



PROGRAMA EQ-ANP

**Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria
do Petróleo e Gás Natural**



A Dinâmica de Inovação em Intermediários Químicos a partir de Biomassa: o Caso do Ácido Succínico

Manuela Rocha de Araújo

Projeto de Final de Curso

Orientadores

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

José Vitor Bomtempo, D.Sc.

Março de 2014

A DINÂMICA DE INOVAÇÃO EM INTERMEDIÁRIOS QUÍMICOS A PARTIR DE BIOMASSA: O CASO DO ÁCIDO SUCCÍNICO

Manuela Rocha de Araújo

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente do Programa Escola de Química/Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria de Petróleo e Gás Natural, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Química com ênfase na área de Petróleo e Gás Natural – Gestão e Regulação.

Aprovado por:

Daniella Fartes, Eng. Quím

Fábio de Almeida Oroski, D. Sc..

Victoria Emilia Neves Santos, M. Sc.

Orientado por:

Flávia Chaves Alves, D. Sc

José Vitor Bomtempo, D. Sc

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Março de 2014

De Araújo, Manuela Rocha.

A dinâmica de inovação em intermediários químicos a partir de biomassa: o caso do ácido succínico/ Manuela Rocha de Araújo. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2014.

x, 85 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2014.

Orientadores: Flávia Chaves Alves e José Vitor Bomtempo.

1. Bioprodutos. 2. Inovação. 3. Bioindústria. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ).
5. Flávia Chaves Alves e José Vitor Bomtempo. I. A dinâmica de inovação em intermediários químicos a partir de biomassa: o caso do ácido succínico.

Dedico o presente trabalho a todos os amigos e familiares que me prestaram incondicional apoio e incentivo ao longo de minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Manuel e Iolanda, por terem se dedicado com muito amor à minha formação como pessoa e por terem me ensinado valores que carrego para toda a vida. Agradeço ao meu irmão, Luiz Filipe, por todo o apoio e companherismo.

Agradeço aos meus amigos de curso que me acompanharam nesta caminhada compartilhando conhecimentos e bons momentos.

Aos professores da Escola de Química e funcionários pela excelência, prontidão e simpatia. Em especial, agradeço aos meus orientadores, Flávia e José Vitor, pela disposição em ajudar, apoio e compreensão.

Agradeço a Deus por iluminar sempre meu caminho e me dar força para seguir.

Ao apoio financeiro da **Agência Nacional do Petróleo** – ANP – e da **Financiadora de Estudos e Projetos** – FINEP – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT, em particular ao **PRH 13**, da Escola de Química - Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira Química com ênfase na área de Petróleo e Gás Natural – Gestão e Regulação.

A DINÂMICA DE INOVAÇÃO EM INTERMEDIÁRIOS QUÍMICOS A PARTIR DE BIOMASSA: O CASO DO ÁCIDO SUCCÍNICO

Manuela Rocha de Araújo

Março, 2014

Orientadores: Prof. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Prof. José Vitor Bomtempo, D.Sc.

Motivações ambientais e econômicas atraem a atenção de empresas no sentido do desenvolvimento de processos para a produção de intermediários químicos a partir de biomassa. O número de projetos em desenvolvimento e a variedade de alternativas tecnológicas e de modelos de negócios, entre outros aspectos, tornam o caso do ácido succínico um dos exemplos merecedores de atenção. A indústria baseada em biomassa está se transformando em uma atividade muito diferente da indústria de biocombustíveis de primeira geração, porém, poucos estudos voltados para a bioindústria têm integrado as dimensões tecnológicas às estratégias de inovação. Tratando-se de um processo de inovação, é importante, para a sua compreensão, considerar as dimensões de competição entre alternativas na etapa inicial da indústria. O projeto visa mapear e analisar as inovações em intermediários químicos a partir de biomassa sob o ponto de vista de um produto com foco nas empresas e suas estratégias de inovação, de forma a entender a dinâmica de inovação atual e as implicações futuras. O caso do ácido succínico é sugerido como exemplo inicial a ser validado e explorado. São levantados os projetos em andamento no mundo em bio-ácido succínico e analisadas informações acerca das matérias-primas utilizadas, rotas adotadas, estágio de maturidade industrial das plantas e também da dinâmica de parcerias anunciadas. A análise dessas informações permite a observação de tendências e a construção de um perfil sob o ponto de vista desse bioproduto, não generalizável, para o processo de construção da nova bioindústria.

Abstract of a Final Project presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Engenharia Química with emphasis on Petroleum and Natural Gas – Management and Regulation.

**INNOVATION DYNAMICS ON CHEMICALS INTERMEDIATES FROM
BIOMASS: A CASE STUDY OF SUCCINIC ACID**

Manuela Rocha de Araújo

Março, 2014

Supervisors: Prof. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Prof. José Vitor Bomtempo, D.Sc.

Nowadays, environmental and economic motivations attract the attention of companies towards the development of processes for the production of biobased chemical intermediates. The number of projects, the range of alternative technologies and business models and its potential as platform chemical, among other positive issues, turn the case of succinic acid on one example that worth attention. The biobased industry is turning into a very different activity from the first-generation biofuels industry. However, few studies focused on this new industry have integrated technological dimensions to innovation strategies. In the case of an innovation process study, it is important to consider the dimensions of competition between alternatives in the very initial stage of the industry. This project, then, aims to map and analyze innovations in biobased chemical intermediates from the point of view of a specific product. This analysis is focused on companies and their innovation strategies in order to understand the current innovation dynamic and future implications. The case of succinic acid is initially suggested and it is to be explored and validated by specific methodology. Focused on the industrial projects identified worldwide on biobased succinic acid and pretending to study technological and strategic aspects, this study analyzes information about the raw materials, technological routes, industrial process maturity and also about partnership mechanisms. This comparative analysis make it possible to observe trends and propose a profile, from the point of view of this product, to the building process of the incipient biobased industry.

ÍNDICE

Capítulo I – Introdução	1
I.1 Inovação e Modelos de Negócio	4
I.2 Motivação.....	5
I.3 Objetivos	6
I.4 Organização do Estudo.....	6
Capítulo II – Metodologia	7
II.1 Pré-seleção de Bioprodutos Promissores	8
II.2 Quadro para Análise dos Bioprodutos Identificados	14
II.3 Critérios para Escolha do Ácido Succínico	14
II.4 Estudo do Ácido Succínico.....	17
II.4.1 Fontes de Dados	17
II.4.2 Variáveis de Análise	18
Capítulo III – O Ácido Succínico	19
III.1 Propriedades Físico-Químicas	20
III.2 Aplicações	21
III.3 Rotas Tecnológicas.....	28
III.3.1 Rota petroquímica.....	29
III.3.2 Rota biológica.....	30
III.4 Aspectos Mercadológicos.....	36
III.5 O Processo de Inovação.....	43
Capítulo IV – Análise de Projetos.....	44
IV.1 Análise tecnológica	45
IV.1.1 Natureza do processo	45
IV.1.2 Estágio de maturidade da tecnologia.....	52
IV.2 Análise de modelo de negócios	53
IV.2.1 Perfil da empresa	54
IV.2.2 Segmento de mercado explorado	55
IV.2.3 Proposição de valor	57
IV.2.4 Parcerias chave	58
IV.2.5 Canais de distribuição	64

IV.2.6 Fontes de receitas e recursos	65
Capítulo V – Conclusão.....	66
Referências Bibliográficas.....	71
ANEXO I.....	76
ANEXO II	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II-1 Número de citações por bioproduto	10
Figura II-2 Perfil dos artigos científicos – HMF	12
Figura II-3 Perfil dos artigos científicos - Ácido levulínico.....	12
Figura II-4 Perfil dos artigos científicos - Ácido láctico.....	13
Figura II-5 Perfil dos artigos científicos - Ácido succínico.....	13
Figura II-6 Pegada de carbono do Biosuccinium™, bio-ácido succínico produzido pela Reverdia.....	16
Figura III-1 Aplicações do ácido succínico por setor.....	23
Figura III-2 Derivados do ácido succínico	24
Figura III-3 Síntese química para obtenção do ácido succínico.....	29
Figura III-4 Equações do processo produtivo com leveduras e com bactérias	34
Figura III-5 Comparação de etapas de um caso de processo industrial com levedura a um caso com bactéria	34
Figura III-6 <i>Market share</i> do ácido succínico por produtores, 2011.....	36
Figura III-7 <i>Market share</i> do ácido succínico por aplicação, 2011.....	37
Figura III-8 Mercados para o ácido succínico	38
Figura III-9 Aplicações finais do ácido succínico	41
Figura III-10 Projeção do <i>market share</i> do ácido succínico por aplicação para 2020 ...	42
Figura IV-1 Comparação entre a rota biológica da Myriant e a rota petroquímica convencional.....	46
Figura IV-2 Comparação do uso de levedura ao uso de bactéria no processo fermentativo da Reverdia Vof	47
Figura IV-3 Etapas do processo produtivo de biosuccinium™.....	48
Figura IV-4 Diagrama da cadeia produtiva integrada da BioAmber.....	51
Figura IV-5 Mecanismos de mercado	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela II-1 Critérios utilizados por Bozell e Petersen (2010) para análise de oportunidades em bioprodutos	8
Tabela II-2 Análise dos 7 bioprodutos selecionados	11
Tabela II-3 Variáveis de análise	18
Tabela III-1 Propriedades físico-químicas e identidade química do ácido succínico	21
Tabela III-2 Capacidade produtiva de ácido succínico e projeções	39
Tabela III-3 Mercados potenciais para o bio-ácido succínico	40
Tabela IV-1 Matéria-prima para produção de bio-ácido succínico por empresa	49
Tabela IV-2 Produção comercial por empresa	52
Tabela IV-3 Perfil das empresas	54
Tabela IV-4 Proposição de valor do bio-ácido succínico por empresa	57
Tabela IV-5 Emissão de GEE na produção petroquímica vs. renovável	58
Tabela IV-6 Gasto energético na produção petroquímica vs. renovável	58
Tabela IV-7 Parcerias identificadas	59

Capítulo I – Introdução

Da mesma forma como vivenciado anteriormente na transição do carvão para o petróleo como fonte de matéria-prima base para a indústria química, muitos estudiosos definem hoje o surgimento de uma nova indústria caracterizada pela exploração da biomassa (Benett, 2012). Diversos são os fatores econômicos, científico-tecnológicos e ambientais que caracterizam e definem um cenário mundial atual de grande valorização da prática de produção e consumo sustentáveis. Entre eles, pode-se destacar (CGEE, 2010):

- i. Crescimento da população mundial;
- ii. Esgotamento de reservas fósseis e custos crescentes dos combustíveis convencionais;
- iii. Mudanças climáticas;
- iv. Legislação ambiental mais restritiva;
- v. Conscientização ambiental da população;
- vi. Potencial da biologia industrial;
- vii. Avanço da biotecnologia;
- viii. Adoção de estratégias empresariais integradas;
- ix. Incentivo à inovação tecnológica como estratégia em gestão de crises.

Nesse contexto, não apenas impulsionado pela valorização das fontes renováveis, frente aos altos preços de petróleo dos últimos anos, mas também como resposta a um processo sólido de desenvolvimento de novos conhecimentos em biomassa, a difusão da Química Verde e do conceito de biorrefinaria no mundo é cada vez maior.

A Química Verde é um campo emergente que objetiva a produção científica e o desenvolvimento de processos industriais de forma ecologicamente correta seguindo, para tal, 12 princípios, entre eles: prevenção, eficiência atômica, síntese segura, uso de fontes de matéria-prima renováveis e busca pela eficiência energética (CGEE, 2010) (WWVerde, 2013). Biorrefinarias são indústrias de processamento que extraem carboidratos, óleos, lignina ou outros materiais da biomassa, e os converte em

múltiplos produtos, incluindo combustíveis, materiais e químicos de alto valor agregado (Werpy e Petersen, 2004). Diferente da convencional produtora de biocombustíveis, a biorrefinaria atual, chamada também de integrada, visa ampliar seu portfólio para além dos biocombustíveis, construindo sistemas integrados para a produção de compostos químicos, alimentos e energia a partir de biomassa (CGEE, 2010) (Bozell e Petersen, 2010).

Englobando estes conceitos emergentes, tem-se notado a definição de uma nova concepção de indústria química que utiliza fontes renováveis como matéria-prima e/ou emprega a biotecnologia nas transformações químicas: a bioindústria.

No Brasil, especificamente, a valorização da biomassa encontra terreno fértil. O país possui uma vantagem competitiva devido a diversos fatores como terras cultiváveis, clima favorável, recursos humanos disponíveis e cana-de-açúcar em abundância. O bagaço de cana-de-açúcar apresenta-se como um dos materiais lignocelulósicos com maior potencial para a obtenção de diversos produtos de interesse comercial.

Empresas mundiais já estabelecidas no setor químico, assim como novos participantes, são atraídas nesse cenário à exploração da biomassa e, portanto, à diversificação do seu portfólio e também à redefinição de estratégias e modelos de negócio. Recentes anúncios de plantas em escala comercial para a produção de intermediários químicos desta natureza colocam em destaque empresas não tradicionais na indústria química mundial, as quais surgem não apenas com novos processos, mas também com modelos de negócios e desenvolvimento de parcerias que influenciam a dinâmica de inovação no setor.

O grande desafio das empresas em implantar uma biorrefinaria é a escolha dos produtos a serem adicionados ao seu portfólio. Essa dificuldade pode ser justificada por diversos fatores, entre eles: a amplitude de oportunidades de investimento, ou seja, a diversidade de opções, sejam estas bioprodutos inovadores ou substitutos equivalentes aos petroquímicos convencionais; a complexa dinâmica de inovação embutida nesse processo de construção da bioindústria; os gargalos tecnológicos e o grau de maturidade ainda reduzido de processos/tecnologias de conversão de alguns bioprodutos. Entre as oportunidades de investimento existentes, um dos segmentos que tem se destacado é o

da produção de intermediários químicos que tenham potencial para se tornarem plataformas para o desenvolvimento de novas famílias de produtos, como é o caso do ácido succínico.

No contexto apresentado, o presente trabalho pretende, sob o ponto de vista de um produto específico e integrando a dimensão tecnológica às estratégias de inovação, buscar compreender o processo de construção dessa nova indústria. Nessa análise, procura-se, a partir da estruturação de um perfil preliminar dessa nova bioindústria em construção, apontar os desafios a serem enfrentados nesse processo, a variedade de alternativas estratégicas adotadas e discutir a existência de padrões na dinâmica de inovação e na adoção de estratégias entre os atores envolvidos nesse processo. É importante destacar, porém, que, tratando-se de um estudo de caso, essa análise embute particularidades que não podem ser generalizadas. Para uma total compreensão do processo de construção dessa bioindústria, torna-se necessário o estudo futuro comparativo de outros produtos.

O caso do bio-ácido succínico, um dos produtos identificados por Bozell e Petersen (2010) como de maior potencial comercial, será explorado como exemplo. Serão identificados os projetos inovadores para produção do bioproduto e estudados os processos e rotas, assim como as estratégias e modelos de negócios adotados de forma a mapear a dinâmica tecnológica e de inovação envolvida no seu desenvolvimento. Como será visto adiante, diversos foram os fatores que levaram à escolha do ácido succínico como caso de estudo, entre eles o número de projeto em desenvolvimento no mundo e a variedade de alternativas tecnológicas e modelos de negócio. Além disso, o bioproduto é identificado como promissor devido às vantagens relativas ao produto fóssil no que engloba aspectos econômicos, de rendimento e ambientais como a pegada de carbono que, como será visto adiante, transparece o potencial em redução de emissão de CO₂.

Tratando-se de um estudo de dinâmica de inovação, alguns termos como modelos de negócio surgem ao longo do texto, sendo importante a apresentação de suas definições. O próximo item traz, então, a definição de alguns conceitos da área de inovação que serão importantes para o entendimento pleno do estudo.

I.1 Inovação e Modelos de Negócio

A construção da nova bioindústria, contemplando novos produtos e processos, pode ser vista como um processo de inovação em que, em uma fase inicial, diversas alternativas tecnológicas e modelos de negócio competem entre si. Nessa disputa, diversas empresas tomam decisões acertadas, sobrevivem à competição e se difundem, enquanto outras logo perecem. A fase inicial de um processo de inovação é, dessa forma, uma fase de experimentações, em que o produto ou processo inovador são flexíveis, ou seja, ainda não há um design dominante ou tecnologia capacitadora, respectivamente. Essa realidade torna as barreiras de entrada e de saída a novos atores muito baixas, o que gera ainda uma indefinição no ambiente inovador também quanto aos atores e concorrentes ativos (Abernathy e Utterback, 1978).

Segundo o modelo proposto por Abernathy e Utterback (1978) para o estudo de produtos e processos inovadores, esta fase é denominada fase fluida. Na fase fluida, todos os atores apostam livremente em alternativas variadas até que uma tecnologia ou design se revele mais favorável quando, para a sua sobrevivência competitiva, devem se adequar ao padrão revelado. Em alguns casos não ocorre a revelação de uma tecnologia capacitadora ou design dominante de forma que diversas tecnologias coexistem em nível de igualdade competitiva. É importante observar também que, no caso do surgimento de uma tecnologia capacitadora, a adequação a ela é necessária, mas não suficiente. O mesmo vale para produtos inovadores quanto ao surgimento de um design dominante.

A adoção de um modelo de negócios sustentável e competitivo e condizente com o cenário atual é essencial à sobrevivência da empresa. O modelo de negócios, como discutido por Teece (2010) é a forma como a empresa cria valor aos seus clientes e os convence a pagar pelos seus produtos/serviços, é como ela opera e estrutura seu negócio na direção do sucesso. Para isso, a definição de um modelo de negócio embute a seleção de tecnologias, os benefícios ao cliente, o segmento de mercado alvo, os canais de distribuição, os fluxos de receita disponíveis, os mecanismos de captura de valor e a forma de relacionamento com os outros atores, competidores ou colaboradores (Teece, 2010).

Ainda, apenas um modelo bem sucedido não é suficiente para garantir vantagem competitiva à empresa se ele puder ser facilmente copiado. Estratégias de proteção de propriedade intelectual, etapas complexas e estruturas organizacionais específicas são exemplos que tornam os modelos de negócio mais opacos dificultando que sejam imitados por outras organizações.

Estudiosos apontam que, para o entendimento do processo de estruturação de um setor ou de uma indústria emergente, é necessário o estudo da evolução, ou co-evolução, de quatro variáveis chave: matérias-primas, tecnologias de conversão, produtos e modelos de negócio (Bomtempo, 2013). O presente trabalho, como um estudo prévio, propõe a seleção de um produto para análises de modelos de negócio e tecnológica, no que engloba as variáveis matérias-primas e tecnologias de conversão.

I.2 Motivação

Como já mencionado, diversas são as motivações ambientais e econômicas que atraem a atenção de empresas para o desenvolvimento de processos que permitam a produção de intermediários químicos a partir de biomassa. O número de projetos em desenvolvimento e a variedade de alternativas tecnológicas e de modelos de negócios tornam o caso do ácido succínico um dos exemplos merecedores de atenção.

Apesar do grande volume de estudos voltados para a definição e compreensão da incipiente e em construção bioindústria, poucos são os que buscam integrar as dimensões de estratégia de inovação aos aspectos estruturais e tecnológicos propriamente ditos. Tratando-se de um processo de inovação, é importante considerar as dimensões de competição entre alternativas na etapa inicial da indústria.

A compreensão desse processo de construção da nova indústria sob a lógica dos modelos de negócio e das dimensões de competição é imprescindível para empresas e formuladores de políticas, mas tem sido pouco estudada. Esse estudo surge, então, como ferramenta de análise que pode vir a contribuir para que empresas e instituições do setor avaliem oportunidades e tomem decisões quanto a seus planos de negócios.

I.3 Objetivos

Esse projeto surgiu nesse contexto com o objetivo geral de mapear e analisar as inovações em intermediários químicos a partir de biomassa com foco nas empresas e suas estratégias de inovação, de forma a entender a dinâmica de inovação atual e as implicações futuras.

Mais especificamente, o estudo busca estruturar um perfil, do ponto de vista de um produto, do processo de construção da nova indústria baseada em biomassa. O caso do ácido succínico é sugerido como exemplo inicial a ser validado pela aplicação de uma metodologia de busca específica e, em seguida, explorado.

Serão identificados os projetos inovadores para produção de ácido succínico e estudados os processos e rotas, assim como as estratégias e modelos de negócios adotados.

I.4 Organização do Estudo

O presente trabalho está organizado em 5 capítulos.

O primeiro e atual capítulo corresponde a uma introdução ao tema trazendo, além de uma contextualização com definições importantes para o entendimento do trabalho, a motivação, objetivos e esta organização do estudo.

O segundo capítulo apresenta toda a metodologia utilizada para seleção e estudo do produto ácido succínico. Procura-se, inicialmente, contextualizar o cenário mundial da bioindústria a partir da análise do estado da arte em termos técnicos e econômicos do processo de desenvolvimento de 4 compostos químicos identificados como promissores na literatura especializada por metodologia descrita também no capítulo. Em seguida, são apresentados os critérios para seleção do ácido succínico como caso de estudo. Por

fim, o capítulo traz a metodologia aplicada na busca de dados e as variáveis tomadas como importantes para análises de âmbito tecnológico e estratégico deste produto.

O terceiro capítulo traz uma revisão bibliográfica sobre o produto em estudo como forma, principalmente, de compreender o seu mercado e o contexto no qual surge o interesse pelo desenvolvimento da rota biológica e exploração da cadeia desta plataforma química. Neste capítulo encontram-se informações acerca das propriedades físico-químicas do ácido succínico e das suas aplicações, aspectos e tendências mercadológicos e também dados tecnológicos das principais rotas disponíveis.

O quarto capítulo apresenta os projetos em andamento identificados no mundo relacionados à produção e transformação do ácido succínico por vias renováveis. É realizada a análise dos dados coletados buscando contemplar duas abordagens: tecnológica e estratégica, ou seja, neste capítulo são descritas e analisadas informações acerca das empresas, seus modelos de negócio e seu posicionamento estratégico em um mercado emergente.

No quinto capítulo, por fim, são apresentadas as conclusões finais do estudo e sugere-se também próximos estudos que possam vir a complementar este.

Capítulo II – Metodologia

Uma pesquisa na literatura e em sites especializados permitiu identificar os bioprodutos mais promissores que vêm sendo explorados tecnologicamente no mundo. Essa busca objetivou a compreensão do panorama mundial da bioindústria e as movimentações inovadoras no setor como forma de identificar um produto apropriado para estudo de caso em vista a corresponder aos objetivos do presente trabalho de estruturação de um perfil para a bioindústria em construção.

As seções a seguir expõem a metodologia de pré-seleção de bioprodutos utilizada, o quadro final obtido com características dos produtos identificados e variáveis de análise consideradas e também os critérios para seleção do ácido succínico.

