

31. BIOFUELS DIGEST. Available at: <http://www.biofuelsdigest.com/>. 2018. Accessed in: December 2018.

32. BUTAMAX. Available at: <http://www.butamax.com/ >. Accessed in: May 2018.

33. GEVO. Available at: <https://gevo.com/>. Accessed in: May 2018.

34. GREEN BIOLOGICS. Available at: <http://www.greenbiologics.com/>. Accessed in: May 2018.

35. BQV. Available at Blog Química Verde (BQV): <http://quimicaverdeinfo.blogspot.com.br/2012/>. Accessed in: March 2018.

36. PUBLISBQ. Available at PubliSBQ (Sociedade Brasileira de Química) Website: http://qnint.sbq.org.br/qni/popup_visualizarMolecula.php?id=6wBR-NdhBKLcvAOaNduIu6W3JSVwc6UP96kE0MJkaFjXscrbOnRE4H71wvL9qbpfvJ9jgjS6cpEyOHSo8xR1Fw==>. Accessed in: March 2018.

37. OLIVEIRA, S. D. **Análise da Produção do Ácido Succínico a Partir de Fontes Renováveis: Perspectivas e Desafios.** 4º Encontro da Escola Brasileira de Química Verde. 2014.

38. NEXANT. **Biosuccnic Acid**. CHEMSystems PERP Program. 2012

39. WEASTRA. **Determination of market potential for selected platform chemicals.** 2013.

40. BIOREFINERIES BLOG. **Succinic acid biorefineries**. Available at: https://biorrefineria.blogspot.com.br/2015/10/succinic-acid-biorefineries.html?m=1>. 2016. Accessed in: March 2018.

41. GLOBAL MARKET INSIGHTS. Available at: Global Market Insights Website: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/bio-adipic-acid-market>. 2016. Accessed in: January 2019.

42. MAHMOUD, E.; WATSON, D. A.; LOBO R. F. **Renewable production of phthalic anhydride from biomass-derived furan and maleic anhydride.** Green Chemistry. 2014.

43. BIOAMBER. Available at: <https://www.bio-amber.com/>. Accessed in: May 2018.

44. NGHIEM N. P., KLEFF S., SCHWEGMANN S. **Succinic Acid: Technology Development and Commercialization.** MDPI. 2017.

45. GRAND VIEW RESEARCH. Disponível em Grand View Reearch Website: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/succinic-acid-market>. 2016. Accessed in: November 2018.

46. SUCCINITY. Available at: <http://www.succinity.com/>. Accessed in: May 2018.

47. GREEN CHEMICALS BLOG. Available at: https://greenchemicalsblog.com/>. Accessed in: May 2018.

48. BIO ORG (BIOTECHNOLOGY INNOVARION ORGANIZATION). Available at: <https://www.bio.org/>. 2015. Accessed em: May 2018.

49. REVERDIA. Available at: <https://reverdia.com/>. Accessed in: May 2018.

50. ICIS. Available at: <https://www.icis.com/pages/custom-publishing/bioamber/>. Accessed in: November 2018.

51. BIOAMBER. Available at: <https://www.bio-amber.com/>. Accessed in: May 2018.

52. MYRIANT. **Succinic Acid & Derivatives SBU**. Available at: <http://www.myriant.com/>. Accessed in: 2018.

53. GC INNOVATION AMERICA. Available at: <https://www.gcinnovationamerica.com/>. Accessed in: January 2019.

54. BIOPLASTIC NEWS. **Polyethylene Furanoate PEF**. Available at: <https://bioplasticsnews.com/polyethylene-furanoate-pef/>. Accessed in: May 2018.

55. OMNEXUS SPECIALCHEM (2018). Available at Omnexus SpecialChem: https://omnexus.specialchem.com/>. 2018. Accessed in: January 2019.

56. KASMI, N.; MAJDOUB, M.; PAPAGEORGIOU, G. Z.; ACHILIAS, D. S.; BIKIARIS, D. N. **Solid-State Polymerization of Poly(ethylene furanoate) Biobased Polyester, I: Effect of Catalyst Type on Molecular Weight Increase.** MDPI - Polymers. 2017.

57. BIOBASED PRESS. **Biobased MEG directly from sugars, a new step in green chemistry.** Available at: <https://www.biobasedpress.eu/2016/07/biobased-meg-directly-from-sugars-a-new-step-green-chemistry/>. 2016. Accessed in: May 2018.

58. GRUTER, GJ. **PEF, a 100% bio-based polyester: Synthesis, Properties & Sustainability.** Avantium – EuroNanoForum. 2015.

59. CORBION. Available at: <https://www.corbion.com/bioplastics/products/fdca-for-pef>. Accessed in: June 2018.

60. SYNVINA. **BOPEF – A novel substrate for flexible packaging**. 2017.

61. AVANTIUM. Available at: <https://www.avantium.com/yxy/products-applications/>. Accessed in: May 2018.

62. GRAND VIEW RESEARCH. **Polyethylene Furanoate (PEF) Market Size Analysis Report By Application (Bottles, Films, Fibers), By Region (North America, Europe, Asia Pacific, CSA, MEA), And Segment Forecasts, 2016 - 2022**. 2018.

63. BIOFUELS DIGEST. **The Sexy 7: The bio markets and apps in PET, PX, PEF, PLA, PHA, PBS, and PE.** Available at: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/06/06/the-sexy-7-the-bio-markets-and-apps-in-pet-px-pef-pla-pha-pbs-and-pe/>. 2017. Accessed in: May 2018.

64. BIOFUELS DIGEST. **Five-year EU flagship project for FDCA and PEF launched.** Available at: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/10/28/five-year-eu-flagship-project-for-fdca-and-pef-launched/>. 2017. Accessed in: May 2018.

65. THE COCA-COLA COMPANY. **Plant Bottle**. Bioeconomy Forum Finland. 2012.

66. IIPRD. **Exemplary Landscape Study - Polyethylene Furanoate (PEF).** 2015.

67. BIOFUELS DIGEST. **Avantium raises $50M from Coca-Cola, Danone, Swire and more: renewable PEF plastic bottles take the spotlight.** Available at: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/06/05/avantium-raises-50m-from-coca-cola-danone-swire-and-more-as-all-renewable-pef-plastic-bottles-take-the-spotlight/>. 2014. Accessed in: May 2018.