II.1 Pré-seleção de Bioprodutos Promissores

A metodologia para pré-seleção dos bioprodutos a serem estudados se baseou, inicialmente, na amplitude da presença na literatura e, em seguida, nas características dos compostos e na análise dos projetos em andamento no mundo.

Tomou-se como partida dois artigos: Bozell e Petersen (2010) e Christensen *et al.* (2008). Antes do prosseguimento com a metodologia adotada é importante uma breve contextualização acerca dos artigos tomados por base.

Nestes artigos, os autores buscam estudar a nova bioindústria que vem surgindo, mostrar as vantagens da exploração da biomassa dentro do conceito de biorrefinaria integrada e, por fim, estimam e apontam processos e produtos que possam vir a ser viáveis economicamente. O artigo de Bozell e Petersen (2010), mais especificamente, é uma revisita a um estudo realizado pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) que, em 2004, levantou 10 produtos promissores capazes de serem sintetizados a partir de carboidratos e apresentou o esforço tecnológico necessário à adição de cada produto ao portfólio de uma biorrefinaria. O artigo apresenta uma análise do potencial dessas estruturas partindo da mesma metodologia utilizada em 2004. Os critérios para inclusão de bioprodutos estão listados na tabela II-1 a seguir e levaram Bozell e Petersen a identificarem, em 2010, 14 bioprodutos promissores.

Tabela II-1 Critérios utilizados por Bozell e Petersen (2010) para análise de oportunidades em bioprodutos

1.	Extensa presença na literatura: Bioproducto ou tecnologia de destaque na literatura.
2.	Múltipla aplicabilidade da tecnologia: Bioproducto cuja tecnologia de conversão pode ser adaptada para produção de outros múltiplos bioprodutos.
3.	Substituto direto: Tecnologia capaz de produzir bioprodutos que venham a substituir os convencionais petroquímicos.
4.	Produto com alto volume de produção: Tecnologia aplicável à produção em grande volume.

5.	Potencial como plataforma: Bioproduto com potencial como plataforma para a produção de derivados, ou seja, composto flexível a partir do qual se obtém uma série de produtos.
6.	Scale up para escala industrial: <i>Scale up</i> do bioproduto e sua tecnologia de conversão para escala industrial já em desenvolvimento.
7.	Bioproduto comercial já consolidado: É um produto comercial já existente em nível commodity ou intermediário, o aprimoramento do processo produtivo vem a ampliar sua aplicação.
8.	Potencial como bloco de construção: Bioproduto com potencial para ser um bloco de construção básico da biorrefinaria, ou seja, compostos conceitualmente considerados monômeros, que não têm sua estrutura alterada, base para refinaria.
9.	Bioproduto comercial: Produto comercial cujo processo industrial já é de reconhecimento da indústria, sua produção a partir de carbono renovável já é estabelecida.

Fonte: Bozell e Petersen, 2010

Buscou-se, então, nos bancos de artigos *Scirus* e *Google Scholar* artigos que citassem ou que estivessem relacionados a estes dois tomados como base. Além destes, identificou-se também alguns artigos a partir das palavras-chave *platform chemicals* e *biomass*. O período de tempo de busca foi limitado aos anos de 2007 a 2012.

No total foram analisados cerca de 70 artigos, dos quais 18 partiram do Bozell e Petersen (2010), 34 partiram do Christensen et al. (2008) e 17 foram selecionados a partir das palavras-chave. A metodologia de análise desses artigos se baseou na coleta dos seguintes dados: compostos chave, natureza da inovação e ano de publicação. Quanto à natureza de inovação, identificou-se o objeto de estudo de cada artigo como processo de síntese ou processo de transformação química do composto chave identificado.

Inicialmente selecionou-se todos os compostos com 4 ou mais citações chegando a um número de 13 compostos como mostra a figura II-1.

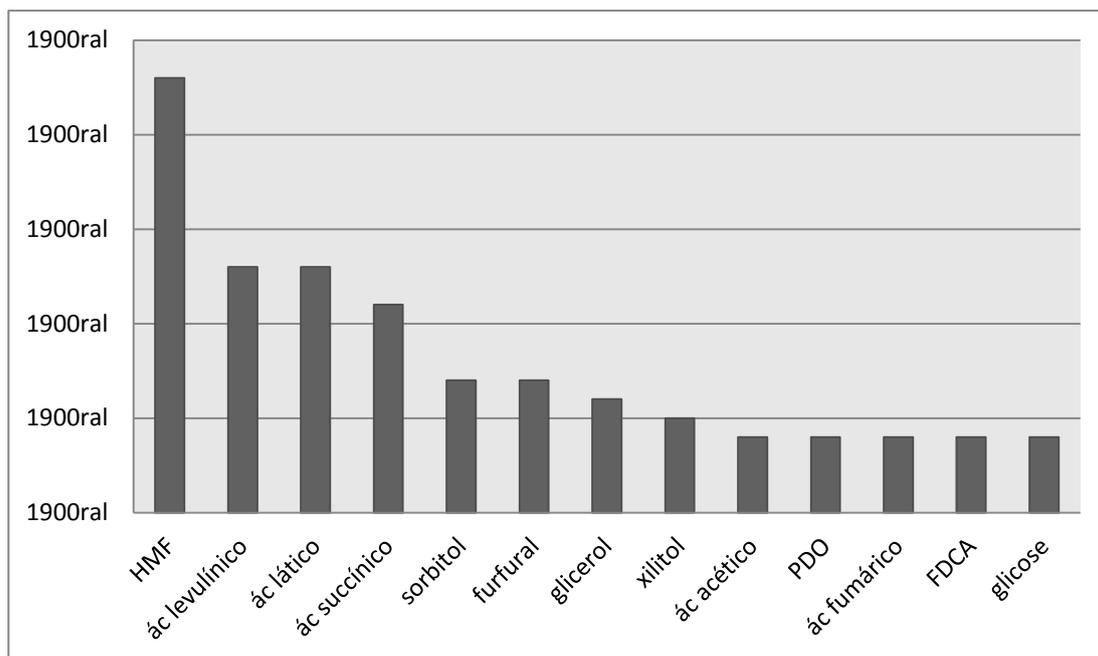


Figura II-1 Número de citações por bioproduto
Fonte: Elaboração própria a partir dos artigos consultados

Devido ao grande número de produtos “empatados” com exatamente 4 citações, limitou-se mais uma vez a busca para compostos citados mais de 4 vezes. Chegou-se, então, a um grupo de 7 bioprodutos: hidroximetilfurfural (HMF), ácido levulínico, ácido láctico, ácido succínico, sorbitol, furfural e glicerol.

Comparando aos produtos identificados nos artigos de base, observou-se que os 7 bioprodutos selecionados por presença nos artigos analisados estão presentes na lista de bioprodutos apresentada em Bozell e Petersen (2010). Dessa forma, optou-se por avaliar os critérios de seleção destes autores e, então, limitar ainda mais o grupo de análise. Construiu-se um quadro para análise dos critérios de inclusão para cada um dos 7 bioprodutos, dos gargalos identificados e do *timing* de comercialização, se a curto, médio ou longo prazo. É importante aqui observar que esta análise data de setembro de 2012 e, portanto, há uma defasagem dos dados apresentados que foram úteis na época à escolha do bioproduto como objeto de estudo. Analisou-se também a porcentagem de artigos voltados para processo de síntese e de transformação para cada um dos bioprodutos como forma de identificar o estágio de maturidade das tecnologias envolvidas no desenvolvimento da cadeia destes compostos químicos. A tabela II-2 apresenta a análise mencionada.

Tabela II-2 Análise dos 7 bioprodutos selecionados

Composto	Critério (Bozell)	Gargalos	Timing
HMF	1, 2, 5, 8	Produto não comercial. Tecnologia ainda não estabelecida.	longo prazo
ácido levulínico	1, 2, 3, 5, 6, 8	Produto não comercial. Tecnologia ainda não estabelecida. Processos de purificação e isolamento complicados devido à presença de material insolúvel. Cadeia ainda em investigação e, com isso, também o seu potencial como plataforma.	curto e médio prazo
ácido lático	1, 2, 4, 7	Processo fermentativo convencional apresenta problema de resíduos devido à necessidade de uma etapa de neutralização para obtenção de ácido lático puro. Novos processos a partir de xilose, por exemplo, que eliminariam a etapa de neutralização ainda estão sob desenvolvimento.	médio prazo
ácido succínico	1, 2, 5, 6	Não é um bioproduto consolidado comercialmente. Sua cadeia ainda é objeto de pesquisas. Tecnologia ainda não estabelecida. O produto é isolado como um sal e é necessária uma etapa de neutralização que gera resíduos. Estudos para otimização do processo com uso de outros microrganismos estão em andamento.	médio prazo
sorbitol	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	n/d	curto prazo
furfural	1, 2, 7, 8, 9	Processo tem baixa seletividade a furfural e baixo rendimento.	curto prazo
glicerol e derivados	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	n/d	curto prazo

Fonte: Elaboração própria a partir dos artigos consultados

O resultado desta análise foi a seleção de 4 destes 7 bioprodutos: HMF, ácido levulínico, ácido succínico e ácido lático. Todos esses 4 produtos vêm merecendo destaque na literatura pela múltipla aplicabilidade da tecnologia envolvida para a produção de uma ampla gama de compostos e pelo potencial que apresentam como plataforma química para a produção de derivados químicos de alto valor comercial estimado.

A seguir encontram-se as Figuras II-2 a II-5, as quais retratam o foco dos artigos em relação à síntese ou transformação de cada um dos 4 compostos selecionados. Essa análise foi realizada com o objetivo de compreender o estágio de maturidade em que se encontra a exploração desses compostos, assim como o potencial do composto como plataforma química ou bloco de construção, segundo as definições apresentadas na Tabela II-1 propostas por Bozell e Petersen (2010).

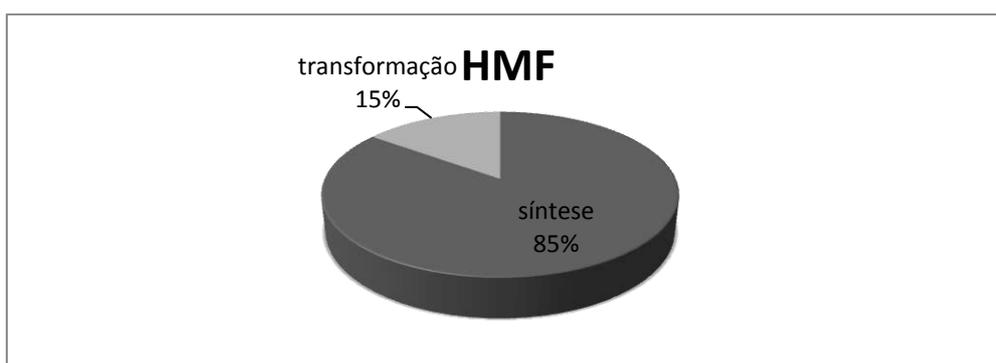


Figura II-2 Perfil dos artigos científicos – HMF
Fonte: Elaboração própria a partir dos artigos consultados



Figura II-3 Perfil dos artigos científicos - Ácido levulínico
Fonte: Elaboração própria a partir dos artigos consultados

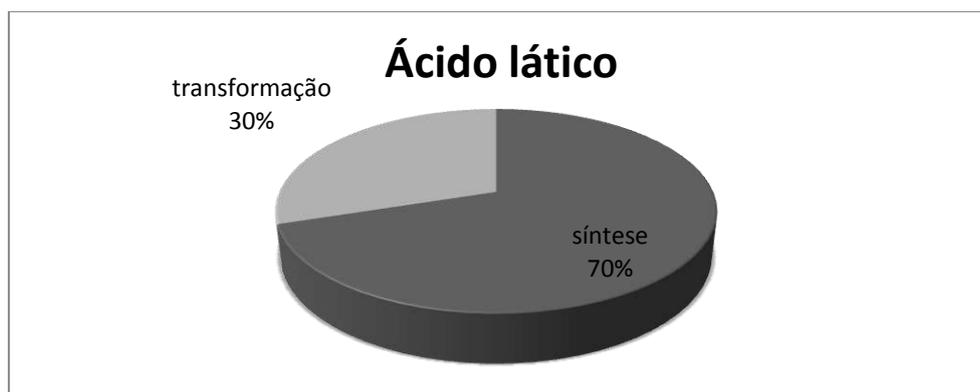


Figura II-4 Perfil dos artigos científicos - Ácido láctico
Fonte: Elaboração própria a partir dos artigos consultados



Figura II-5 Perfil dos artigos científicos - Ácido succínico
Fonte: Elaboração própria a partir dos artigos consultados

É possível observar através da Figura II-2 um grande esforço em inovação e estudo de processos de síntese de HMF em detrimento de processos de transformação, o que pode indicar que o desenvolvimento deste bioproduto ainda está em fase inicial e, portanto, como apresentado na tabela II-2, o produto só deve estar disponível comercialmente a longo prazo. Para os outros bioprodutos, observa-se um maior esforço em processos de transformação quando comparado ao HMF, mas ainda uma predominância no estudo de processos de síntese. Dado o volume de estudos identificados para os produtos e o rápido avanço tecnológico, é possível que esta análise já esteja obsoleta e, para alguns produtos, já predominem estudos de transformação.

Para aprofundar o estudo da dinâmica de inovação destes 4 bioprodutos, foi realizado um estudo dos projetos em andamento no mundo em 2013 relacionados a estes. Nesta etapa as fontes de busca passaram a ser sites e blogs especializados como: *Biofuels Digest*, *Biomass Magazine*, *ICIS Green Chemicals*, *ChemEurope*, *Chemical Industry Roundtables*, *IHS Chemical Week*. Identificadas as empresas atuantes no setor, os sites das próprias empresas passaram também a ser uma boa fonte de busca de informações. Alguns relatórios publicados pela *SRI Consulting* também foram consultados e também muitos dos artigos identificados previamente para obtenção de informações gerais acerca dos produtos selecionados, como é o caso de Galezott (2012). Nesta análise, além de informações gerais sobre os compostos, buscou-se levantar os seguintes pontos acerca dos projetos identificados: empresa, resumo do projeto, matéria-prima base, aplicação, rota tecnológica, estágio do projeto e planos futuros, investimento e parcerias.

II.2 Quadro para Análise dos Bioprodutos Identificados

A partir da metodologia descrita anteriormente, construiu-se um quadro para análise do estado da arte em termos técnicos e econômicos do processo de desenvolvimento dos 4 bioprodutos identificados como promissores na literatura especializada. Em função do grande volume de informação, o quadro apresenta os projetos por empresa, expondo, para cada uma, todos os movimentos industriais e em pesquisa identificados. Desta forma, os projetos não ficam especificados e sim as empresas e todas as informações coletadas acerca de todos os empreendimentos em bio-ácido succínico identificados.

Este quadro encontra-se no Anexo I.

II.3 Critérios para Escolha do Ácido Succínico

Em 2004, o Departamento de Energia dos EUA (DOE) identificou o ácido succínico como um dos cinco blocos de construção mais promissores que podem ser

produzidos a partir de biomassa (Werpy e Petersen, 2004). No artigo de Bozell e Petersen (2010), os critérios para seleção do ácido succínico como uma oportunidade interessante de investimento por parte das empresas do setor foram, dentre os apresentados anteriormente: grande presença na literatura, múltipla aplicabilidade da tecnologia, potencial como plataforma química e *scale up* para escala industrial já em desenvolvimento.

De fato, uma pesquisa rápida na literatura indicou um grande volume de estudos em bio-ácido succínico, com destaque para sua aplicação como plataforma química. O produto, obtido por rota fermentativa, possui potencial para se tornar uma *commodity* permitindo fornecimento de grande volume para os diversos mercados que absorvem esse produto, principalmente o mercado de biopolímeros. Já foram identificados, além dos biopolímeros, mais de 30 derivados comercialmente importantes na indústria de alimentos, farmacêutica e de cosméticos (Borges, 2011). Pode-se destacar adicionalmente o fato do produto gerar derivados de alto valor comercial não apenas biodegradáveis, como também recicláveis. Como será visto a seguir, essa amplitude de aplicações advém do fato do bioproduto ter elevado potencial como substituto *drop-in*¹ ao petroquímico convencional e como substituto a outros intermediários químicos.

Além desses critérios identificados por Bozell e Petersen, outros fatores também são favoráveis à escolha do ácido succínico como bioproduto a ser estudado. O elevado fator de conversão e rendimento em matéria superior a 100% da rota biológica hoje já desenvolvida tornam o bioproduto economicamente mais viável que o produto fóssil convencional criando oportunidades de exploração da cadeia desse produto antes não atrativas (Cheng et al., 2012)

Outra questão que amplia ainda mais o interesse no bioproduto é o fato da rota de obtenção, fermentativa, ocorrer com consumo de CO₂, de forma que fornece uma vantagem ecológica sendo uma alternativa interessante para o problema de emissão de gases de efeito estufa (GEE) (Zeikus, 1999)

¹ São denominados *drop-in* os produtos idênticos aos de base fóssil. Como substitutos perfeitos do ponto de vista de toda a cadeia a jusante, dispensam a adaptação de equipamentos e processos de transformação permitindo o aproveitamento de ativos e expertise já existentes para os derivados de petróleo (Bomtempo, 2013).

A empresa Succinity GmbH (2014) alega que, devido ao elevado conteúdo de carbono renovável do bio-ácido succínico e à fixação de CO₂ natural do processo fermentativo, o bioproduto é uma boa alternativa como forma de melhorar a pegada de carbono no processamento *downstream*. Uma análise de ciclo de vida realizada pela empresa demonstra que a pegada de carbono do bio-ácido succínico é inferior em mais de 75% à do produto petroquímico (Succinity GmbH, 2014). Além do ácido succínico fóssil, o bio-ácido succínico possui grande potencial de redução de pegada de carbono em relação comparativa a outros intermediários petroquímicos. O produto permite, dessa forma, a produção de biomateriais que fornecem ao consumidor uma opção com pegada ecológica melhor para o desenvolvimento de produtos sustentáveis. É o caso da substituição ao ácido adípico, como será visto mais adiante, permitindo uma redução em termos de emissão de CO₂ de aproximadamente 8kg por kg de ácido utilizado no processamento *downstream* como mostra figura II-6.

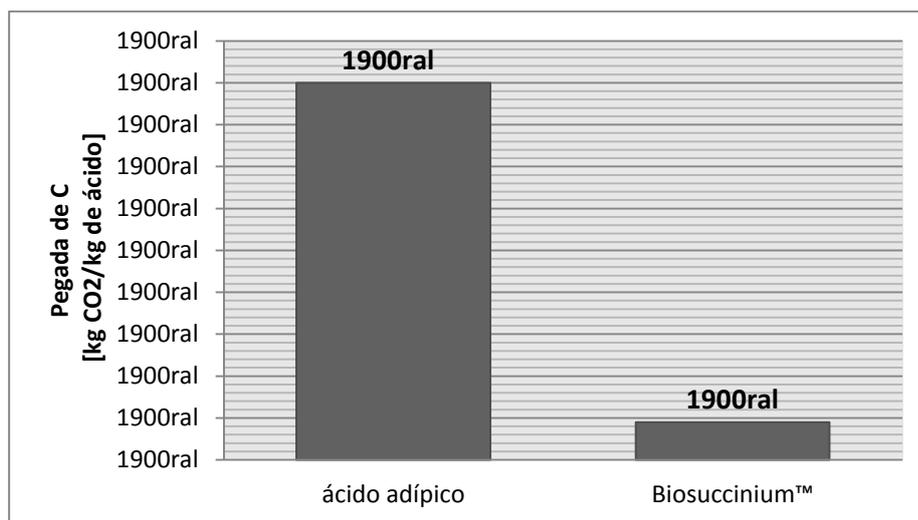


Figura II-6 Pegada de carbono do Biosuccinium™, bio-ácido succínico produzido pela Reverdia

Fonte: Reverdia, 2014

O estudo preliminar realizado para os 4 compostos mencionados anteriormente permitiu, a partir da comparação dos dados levantados para cada produto, observar ainda outros pontos que tornam o caso do ácido succínico merecedor de atenção. São eles: número e estágio de projetos e variedade de alternativas tecnológicas e de modelos de negócios. Esses fatores tornaram o ácido succínico um bom caso para análise da dinâmica de inovação em bioprodutos e um bom ponto de partida para a compreensão do processo de construção da nova bioindústria.

De forma resumida, pode-se listar os principais critérios que tornaram o caso do ácido succínico merecedor de atenção:

- i. Extensa presença na literatura;
- ii. Múltipla aplicabilidade da tecnologia;
- iii. Potencial como plataforma química: vasta aplicabilidade e oportunidade de exploração da cadeia;
- iv. *Scale up* da tecnologia já desenvolvido e em aprimoramento;
- v. Sucesso e variedade em termos tecnológicos e estratégicos dos empreendimentos que vêm sendo realizados;
- vi. Rota fermentativa ocorre com consumo de CO₂ e é extremamente favorável economicamente;
- vii. Fator de conversão elevado, com rendimento superior a 100%.

Posteriormente, quando da apresentação de informações detalhadas acerca do ácido succínico e dos projetos industriais em desenvolvimento e da comparação das rotas tecnológicas de obtenção deste composto, alguns destes critérios serão detalhados.

II.4 Estudo do Ácido Succínico

II.4.1 Fontes de Dados

A metodologia adotada para levantamento de dados tecnológicos, econômicos e estratégicos do bio-ácido succínico seguiu a metodologia que havia sido adotada para estudo dos 4 bioprodutos identificados inicialmente. Foi feita uma busca em sites e blogs especializados já mencionados anteriormente: *Biofuels Digest*, *Biomass Magazine*, *ICIS Green Chemicals*, *ChemEurope*, *Chemical Industry Roundtables*, *IHS Chemical Week*.

Além de estender o período de busca nos blogs, foi possível realizar uma busca mais detalhada no site das empresas identificadas nesta etapa. Relatórios publicados pelas empresas *Weastra* e *Tecnon OrbiChem* também foram consultados. Pesquisou-se informações que datam de aproximadamente agosto de 2012 a setembro de 2013.

Adicionou-se ao quadro todas as empresas identificadas com projetos em andamento no mundo para, por rota biológica, produzir ácido succínico. Quando da identificação da adoção de estratégias de integração de processos para a transformação do bioproduto em derivados de maior valor agregado por essas empresas, buscou-se informações acerca também desses projetos. Buscou-se patentes nas bases Google Patents e USPTO pelo nome das empresas como depositante sobre as rotas tecnológicas e processos de transformação, muitas vezes não detalhados nos noticiários e blogs mencionados.

II.4.2 Variáveis de Análise

Quanto às variáveis avaliadas, manteve-se os pontos que já haviam sido destacados para os 4 compostos, mas buscou-se também agora informações acerca do perfil das empresas com projetos identificados em bio-ácido succínico. A Tabela II-3 apresenta as variáveis de análise detalhadamente.

Tabela II-3 Variáveis de análise

<p>Perfil da empresa</p> <p>Buscou-se estudar o <i>background</i> das empresas identificando qual a sua área de atuação principal, o ano de fundação, o país de origem e os países de atuação, ou seja, de localização de plantas industriais.</p>
<p>Matéria-prima</p> <p>Buscou-se caracterizar a matéria-prima utilizada por cada empresa como: açúcares, celulose e hemicelulose ou lignina. Neste critério também procurou-se englobar dados acerca da flexibilidade de matérias-primas e de planos futuros das empresas quanto à diversificação da fonte de biomassa utilizada.</p>
<p>Aplicação</p> <p>Destacou-se, quando especificado no projeto da empresa, o mercado alvo a ser atingido.</p>
<p>Rota tecnológica</p> <p>Buscou-se caracterizar o projeto quanto à sua plataforma tecnológica, explicitando a existência de processos bioquímicos, termoquímicos e/ou químicos no tratamento e transformação da biomassa. Buscou-se também nesta lacuna expor tecnologias próprias das empresas e possíveis licenciamentos.</p> <p>Quando da identificação de processo biológico, buscou-se destacar o microrganismo utilizado e</p>

o número de etapas do processo, quando divulgado.
<p>Estágio de maturidade industrial e planos futuros</p> <p>Este critério permitiu analisar o andamento do processo industrial e a fase de maturidade do projeto. Buscou-se classificar os projetos como em escala de bancada, piloto, demonstração ou comercial a partir do último marco encontrado. Os planos futuros quando divulgados também foram levantados com a data de previsão fornecida.</p>
<p>Investimentos</p> <p>Buscou-se dados quantitativos dos investimentos realizados nos projetos identificados como forma de estimar a dimensão do projeto e do risco assumido pelas empresas. A entidade ou empresa fornecedora e a forma de financiamento também são apresentados.</p>
<p>Parcerias</p> <p>Identificou-se todo tipo de parceria ao longo de todo o processo de produção/transformação de ácido succínico. Buscou-se destacar as empresas envolvidas, a forma de aliança firmada e o tipo de colaboração seja ela para fornecimento de matéria-prima, desenvolvimento de tecnologia, construção civil, operação ou comercialização.</p>

Fonte: Elaboração própria

Todas as informações obtidas para cada uma dessas variáveis é de extrema importância na análise tecnológica e de modelo de negócios das empresas na tentativa de compreender e estruturar um perfil para a nova bioindústria. Para a análise tecnológica, as variáveis são: matéria-prima, rota tecnológica e estágio de maturidade industrial. Já para a análise de modelos de negócio, as variáveis são: perfil da empresa, aplicação, parcerias e investimentos.

Capítulo III – O Ácido Succínico

Este capítulo pretende apresentar o produto ácido succínico de forma a possibilitar o entendimento, por parte do leitor, do seu potencial e das modificações no mercado que a introdução do bio-ácido succínico vem a provocar. O presente capítulo

avalia também, segundo os conceitos apresentados no item I-1, o estágio em que se encontra o processo de inovação em ácido succínico no mundo.

Dados de 2012 apontam que grande parcela do ácido succínico produzido comercialmente era obtido através da rota petroquímica, com 40 mil t/ano do produto fóssil contra 14,5 mil t/ano do bioproduto (Weastra, 2012). No entanto, recentemente, a atenção tem se voltado para a produção biológica de ácido succínico por microrganismos a partir de fontes de biomassa como uma alternativa para a síntese química. A produção a partir de biomassa é alvo de estudos há muitos anos e rotas de produção inovadoras ainda estão em processo de descoberta e otimização. Desde 2013, esse cenário já vem mudando significativamente com uma produção de 40 mil t/ano do produto fóssil contra cerca de 35 mil t/ano do bioproduto (Tecnon OrbiChem, 2013).

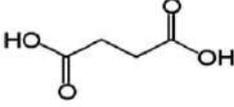
Esse cenário, a partir do desenvolvimento de rotas com vantagens ecológicas e de custo, vem expandindo a aplicação do produto que é um intermediário químico de grande potencial comercial. A estrutura química do ácido succínico permite sua conversão em outros produtos químicos de larga escala, como será visto a seguir, podendo, de fato, denominá-lo uma plataforma química.

III.1 Propriedades Físico-Químicas

O ácido 1,4 butanodióico, mais conhecido como ácido succínico, é um ácido orgânico dicarboxílico de cadeia carbônica saturada e linear que se constitui em um metabólito produzido naturalmente por plantas, microrganismos e animais (Zeikus, 1999). Este composto é produzido por alguns microrganismos por fermentação anaeróbica e é um intermediário do ciclo de Krebs, participando do metabolismo energético em todas as células animais e vegetais. Em temperatura ambiente, este composto se apresenta em estado sólido e se constitui em um cristal ou pó incolor a branco e inodoro.

Na tabela III-1 encontram-se algumas informações sobre a identidade química do produto e suas propriedades físico-químicas.

Tabela III-1 Propriedades físico-químicas e identidade química do ácido succínico

Nomenclatura IUPAC	Ácido butanodióico
Outras nomenclaturas	Ácido 1,2-etanodicarboxílico e ácido 1,4-butanodióico
Fórmula molecular	$C_4H_6O_4$
Fórmula estrutural	
Aparência	Cristal ou pó incolor e inodoro
Massa molecular	118,09 u
Ponto de fusão	184-188°C
Ponto de ebulição	235°C
Volatilidade	0 (21°C)
Reatividade	Combustível e corrosivo
Solubilidade	Solúvel em água, etanol e acetona

Fonte: Borges, 2011; Weastra, 2012; Cheng, 2012

A estrutura química deste composto de 4 carbonos é similar à estrutura do anidrido maleico, de forma que o ácido succínico potencialmente serve como substituto deste, tornando-se uma plataforma química para a síntese de uma multiplicidade de compostos (Weastra, 2012).

III.2 Aplicações

Como mencionado anteriormente, o ácido succínico é um intermediário químico que tem merecido destaque frente a sua vasta aplicabilidade. Segundo o DOE-EUA e a Comissão Europeia, o ácido succínico é o ácido orgânico de maior potencialidade industrial. Identificado por muitos autores como plataforma química, o produto é base para, por transformações químicas, dar origem a outros intermediários e produtos finais muito demandados atualmente desde *commodities* a especialidades químicas.

O ácido succínico é um intermediário base com potencial para produzir mais de 30 produtos comercialmente importantes na indústria de alimentos, farmacêutica e de cosméticos. Este composto chave é capaz de substituir mais de 250 derivados do benzeno, um produto conhecidamente carcinogênico e poluente, e agir como substituto do anidrido maleico (MAN), ácido adípico e anidrido ftálico que possuem um mercado bastante amplo na petroquímica. Desta forma, este produto possui uma aplicação potencial que vai desde nichos de alto valor agregado como produtos de cuidado pessoal e aditivos alimentares até mercados de alto volume como plastificantes, poliuretanos, resinas e revestimentos.

A Figura III-1 apresenta as aplicações potenciais do ácido succínico por setor.

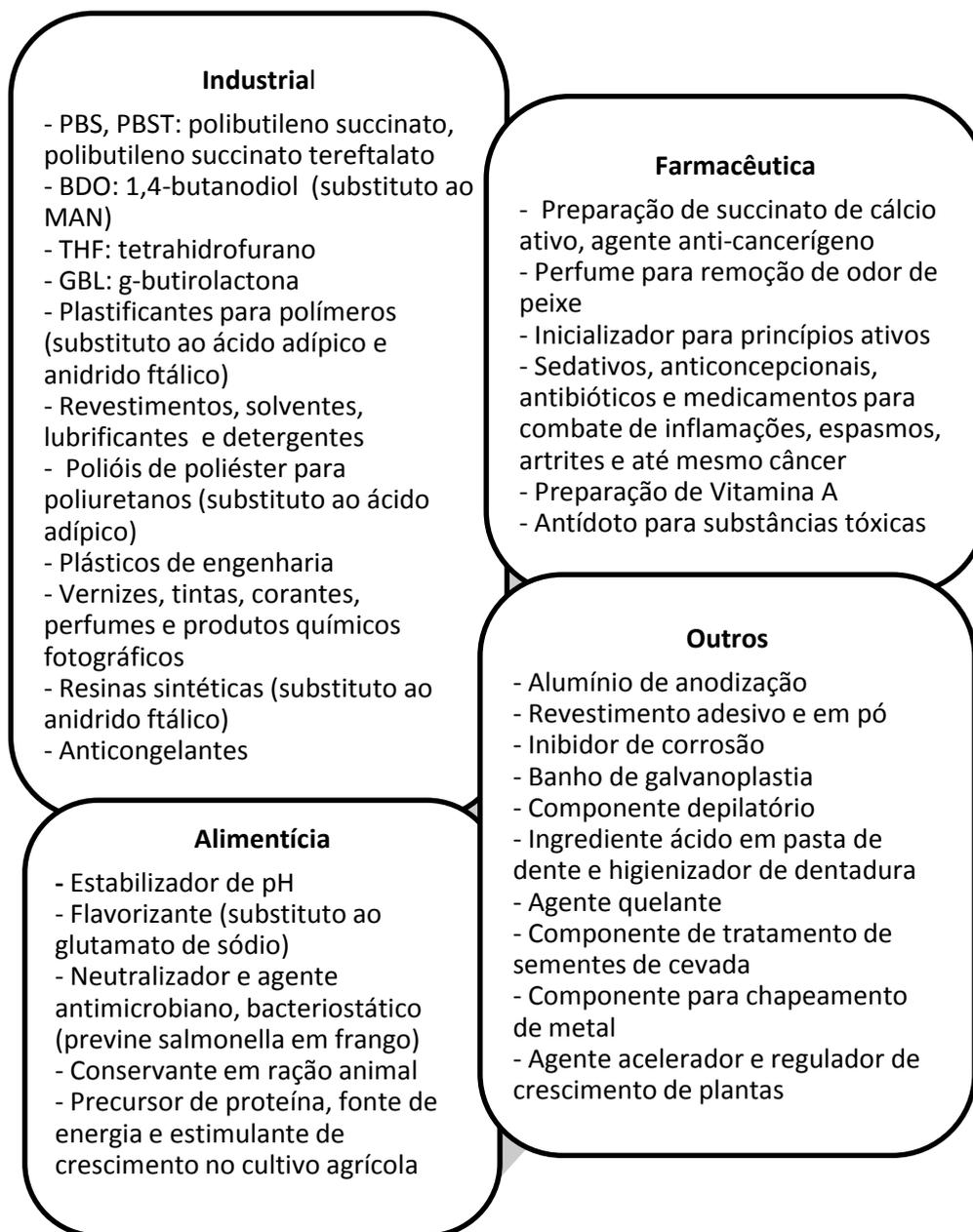


Figura III-1Aplicações do ácido succínico por setor

Fonte: Borges, 2010; Weastra, 2012

Pode-se perceber que o produto possui aplicação nas indústrias de alimentos, farmacêutica e na indústria química. Com foco nos seus derivados, a figura III-2 demonstra em forma de árvore a vasta aplicabilidade do ácido succínico e deixa evidente seu potencial como *commodity* química.

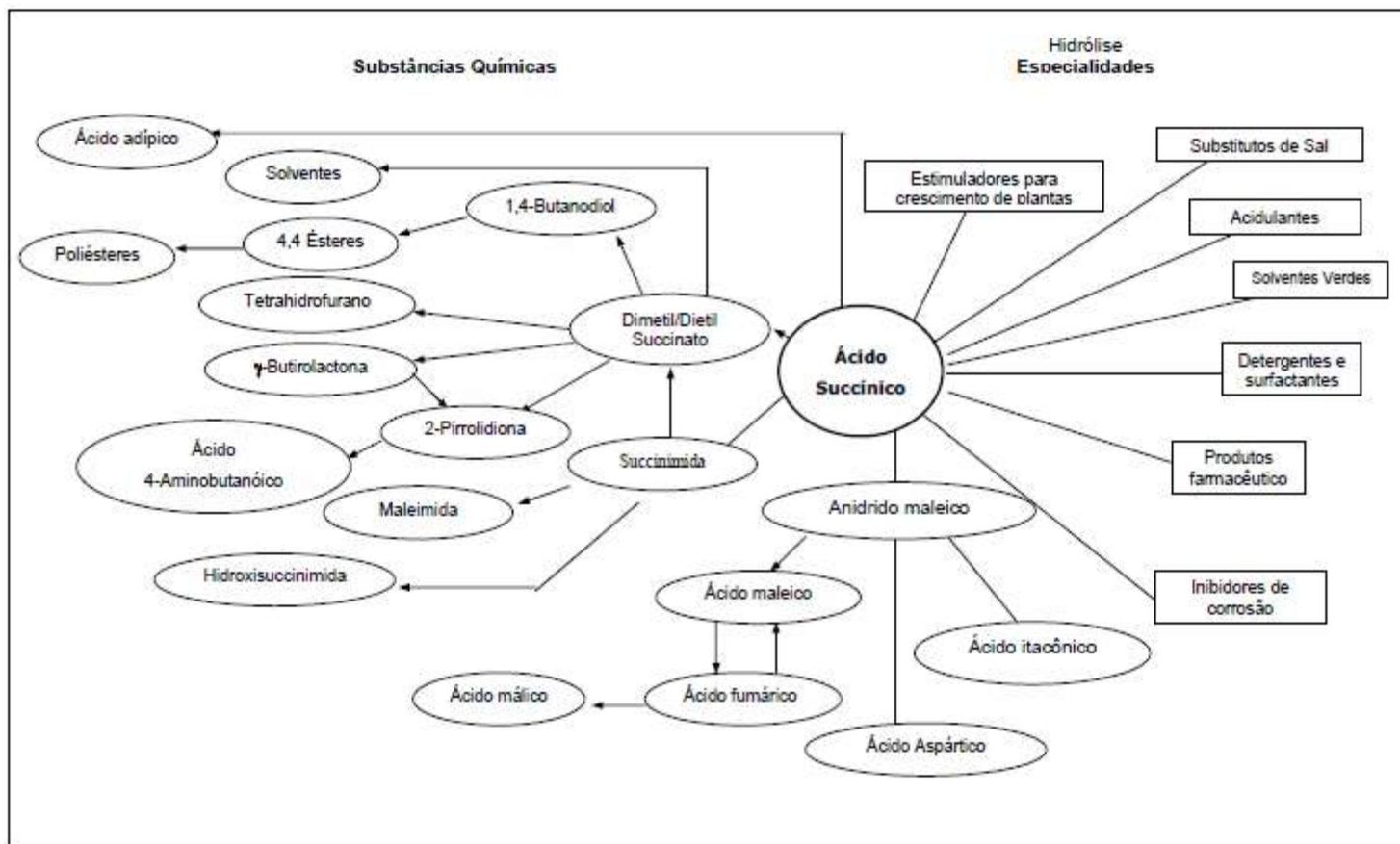


Figura III-2 Derivados do ácido succínico

Fonte: Borges, 2011

Esse diagrama apresenta substâncias químicas e especialidades que potencialmente derivam do ácido succínico e estende a cadeia para alguns desses compostos como forma de visualizar algumas de suas aplicações finais como, por exemplo, poliésteres verdes utilizados em diversos materiais.

Como complemento às figuras III-1 e III-2, pode-se descrever alguns de seus derivados mais importantes (Borges, 2011):

- n-metilpirrolidona: “solvente verde”, substituto ao cloreto de metileno na redução de poluições tóxicas;

- 1,4-butanodiol (BDO): monômero para a produção de resinas, fibras (THF), revestimentos e polímeros de alta resistência (PBS e PBSA);

- Tetrahidrofurano (THF): utilizado em solventes, resinas, colas e tintas e para a produção de fibras elásticas (Spandex® e Lycra®) e polímeros como o termoplástico PBT;

- g-butirolactona (GBL): utilizado em solventes de tintas e produtos têxteis;

- Ácido adípico: precursor do nylon 6.6 e matéria-prima para produção de espumas e outros produtos industriais;

- Dietil-succinato: químico “verde” removedor de tintas e utilizado na limpeza de superfícies metálicas;

- Ésteres lineares alifáticos: utilizados na fabricação de resinas e plásticos;

- Succimidas: utilizadas como combustíveis e em materiais absorventes;

- Etileno-diaminodisuccinato: substituto ao EDTA em diversos processos.

Diante dessa variedade de mercados-alvo potenciais, o produto é comercializado em três grades diferentes: grau farmacêutico, grau alimentício e grau industrial. Cada grade possui diferentes características como pureza e aparência, que tornam o produto mais apropriado para cada caso.

Apesar das possibilidades de exploração industrial do ácido succínico serem variadas, atualmente, devido ao alto custo da rota petroquímica predominantemente existente até 2013, seu uso vem sendo limitado a uma estreita gama de aplicações, tais como produtos farmacêuticos, ingredientes alimentares, revestimentos e pigmentos,

surfactantes e detergentes, de maior valor agregado (Tecnon OrbiChem, 2013). Atualmente, com o interesse e já aparente viabilidade de rotas fermentativas com vantagens de custo e benefícios ambientais, tudo indica que o mercado do ácido succínico irá sofrer grande aumento.

O desenvolvimento de rotas fermentativas surge como uma forma de explorar a cadeia de valor deste produto e aumentar sua demanda. Essa exploração vem a criar novas aplicações que historicamente foram impedidas por questões econômicas relacionadas ao constante aumento do preço do petróleo e ao custo elevado do próprio processo fóssil que será descrito adiante. Desta forma, como será visto adiante, o cenário de desenvolvimento de rotas biológicas cada vez mais eficientes, além de expandir a demanda de ácido succínico para os mercados já existentes, vem a criar novos mercados de grande volume em que o bio-ácido succínico entra como substituto não *drop-in* a outros petroquímicos básicos convencionalmente explorados até então por vantagens de custo.

É importante observar, porém, que, para escoamento do bio-ácido succínico e aceitação do mercado nessas novas aplicações, necessita-se de complementadores a jusante na cadeia produtiva, como, por exemplo, produtores de aditivos e transformadores que tornem possível a sua utilização com desempenho favorável (Bomtempo, 2013). Ou seja, existe, nesse caso, um esforço necessário no sentido da adaptação ou até mesmo construção de ativos complementares para o sucesso da utilização final do novo produto. Após o sucesso comercial dos processos produtivos biológicos, o desenvolvimento dessa nova cadeia constitui-se, então, no grande desafio para a disseminação do bioproduto como *commodity*.

Segundo pesquisas realizadas pela Weastra (2013) e pela Tecnon OrbiChem (2013), as aplicações que devem registrar maior crescimento em demanda por ácido succínico nos próximos anos são: plastificantes, poliuretanos, plásticos biodegradáveis com destaque para os poliésteres (PBS) e intermediários químicos como o BDO; de forma que o *market share* para aplicações “tradicionais” como em resinas, revestimentos e pigmentos deve diminuir. Dentre os produtos finais destas aplicações promissoras pode-se destacar: filmes, copos descartáveis, sacolas plásticas, canos de

PVC, plásticos de engenharia, adesivos, selantes e assentos para automóveis (Myriant, 2014).

Segundo relatório da Tecnon OrbiChem (2013), essas novas aplicações e mercados emergentes vêm sendo desenvolvidos especialmente em biopolímeros. Os plásticos biodegradáveis podem ser naturais ou sintetizados por fontes renováveis (Borges, 2011). Estes plásticos podem ser utilizados para fabricação de sacolas, sacos de lixo, pratos, filmes de embalagem e garrafas ou mesmo como material para tecidos sintéticos, fibras, roupas de ginástica, móveis e material de construção. Mais especificamente, o bioplástico que tem ganho maior importância entre os derivados identificados é o poliéster PBS (polibutileno succinato), obtido através da copolimerização do 1,4 butanodiol (BDO) com ácido succínico, ambos produzidos por fermentação.

O PBS é um poliéster biodegradável alifático sintético de grande resistência química e térmica, com propriedades semelhantes ao PET, sendo utilizado como substituto de plásticos convencionais em aplicações como embalagens flexíveis, sacolas compostáveis e filmes agrícolas (Weastra, 2012). Este plástico já é produzido por rota fóssil por um número limitado de empresas e voltado para um mercado bastante pequeno e restrito devido ao seu alto custo. Com o natural aumento da demanda por plásticos biodegradáveis e com o advento do bio-ácido succínico com vantagem de custo, o número de empresas investindo na rota tecnológica de polimerização de PBS vem aumentando significativamente o que torna claro o crescimento potencial desse mercado. Este poliéster pode chegar a ser uma alternativa futura a polímeros convencionais como o PET e mesmo a outros biopolímeros como o PLA (poli ácido láctico) (Borges, 2011).

O BDO é um intermediário químico produzido, entre outros processos, pelo processo Davy que é responsável por cerca de 28% do BDO produzido no mundo (Weastra, 2012). Este processo utiliza-se do composto MAN. Para a produção do bio-BDO, a empresa Myriant já comprovou, por testes de performance, a eficiência da substituição do MAN pelo bio-ácido succínico neste processo. O desenvolvimento dessa rota química com uso de bioprodutos permite a produção do bio-PBS, que parte do bio-ácido succínico e do bio-BDO.

III.3 Rotas Tecnológicas

Até 2013, dados de mercado indicam que a produção comercial de ácido succínico era conduzida predominantemente por rotas petroquímicas de hidrogenação catalítica do ácido maleico ou anidrido maleico, apesar de suas limitações e custo elevado, como será visto adiante. Dados de 1999 indicam que apenas ácido succínico natural, produzido pelo metabolismo de animais, plantas e microrganismos e vendido na indústria de alimentos, era obtido por rota fermentativa (Zeikus, 1999). Entretanto, muitas são as empresas e institutos de pesquisa que vêm direcionando seus esforços no sentido do desenvolvimento de rotas inovadoras a partir de biomassa, ou seja, processos fermentativos de baixo custo com base em matérias-primas renováveis. Esses processos podem vir e, de fato, vêm substituindo as rotas fósseis, alterando esse cenário.

São diversas as vantagens da rota biológica: menor pegada de carbono, captura de CO₂, menor oscilação de custo quando comparada à grande oscilação do preço do petróleo e alta eficiência de carbono com rendimento reacional superior a 100%. Além disso, o uso de recursos renováveis e de condições reacionais de pressão e temperatura mais brandas resulta em uma redução de energia em torno de 30 a 40% em relação ao processo químico convencional (Borges, 2011).

Ainda, além das vantagens ambientais em termos de redução de impacto principalmente quanto à emissão de gases de efeito estufa (pegada de carbono) e as demais vantagens mencionadas, essa tendência, com a expectativa de desenvolvimento de rotas cada vez mais eficientes e menos custosas, projeta para o futuro a possibilidade de exploração da cadeia de valor do ácido succínico com a provável criação de novos mercados, como já mencionado. Já em 1999, o preço do ácido succínico produzido por síntese química estava na faixa de US\$ 5,90 - 8,80/kg dependendo do seu grau de pureza, enquanto a produção de ácido succínico via fermentativa, a partir de glicose, poderia reduzir o preço de mercado em relação à rota petroquímica, de US\$ 7,0/kg para US\$ 0,6/kg a uma capacidade de 75 mil t/ano ou para US\$ 2,2/kg a uma capacidade de 5 mil t/ano (Zeikus, 1999) (Borges, 2011).

III.3.1 Rota petroquímica

A partir de matérias-primas fósseis, as rotas químicas disponíveis atualmente para produção de ácido succínico incluem: oxidação de parafinas, hidrogenação catalítica e eletrorredução do ácido maleico ou do anidrido maleico (Cheng *et al.*, 2012). Todas estas são suscetíveis às variações do preço do petróleo, tendo igual desvantagem de custo em relação à matéria-prima. Destas, a mais utilizada comercialmente é a hidrólise de produtos derivados do petróleo que se dá inicialmente com a oxidação do butano a anidrido maleico com emissão de CO₂, seguida de uma hidrólise a ácido maleico e, por fim, uma hidrogenação para a obtenção do ácido succínico. Essa síntese está ilustrada na Figura III-3.

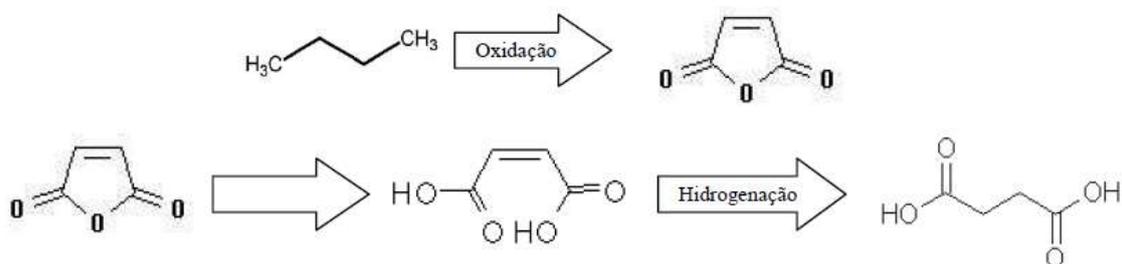


Figura III-3 Síntese química para obtenção do ácido succínico

Fonte: Zeikus *et al.*, 1999 *apud* Borges, 2011

Além de ser um processo não ecologicamente correto, com emissão de CO₂ e, portanto, poluidor, esse processo possui uma desvantagem de custo. A transformação de anidrido maleico a ácido succínico é um processo extremamente custoso e, como já mencionado, acaba por limitar as aplicações do produto a derivados de maior valor agregado. Utiliza-se um catalisador de manganês e outros ácidos dicarboxílicos são obtidos como co-produtos. A recuperação e purificação do ácido succínico são realizadas por etapas de destilação, cristalização e secagem. O rendimento e pureza do produto final obtido por esse processo são relativamente baixos.

Já o processo de hidrogenação é uma das tecnologias mais maduras, industrialmente empregada desde 1930, com alto rendimento, pureza e seletividade. A depender da seleção do catalisador, a reação é conduzida homogênea ou heterogeneamente. A aplicação desse processo, porém, é extremamente complicada e dispendiosa podendo trazer grandes implicações ambientais (Cheng *et al.*, 2012).

Os maiores produtores de ácido succínico via rota petroquímica atualmente são: DSM, Gadiv Petrochemical Industries, Mitsubishi Chemical, Kawasaki Kasei Chemicals, Nippon Shokubai, alguns chineses como Lixing Chemical, Anhui Sunsing Chemicals e Anqing Hexing Chemical e ainda outros indianos (Weastra, 2012).

III.3.2 Rota biológica

Em função do grande impacto ambiental e ineficiência econômica da rota convencional, ultimamente, grande atenção tem sido voltada à obtenção de ácido succínico via rota fermentativa. Muitas empresas vêm investindo na síntese do bioproduto em plantas industriais, muitas das quais já em operação, e buscando, simultaneamente, estudar a fundo este processo com intuito de otimizá-lo tecnologicamente e reduzir custos. As empresas que já vêm produzindo bioácido succínico são: BioAmber, Succinity (BASF S.A./Purac), Reverdia (DSM/Roquette) e Myriant. Além destas, algumas empresas chinesas têm mostrado interesse na produção de bio-ácido succínico, porém em escala reduzida (Green Chemicals Blog, 2014).

A produção do bio-ácido succínico envolve basicamente 4 processamentos: processamento *upstream* para pré-tratamento de biomassa para produção de açúcares simples; conversão à ácido succínico; processamento *downstream* para recuperação e purificação e, por fim, transformação química do ácido purificado em derivados de maior valor agregado (Lin *et al.*, 2012). O rendimento, concentração e produtividade da reação dependem de: substrato, microrganismo e meio de cultivo.

Comparativamente ao ácido succínico fóssil, a produção biológica pode inicialmente não ser economicamente competitiva devido a alguns inconvenientes: alto custo das matérias-primas, baixa concentração do produto no mosto da fermentação, co-geração de subprodutos ácidos de baixo valor agregado e difícil recuperação do produto (Cheng *et al.*, 2012). As empresas mencionadas anteriormente, com colaboração de institutos de pesquisa e universidades, vêm buscando aprimorar suas rotas biológicas com foco principal em: aumento da concentração e rendimento reacional por aplicação de engenharia metabólica, otimização das condições reacionais, flexibilização do processo para uso de fontes de matéria-prima de baixo custo e não alimentares, desenvolvimento de processos de recuperação e purificação mais eficientes, integração

para trás para pré-tratamento de biomassa residual e integração para frente para produção de derivados de alto valor agregado (Lin *et al.*, 2012). Muitas já prevêem grandes melhorias em termos de produtividade e custo mantendo boas expectativas para o produto como será visto a seguir. Hoje, o processo fermentativo já tem se mostrado viável e bastante favorável ao se considerar as vantagens comparativas à rota petroquímica convencional.

Desde 1999, já se comercializava, para aplicações alimentares, ácido succínico obtido naturalmente por rota fermentativa. Esses processos naturais são, porém, extremamente custosos limitando sua utilização comercial (Meynial-Salles, 2007). A fermentação anaeróbica bacteriana para produção de ácido succínico opera em uma faixa ótima de pH que leva à obtenção de sais necessitando, portanto, de etapas seguintes de remoção de células e impurezas, separação e recuperação, concentração do sal, conversão a ácido succínico por acidificação e, por fim, purificação. As ineficiências desse processamento *downstream* são as responsáveis pelo alto custo da rota fermentativa no passado, limitando o uso desta tecnologia. Os custos nestas etapas posteriores à fermentação representam cerca de 60-70% do custo total do produto (Zeikus, 1999).

Ultimamente, o grande investimento em desenvolvimento de tecnologias avançadas e em processos de recuperação e purificação mais eficientes vem tornando o processo fermentativo mais prático e economicamente viável (Zeikus, 1999). Diversos são os métodos hoje já disponíveis para recuperação do produto, entre eles: precipitação, adsorção e troca iônica, eletrodialise e extração líquido-líquido (Kurrock, 2009). Grande esforço também é identificado em estratégias de engenharia metabólica para otimizar o microrganismo utilizado ou alterar a atividade enzimática como forma de aumentar a seletividade ao produto e melhorar o rendimento teórico em ácido succínico (Meynial-Salles, 2007).

O bio-ácido succínico pode ser obtido por fermentação bacteriana ou por leveduras utilizando-se uma fonte de carbono renovável como um carboidrato e é idêntico ao petroquímico convencional. O processo ocorre com consumo de CO₂, ou seja, o CO₂ é usado como matéria-prima e fixado durante o processo de fermentação, contribuindo ainda mais para o desenvolvimento sustentável e melhorando a pegada

ecológica global dos produtos finais (Zeikus, 1999). Estudos evidenciam que a produção de 30 mil toneladas de bio-ácido succínico é capaz de poupar a emissão de cerca de 220 mil toneladas de CO₂ por ano (BioAmber, 2014).

Ainda como vantagens do processo, pode-se mencionar o fator de conversão da rota biológica em termos de massa de produto final obtido por massa de matéria-prima consumida. Por esta rota, ocorre agregação de matéria devido à incorporação de CO₂ no processo fermentativo, diferente da rota petroquímica que ocorre com emissão de CO₂ e, portanto, com perda de matéria ao longo do processo. A máxima incorporação e aproveitamento dos átomos da molécula de açúcar utilizada como matéria-prima no produto final torna o bio-ácido succínico um bioproduto promissor e interessante a ser explorado.

A depender da assimilação estequiométrica de CO₂ e de H₂ pelo microrganismo utilizado, o rendimento reacional pode variar significativamente (Cheng *et al.*, 2012). O rendimento reacional teórico do processo pode chegar a ser superior a 100%, ou seja mais de 1kg de ácido pode ser obtido por kg de açúcar utilizado (Zeikus, 1999). Desde 1999, já existiam registros de um rendimento produtivo de 120 mol de succinato formado por 100 mol de glicose com utilização do microrganismo *A. Succiniciproducens* (Zeikus, 1999). O uso de *M. succinoproducens* modificado geneticamente conseguiu atingir um rendimento produtivo de 1,16 mol/mol em ácido succínico (Bechthold *et al.*, 2008). O uso de cepas que consomem H₂ também otimizam o rendimento, permitindo a produção teórica de 2 mol de ácido a partir de 1 mol de glicose e 2 mol de CO₂, como pode ser visto nos equacionamentos a seguir (Zeikus, 1999) (Cheng *et al.*, 2012).

Equação 1 Reação de formação de bio-ácido succínico



Equação 2 Reações de formação de bio-ácido succínico com rendimento maximizado



III.3.2.1 Microrganismos

Como já mencionado, a fermentação pode ser realizada por bactérias ou leveduras. Os microrganismos utilizados são anaeróbios ou anaeróbios facultativos podendo ser naturais ou geneticamente modificados como: *Anaerobiospirillum succiniproducens*, *Actinobacillus succinogenes*, *Mannheimia succiniciproducens*, *Corynebacterium glutamicum* e *Escherichia coli* (Borges, 2011) (Beauprez, 2010). Apesar da alta eficiência de cepas naturais, grande atenção foi inicialmente voltada ao uso de *E.coli* geneticamente modificada por um dos seguintes métodos: melhoria no transporte de substrato, aprimoramento e deleção de vias metabólicas. Atualmente, o processo de metabolização da biomassa por leveduras tem se mostrado mais favorável principalmente por constituir-se em um processo direto, de apenas uma etapa.

Os processos que utilizam bactérias são indiretos e, portanto, ocorrem em maior número de etapas requerendo maior processamento químico, mais equipamentos e energia para converter sais intermediários ao ácido succínico. Diante da necessidade de controle de pH quando da utilização de bactérias, esse processo ocorre com a adição de uma base ao meio fazendo gerar sais. Para que esses sais sejam transformados no ácido succínico, adiciona-se um ácido ou então utiliza-se de uma etapa física de eletrodialise com grande consumo de energia. Os processos bacterianos sofrem, ainda, de diversos desafios produtivos que afetam a pureza e qualidade finais do produto como: infecção por bacteriófago (fago), produção de co-produtos como monoácidos que podem gerar fenômenos de polimerização indesejada e formação de compostos com nitrogênio que geram uma coloração indesejada. Muitos foram os esforços encontrados até 2009 de tentativa de desenvolvimento de novas cepas de *E.Coli*, por exemplo, que, por engenharia genética, maximizem o rendimento em ácido succínico com supressão das vias metabólicas para produção de bio-produtos, porém não há registros de nenhum bioprocessos economicamente competitivo nesta época (Beauprez, 2010).

Por outro lado, os processos que utilizam leveduras são menos vulneráveis a contaminações de forma que os equipamentos produtivos necessitam de menores cuidados com limpeza quando comparados aos processos bacterianos, levando a um produto com melhor qualidade. Este processo, comparativamente ao uso de bactérias, apresenta menor impacto em termos de uso de energia e emissão de carbono. Os esquemas do equacionamento do processo fermentativo e das etapas da produção

industrial apresentados nas Figuras III-4 e III-5 permitem visualizar melhor a vantagem comparativa do uso de leveduras.

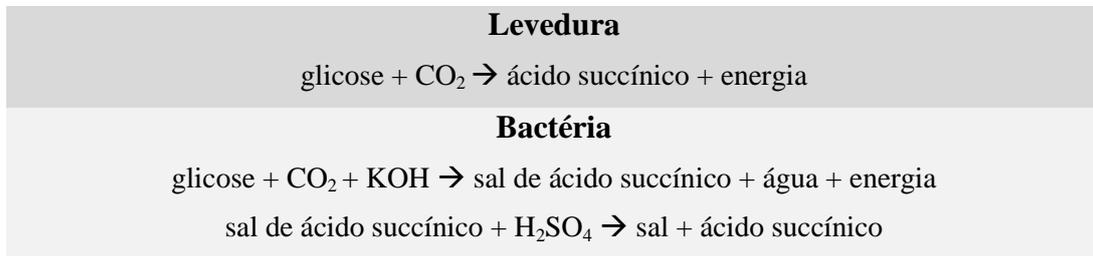


Figura III-4 Equações do processo produtivo com leveduras e com bactérias

Fonte: Reverdia, 2014

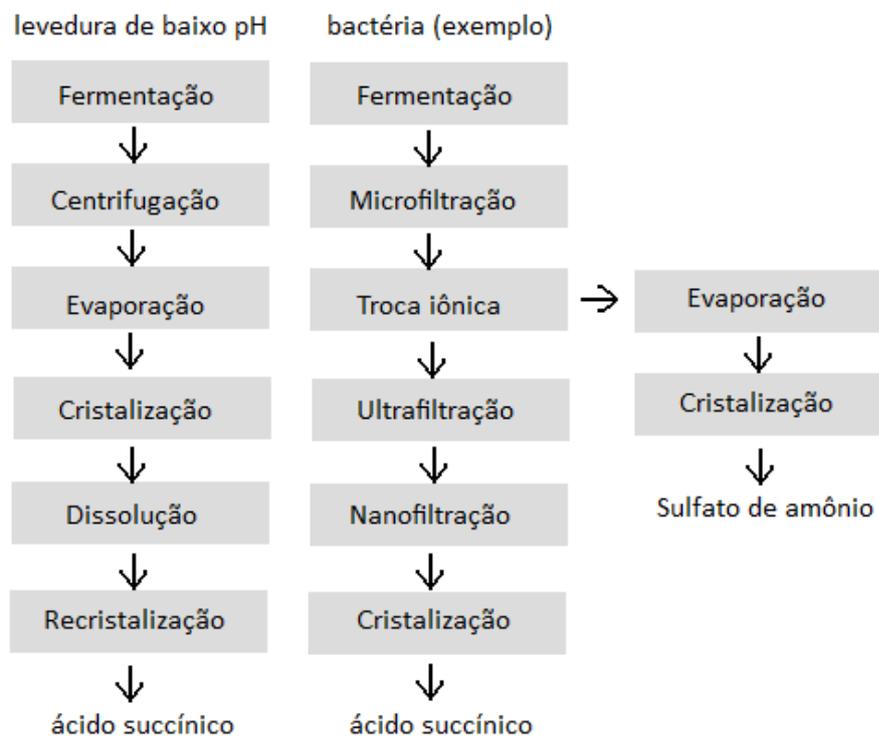


Figura III-5 Comparação de etapas de um caso de processo industrial com levedura a um caso com bactéria

Fonte: Reverdia, 2014

A Figura III-4 mostra que a produção de ácido succínico por bactérias ocorre em duas etapas, enquanto que por leveduras ocorre em apenas uma etapa. A Figura III-5 deixa evidente a maior complexidade das etapas de processamento downstream para

obtenção do produto com pureza tolerável para aplicação comercial no caso do uso de bactérias.

Como será visto a seguir, duas empresas atualmente já utilizam leveduras no processamento fermentativo de biomassa para obtenção do bio-ácido succínico.

III.3.2.2 Matéria-prima

A fonte de carbono para o processo fermentativo é um carboidrato, ou seja um açúcar, podendo este ser glicose, sacarose ou amido ou até mesmo glicerol. A fonte destes açúcares é bastante variada podendo ser trigo, milho, cana-de-açúcar, sorgo, dentre outras fontes de biomassa como biomassa residual de 2ª geração. Tratando-se de fontes renováveis, o processo biológico possui vantagem de abundância e disponibilidade matéria-prima.

Ultimamente, vem se observando um esforço por parte de algumas empresas na diversificação da fonte de biomassa utilizada em uma estratégia de flexibilização do processo. Diante da economicidade periódica de cada matéria-prima relacionada aos momentos de safra, torna-se importante a variedade de opções. Ainda, a matéria-prima representa a maior fonte de custo para a maioria dos bioprocessos de forma que, para a viabilidade econômica de um processo, é importante o uso de fontes cada vez mais baratas, menos nobres e disponíveis em abundância (Cheng *et al.*, 2012).

Busca-se, desta forma, o desenvolvimento de processos economicamente viáveis capazes de metabolizar fontes de biomassa de 2ª e/ou 3ª geração como celulose e fontes lignocelulósicas ou resíduos industriais como glicerol, configurando uma integração na cadeia produtiva desde a fonte de biomassa. Apesar da disponibilidade em abundância e a menor custo dessas fontes residuais quando comparadas aos carboidratos refinados, as etapas de pré-processamento podem encarecer o processo fermentativo, tornando necessário o desenvolvimento de técnicas eficientes e maduras. Ainda, essas fontes contêm inibidores que afetam negativamente a eficiência e rendimento do processo, devendo ser, portanto, removidos (Cheng *et al.*, 2012).

Muitas empresas vêm, então, investindo no desenvolvimento de processos de pré-tratamento dessas fontes residuais para a geração do açúcar a ser fermentado. Já é

possível encontrar na literatura relatos do uso de soro do queijo, soro de leite coalhado, melação de cana de açúcar, hidrolisado de madeira, hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar lignocelulósico, hidrolisado da palha de arroz, hidrolisado de caroço de milho, fibra de milho, resíduos de talo de milho e de algodão, milhocina, farinha de trigo, palha de trigo e até mesmo hidrolisado do saquê (Cheng *et al.*, 2012).

III.4 Aspectos Mercadológicos

O mercado de ácido succínico é historicamente pequeno e suas aplicações bastante limitadas, como já mencionado, o que restringe seu uso a resinas, revestimentos e pigmentos, surfactantes/detergentes, produtos farmacêuticos e alimentícios (acidulantes, flavorizantes e antimicrobianos), PBS/PBST e em menor volume a polióis de poliéster (Beauprez, 2009) (Weastra, 2012). Dados de 2011 apontam para um mercado global, na época, de aproximadamente 40 mil toneladas com um valor monetário de \$ 63,2 milhões, sendo mais de 97% produzido por rota petroquímica. Esses mercados possuem alto valor agregado e, portanto, não exigem rotas com grande eficiência de custo. As figuras III-6 e III-7 apresentam o *market share* do ácido succínico em 2011 por produtores e por aplicação, respectivamente.

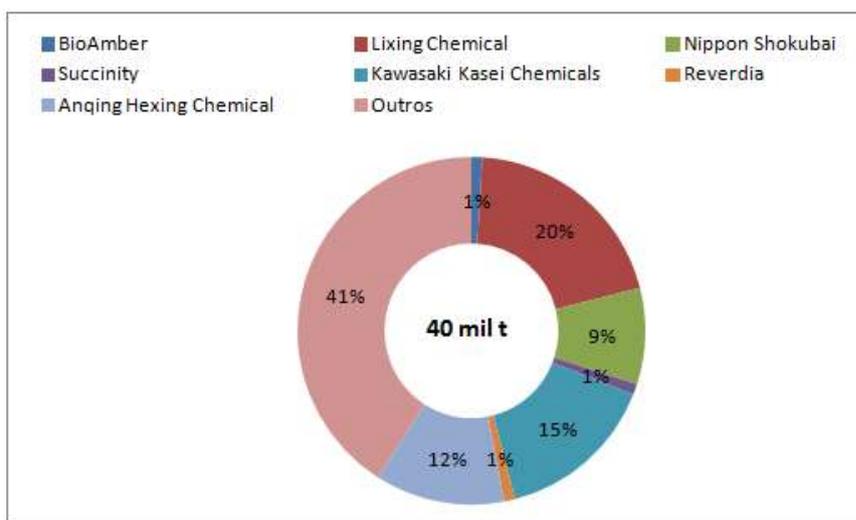


Figura III-6 *Market share* do ácido succínico por produtores, 2011

Fonte: Weastra, 2012

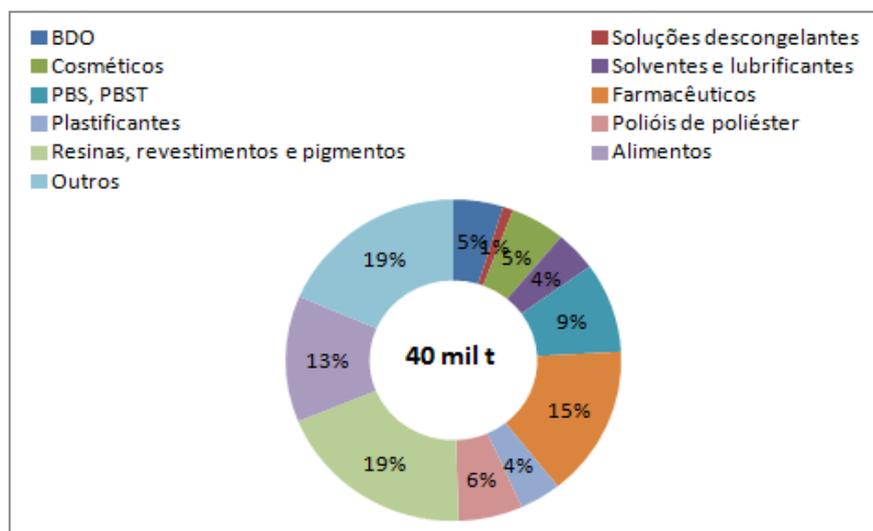


Figura III-7 Market share do ácido succínico por aplicação, 2011

Fonte: Weastra, 2012

É possível observar a predominância do produto petroquímico em 2011. Quanto aos produtores, as empresas que produzem bio-ácido succínico correspondiam ao menor volume de produção: BioAmber com 350 t, Succinity com 500 t e Reverdia com 300 t. Quanto às aplicações, a maior demanda por ácido succínico era para o mercado de resinas, revestimentos e pigmentos representando 19,3% do seu *market share*, seguido de farmacêuticos com 15,1% do total.

Desde 2012, com a expectativa de contínuo aprimoramento do processo biológico tornando possível a produção de um bio-ácido succínico com menor custo e pureza equivalente ou até superior a do produto petroquímico e em larga escala comercial, projeta-se grandes mudanças nesse mercado. A eficiência em custo cria a possibilidade de entrada em mercados de menor valor agregado, como dos *commodities* GBL, BDO e THF, derivados estes, como já demonstrado, com larga aplicação comercial (Beauprez, 2009).

A Figura III-8 expõe as aplicações potenciais e produtos derivados do ácido succínico separados em três grandes mercados: aditivos, especialidades químicas e *commodities*. O desenvolvimento do bio-ácido succínico a preço competitivo no mercado vem a permitir a exploração de toda a cadeia inferior da figura, de derivados de menor valor agregado, tornando clara a visualização da expansão da sua demanda.

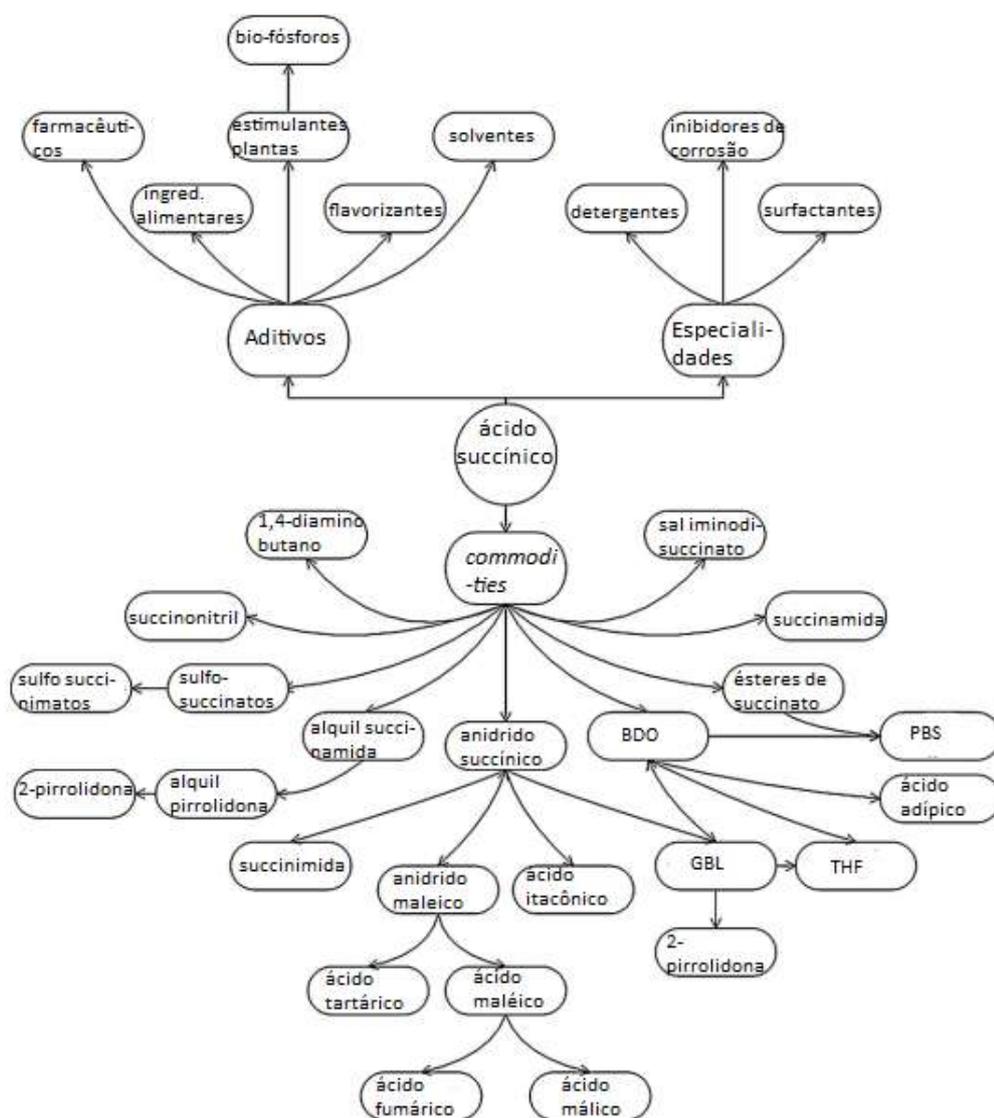


Figura III-8 Mercados para o ácido succínico

Fonte: Beauprez, 2010

A capacidade instalada para produção de bio-ácido succínico no mundo é, segundo dados de 2011, de aproximadamente 3,8 mil toneladas. Em um futuro próximo, estima-se um crescimento significativo em volume de produção podendo alcançar uma capacidade produtiva de cerca de 225,873 mil toneladas em 2014 e 637,452 mil toneladas em 2020 (Weastra, 2012). Esta projeção pode ser acompanhada na tabela III-2 a seguir.

Tabela III-2 Capacidade produtiva de ácido succínico e projeções

Capacidade produtiva (mil t)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ácido succínico	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
taxa de utilização	100%	100%	80%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bio-ácido succínico	4	15	74	186	317	317	467	467	598	598
taxa de utilização	33%	70%	69%	61%	61%	83%	94%	99%	89%	99%
Total	44	55	114	226	357	357	507	507	638	638
utilização total	41	50	83	133	192	262	439	464	529	595

Fonte: Weastra, 2012

A tabela III-2 mostra a evolução da capacidade produtiva e do grau de substituição do produto petroquímico pelo bioproduto. Como pode ser observado, a partir de 2015 estima-se uma substituição total do ácido succínico de origem fóssil. A projeção de um crescimento expressivo da capacidade produtiva de bio-ácido succínico acompanhado por um aumento significativo da demanda com quase 100% de taxa de utilização do bioproduto produzido mundialmente traz boas expectativas para as empresas e pesquisadores que vêm investindo no setor.

Esse é na verdade o grande desafio relacionado à comercialização do bio-ácido succínico: o desenvolvimento de novas aplicações competitivas aumentando a demanda pelo produto como forma de escoar todo o potencial industrial em termos de capacidade produtiva que vem se mostrando bastante favorável. Como será visto a seguir, diversas empresas já possuem planos de construção de plantas comerciais com capacidade instalada de 50 mil t/ano e até 100 mil t/ano. O grande desafio no momento é, então, o desenvolvimento de um mercado capaz de absorver tamanho volume do produto, é vencer a concorrência com petroquímicos básicos já estabelecidos e outros bioprodutos *drop-in* também em desenvolvimento. Para isso, como já mencionado, torna-se necessário um grande investimento na cadeia a jusante do produto com esforços de desenvolvimento de aplicações para adoção pelos usuários finais (Bomtempo, 2013).

Um fator que vem se demonstrando favorável ao vencimento deste desafio é a vantagem de custo do processo biológico. O preço atual do produto petroquímico oscila

entre \$ 2400/t - \$ 2600/t e o do bioproduto oscila entre \$ 2860 /t - \$ 3000/t a depender do fornecedor, qualidade e grade do produto final. Estudos revelam, com a ampliação de escala apresentada anteriormente, a possibilidade de redução do preço do bio-ácido succínico para \$ 2300/t - \$ 2400/t de forma a tornar o produto competitivo frente ao petroquímico convencional e também frente a outros petroquímicos (Weastra, 2012). Simultaneamente a essa previsão, espera-se o aumento progressivo do preço do petróleo encarecendo o produto obtido por rota petroquímica e tornando-a menos competitiva e mais suscetível a substituição pela rota biológica. A BioAmber, por exemplo, expõe suas apostas de capacidade de produção de bio-ácido succínico a um preço 40% menor que o petroquímico no futuro (Weastra, 2012).

Estudos de mercado apontam que, caso o bio-ácido succínico venha de fato a se disseminar no mundo com capacidade produtiva de grande volume e preço competitivo, existem mercados que poderão ser completamente afetados pelo produto. Diante do vasto número de aplicações em que o ácido succínico pode ser usado como um substituto a outros petroquímicos básicos, como já apresentado, essa expectativa cria um mercado potencial muito grande para o produto encorajando pesquisadores na área. Compostos que poderão ser substituídos pelo bio-ácido succínico em determinadas aplicações incluem: anidrido maleico na produção de BDO, ácido adípico em plastificantes e polióis de poliéster e anidrido ftálico em plastificantes e resinas alquídicas.

A tabela III-3 lista os mercados-alvo do ácido succínico já existentes e os novos mercados que devem emergir diante das vantagens do bioproduto e da sua potencial produção em larga escala e a baixo custo.

Tabela III-3 Mercados potenciais para o bio-ácido succínico

Novos mercados	Mercados existentes
BDO e derivados	Soluções anticongelantes
PBS	Solventes e lubrificantes
Polióis de poliéster	Produtos farmacêuticos
Plastificantes	Cosméticos
Resinas alquídicas	Produtos alimentícios

Fonte: Weastra, 2012.

A Figura III-9 destaca alguns dos produtos finais destes novos mercados alvo para o ácido succínico.

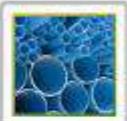
PBS	 Filmes agrícolas	 Copos descartáveis	 Sacolas plásticas
Plastificantes	 Tubos de PVC	 Plásticos de engenharia	 Brinquedos
Polímeros e ésteres	 Adesivos	 Selantes	 Fita isolante
Polióis de poliéster	 Sapatos	 Assentos de carro	 Isolamento

Figura III-9 Aplicações finais do ácido succínico

Fonte: Myriant, 2014

Desta forma, o bio-ácido succínico vem atuando em dois grandes mercados principais. O produto surge não só como um substituto ao produto petroquímico convencional em função da sua eficiência em custo atacando os mercados já existentes, como também como um produto competitivo com potencial para entrar em novos mercados em substituição a outros intermediários petroquímicos. Estima-se, então, um crescimento do mercado já existente para 92 mil toneladas até 2020 com um índice CAGR (taxa de crescimento anual composta) de 13% de 2010 a 2020 (Weastra,2012). Além disso, estima-se um novo mercado teórico adicional, no caso do ácido succínico substituir em 100% os petroquímicos citados para as aplicações finais definidas, de aproximadamente 6,2 milhões de toneladas com valor de \$ 14,1 bilhões com base nos dados de tamanho de mercado e preço de 2011 (Weastra, 2012). No total, seguindo o

modelo de projeção utilizado pela Weastra (2012), contabilizando a capacidade produtiva planejada e assegurando-se da performance satisfatória do produto nas aplicações mencionadas, estima-se um crescimento do mercado em volume para 188,573 mil toneladas com valor de mercado de \$167,6 milhões em 2015 e para 599,449 mil toneladas em 2020 com um valor de mercado de \$538,8 milhões, correspondendo a um índice CAGR de 33% de 2010 a 2020 (Weastra, 2012).

Os mercados que mais serão atingidos pelo bio-ácido succínico deverão ser o de BDO, PBS e poliuretanos que correspondem aos mercados de maior potencial para a entrada deste novo bioproduto como substituto a intermediários petroquímicos convencionais. A Figura III-10 apresenta a projeção realizada pela Weastra do *market share* do produto por aplicação para 2020.

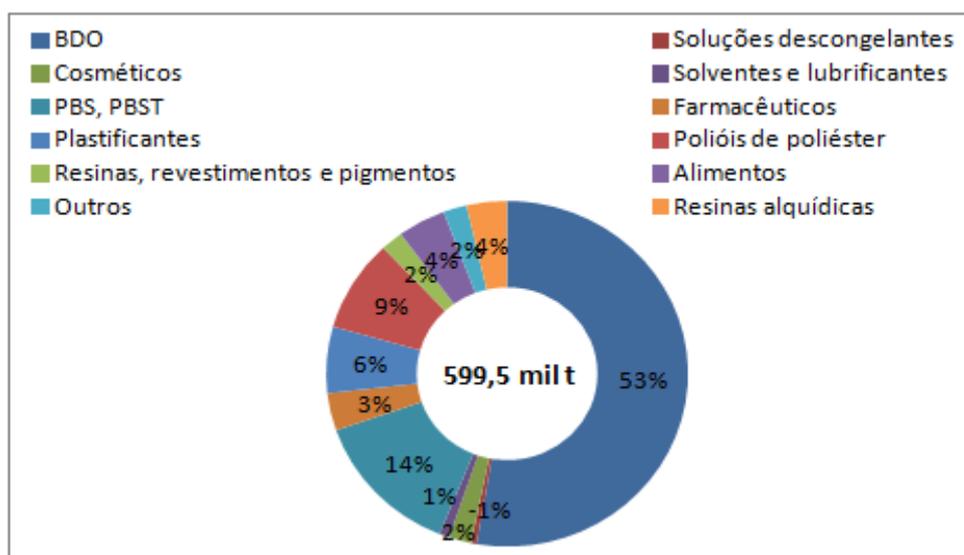


Figura III-10 Projeção do *market share* do ácido succínico por aplicação para 2020

Fonte: Weastra, 2012

A Figura III-10 deixa, de fato, evidente o grande crescimento, quando comparado aos dados de 2011, da adoção de ácido succínico principalmente pelos mercados de BDO, PBS e polióis de poliéster. Um estudo realizado pela Weastra em 2012 apresenta ainda projeções do percentual potencial de substituição dos petroquímicos convencionais nesses mercados.

O potencial para substituição do MAN na produção de BDO pelo bio-ácido succínico deve chegar a 11% do MAN utilizado em BDO em 2020. Apesar do grande

destaque para o mercado de BDO, muitas empresas vêm investindo na produção direta de BDO por processo fermentativo sem que haja a recuperação e purificação do ácido succínico como intermediário do processo. Estas empresas alegam que a fermentação direta é um processo economicamente muito mais vantajoso.

Quanto ao PBS, estima-se um potencial de substituição de 100% do produto petroquímico pelo bioproduto.

Já em relação ao mercado de poliuretanos, o potencial de substituição pelo bio-ácido succínico deve chegar, em 2020, a 4,5% do ácido adípico utilizado na produção de polióis de poliéster com propriedades compatíveis para aplicação em elastômeros, revestimentos, adesivos e espumas. Existe um competidor ao bio-ácido succínico na substituição do ácido adípico, o bio-ácido adípico que poderá ser utilizado como um substituto *drop-in*. Estudos alegam, porém, que o foco maior dessa substituição será o mercado de poliamidas (Weastra, 2012).

Quanto ao mercado de plastificantes, o potencial de substituição do ácido adípico deve ser de 2,5% e do anidrido ftálico de 1% em 2020, como forma de atender ao crescimento da demanda por produtos sem ftalato. Esse potencial limitado deve-se à competição com outros intermediários de base em biomassa, alguns com melhores propriedades que o ácido succínico para essa aplicação. Pesquisas na Central Michigan University apontaram que o bio-ácido succínico é eficiente na produção de plastificantes para PVC com base em diferentes di-ésteres de succinato (Tecnon OrbiChem, 2013).

Para o mercado de resinas alquídicas, estima-se um percentual de substituição do anidrido ftálico pelo bio-ácido succínico de 2,5% em 2020.

III.5 O Processo de Inovação

Dada a descrição do ácido succínico e análise de aspectos relacionados ao processo inovador de desenvolvimento do bioproduto, pode-se retomar aos conceitos apresentados na introdução do presente trabalho e buscar aplicá-los à indústria, ainda em estruturação, de bio-ácido succínico.

Pode-se dizer que o desenvolvimento do bioproduto em questão trata-se de uma inovação de processo e não de produto frente ao fato de que o produto é idêntico ao petroquímico, uniforme e bem-definido, variando, entre os atores envolvidos, a forma de obtenção. Desta forma, a competição nessa indústria se dá em nível de processo produtivo, englobando não só o aspecto tecnológico como todo o modelo de negócios adotado por cada empresa. Como poderá ser visto mais adiante no presente trabalho, as empresas atualmente produtoras de bio-ácido succínico apostam em diferentes plataformas tecnológicas e seus modelos de negócio possuem algumas diferenças estratégicas. Pode-se, então, seguindo o modelo proposto por Abernathy e Utterback (1978), dizer que o tal setor industrial está em uma fase fluida marcada por grande indefinição em que uma tecnologia capacitadora ainda não foi revelada, ou seja, ainda não há um padrão consolidado para a obtenção deste bioproduto.

Capítulo IV – Análise de Projetos

O presente capítulo apresenta informações acerca dos diferentes projetos em andamento identificados no mundo e procura analisar tanto aspectos relacionados à tecnologia quanto às estratégias adotadas pelas empresas. Busca-se identificar padrões e tendências.

Foram, no total, encontradas referências de 10 plantas industriais para produção de bio-ácido succínico sob operação e administração de 4 principais empresas do setor. Cada empreendimento identificado é de propriedade de uma empresa imersa em uma dinâmica de parcerias complexa. O quadro, construído com base na metodologia já descrita, apresenta então, para cada uma dessas 4 empresas, informações acerca de todos os seus projetos, incluindo as eventuais empresas parceiras. O banco completo de projetos encontra-se no Anexo II.

Para a realização desse estudo pode-se, como estratégia de organização, segregar, com certa flexibilidade, as variáveis de análise apresentadas na Tabela II-3. Para a análise tecnológica são considerados principalmente os aspectos relacionados a: matéria-prima, rota tecnológica e estágio de maturidade industrial e planos futuros. Já

para a análise de modelos de negócio, as variáveis mais ricas são: perfil da empresa, aplicação, parcerias e investimentos.

IV.1 Análise tecnológica

Este tópico pretende abordar aspectos comparativos entre as 4 empresas relacionados a suas estratégias tecnológicas como: rota tecnológica, microrganismo e nível de complexidade da rota, flexibilidade de matéria-prima, estágio de maturidade da tecnologia, existência de patentes publicadas e natureza dos processos *downstream*. Esses fatores são estudados como forma de analisar as vantagens de um processo em relação a outro, os desafios tecnológicos do escalonamento de tecnologias, os recursos intelectuais em forma de patente das empresas e o nível de avanço tecnológico dos empreendimentos industriais. Para isso, subdivide-se este tópico nos seguintes itens: natureza do processo e estágio de maturidade da tecnologia.

IV.1.1 Natureza do processo

O primeiro fator a ser estudado em uma análise tecnológica é a natureza do processamento e o nível de complexidade da rota utilizada. Todas as quatro empresas identificadas utilizam rotas biológicas com fixação de CO₂ para a produção de bio-ácido succínico. Tratando-se de um processo fermentativo, os fatores que vêm a diferenciar os processos e fornecer vantagens comparativas em custo e rendimento a uma ou outra empresa são as matérias-primas utilizadas e os microrganismos empregados. Sob esses aspectos, é fácil observar a grande variedade de alternativas tecnológicas existentes.

A BioAmber inicialmente utilizava a bactéria *Escherichia coli*, glicose e CO₂ em seu processo, mas, em 2013, converteu seu processo para uso de uma cepa de leveduras licenciada da empresa Cargill, a qual permite maior flexibilidade de matéria-prima. O microrganismo foi ainda otimizado prometendo melhor rendimento, redução de custos e do gasto energético do processo e melhoria na partida e operação de suas fábricas. A empresa possui patentes depositadas recentemente que apresentam maiores detalhes acerca do seu processo produtivo, quanto a etapas de purificação e também de

transformação do ácido succínico em derivados (Fruchey *et al.*, 2012) (Fruchey *et al.*, 2011) (Bernier *et al.*, 2014). Um de seus parceiros, Sofinnova, alega que a BioAmber é a empresa mais avançada no campo de bio-ácido succínico (BioAmber, 2014). A Mitsubishi Chemical desenvolveu uma bactéria do tipo *Coryne* com uma produtividade e rendimento muito superiores quando comparados ao da *E.coli* e testou em plantas da BioAmber (Biofpr, 2012).

A Myriant também possui uma plataforma tecnológica própria para produção do bio-ácido. A cultura utilizada é uma cepa geneticamente modificada de *E.coli*. A purificação do ácido succínico ocorre através de resinas de troca iônica, de acordo com patente depositada pela empresa em 2010. Conforme mostra a Figura IV-1, o processo fermentativo da empresa possui algumas vantagens quando comparado à rota petroquímica.

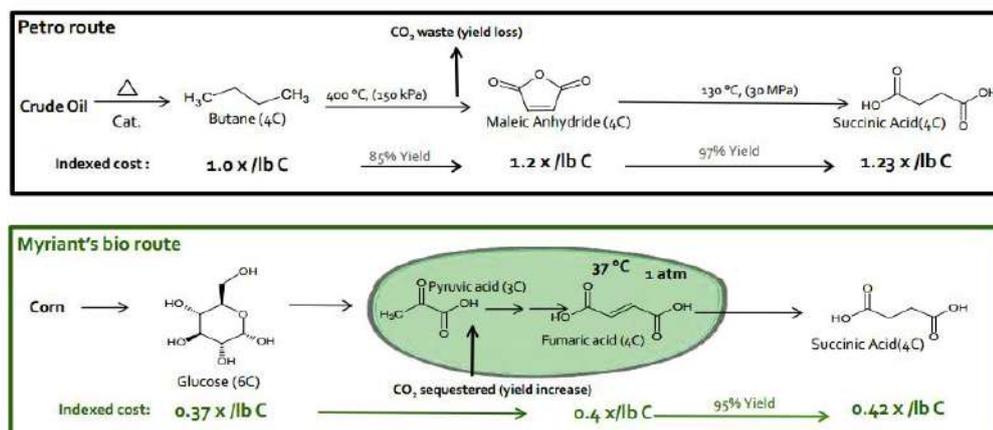


Figura IV-1 Comparação entre a rota biológica da Myriant e a rota petroquímica convencional
Fonte: Myriant, 2014

A análise desses esquemas permite observar que a rota biológica ocorre com menor consumo energético em função das condições reacionais de temperatura e pressão serem mais brandas, ocorre com maior rendimento e melhor pegada ecológica em função da fixação de CO₂ e possui preço competitivo partindo de matérias-primas com eficiência de custo 60% superior à fonte fóssil.

A Succinity utiliza um microrganismo próprio, a bactéria *Basfia succiniciproducens*, desenvolvida pela empresa em 2009 e alega que a vantagem deste microrganismo é a flexibilidade de matéria-prima capaz de ser metabolizada. Foi

encontrada, ainda, uma patente depositada pela BASF em 2010 relacionada ao desenvolvimento de culturas bacterianas geneticamente modificadas capazes de utilizar glicerol como fonte de carbono para a produção de ácido succínico (Schröder *et al.*, 2010).

A Reverdia Vof possui uma tecnologia própria de processamento em baixo pH com uso de leveduras, pela qual a biomassa é convertida diretamente a ácido succínico. A tecnologia fermentativa e de recuperação do bioproduto foram patenteadas em aplicação sob depósito da Roquette (Dehay *et al.*, 2010) (Van de Graaf *et al.*, 2012). Esta tecnologia oferece algumas vantagens à empresa, como já mencionado na comparação de processos com levedura e bactérias: processo robusto sem perigo de contaminação por fagos; processo simples sem necessidade de titulação evitando a formação de sais; flexibilidade de matéria-prima; melhor performance em termos sustentáveis; menor custo; menor processamento químico e maior eficiência energética quando comparado ao uso de bactérias. Estas vantagens estão esquematizadas na Figura IV-2.

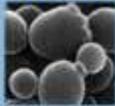
		Levedura 	Bactéria 
Fermentação	Produção em pH 3	●	●
	Robustez/ Infecção com fago	●	●
Recuperação	Pureza do produto	●	●
	Sem sais de rejeito	●	●
	Purificação simples	●	●
Pegada de C	Comparada ao petroquímico	●	●

Figura IV-2 Comparação do uso de levedura ao uso de bactéria no processo fermentativo da Reverdia Vof

Fonte: Reverdia, 2014

Essa tecnologia foi escalonada para escala comercial após um período de testes em escala demonstração na planta de Lestrem, França, que continua sendo utilizada pela empresa para testes contínuos como forma de aprimorar esta tecnologia e permitir

melhorias na qualidade do bioproduto. A empresa possui atualmente mais de 15 patentes arquivadas sobre o processo, protegendo sua tecnologia inovadora de fermentação e recuperação do produto. Um esquema do processo industrial da empresa pode ser visto na Figura IV-3.

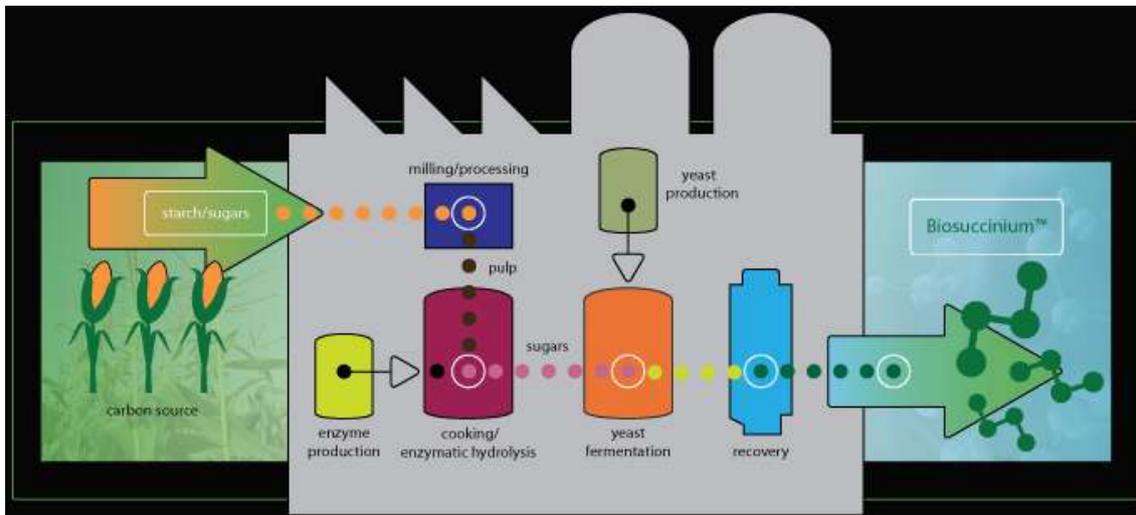


Figura IV-3 Etapas do processo produtivo de biosucciniam™

Fonte: Reverdia, 2014

A empresa utiliza-se, ainda, de co-geração de vapor e eletricidade e tratamento de água residual no local da planta para assegurar uma melhor análise de ciclo de vida ao seu produto final.

Além de processos tecnologicamente avançados, as empresas buscam a redução de gastos energéticos e a definição de uma logística estratégica para redução de custos produtivos. Muitos esforços ainda são identificados por parte das empresas no sentido de tornar seu produto mais atrativo no mercado por vantagem de preço. A BioAmber, por exemplo, vem investindo no seu processo fermentativo com a recém mudança de microrganismo e expansão de escala como forma de tornar seu processo o de menor custo no mercado.

Um dos pontos mais importantes a serem observados em um projeto de uma bioindústria é a flexibilidade de matéria-prima. A matéria-prima responde por grande parte do custo final do produto e também de seu impacto socioeconômico. Como todos os processos envolvem fermentação, as opções de matérias-primas são diversas fontes

de carbono renovável: açúcares, celulose e hemicelulose, lignina ou glicerol. O substrato a ser metabolizado é, em geral, glicose, sacarose ou amido variando a fonte de biomassa utilizada que pode ser desde carboidratos refinados até resíduos de 2ª ou 3ª geração que necessitam de etapas de pré-tratamento. Algumas vantagens se fazem presentes para certas empresas em detrimento de outras em função, muitas vezes, do microrganismo utilizado e da flexibilidade que este permite.

A tabela IV-1 apresenta as fontes de matéria-prima utilizadas pelas empresas e os planos futuros quando encontrados.

Tabela IV-1 Matéria-prima para produção de bio-ácido succínico por empresa

Empresa	Matéria-prima	
	Atual	Futuramente
BioAmber	Açúcar refinado: glicose de trigo, amido de milho (95 dextrose) e sacarose de cana-de-açúcar ou tapioca	Lignocelulose
Myriant	Açúcar refinado: sacarose de cana-de-açúcar Celulose: sorgo, milho ou biomassa residual (2ª geração)	Açúcar: amido de milho (95 dextrose)
Succinity	Açúcar refinado: glicose	Glicerol
Reverdia	Açúcar refinado: amido de milho não geneticamente modificado	Celulose

Fonte: Elaboração própria com base nas informações do Anexo II

Pode-se observar que a Myriant é a primeira a explorar fontes de 2ª geração. A Myriant já utiliza como matéria-prima sorgo que é uma fonte de biomassa celulósica, necessitando de etapas de pré-tratamento e, pretende, posteriormente utilizar açúcar industrial de baixo custo (95 Dextrose, derivado de milho). Quando da maturação da tecnologia de pré-tratamento de forma a torná-la economicamente viável, pode-se dizer que a empresa possui uma vantagem de custo pelo uso de fontes de matéria-prima menos nobres, mais baratas e flexíveis. A BioAmber utiliza glicose já refinada de trigo na planta localizada na França, oriunda de fontes não geneticamente modificadas e vem avaliando opções disponíveis para fontes de biomassa lignocelulósicas e pretende

converter seu processo para integração com etapas de pré-tratamento assim que estas se tornarem disponíveis em quantidade e preço favoráveis. Tratando-se de uma fonte ainda mais complexa e abundante, a BioAmber pode nessa estratégia ganhar competitividade no mercado. A planta da Tailândia deverá, inicialmente, utilizar açúcar refinado de cana ou de tapioca e, futuramente, fontes de biomassa residual (Biofpr, 2011). A Reverdia pretende, a longo prazo, utilizar biomassa celulósica como fonte de açúcar. Por enquanto, a produção é a partir de amido derivado, por exemplo, de milho não geneticamente modificado. A Succinity, mais nova no mercado, ainda não divulgou interesse na exploração de fontes alternativas celulósicas ou lignocelulósicas, mas foi encontrada uma patente que deixa evidente o interesse da empresa no uso de glicerol como fonte de carbono sem dados, porém, de produção comercial.

Quanto às etapas de *downstream*, a BioAmber é a única empresa, dentre as produtoras de bio-ácido succínico, que vem investindo na integração de processos para a produção de derivados.

A BioAmber produz atualmente BDO e o sal succinato de di-sódio. Para a produção de bio-BDO, a empresa licenciou a tecnologia da DuPont de hidrogenação catalítica em fase líquida capaz de converter bio-ácido succínico a BDO, GBL e THF e aliou-se à Evonik, empresa líder em desenvolvimento catalítico, para otimizar os catalisadores do processo e melhorar a performance e custo dessa transformação. O escalonamento para produção comercial desta tecnologia completou-se em 2012 e necessitou de esforço tecnológico por se tratar de um processo novo e adaptado. Por este processo, o ácido succínico purificado é produzido em solução aquosa, sem etapas de evaporação e cristalização, e é diretamente convertido a BDO ou THF, resultando em um processo integrado a partir do açúcar. O custo com ácido succínico é, desta forma, muito abaixo do preço de mercado garantindo à empresa derivados a preço competitivo. O succinato de di-sódio é um derivado do ácido succínico utilizado em aplicações alimentares como flavorizante ou intensificador de sabor e obtido por transformações químicas convencionais.

A Figura IV-4 apresenta um diagrama do processo integrado, já descrito, da BioAmber para produção de BDO.

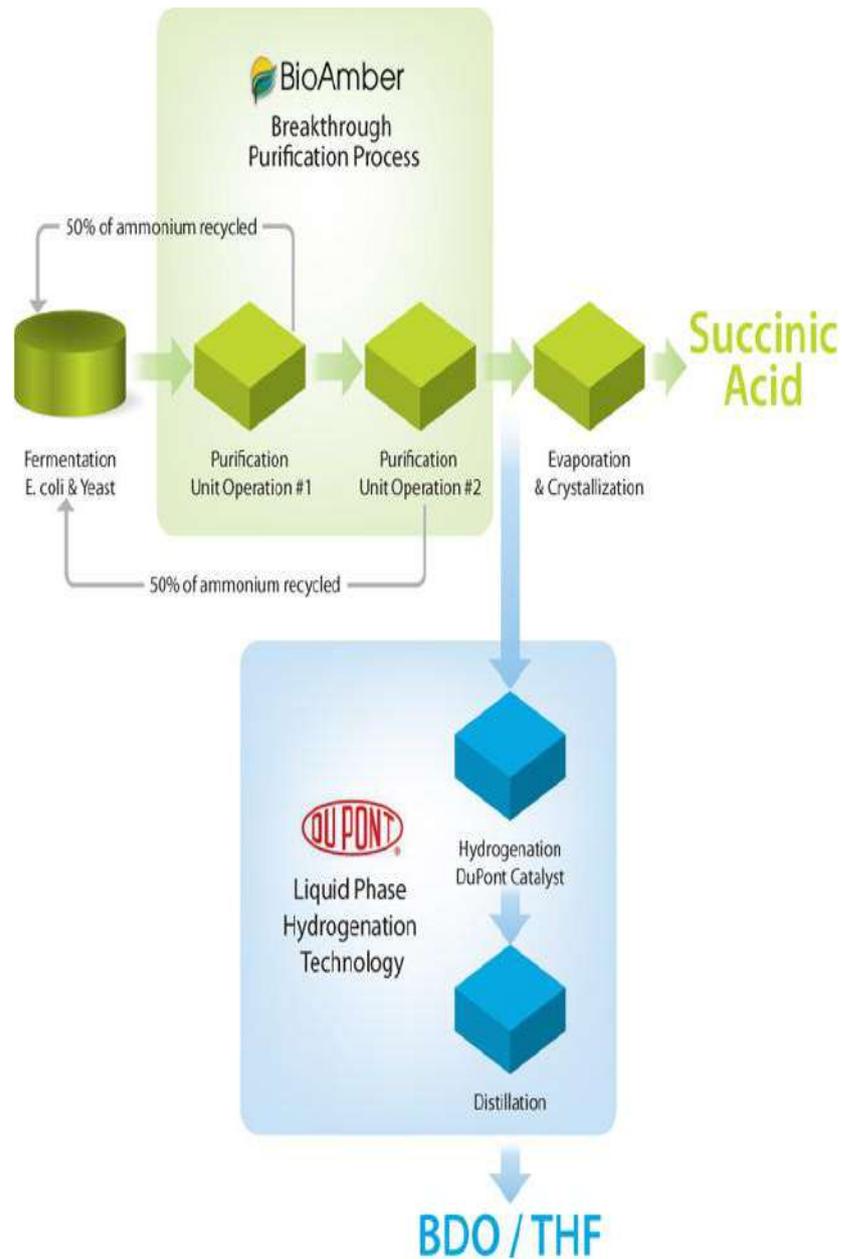


Figura IV-4 Diagrama da cadeia produtiva integrada da BioAmber

Fonte: BioAmber, 2014

É interessante aqui expor também a estratégia da empresa Genomatica, com sede nos EUA, que vem investindo na produção de bio-BDO por um processo direto a partir da molécula de sacarose, eliminando a necessidade de etapas de isolamento, purificação e processamento do ácido succínico que utilizam etapas de conversão catalítica a altas T e altas P. Este produto vem a competir com o bio-BDO da BioAmber e de outras empresas transformadoras do bio-ácido succínico. A empresa utiliza-se de

microrganismos geneticamente desenvolvidos e fontes diversas de açúcar. A empresa já firmou parceria com a Mitsubishi Chemical para fornecimento de BDO para a produção de PBS (Genomatica, 2014) (Burk, 2010).

Apesar de não investir na integração da cadeia em suas plantas produtoras, a Myriant fez uma parceria com a empresa Johnson Matthey – Davy Technologies, produtora de BDO petroquímico, para demonstrar a possibilidade de substituição do MAN pelo bio-ácido succínico na produção de bio-BDO. O bio-BDO ou bio-THF obtidos possuem uma eficiência de carbono de 87%, superior à eficiência obtida pelo processo fermentativo direto a bio-BDO empregado pela Genomatica. Essa parceria permite aos clientes da Myriant produzir bio-BDO a um custo competitivo no mercado.

Desta forma, são diversas as estratégias adotadas pelas empresas para obter vantagem competitiva no mercado, seja por integração para frente, validação do produto para produção por transformadores químicos ou pelo desenvolvimento de processos diretos como o caso da Genomatica que apostou na aplicação do bioproduto no mercado de PBS.

IV.1.2 Estágio de maturidade da tecnologia

Todas as empresas identificadas já comercializam bio-ácido succínico, o que evidencia que a tecnologia de produção desse bioproduto já superou os desafios de escalonamento. A tabela IV-2 aponta a data de início de operação da 1ª planta comercial e a capacidade instalada atual total aproximada de cada empresa contabilizando todas as plantas já em operação.

Tabela IV-2 Produção comercial por empresa

Empresa	Partida da 1ª planta comercial	Capacidade instalada (mil t/ano)	Projeção da capacidade instalada (mil t/ano)
BioAmber	janeiro/2010*	3	167
Myriant	abril/2013	15	182
Succinity	março/2014	10	75
Reverdia Vof	dezembro/2012	10	10**

*Não foram encontrados registros sobre nenhuma planta comercial já em operação. Esta data é referente à partida da planta demonstração em Pomacle, cujo produto já é comercializado mesmo que em menor volume.

**Não foi encontrada a capacidade instalada prevista para a 2ª planta comercial anunciada.

A BioAmber foi a primeira empresa a operar uma planta industrial e a comercializar bio-ácido succínico, sob a marca BIO-SA™, mas ainda não possui nenhuma planta operando em larga escala comercial. A empresa vem produzindo desde janeiro de 2010 em escala demonstração com uma capacidade de 3 mil t/ano (BioAmber, 2014). Até 2011, a empresa havia produzido 331 toneladas do bioproduto vendendo 65,5 toneladas em amostras para 14 clientes (Weastra, 2012). Desde 2010, quando da partida da planta, até março de 2013, a empresa produziu um total de 836 toneladas (Green Chemicals Blog, 2014). Os planos da empresa de iniciar a operação da planta comercial em Sarnia com 17 mil t/ano iniciais foram postergados para 2014 com capacidade ampliada para 30 mil t/ano.

A primeira produtora comercial em larga escala de bio-ácido succínico foi a Reverdia Vof sob a marca Biosuccinium™, protegida por patente, e a maior produtora em termos de capacidade instalada para produção comercial é, atualmente, a Myriant. A Myriant foi a primeira a operar uma planta comercial nos EUA para produção de bio-ácido succínico. A Succinity, de formação também mais recente, iniciou a operação de sua primeira planta comercial no dia 03 de março deste ano.

IV.2 Análise de modelo de negócios

Neste item faz-se uma análise comparativa dos modelos de negócios adotados pelas empresas. São considerados para isso fatores como: *background* da empresa; área de atuação; fontes de investimento; atores e parceiros envolvidos e nível de integração, seja produtiva ou comercial, para frente e para trás. Inicialmente, apresenta-se um panorama do perfil das empresas e, em seguida, analisa-se o modelo de negócio que cada uma adota para o bio-ácido succínico segundo os seguintes aspectos: segmento de mercado explorado, proposição de valor, canais de distribuição, fontes de receitas e recursos e parcerias chave.

IV.2.1 Perfil da empresa

O *background* das empresas, seu setor foco de atuação, o ano de fundação, país de origem e países de atuação segundo a localização das plantas industriais estão apresentados na tabela IV-3.

Tabela IV-3 Perfil das empresas

Empresa	Background	Setor de atuação	Ano de fundação	País de origem	Países de atuação
BioAmber	<i>spin off</i> da DNP	Química sustentável, biotecnologia	2008	EUA	França, Canadá, Tailândia e Brasil ou EUA.
Myriant	<i>start-up</i>	Química sustentável, biotecnologia	2004	EUA	EUA, Alemanha e China
Succinity	<i>joint venture</i> entre BASF e Purac	Química sustentável, biotecnologia	2013	Alemanha	Espanha
Reverdia Vof	<i>joint venture</i> entre DSM e Roquette	Química sustentável, biotecnologia	2010	Holanda	Itália e França

Fonte: Elaboração própria a partir dos quadros do Anexo II

Como pode-se perceber, as 4 empresas são empresas novas com foco em inovação tecnológica para conversão de fontes renováveis em bioprodutos de baixo custo, substitutos potenciais a petroquímicos básicos. Duas são norte-americanas e duas europeias, mas as 4 vêm buscando diversificar sua atuação, seja produtiva seja comercial, como forma de atacar o mercado mundial de bio-ácido succínico e derivados.

A BioAmber nasceu como *spin off* da empresa Diversified Natural Products (DNP) e era chamada de DNP Green Technology. O nome BioAmber veio a partir de uma *joint venture* entre a DNP Green Technology e a Agro Industries Recherche et Developpement (ARD) que foi logo comprada em totalidade pela DNP. Aproveitando-se da plataforma tecnológica flexível para produção de ácido succínico, a empresa vem investindo em outros blocos de construção como ácido adípico e caprolactama de base renovável. A planta do Canadá conta com fornecimento de vapor residual de uma

indústria de co-geração de eletricidade próxima reduzindo seu consumo e emissão de GEEs.

A Myriant é uma *start-up* sediada em Boston, Massachusetts, EUA que produz além de bio-ácido succínico os bioácidos láctico, acrílico, mucônico e fumárico. A empresa foi a 1ª a construir e iniciar operação em uma planta comercial nos EUA com as vantagens de menores custos, fácil acesso à matéria-prima e energia, proximidade ao rio Mississippi e apoio das autoridades locais.

A Succinity GmbH foi registrada em 2013, mas desde 2009 as empresas BASF e Purac já vem conduzindo pesquisas em bio-ácido succínico. Essa cooperação estratégica na forma de *joint venture* confere à empresa um *background* diversificado na medida em que combina o *know-how* da BASF, maior e mais experiente empresa produtora de intermediários químicos, e da Corbion, fornecedora líder de bioquímicos e ingredientes alimentares.

A Reverdia Vof é uma *start-up* oriunda de uma *joint venture* entre as empresas DSM, líder em biotecnologia, e Roquette, experiente em biorefinaria, produtora de bioprodutos derivados de trigo. Apesar do anúncio da criação da empresa em 2010, desde 2008 as empresas já vêm trabalhando no desenvolvimento de uma plataforma tecnológica para a produção do bioproduto em uma planta demonstração na França. A empresa, membro da Biotechnology Industry Organization, pretende ser líder global no mercado de bio-ácido succínico e vem investindo bastante em sua marca Biosuccinium™. A proximidade da planta na Itália ao porto de Genoa e a integração para trás para produção de fontes de carbono na própria biorrefinaria são estratégias da empresa no sentido de assegurar vantagens logísticas à sua produção.

IV.2.2 Segmento de mercado explorado

Este item pretende definir os diferentes setores que um empreendimento busca atender, apontando mercados-alvo: de larga escala, nichos específicos, mercados diversificados ou segmentados.

Tratando-se do mesmo produto, as empresas visam mercados bastante parecidos, sendo concorrentes diretas não fossem os acordos exclusivos de fornecimento e

distribuição. É importante reforçar a natureza dos mercados a serem atingidos pelo bioproduto.

Além do mercado já existente como substituto *drop-in* ao produto petroquímico, o bio-ácido succínico visa penetrar em novos mercados como substituto a outros petroquímicos convencionais. Por se tratar de novas aplicações de grande potencial em volume de mercado, para a absorção do produto, é necessário uma pré-validação por parte do cliente como forma de comprovar a performance do novo intermediário.

Os segmentos-alvo do bio-ácido succínico, como já dito, são principalmente: bioplásticos, solventes, plastificantes, resinas e revestimentos, poliuretanos, produtos de cuidado pessoal e soluções para descongelamento. Estes mercados vêm crescendo substancialmente nos últimos anos dada a maior valorização dos produtos verdes e sustentáveis e dadas as restrições ambientais cada vez mais rígidas.

A Myriant, por exemplo, alega a possibilidade de substituição a custo competitivo do anidrido ftálico e MAN pelo seu bio-ácido succínico na produção de plastificantes, polióis de poliéster, polímeros e ésteres e PBS. A empresa certifica-se da melhor pegada ecológica do produto final renovável, sem comprometimento à qualidade e desempenho. A Myriant já produz um solvente coalescente a partir do seu bio-ácido succínico comercializado sob a marca Myrifilm® (Myriant, 2014).

A BioAmber produz o derivado BDO e, portanto, está mais avançada na cadeia do bio-ácido podendo optar por comercializar o bioproduto ou derivados a preço competitivo. A empresa pretende ainda expandir suas atividades para derivados de uma etapa seguinte da cadeia, como bioplásticos e plastificantes, acreditando que seus produtos possam, além de ter estrutura semelhante aos petroquímicos convencionais, ter desempenho técnico superior.

A Reverdia Vof alega que seu processo produtivo, único a utilizar tecnologia de leveduras de baixo pH, permite a produção de um bio-ácido com pureza e qualidade superiores permitindo aplicações em nichos específicos de química fina nos quais a exigência relativa à cor e aparência é maior.

IV.2.3 Proposição de valor

Este item pretende expor quais os fatores, segundo as empresas, tornam seus produtos atrativos ao mercado alvo. Esses fatores agregam valor ao produto e de alguma forma oferecem benefícios ao cliente e/ou lhe atende em alguma necessidade. A Tabela IV-4 permite visualizar essas proposições de valor anunciadas por cada empresa para o bio-ácido succínico.

Tabela IV-4 Proposição de valor do bio-ácido succínico por empresa

Empresa	Proposições de valor
BioAmber	<ul style="list-style-type: none">- Sustentabilidade- Sem impacto ao suprimento de alimento- Performance como substituto favorável em diversas aplicações- Ambiente de trabalho seguro e saudável- Fontes de biomassa não geneticamente modificadas
Myriant	<ul style="list-style-type: none">- Menor pegada de C: 94% menos emissão que o petroquímico e 93% menos emissão que o ácido adípico- Selo verde sem adição no preço: matéria-prima renovável de custo baixo e menos volátil, processo fermentativo e de downstream eficientes- Matéria-prima não alimentar- Alta performance e qualidade
Succinity	<ul style="list-style-type: none">- Sustentabilidade: renovável e menor pegada de C- Plataforma química de alta performance
Reverdia Vof	<ul style="list-style-type: none">- Sustentabilidade: renovável e menor pegada de C- Alta qualidade do produto- Tecnologia de baixo pH: performance estável e melhor eficiência de custo- Fornecimento confiável: experiência com biorefinaria integrada

Fonte: BioAmber, 2014; Myriant, 2014; Succinity, 2014; Reverdia Vof, 2014

Dados de análise de ciclo de vida realizado para os bioprodutos de cada empresa deixam evidente a pegada ecológica que carregam. Uma análise de ciclo de vida do processo da BioAmber, por exemplo, deixa evidente a pegada ecológica desta rota com relação à emissão de gases de efeito estufa e gasto energético quando comparada à rota petroquímica. O produto foi certificado pela USDA como um bioproduto com conteúdo de carbono renovável de cerca de 97%, sendo considerado um processo neutro em carbono. A planta de Ontario, Canadá, emite 102,5% e 102,1% menos gás de efeito

estufa e usa 64,4% e 60,9% menos energia quando comparado à produção de ácido succínico por rota petroquímica e de ácido adípico petroquímico, respectivamente, como pode ser visto nas tabelas IV-5 e IV-6.

Tabela IV-5 Emissão de GEE na produção petroquímica vs. renovável

	Bio-SA™	ácido succínico petroquímico	ácido adípico petroquímico
Emissão líquida (kg CO2/Kg de ácido)	-0,18	7,1	8,6
Redução em GEE pelo uso de Bio-SA™		102,50%	102,10%

Fonte: BioAmber, 2014

Tabela IV-6 Gasto energético na produção petroquímica vs. renovável

	Bio-SA™	ácido succínico petroquímico	ácido adípico petroquímico
Consumo total de energia (MJ/kg de ácido)	34,7	97,7	88,8
Redução do uso de energia para Bio-SA™		64,40%	60,90%
Melhoria em produtividade		281,20%	255,60%

Fonte: BioAmber, 2014

Pode-se destacar aqui também o esforço das empresas como a Reverdia na redução progressiva da pegada de carbono adotando estratégias, como já mencionado, de co-geração de vapor e eletricidade, por exemplo.

IV.2.4 Parcerias chave

Um importante passo na concretização da entrada no mercado de bio-ácido succínico com sucesso é a criação de parcerias estratégicas com empresas líderes globais em setores industriais variados. Essas parcerias, fornecendo recursos ou atividades não detidos pela empresa, permitem que o modelo de negócios funcione com êxito. Ainda, tratando-se de um produto potencialmente substituído *drop in* do petroquímico convencional, mas não *drop in* de outros intermediários fósseis, essas

parcerias podem vir como forma de possibilitar o surgimento de novas aplicações, desenvolvendo, por exemplo, processos de transformação necessários à estruturação de uma nova cadeia produtiva. O presente item pretende, então, expor a dinâmica que envolve as parcerias divulgadas com as 4 empresas em estudo e identificar o rumo desses mecanismos.

Com exceção da Succinity que não divulgou qualquer movimento de aliança com outras empresas, todas as empresas identificadas produtoras de bio-ácido succínico apostam em acordos estratégicos com empresas grandes e reconhecidas mundialmente. Essas parcerias são firmadas por diversos motivos entre eles: inovação e desenvolvimento tecnológico; validação do produto como substituto a petroquímicos; cooperação na construção, operação e financiamento de plantas comerciais e comercialização e distribuição do produto em diversas regiões do mundo. Dessa forma, as empresas envolvidas incluem fornecedoras de matéria-prima, construtoras, transformadoras químicas, empresas de biotecnologia e tecnologia catalítica e empresas distribuidoras.

Os diversos parceiros e formas de aliança firmadas com as empresas identificadas podem ser vistos na tabela IV-7.

Tabela IV-7 Parcerias identificadas

Empresa	Parcerias		
	Empresa (ano)	Tipo	Finalidade
BioAmber	Faurecia (2012)	Contrato de fornecimento	Inovação (processo) e comercialização
	Vinmar International Ltd. (2014)	Contrato de fornecimento	Comercialização
	Mitsui & Co. (2010)	<i>Joint venture</i>	Construção, operação e distribuição
	Sinoven Biopolymer Inc. (2009)	Contrato de fornecimento	Inovação (processo) e comercialização
	DuPont Applied BioSciences (2010)	Licenciamento de tecnologia	Inovação (processo)

	Cargill (2011)	Licenciamento de tecnologia	Inovação (MO)
	Mitsubishi Chemical Corporation / PTT MCC Biochem (2011)	Cooperação tecnológica e contrato de fornecimento	Inovação (MO) e comercialização
	Lanxess (2011)	Cooperação tecnológica	Comercialização
	NatureWorks LLC. (2012)	<i>Joint venture</i> (AmberWorks)	Comercialização
	Evonik (2012)	Cooperação tecnológica de longo prazo	Inovação (processo)
	Inolex (2012)	Contrato de fornecimento	Comercialização
	Tereos Syral S.A.	Carta de intenções não-vinculativa	Abastecimento
Myriant Technologies LLC	ThyssenKrupp Uhde (2009)	Acordo de aliança exclusivo	Construção e operação
	PTT Chemical Group	<i>Joint venture</i>	Comercialização
	Davy Process Technology (2011)	Memorado de entendimento	Inovação (processo)
	China National BlueStar Group (2011)	Memorado de entendimento	Construção e comercialização
	Sojitz Corporation (2011)	Contrato de distribuição	Distribuição
	Showa Denko (2010)	Contrato de fornecimento	Comercialização

	Piedmont Chemical Industries (2011)	Contrato de fornecimento	Comercialização
	Wilson Industrial Sales Company (2011)	Contrato de fornecimento	Comercialização
	Basf (2010)	Contrato de fornecimento	Comercialização
	Johann Haltetmann Ltd. (2010)	Contrato de fornecimento	Comercialização
	Bayegan (2013)	Contrato de distribuição	Distribuição
Succinity GmbH (BASF/Purac)	n/d		
Reverdia Vof (DSM/Roquette)	Proviron	Contrato de fornecimento	Comercialização
	Helm	Contrato de distribuição	Distribuição

*Entende-se por inovação (processo) o desenvolvimento de novas tecnologias, validação ou adaptação tecnológica de processos já existentes para escalonamento e/ou produção de derivados. Entende-se por inovação (MO) o desenvolvimento de novos microrganismos. Entende-se por comercialização a transformação do produto em derivados e disposição no mercado. Entende-se por distribuição outra forma de parceria de caráter comercial para disposição direta do bioproduto em diversos mercados.

Fonte: Elaboração própria a partir dos quadros do Anexo II

A Tabela IV-7 demonstra que acordos do tipo *joint venture* são realizados pela BioAmber e pela Myriant com o objetivo de colaboração na construção e operação de plantas comerciais e também no desenvolvimento e comercialização de derivados, sendo as empresas acordadas as maiores acionistas dos empreendimentos.

A Figura IV- 5 expõe a dinâmica dessas parcerias e os mecanismos de mercado envolvidos deixando evidente a presença de parceiros em diversos níveis e etapas do processo produtivo.



Figura IV-5 Mecanismos de mercado

Fonte: Weastra, 2012

Nesta figura, no elo matéria-prima encontram-se os parceiros ativos no abastecimento da planta através do fornecimento de matéria-prima e utilidades. Em acordo com a Tabela IV-7, a Tereos é uma aliada da BioAmber neste nível da cadeia e também a Mitsui & Co. que, por acordo de *joint venture*, investe na operação e sucesso produtivo das plantas industriais facilitando também o acesso à matéria-prima.

No elo conversão, estão listadas as parcerias com finalidade em inovação para desenvolvimento de microrganismos para a fermentação do açúcar a ácido succínico. São identificados dois parceiros da BioAmber, Cargill e Mitsubishi/ PTT MCC Biochem, para desenvolvimento de novas cepas de levedura e testes de performance de microrganismos próprios da aliada, respectivamente.

Em transformação química estão todas as empresas que colaboram no processo de conversão do bio-ácido succínico a derivados de forma que englobam parcerias com finalidade de inovação conforme definido na Tabela IV-7. Empresas como a DuPont e Evonik colaboram com a BioAmber no desenvolvimento de processos e catalisadores, respectivamente, para produção em escala industrial de derivados como BDO, THF e GBL. Já empresas como a Sinoven aliam-se a BioAmber para o desenvolvimento de derivados, no caso PBS modificado, e posterior comercialização. A Davy Process Technology aliou-se à Myriant para comprovar a possibilidade de substituição direta ao MAN pelo bio-ácido succínico na produção de bio-BDO. Quanto à identificação da parceria da Myriant com a Uhde neste elo, não foram encontradas referências que comprovem a colaboração desta aliança no desenvolvimento de tecnologias de conversão. Sabe-se que a Uhde é uma empresa reconhecida mundialmente na construção e operação de plantas industriais e acompanhou a Myriant desde a construção da primeira planta piloto até a validação comercial do produto.

Por fim, no elo mercado encontram-se as empresas aliadas responsáveis pela distribuição do próprio ácido succínico e/ou comercialização de derivados. Pode-se identificar empresas como NatureWorks, Lanxess e PTT MCC Biochem aliadas a BioAmber para a produção e comercialização, respectivamente, de resinas modificadas (Ingeo®, mistura de PLA com PBS), plastificantes (Uniplex LXS TP®) e PBS. Empresas como Piedmont Chemical Industries, Bluestar e Showa Denko aliam-se à Myriant para produção e comercialização de polióis de poliéster verde, BDO e PBS, respectivamente e também Haltermann e Basf para produção de outros diversos derivados. A Mitsui & CO., aliada à BioAmber, e a Helm, aliada à Reverdia, são incluídas nesse nível da cadeia como distribuidoras do produto em mercados específicos.

É interessante observar nesta dinâmica de parcerias a volatilidade dos contratos. Nesta figura retirada de Weastra (2012), encontram-se empresas como Solvay e Siclaé que, aparentemente, segundo fontes mais recentes, não possuem mais vínculos à BioAmber e, por outro lado, ainda não existiam registros de algumas parcerias identificadas na Tabela IV-7.

Em geral, as parcerias identificadas vêm a reduzir os riscos tanto de fornecimento quanto de distribuição, garantindo a oferta de matéria-prima e a comercialização do produto final. Além dos contratos de fornecimento e distribuição, pode-se observar também muitas parcerias para o desenvolvimento de tecnologias, para otimização de um processo ou integração para frente ou para trás como forma de reduzir custos de produção.

Ainda, a análise desses mecanismos e suas finalidades permite observar que as parcerias, de fato, vêm colaborando para o desenvolvimento de novas aplicações para o bio-ácido succínico. São muitas as alianças identificadas para inovação em processos produtivos *downstream* para produção de novos intermediários de base renovável, como polímeros e plastificantes, ou mesmo para validação do uso potencial do bioproduto em substituição a intermediários petroquímicos convencionais. Como exemplo, pode-se citar a adaptação do processo da DuPont para produção de BDO, THF e GML a partir do BIO-SA™ (BioAmber) com colaboração da Evonik no desenvolvimento de novos catalisadores e também a validação do uso do bio-ácido succínico da Myriant em substituição ao MAN no processo Davy.

IV.2.5 Canais de distribuição

Neste item são abordadas as formas pelas quais as empresas entregam seu produto ao cliente. A comercialização de um produto ou processo pode ocorrer via vendas diretas, vendas indiretas ou por associação a um parceiro.

A análise da dinâmica de parcerias dessas empresas permite observar que a venda do bio-ácido succínico é feita, em geral, de forma direta por intermédio de contratos de fornecimento exclusivo. Tratando-se de um intermediário químico, plataforma para a produção de uma ampla variedade de derivados, os clientes diretos das empresas são outras empresas de transformação química. Além dessa estratégia de venda, algumas empresas também optam por aliar-se a empresas distribuidoras para a expansão da comercialização a determinadas regiões em que a venda é, então indireta. Esse é o caso da BioAmber em aliança à Mitsui & Co. para, entre outras finalidades, distribuição de seus produtos na Ásia, da Myriant em aliança à Sojitz para distribuição

do bioproduto no Japão, China, Coréia do Sul e Taiwan e também da Reverdia Vof em aliança à Helm.

IV.2.6 Fontes de receitas e recursos

As fontes de receitas de uma empresa constituem a forma pela qual esta gera caixa. Receitas podem ser obtidas, por exemplo, por venda de produtos ou licenciamento de processos.

Todas as 4 empresas recebem receitas pela venda de seus produtos e nenhuma informação quanto ao interesse em licenciamento de seus processos foi encontrada, constituindo, atualmente, a venda direta ou indireta de produtos a única forma de geração de receitas. É importante observar, porém, que, dado o estágio atual dos projetos com uma produção comercial de bio-ácido succínico bastante recente, o volume comercializado ainda não é expressivo para a geração de capital.

As empresas buscam captar também recursos para investir, seja por *venture capital* ou outras formas de financiamento, para o sucesso dos empreendimentos e maximização dos seus lucros. Neste item, considera-se também se a produção é realizada em plantas próprias ou não, constituindo-se essas em recursos físicos.

A BioAmber opera em uma fábrica em Pomacle, França pertencente à ARD e está planejando mais 3 unidades a serem construídas e operadas com cooperação da Mitsui & Co. A planta de Sarnia, Ontario foi construída em um parque bio-industrial pertencente à empresa Lanxess alegando que a infraestrutura existente facilita o acesso à utilidades e matérias-primas.

Para o sucesso dos seus empreendimentos, a BioAmber contou com um financiamento de \$12 milhões em 2010 de um grupo de investidores formado pelas empresas Sofinnova Partners, Mitsui & Co. Venture Partners e Samsung Ventures, atuantes como *venture capital*. Um outro investidor bastante efetivo é o Cliffton Group, um grupo estatal canadense com interesse em tecnologias “limpas”. Em 2011 e 2012 a empresa levantou mais duas rodadas de investimentos de um total de \$ 75 milhões, dessa vez com participação da Naxos Capital Partners e Lanxess. Em 2013, a empresa concluiu o IPO recebendo um total de \$ 80 milhões de seus acionistas públicos. Em

2014, a empresa arrecadou \$ 30 milhões cedidos por organizações governamentais canadenses como a Agriculture and Agri-food Canada. (BioAmber, 2014).

A Myriant construiu e é dona da planta localizada nos EUA, mas produz também em menor volume (1,360 mil t/ano) em uma planta da ThyssenKrupp na Alemanha. A empresa planeja construir uma segunda planta na China com colaboração da BlueStar. Para construção da planta nos EUA, a empresa recebeu um total de \$ 50 milhões do Departamento de Energia dos EUA (DOE) e foi a primeira empresa de química renovável a receber uma quantia de \$ 25 milhões do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA), Business and Industry (B&I), o que mostra o comprometimento do governo com o sucesso dos empreendimentos da empresa. Além disso, a empresa contou com colaboração do Lake Providence Port Commission e do Louisiana Department of Transportation em um valor de \$10 milhões e também de um financiamento em \$ 60 milhões da PTT ChemicalGroup, que, em acordo de *joint venture*, é a principal acionista da empresa.

A Succinity opera em planta própria em Barcelona, Espanha e também a Reverdia em suas plantas comercial (Itália) e demonstração (França). Não foram encontradas informações quanto a financiamentos de projetos em bio-ácido succínico da Succinity e Reverdia Vof.

Capítulo V – Conclusão

Em um contexto de transição de uma economia petroquímica para uma economia de base renovável, tomou-se o caso do bio-ácido succínico como exemplo para estudo do processo de construção da nova e incipiente bioindústria. O interesse no estudo de caso do bio-ácido succínico surgiu de diversos fatores, entre eles: extensa presença na literatura; potencial como plataforma química e processo produtivo favorável economicamente, com fator de conversão elevado e captura de CO₂ e grande variedade de alternativas tecnológicas e modelos de negócio.

O grande desafio identificado a ser enfrentado no desenvolvimento comercial deste promissor bioproduto é a aceitação pelo mercado e desenvolvimento de novas

aplicações que foram historicamente limitadas devido ao alto custo da rota petroquímica. Nestas novas aplicações o bioproduto precisa, para que competitivo, corresponder em performance técnica e econômica equivalente ou superior a intermediários petroquímicos convencionais. A substituição ao ácido succínico fóssil e a outros petroquímicos básicos, comprovadamente, trará benefícios a toda a sociedade em termos de redução de emissão de gases de efeito estufa e economia energética.

A análise de projetos em andamento por empresas produtoras de bio-ácido succínico permitiu a compreensão da fase de maturidade do desenvolvimento deste bioproduto e das estratégias adotadas. Algumas tendências e observações comuns aos modelos de negócio puderam ser observadas:

- i. As empresas buscam grande flexibilidade em fontes de matéria-prima, expandindo seus horizontes tecnológicos para o desenvolvimento de etapas de pré-tratamento eficientes que tornem economicamente viável a utilização de biomassa residual, disponível em maior abundância;
- ii. Observa-se uma grande variedade de alternativas tecnológicas: as empresas apostam em plataformas tecnológicas próprias com uso de microrganismos diferentes e, apesar da vantagem do uso de leveduras, uma rota dominante ainda não foi revelada apontando para a coexistência de tecnologias distintas;
- iii. A produção já encontra-se em escala comercial: todas as empresas venceram os desafios de escalonamento de suas tecnologias e já comercializam o produto, umas em maior escala que outras;
- iv. Apesar do sucesso do escalonamento, o processo produtivo ainda não alcançou a maturidade tecnológica. O esforço no aprimoramento da plataforma tecnológica é contínuo, como forma de adquirir vantagem competitiva em termos de custo e qualidade e explorar mercados diversos;
- v. As empresas são intensivas em conhecimento, com grande investimento em biotecnologia, utilizando-se de estratégias de patenteamento como forma de proteção e fonte de recursos;
- vi. As empresas buscam agregar valor aos seus produtos da mesma maneira, alegando serem produtos sustentáveis, com pegada de carbono praticamente

neutra, de alta performance, de custo baixo e pouco variável e com uma aplicação potencial de alto valor monetário;

- vii. As empresas atuantes são *start-ups* independentes ou *joint venture* de grandes empresas estabelecidas no setor químico que vêm buscando um posicionamento na indústria de produtos de fonte renovável;
- viii. As empresas contam com uma dinâmica de parcerias bastante complexa, com colaboração de parceiros em diversos níveis do processo produtivo: acesso à matéria-prima, desenvolvimento tecnológico para conversão e transformação químicas, escalonamento de tecnologias, construção e operação de plantas, comercialização e distribuição;
- ix. Observou-se um grande esforço no sentido da exploração da cadeia do bio-ácido succínico por parte dos parceiros tecnológicos e comerciais identificados, com projetos inovadores para desenvolvimento, aprimoramento e/ou escalonamento de processos *downstream* e validação do uso do bioproduto em novas aplicações.

Fora os padrões identificados, pode-se observar que algumas empresas possuem determinadas vantagens comparativas devido às suas estratégias produtivas e operacionais. Essas vantagens são oriundas de processos produtivos em menor número de etapas em função do microrganismo utilizado, do nível de integração para frente ou para trás adotado pela empresa ou de estratégias de sinergia com indústrias ou infraestruturas já existentes. É o caso da BioAmber que já produz e comercializa bio-BDO a custo competitivo no mercado a partir de uma plataforma integrada à produção de bio-ácido succínico e conta com a infraestrutura de uma indústria próxima à planta do Canadá, além de apoio governamental. É o caso também da Myriant que, além do fácil acesso à matéria-prima e utilidades na planta dos EUA, conta com grande apoio financeiro do governo, subsidiando seus empreendimentos. A BioAmber e Reverdia ganham vantagem também por possuírem tecnologia própria fermentativa com uso de leveduras ao invés de bactérias.

Diante das oscilações no preço do petróleo, do já reportado sucesso produtivo em escala comercial das empresas produtoras de bio-ácido succínico, da validação pelo

cliente do bioproduto desenvolvido, das projeções de aumento potencial significativo da capacidade instalada mundial e do desenvolvimento do processamento *downstream* para produção de derivados com bom desempenho garantido, ao que tudo indica o bio-ácido succínico deverá de fato ameaçar diversos mercados vindo a substituir o produto petroquímico nos mercados já existentes e também outros intermediários no desenvolvimento de novas aplicações. A segurança quanto ao fornecimento do produto e a existência de mercado consumidor fornece às empresas um grande estímulo ao amadurecimento de sua plataforma tecnológica, buscando aprimorar e otimizar os processos no sentido da redução de custos e gastos energéticos e da melhoria da qualidade do produto final. Esse fato já é realidade para muitas dessas empresas que, além disso, vem também expandindo seu portfólio para outros bioprodutos e/ou apostando no desenvolvimento da cadeia do bio-ácido succínico. Esses esforços só vêm a colaborar para a vantagem competitiva do bioproduto em substituição não só a petroquímicos como até mesmo a outros bioprodutos em desenvolvimento.

Apesar das projeções de aumento significativo de capacidade instalada chegando a quase 650 mil t/ano em 2020, a evolução do mercado deste bioproduto permite arriscar dizer que o setor permanece atrativo para novos entrantes. Ainda, apesar do estágio em que se encontram os atuais *players* do mercado de bio-ácido succínico, todos já em fase comercial, a observação do fato de que o setor ainda não alcançou maturidade tecnológica torna evidente que este ainda se encontra em uma fase fluida. Neste estágio da indústria, segundo o modelo proposto por Abernathy e Utterback (1978), diversos processos são experimentados e otimizados sem uma tecnologia capacitadora definida, ou seja, a volatilidade é muito grande, a entrada e saída de empresas é fácil e constante. Observando-se, portanto, a idade das empresas embrionárias, as barreiras de entrada quase inexistentes a essa indústria em função da flexibilidade de processos e modelos adotados, a atratividade do mercado e a natureza flexível da plataforma tecnológica de produção do bioproduto para produção de outros compostos, pode-se, realmente, esperar o surgimento de novas *start-ups* com tecnologias e estratégias inovadoras enriquecendo e dinamizando ainda mais a bioindústria em construção.

Por fim, pode-se identificar as principais contribuições do presente estudo. Tratando-se de um estudo de caso específico, limitou-se a listar tendências tecnológicas

e estratégicas do modelo de negócios das empresas identificadas atuantes no setor como produtoras do bioproduto. Buscou-se também, com base no estágio atual dos projetos, fazer previsões quanto à atratividade do setor e possibilidade de expansões laterais, para frente ou para trás. Os padrões estudados fornecem um panorama geral da forma de estruturação dessa nova indústria em construção e evidenciam a complexidade de estratégias adotadas. Esse processo, porém, só pode ser totalmente compreendido em uma análise macro considerando outros bioprodutos, o que foge do escopo do presente trabalho.

Referências Bibliográficas

ABERNATHY, W.J., UTTERBACK, J.M. Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, vol. 80, n. 7, p. 40-47, Junho-Julho 1978.

BEAUPREZ, J. J.; DE MEY, M.; SOETAERT, W. K. Microbial succinic acid production: Natural versus metabolic engineered. *Process Biochemistry*. 45, p. 1103–1114, 2010.

BECHTHOLD, I.; BRETZ, K.; KABASCI, S.; KOPITZKY, R.; SPRINGER, A. Succinic Acid: A New Platform Chemical for Biobased Polymers from Renewable Resources. *Chem. Eng. Technol.* 31, No. 5, p. 647–654, 2008.

BENETT, S. J. Using past transitions to inform scenarios for the future of renewable raw materials in th UK. 2012

BERNIER, R.L.; DUNUWILA, D.; COCKREM, M.; FRUCHEY, O.S.; KEEN, B.T.; ALBIN, B.A.; DOMBEK, B.D.; DCLINTON, N.A. Processes for purification of succinic acid via distillation or sublimation. WO 2013088239 A3. 2014.

BioAmber. [Online] [Último acesso em: março de 2014.] <http://www.bio-amber.com/>.

Biofuels Digest. [Online] [Último acesso em: setembro de 2013.] <http://www.biofuelsdigest.com/>

Biomass Magazine. [Online] [Último acesso em: março de 2014.] <http://biomassmagazine.com/>.

BOMTEMPO, J.V. Os dilemas dos produtos na bioeconomia. Disponível na internet em: http://www.brasilagro.com.br/index.php?noticias/visualizar_impressao/14/52645. Último acesso em: março, 2014.

BORGES, E. R. *Desenvolvimento de um Processo Biotecnológico para a Produção de Ácido Succínico por Actinobacillus Succinogenes*. Tese (Doutorado) – Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

BORGES, E. R. e JUNIOR, N. P. Succinic acid production from sugarcane bagasse hemicellulose. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, pp. 1001-1011, 2011.

BOZELL, J.; PETERSEN, R. Technology development for the production of biobased products from biorrefinery carbohydrates, the US Department of Energy's "Top 10" revisited. *Green Chemistry*, vol. 12, n. 4, p. 525-728, abril 2010.

BURK, M.J. Sustainable production of industrial chemicals from sugars. *International Sugar Journal*, v. 112, n. 1333, 2010.

ChemEurope. [Online] [Último acesso em: setembro de 2013.]
<http://www.chemeuropa.com/en/>

Chemical Industry Roundtables. [Online] [Último acesso em: setembro de 2013.]
<http://chemicalroundtables.com/wordpress2/>

CHENG, K. K.; ZHAO, X. B.; ZENG, J.; ZHANG, J. A.. Biotechnological production of succinic acid: current state and perspectives. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, p. 302-318, 2012.

CHRISTENSEN, C.H.; ; RASS-HANSEN, J.; MARSDEN, C.C.; TAAMING, E.; EGEBLAD, K. The Renewable Chemicals Industry. *ChemSusChem*, n.1, p.283-289, 2008.

Dehay, F., Segueilha, L., Calande, O., & Varlamoff, C. *Patente N° US 2010/0297715 A1*. Estados Unidos, 2010.

Fruchey *et al.*. Processes for the production of hydrogenated products. US 8,084,626 B1. Estados Unidos, 2011

Fruchey *et al.*. Processes for producing succinic acid from fermentation broths containing diammonium succinate. US 8,246,792 B2. Estados Unidos, 2012

GALEZOTT, P. Conversion of biomass to selected chemical products. *Chem Soc Rev*, n.41, p. 1538-1558, 2012.

Google Scholar. [Online] [Último acesso em: setembro de 2012.]
<http://scholar.google.com.br/>

Green Chemicals Blog. [Online] [Último acesso em: março de 2014.]
<http://greenchemicalsblog.com/>

ICIS Green Chemicals. [Online] [Último acesso em: setembro de 2013.]
<http://www.icis.com/blogs/green-chemicals/>

IHS Chemical Week. [Online] [Último acesso em: setembro de 2013.]
<http://www.chemweek.com/home/>

JONG, E.; HIGSON, A; WALSH, P.; WELLISCH, M. Biofuels, Bioproducts and Biorefining (Biofpr). 6, p. 606–624, 2012. Disponível online em:
<http://onlinelibrary.wiley.com/>

KURZROCK, T; WEUSTER-BOTZ, D. Recovery of succinic acid from fermentation broth. 2009.

LIN, C.S.K.; LUQUE, R.; CLARK, J.H.; WEBB, C.; DU, C. Wheat-based biorefining strategy for fermentative production and chemical transformations of succinic acid. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 6, p. 88–104, 2012.

MEYNIAL-SALLES, I.; DOROTYN, S.; SOUCCAILLE, P. A New Process for the Continuous Production of Succinic Acid From Glucose at High Yield, Titer, and Productivity. *Biotechnology and Bioenergy*. 99, p.129–135, 2007

Myriant. [Online] [Último acesso em: março de 2014.] <http://www.myriant.com/index.cfm>.

Química Verde no Brasil 2010-2030. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2010.

Reverdia. [Online] [Último acesso em: março de 2014.] <http://www.reverdia.com/>.

SCHRODER, H.; HAEFNER, S.; ABENDROTH, G. V.; HOLLMANN, R.; RADDATZ, A.; ERNST, H. Patente n° *WO 2010/092155 A1*, 2010.

Science Direct. [Online] [Último acesso em: março de 2013.] <http://www.sciencedirect.com/>

Scirus. [Online] [Último acesso em: setembro de 2012.] Fora do ar.

Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd Biofuels, Bioproducts and Biorefining.(Biofpr). 5, p. 595–597, 2011. Disponível online em: <http://onlinelibrary.wiley.com/>

Succinity. [Online] [Último acesso em: março de 2014.] <http://www.succinity.com/>.

Tecnon OrbiChem. [Online] [Último acesso em: março de 2014.] <http://www.orbichem.com/>.

TECNON ORBICHEM. Chemical Business Focus. Bio-materials and Intermediates. Issue 000. Julho, 2013.

TECNON ORBICHEM. Chemical Business Focus. Bio-materials and Intermediates. Issue 001. Setembro, 2013.

TEECE, D. Business Models, Business Strategy and Innovation. Long Range Planning ,43, p.172-194, 2010.

THE FROPTOP GROUP. UK Expertise for Exploitation of Biomass-Based Platform Chemicals.

USPTO. [Online] [Último acesso em: março de 2013.] <http://patft.uspto.gov/netahtml/PTO/search-bool.html>

UTTERBACK, J. M. Mastering the dynamics of innovation. Boston, MA: Harvard Business School Press. 1994.

Van de Graaf *et al.* US 2012/0238722. Estados Unidos, 2012.

WEASTRA, s.r.o. WP 8.1. Determination of market potential for selected platform chemicals. 2012.

WWVerde. [Online] [Último acesso em: março de 2013.] <http://www2.ufpel.edu.br/iqg/wwverde/>

ZEIKUS, J.G.; JAIN, M. K.; ELANKOVAN, P. Biotechnology of succinic acid production and markets for derived industrial products. *Appl Microbiol Biotechnol.* 51, p. 545-552, 1999.

ANEXO I

Projetos em andamento no mundo: HMF, ácido láctico, ácido levulínico.

*Retirou-se destes quadros as informações acerca do ácido succínico, ver ANEXO II.

Bioproduto	Empresa	País	Matéria-prima	Rota	Estágio/Planos	Investimento	Parcerias
HMF	Avantium (Furanix)	Holanda	Açúcar C6: frutose ou glicose residual, não alimentar.	Química	Estágio: planos de construção de planta demo e comercial.	€ 30 milhões em 2011.	<u>NatureWorks</u> , <u>Teijin Aramid</u> , <u>Coca-Cola</u> , <u>Danone</u> , <u>Solvay</u> , <u>Rhodia</u> e <u>Teijin Aramid</u> : inovação
	Roquette Freres	França	Frutose ou levulose	Química	Estágio: parado.		
	Südzucker	Alemanha	Frutose ou glicose/sacarose	Química	Estágio: parado.		
ácido láctico	PURAC	Holanda. Atauação em: Tailândia, EUA, Brasil	Açúcar de cana-de-açúcar ou amido de mandioca. Fontes celulósicas, não-alimentares, no futuro.	Biológica	Estágio: planta comercial.	€ 45 milhões.	<u>Myriant</u> , <u>Arkema</u> , <u>Sulzer Chemtech</u> : inovação <u>Crown Van Gelder N.V.</u> e <u>Bumaga B.V.</u> : processamento MP
	Nature Works LLC (100% Cargill Dow)	EUA	Dextrose de milho ou glicose da Cargill. Futuramente: biomassa celulósica	Biológica	Estágio: planta comercial.	\$25 milhões . \$150 milhões.	<u>Danone</u> , <u>Stonyfield Farms</u> , <u>BASF</u> , <u>Cereplast, Inc.</u> , <u>Primo Water</u> : comercialização <u>PTT Global Chemical</u> ,

							<u>BioAmber:</u> construção e comercialização <u>Metabolix:</u> licenciamento <u>BP</u> <u>Consulting,</u> <u>Resinex Group,</u> <u>Fiberweb e</u> <u>Miroglio Group:</u> distribuição
	Archer Daniels Midland (ADM)	EUA	Glicose	Biológica	Estágio: planta comercial.		
	Galactic	Bélgica/China	Açúcar de beterraba.	Biológica	Estágio: planta piloto.		<u>Total</u> <u>Petrochemicals,</u> <u>Futero JV:</u> construção
	ThyssenKrupp Uhde	Alemanha		Biológica	Estágio: planta piloto.		<u>Pyramid</u> <u>Bioplastics Guben</u> <u>GmbH:</u> comercialização
	GlycosBio	EUA	Glicerina bruta		Estágio: pesquisas.		
	Zhejiang Hisun Biomaterials	China	Milho e, futuramente, mandioca		Estágio: expansão da capacidade para atingir escala comercial.		
	ZeaChem	EUA	Biomassa celulósica	Biológica e termoquímica	Estágio: planos de alcançar escala industrial em 2013.		<u>Procter & Gamble:</u> inovação e comercialização
	Henan Jindan Lactic Acid Co., Ltd.	China			Estágio: planta industrial.		
ácido levulínico	Segetis	EUA	Biomassa celulósica, florestal e não alimentar	Biológica e termoquímica	Estágio: planta demonstração,	\$15 milhões \$17.2 milhões	<u>Method Products,</u> <u>PolyOne, Georgia</u>

					planos para planta comercial.	\$ 25,5 milhões	<u>Gulf:</u> comercialização <u>DSM Venturing:</u> inovação
	Maine Bioproducts (MBP)/Biofine Renewables LLC	EUA	Biomassa celulósica/polissacarídeos	Termoquímica	Estágio: Plantas piloto e planos para produção em escala industrial.		2011: Biofine firmou um acordo para licenciar sua tecnologia para uma empresa produtora de derivados químicos a partir de papel.
	ShanDong Fongder Chemical Co., Ltd.	China					
	Mercurius Biofuels LLC	EUA	Biomassa celulósica/hemicelulósica	Termoquímica	Estágio: planos de planta comercial; processo de desenvolvimento, scale up e comercialização da tecnologia REACH para aplicação em bioprodutos de alto valor agregado.	\$5 milhões	Parceria com duas empresas reconhecidas mundialmente de catálise para aprimoramento e desenvolvimento da tecnologia REACH utilizada pela empresa. Essa parceria colaborou no projeto de planta piloto em 2011 na EERC.

Bioproduto	Empresa	Aplicação
HMF	Avantium (Furanix)	FDCA: PEF, um polietileno renovável semelhante e até superior ao PET, com uma pegada de carbono cerca de 50-60% menor. Poliamidas e poliésteres, bioplásticos, resinas de revestimento, tapetes, tecidos, fibras, garrafas e ainda tem aplicações nos mercados de biocombustíveis a jato, gasolina e diesel.
	Roquette Freres	
	Südzucker	
ácido láctico	PURAC	Revestimentos e Tintas, Agroquímicos, Indústria de Polímeros (PLA, bioplásticos, resinas), Indústria de Metal, Indústria têxtil e de couro. PURAC®, PURASOLV®, PURALACT®, PURASAL® e PURAMEX®
	Nature Works LLC (100% Cargill Dow)	PLA, copolímeros, oligômeros e polímeros amorfos, substratos graftizados, aditivos de resina, adesivos, revestimentos, elastômeros, surfactantes, termofixos e solventes.
	Archer Daniels Midland (ADM)	
	Galactic	PLA e fibras de desempenho.
	ThyssenKrupp Uhde	
	GlycosBio	
	Zhejiang Hisun Biomaterials	
	ZeaChem	Intermediário para: propileno glicol, ácido acrílico e ésteres, ácido propiônico, propileno, ácido metacrílico, ésteres e diluentes. Aplicação em embalagens.
	Henan Jindan Lactic Acid Co., Ltd.	
ácido levulínico	Segetis	Monômeros (combinação de ésteres de ácido levulínico e compostos hidroxílicos de base biológica) denominados cetais levulínicos com aplicação em: solventes de limpeza (alternativos ainda melhores que os convencionais), plastificantes não-ftálicos (substitutos de melhor performance aos ftalatos e benzoatos convencionais: compatíveis, maior velocidade de processamento e melhor desempenho em elevadas T), polióis para materiais de poliuretano, adesivos, agentes emulsificantes e de acoplamento em formulações químicas, termoplásticos e outros produtos químicos básicos.

	<p>Maine Bioproducts (MBP)/Biofine Renewables LLC</p>	<p>Usado em alimentos, perfumaria, farmacêuticos e aplicações químicas especiais. Precursor químico não-tóxico para combustíveis limpos e fonte de commodities. Os derivados podem formar resinas de policarbonato, plásticos biodegradáveis, polímeros tipo nylon, borrachas sintéticas e alto volume de herbicidas biodegradáveis, além de ter aplicação medicinal. Derivados: ácido difenólico (DPA: substituto verde do bisfenol A na produção de policarbonatos; resinas e revestimentos), ácido succínico (solventes e polímeros), GVL, MGVL, MTHF, ésteres de ácido levulínico (levulinato de etila)</p>
	<p>ShanDong Fongder Chemical Co., Ltd.</p>	<p>Solventes, aromas, pesticidas, aditivos de polímeros, aditivos de lubrificantes, aditivos de revestimento, agente tensoativo, tinta de impressão, borracha auxiliar, aditivos em cosméticos (shampoo).</p>
	<p>Mercurius Biofuels LLC</p>	

ANEXO II

Projetos em bio-ácido succínico em andamento no mundo

Empresa	País (sede)	Perfil da empresa	Matéria-prima	Aplicação	Rota	Investimento
BioAmber	EUA	Fundação: 2008. Foco: química renovável Atuação: França, Canadá, Tailândia e Brasil ou EUA.	- glicose (trigo) ou de amido (milho) sacarose (cana-de-açúcar) - CO ₂ - levedura (Cargill)	- poliuretanos - plastificantes - produtos para cuidados pessoais - descongelamento de soluções - resinas e revestimentos - aditivos alimentares - lubrificantes	Tecnologia fermentativa própria (levedura). Downstream: hidrogenação catalítica em fase líquida (DuPont) para transformação a BDO e THF.	\$ 12 milhões(2010); \$45 milhões (2011); \$30 milhões(2012): Naxos Capital, Sofinnova Partners, Ltd. Mitsui & Co., Clifton Group e LANXESS. \$ 30 milhões (2014): Agriculture and Agri-food Canada e outras organizações governamentais.
Myriant Technologies LLC	EUA	Fundação: 2004. Foco: bioprodutos Atuação: Eua, Alemanha e China	- sacarose (cana-de-açúcar) ou açúcar celulósico (sorgo) - CO ₂ - <i>E.coli</i> GM No futuro: açúcar de baixo custo (95 Dextrose)	- biopolímeros - revestimentos - poliuretanos - plastificantes (marca Myriflex) - solventes - pigmentos	Tecnologia fermentativa própria (<i>E. coli</i> GM) Purificação: resinas de troca iônica	\$25 milhões: USDA's B&I. \$50 milhões: DOE. \$80 milhões: Myriant Lake Providence Inc. \$10 milhões: Lake Providence Port Commission e Louisiana Department of Transportation. \$60milhões: PTT Chemical Group.
Succinity GmbH (BASF/Purac)	Alemanha	Fundação: 2013. Foco: bio-ácido succínico. Atuação: Espanha	- glicerol e açúcares (glicose) - CO ₂ - <i>Basfia succiniciproducen</i>	- bioplásticos (polímeros biodegradáveis como PBS e PBSA) - solventes - revestimentos	Tecnologia fermentativa própria. Purificação livre de gipsita: processamento eficiente, sem muitas	n/d

				- poliuretanos - plastificantes	correntes de rejeito, processo fechado.	
Reverdia Vof (DSM/Roquette)	Holanda	Fundação: 2010. Foco: projeto Biosuccinium™. Atuação: Itália e França.	- derivados de amido (milho não GM) - CO ₂ - levedura. No futuro: biomassa celulósica	- plastificantes - poliuretanos - produtos de cuidado pessoal - resinas - revestimentos - biopolímeros. Alta pureza e qualidade: produtos finos de maior exigência quanto à cor e outros critérios	Tecnologia fermentativa própria (leveduras de baixo pH)	n/d

Empresa	Estágio dos projetos				Parcerias		
	Localização da planta	Produtos	Capacidade produtiva	Início de operação	Empresa (ano)	Tipo	Finalidade
BioAmber (DNP Green Technology/ARD)	Pomacle, França *ARD	bio-ácido succínico	3 mil t/ano	2010 (demo)	Vinmar International Ltd. (2014)	Contrato de fornecimento	Comercialização
					Mitsui & Co. (2010)	Joint venture e contrato de distribuição	Comercialização, construção e operação de plantas e distribuição exclusiva na Ásia.
					Faurecia (2012)	Contrato de fornecimento	Inovação (processo) e comercialização: Desenvolvimento de novos bioplásticos para indústria

							automotiva.
					Sinoven Biopolymer Inc. (2009)	Contrato de fornecimento	Comercialização: Produção de PBS modificado
Sarnia, Ontario, Canadá *Mitsui	bio-ácido succínico	30 mil t/ano, expansível a 50 mil t/ano	2014/2016	DuPont Applied BioSciences (2010)	Licenciamento de tecnologia	Inovação: Produção de BDO, THF e GBL.	
				Cargill (2011)	Licenciamento de tecnologia	Inovação: Desenvolvimento de novas cepas de levedura	
	bio-BDO	23 mil t/ano	2014	Mitsubishi Chemical Corporation / PTT MCC Biochem (2011)	Contrato de fornecimento	Comercialização: Produção de PBS Inovação: Otimização do processo de bio-AS	
Rayong, Tailândia *Mitsui	bio-ácido succínico	65 mil t/ano	2015	Lanxess (2011)	Cooperação tecnológica	Comercialização: Desenvolvimento de plastificantes (Uniplex LXS TP®)	
				NatureWorks LLC. (2012)	Joint venture (AmberWorks)	Comercialização: Desenvolvimento de novos biopolímeros (misturas de PLA com PBS, novo grau de resina Ingeo®)	
	bio-BDO	50 mil t/ano	2015	Evonik Industries' Catalysts Business Line (2012)	Cooperação tecnológica de longo prazo	Inovação: Produção e desenvolvimento de catalisadores para scale-up de tecnologia de produção de BDO, THF e GBL.	

Myriant Technologies LLC	EUA ou Brasil *Mitsui	bio-ácido succínico	65 mil t/ano	n/d	Inolex (2012)	Contrato de fornecimento	Comercialização: Produção de produtos de cuidado pessoal como emolientes
		bio-BDO	50 mil t/ano	n/d	Tereos Syral S.A.	Carta de intenções não-vinculativa	Comercialização: Fornecimento de matéria-prima e utilidades para as futuras plantas na Europa e Brasil
	Lake Providence, Louisiana, EUA	bio-ácido succínico	14 mil t/ano, expansível a 77 mil t/ano	2013	ThyssenKrupp Uhde (2009)	Acordo de aliança exclusivo	Comercialização: Construção e operação de plantas
					PTT Chemical Group	Joint venture	Comercialização: Exploração da tecnologia da Myriant no sudeste asiático.
					Davy Process Technology (2011)	Memorado de entendimento	Inovação: Produção de BDO, THF e GBL.
	Leuna, Alemanha *ThyssenKrupp	bio-ácido succínico	1,360 mil t/ano, expansível a 5 mil t/ano	2013 (demo)	China National BlueStar Group (2011)	Memorado de entendimento	Comercialização: Construção de planta e fornecimento exclusivo de 85 mil t/ano para produção de BDO
					Sojitz Corporation (2011)	Contrato de distribuição	Comercialização: Distribuição do produto no Japão, China, Coreia do Sul e Taiwan
					Showa Denko (2010)	Contrato de fornecimento	Comercialização: Produção de PBS
					Piedmont Chemical Industries (2011)	Contrato de fornecimento por 5 anos	Comercialização: Produção de poliól de poliéster verde
	Nanjing, China *BlueStar	bio-ácido succínico	100 mil t/ano	n/d	Wilson Industrial Sales	Contrato de fornecimento	Comercialização: Produção de fertilizantes com co-produto sulfato de amônio

					Company (2011)		líquido
					Basf (2010)	Contrato de fornecimento	Comercialização: Produção de derivados
					Johann Haltetmann Ltd. (2010)	Contrato de fornecimento	Comercialização: Produção de derivados
					Bayegan (2013)	Contrato de distribuição	Comercialização: Distribuição do produto no Oriente Médio, Europa Oriental e África
Succinity GmbH (BASF/Purac)	Barcelona, Espanha	bio-ácido succínico	10 mil t/ano, expansível a 25 mil t/ano	março de 2014	n/d		
	n/d	bio-ácido succínico	50 mil t/ano	n/d			
Reverdia Vof (DSM/Roquette)	Cassano Spinola, Itália	bio-ácido succínico	10 mil t/ano	2012	Proviron	Contrato de fornecimento	Comercialização: produção e comercialização de dimetil-succinato (Provichem 2511 Eco®), intermediário para BDO, e outros derivados.
	Lestrem, França	bio-ácido succínico	500 t/ano	2010 (demo)	Helm	Contrato de distribuição	Comercialização: Distribuição e desenvolvimento do mercado de bio-ácido succínico
	n/d	bio-ácido succínico	n/d	2015			